Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Калужский филиал МГТУ имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»

Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе

Всероссийская научно-техническая конференция

(Калуга, 19-21 ноября 2024 года)

Материалы конференции

В двух томах

Том 1

Москва
ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н.Э. Баумана
2025

УДК 378:001.891
ББК 74.48:72
Н34

Издание доступно в электронном виде по адресу
https://press.bmstu.ru/catalog/item/8439/

Руководитель конференции:
А.В. Полюлях (директор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана),
Е.В. Вершинин (зам. директора по научной работе)

Оргкомитет конференции:
председатель оргкомитета *Е.В. Вершинин,*
ученый секретарь *В.В. Лебедев*

Члены оргкомитета:

Андреев В.В, д.т.н., профессор
Шаталов В.К., д.т.н., профессор
Перерва О.Л., д.э.н., профессор
Мазин А.В., д.т.н., доцент
Рамазанов А.К., к.ф-м.н., доцент
Шафигуллина Т.В., к.т.н., доцент
Анфилов К.Л., к.х.н., доцент
Малышев Е.Н., к.т.н., доцент
Мельников Д.В., к.т.н., доцент
Гагарин Ю.Е., к.ф-м.н., доцент
Пономарев А.И. к.т.н., доцент
Витчук П.В., к.т.н., доцент
Максимов А.В., к.т.н., доцент
Сломинская Е.Н., к.т.н., доцент
Труханов К.Ю., к.т.н., доцент
Жинов А.А., к.т.н., доцент
Пащенко В.Н., к.т.н., доцент
Кусачева С.А., к.б.н., доцент
Белова Е.В., к.филол.н., доцент

Секретарь конференции: *В.В. Лебедев*

Н34 **Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе** : Всероссийская научно-техническая конференция (Калуга, 19– 21 ноября 2024 года) : материалы конференции : в 2 т. / Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический универси-тет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» . — Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025.

ISBN 978-5-7038-6512-5
Т. 1. — 495, [1] с. : ил.
ISBN 978-5-7038-6513-2

В сборнике материалов Всероссийской научно-технической конференции представлены результаты научных исследований, выполненных учеными в течение ряда лет. Систематизированы материалы различных научных школ. Результатами научных исследований являются новые методы, вносящие вклад в развитие теории, а также прикладные задачи, воплощенные в конструкциях и материалах. В первый том сборника вошли материалы секций 1–9, 11, 12.

УДК 378:001.891
ББК 74.48:72

Издается в авторской редакции.

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025

ISBN 978-5-7038-6513-2 (т. 1)
ISBN 978-5-7038-6512-5

Секция 1. Прогрессивные технологии, оборудование и инструментальные системы в машиностроении

УДК 621

Виды и причины износа режущей кромки на твердосплавных пластинах при точении

Ремезов Сергей Евгеньевич rse19km168@student.bmstu.ru
Малышев Евгений Николаевич malen@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены основные виды износа режущих кромок на твердосплавных пластинах во время обработки материала точением. Представлено подробное описание и основные причины возникновения каждого вида износа. Приводятся различные эффективные методы предотвращения или снижения уровня износа инструмента. В заключении сделан вывод о количестве возможных видах износа инструмента при точении. Информация, содержащаяся в статье, может быть применена в качестве методических указаний для предотвращения или снижения износа инструмента на металлообрабатывающем оборудовании.

Ключевые слова: *металлообработка, износ режущей кромки, твердосплавные пластины, предотвращение износа*

Цель исследования — определить возможные виды износа твердосплавных пластин, а также их количество во время выполнения операции «Точение». Задачи исследования: описание видов износа режущих кромок на твердосплавных пластинах; выявление причин; предложение способов предотвращения износа. В работе представлены виды наиболее распространенных износов режущей кромки на твердосплавных пластинах во время выполнения операции «Точение». Также будут указаны причины их появления и методы предотвращения износа.

Износ по задней поверхности. Повреждения на задней поверхности инструмента могут существенно ухудшить точность обработки, что может привести к выходу размеров за пределы допустимых значений, образованию проточин и возникновению сколов на режущей кромке. Основные причины износа включают высокую скорость резания и недостаточную износостойкость используемого инструмента. Кроме того, абразивный и химический износ также оказывают негативное воздействие на состояние режущей кромки. Для уменьшения этого износа рекомендуется снизить скорость резания и выбрать более износостойкие материалы, такие как сплавы с покрытием Al_2O_3. Также предпочтительно использовать сплавы без вольфрама или инструменты с меньшим углом в плане, особенно при обработке упрочненных материалов, что может способствовать увеличению срока службы инструмента и повышению качества обработки [1].

Лункообразование. Лункообразование на твердосплавных пластинах при точении представляет собой образование воронковидных выемок на поверхности инструмента, вызванное износом и отслоением материала. Это явление

может быть вызвано высокими нагрузками, различными типами износа — абразивным, адгезивным и диффузионным, а также перегревом инструмента и недостаточной смазкой. Неправильные режимы резания также способствуют этому процессу. Лункообразование отрицательно сказывается на качестве обработки и может привести к необходимости частой замены пластины. Для минимизации риска его возникновения важно правильно подбирать режимы резания, обеспечивать эффективное охлаждение и смазку, а также выбирать твердосплавные материалы, соответствующие требованиям по свойствам.

Пластическая деформация. Процесс обработки материала твердосплавной пластины при резании включает в себя деформацию и срезание стружки. Под воздействием сил резания материал может претерпевать пластическое искажение, не разрываясь. В результате этого искажения возникают следы срезания, остаточные напряжения и изменения в структуре материала [2]. Для эффективного управления пластической деформацией на твердосплавных пластинах крайне важно правильно выбрать режущие параметры и инструменты, а также осуществлять контроль за процессом обработки. Это необходимо для обеспечения высокого качества обработки и предотвращения негативных последствий для инструмента, таких как его износ или повреждение. Правильный выбор режимов резания позволяет оптимизировать процесс, что способствует увеличению долговечности инструмента и улучшению качества обработанной поверхности.

Наростообразование. Процесс накопления отложений на рабочей поверхности твердосплавной пластины вызван трением и адгезией между инструментом и заготовкой, что приводит к образованию наростов. Эти наросты негативно сказываются на качестве обработанной поверхности, увеличивают износ инструмента и снижают точность обработки. Для предотвращения наростообразования необходимо обеспечить правильную смазку и охлаждение инструмента. Важно также выбрать соответствующий режим резания и регулярно очищать инструмент и заготовку от загрязнений, таких как масла и окалина. Поддержание чистоты и регулярная проверка состояния инструмента позволяют своевременно заменять его при необходимости, что способствует улучшению качества обработки и продлению срока службы.

Повреждение стружкой. Повреждение стружкой на твердосплавных пластинах во время точения возникает из-за негативного воздействия отходов резания на поверхность инструмента, что может привести к износу, сколам и другим дефектам. Причинами этого явления могут быть неправильно выбранные режимы резания, недостаточная жесткость станка, неадекватное охлаждение и смазка, а также низкое качество обрабатываемого материала. Чтобы предотвратить повреждение стружкой, необходимо корректно настраивать режимы резания, обеспечивать достаточное охлаждение и смазку инструмента, а также использовать качественные материалы и инструменты. Кроме того, регулярный мониторинг процесса резания и состояния поверхности инструмента играет важную роль в предотвращении повреждений и увеличении срока службы инструмента.

Выкрашивание. Явление образования окрашенных пятен или потемнений на поверхности инструмента после процесса обработки. Эти изменения цвета могут возникать из-за термических воздействий на поверхность инструмента, образования окислов или других химических реакций между материалом заготовки и инструмента. Выкрашивание может быть следствием перегрева, высокой скорости резания, недостаточного охлаждения или смазки, а также неправильно настроенных режимов обработки [3].

Важно правильно подбирать режимы резания, обеспечивать эффективное охлаждение и смазку инструмента, контролировать температуру резания и избегать перегрева. Требуется использовать качественные смазочно-охлаждающие жидкости и следить за состоянием инструмента, чтобы избежать выкрашивания и обеспечить более длительный срок службы инструмента.

Термотрещины. Термотрещины обычно располагаются перпендикулярно режущей кромке. Приводят к выкрашиванию кромки, ухудшают качество обработанной поверхности. Термотрещены — следствие динамической тепловой нагрузки при прерывистом резании из-за нестабильного терморежима. Необходимо использовать более прочную марку сплава с лучшим сопротивлением термическому удару. Охлаждение при обработке должно быть либо обильным и непрерывным, либо отсутствовать.

Поломка пластины. Данный вид износа на твердосплавных пластинах возникает в основном по причине слишком хрупкой марки твердого сплава, также оказывает немалое влияние превышенное усилие нагрузки на режущую кромку или геометрия пластины не обеспечивает достаточной прочности. Недостаточный размер пластины также может быть причиной ее поломки. Избежать возникновения данного дефекта можно: выбрав более прочную марку сплава; уменьшив подачу и/или глубину резания; выбрав более прочной геометрии (односторонняя пластина или пластина большей толщины или большего размера) [4].

Отслаивание (керамика). Отслаивание части материала пластины в результате обработки точением возникает из-за превышенных усилий резания. Требуется уменьшить подачу или выбрать более прочную марку сплава, или пластину с меньшей отрицательной фаской.

В результате проведенного исследования, можно сделать вывод о том, что существует всего девять основных видов износа режущей кромки на твердосплавных пластинах, которые могут возникнуть во время обработки материала точением. В работе представлены подробные описания к каждому из видов, а также приведены наиболее распространенные причины возникновения данных типов износов. Описаны эффективные методы устранения износов и способы снижения причиняемого вреда инструменту до допустимого. Следование этим методам, поможет избежать отклонения от необходимого квалитета точности в процессе обработки, а также предотвратит возможные будущие неисправности в процессе точения.

Литература

[1] Смирнов А.Н., Абабков Н.В. *Методы и средства контроля износа поверхностей деталей*. Кемерово, КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева, 2015, 231 с.

[2] Григорьев С.Н. *Методы повышения стойкости режущего инструмента*. Москва, Инновационное машиностроение, 2023, 368 с.

[3] усев А.В., Закураев В.В., Хадеев С.И. Обоснование возможности контроля процесса механической обработки. *Машиностроение — традиции и инновации. Всерос. молодеж. конф.: сб. тр*. Томск, Изд-во Томского политехнического университета, 2011, с. 195–198.

[4] Грубый С.В. *Физические закономерности процесса изнашивания твердосплавных и алмазных инструментов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013, 123 с.

Types and causes of wear of the cutting edge on carbide plates during turning

Remezov S.E. rse19km168@student.bmstu.ru

Malyshev E.N. malen@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This article describes in detail the main types of wear of cutting edges on carbide plates during material turning. The paper provides a detailed description and the main causes of each type of wear. Various effective methods are given to prevent or reduce the level of tool wear. In conclusion, it is concluded about the number of possible types of tool wear during turning. The information contained in the article can be used as methodological guidelines to prevent or reduce tool wear on metalworking equipment.

Keywords: *metalworking, cutting edge wear, carbide plates, causes of wear, prevention of wear*

УДК 621.792

Отработка технологического процесса сборки изделия «Редуктор коническо-цилиндрический двухступенчатый»

Захарова Маргарита Эдуардовна vin.m@bmstu.ru
Зиновьев Максим Юрьевич zinovevmyu@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрен вариант отработки конструкции редуктора на технологичность путем замены прессового метода сборки элементов изделия клеевым при осуществлении соединений «венец-ступица» и «вал-ступица». Выявлены основные особенности данного метода сборки. Осуществлена качественная оценка экономической эффективности представленного метода сборки с применением клеевых составов. Проведен расчет требуемой прочности на сдвиг для каждой пары соединений при использовании клеевых составов отечественных и импортных производителей. В результате проведенного исследования, выбран наилучший вариант для сборки рассмотренных элементов конструкции изделия.

Ключевые слова: *прессовое соединение, клеевое соединение, методика сборки зубчатых колес, клеевой состав, время отверждения, удельная прочность на сдвиг, эффективность соединения*

В данной работе рассматривается вариант отработки конструкции на технологичность путем замены прессового соединения на клеевое в изделии «Редуктор коническо-цилиндрический двухступенчатый». В ходе исследования были выделены основные преимущества применения технологии сборки с применением клеевых составов. Например, данный метод осуществления сборочных работ позволяет добиться надежного и прочного соединения различного рода материалов любой толщины, сократить трудоемкость производства узла за счет исключения сварочных, резьбонарезных и других видов работ. Благодаря высокой податливости, которой обладают клеевые составы на основе синтетических полимеров, можно осуществлять сборку широкого круга материалов (сталь, медь, пластик и др.). Применение данной методики позволяет добиться высокой точности сборки, обеспечить регулировку взаимного положения до времени «ручного отверждения». Клеевые составы обладают невысокой стоимостью, что позволяет им получить большее применение в области машиностроения [1, 2].

Использование традиционных методик сборки, таких как прессование, обладает рядом недостатков в сравнении с применением клеевых составов: сложность разборки и возможность повреждения посадочных поверхностей, использование специального прессового оборудования, а также необходимость создания наименьших внутренних напряжений при отливке ступиц из чугуна [2].

В качестве объекта исследования в данной работе был выбран редуктор коническо-цилиндрический двухступенчатый, который применяется для ра-

боты с механизмами с повторно кратковременным режимом нагрузки. В данном агрегате уделено отдельное внимание соединениям тихоходной ступени: ступица-венец и составное зубчатое колесо-вал.

В работе проведен анализ клеевых составов отечественного и зарубежного производства, а также был рассчитан диапазон применимости данной продукции. В ходе исследования были выделены критерии, которые предъявляются к клеевым составам: а) клеевой состав должен быть устойчивым к перепадам температур от +20 до +80 °С и иметь высокую теплостойкость, равной +150 °С (кратковременно), чтобы сохранять химические и физические свойства при длительной эксплуатации; б) состав должен обеспечивать необходимую прочность соединения, равную или превышающую остальные методики (10–20 кН); в) иметь наименьшее время отверждения среди рассматриваемых вариантов составов.

Из зарубежных производителей была рассмотрена линейка Loctite, среди которой были выделены три композиции: 603, 641 и 660. Рассмотренные составы обладают требуемой прочностью на сдвиг и высокой теплостойкостью. Анализ характеристик показал, что клей Loctite 660 имеет лучшие показатели среди рассмотренных вариантов. Время отверждения у данной композиции составляет 60 минут, в то время как у Loctite 641 и Loctite 603 — 180 минут. Поэтому был выбран клей Loctite 660 [3, 4].

Из рассматриваемой продукции отечественного производства были выделены: Анатерм-103 и Анатерм-112, которые соответствуют требуемым показателям прочности на сдвиг и теплостойкости. Сравнив характеристики с необходимыми, было отмечено, что диапазон клея «Анатерм-112» значительно больше требуемого и обеспечивает хорошую термостойкость. У клеевого состава «Анатрем-103» диапазон рабочих температур меньше, но он все равно соответствует требованиям и имеет достаточную термостойкость.

Проведенный расчет затрат на внедрение клеевых составов в качестве элемента соединения деталей показал, что для обеспечения всех соединений требуется 2,497 мл клея. Объем клея для склеивания всей партии деталей составляет 4994 мл. Если использовать состав Loctite 660, то потребуется 20 штук продукции (цена за экземпляр — 5549,86 рублей), а если выбрать Анатерм-112, то нужно купить 10 штук продукции (цена за экземпляр — 8800 рублей).

Для замены прессовой сборки на клеевую технологию было решено использовать состав «Анатерм-112». Этот отечественный продукт превосходит немецкий аналог по прочности и времени ручного отверждения при высоких температурах, а также требует меньших затрат. Стоит также отметить, что в условиях современного рынка приобретение клеевых составов производства ФГУП «НИИ Полимеров» более доступно, нежели продукт зарубежного изготовления.

Литература

[1] Винокурова М.Э., Коновалов Д.П. Замена посадки с натягом клеевым соединением в технологическом процессе сборки редуктора. *Главный механик*, 2018, № 12, с. 40–46

[2] Захарова М.Э., Зиновьев М.Ю. Разработка классификации методов сборки составных зубчатых колес в зависимости от условий работы агрегата. *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2024, № 9, с. 391–395.

[3] Иосилевич Г.Б. *Детали машин*. Москва, Машиностроение, 1988, 368 с.

[4] Иванов А.С., Муркин С.В. *Конструирование современных мотор-редукторов*. Москва, Машиностроение, 2012, 147 с.

Testing of the technological process of assembly of the product “Conical-cylindrical two-stage gear”

Zakharova M.E. vin.m@bmstu.ru

Zinoviev M.Y. zinovevmyu@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

A variant of testing the gearbox design for manufacturability by replacing the pressing method of assembling the product elements with glue when making the crown-hub and shaft-hub connections is considered. The main features of this assembly method are revealed. A qualitative assessment of the economic efficiency of the presented assembly method using adhesive compounds has been carried out. The calculation of the required shear strength for each pair of joints was carried out when using adhesives from domestic and imported manufacturers. As a result of the conducted research, the best option for assembling the considered product design elements was selected.

Keywords: *press joint, adhesive joint, method of assembly of gears, glue composition, curing time, specific shear strength, joint efficiency*

УДК 621.792

Отработка конструкции центробежного насоса на технологичность путем внедрения клеевых соединений в технологический процесс сборки энергетической установки

Захарова Маргарита Эдуардовна vin.m@bmstu.ru
Гулидов Дмитрий Сергеевич dimka3845@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрена возможность замены традиционных методов сборки вала и лопастного колеса в энергетической установке на клеевые соединения. Основное внимание уделено анализу преимуществ клеевых технологий, таких как повышение технологичности соединения, улучшение прочности, снижение трудоемкости и затрат на производство, а также возможности автоматизации технологического процесса сборки. В ходе работы были изучены различные клеевые составы, включая зарубежные — Loctite и отечественные НИИ Полимеров, проведен расчет прочности получаемых соединений.

Ключевые слова: *клеевое соединение, анаэробный клеевой состав, прочность на сдвиг, энергетическая установка, технологический процесс, центробежный насос*

В работе рассматривается вариант отработки конструкции центробежного насоса на технологичность путем замены традиционных методов сборки в элементах данной энергетической установки на клеевые соединения. Уделено внимание преимуществам клеевых технологий по сравнению с традиционными методами, такими как шпоночные соединения и соединения с натягом. Эти методы требуют высокоточного оборудования, усложняют процесс сборки и снижают прочность конструкции [1]. Применение клеевых технологий позволяет повысить технологичность процесса, улучшить прочность соединений, а также снизить трудоемкость и затраты на производство. Клеевые соединения также способствуют полной или частичной автоматизации процесса, что особенно актуально для серийного производства [2].

Традиционные методы сталкиваются с проблемами механической прочности и герметичности соединений. Шпоночные пазы ослабляют конструкцию вала наличием выреза, в результате которого момент сопротивления сечения падает, а соединения с натягом требуют изготовления размеров с высокой точностью и диктуют необходимость применения прессового оборудования, что затрудняет автоматизацию. Клеевые соединения, напротив, обеспечивают герметичность конструкции, не ослабляя ее, не требуют дополнительных затрат на оборудование, что снижает затраты на производство в целом и делает процесс более гибким.

Основная цель данной работы заключается в замене шпоночного соединения и соединения с натягом между валом и лопастным колесом центробежного насоса на клеевое соединение. В ходе работы также проводится от-

работка технологичности этого решения. Такой подход позволит повысить качество сборки, увеличить объемы производства, упростить процессы автоматизации и улучшить ремонтопригодность оборудования

В качестве энергетической установки рассматриваются центробежные насосы, применяемые для перекачивания жидкостей. В данном агрегате внимание уделено соединению лопастного колеса и вала [3].

При анализе конструкции центробежных насосов было выяснено, что основные диаметры применяемых приводных валов в данных насосах варьируются от 15 до 50 мм [3]. Именно в данном диапазоне диаметров валов центробежных насосов будет изучаться возможность замены традиционных соединений на клеевое. Рассматривая температурные возможности данных агрегатов, было выяснено, что они работают с жидкостями в диапазоне температур от –40 до +150 °С. Однако для специальных моделей, предназначенных для агрессивных или высокотемпературных сред, этот диапазон может быть расширен до +250 °С и выше. В данной работе, ограничимся диапазоном от –40 до +150 °С [3, 4].

Конструкция узла прошла отработку на технологичность, что отражено в расчетной части исследования.

Проведен анализ клеевых составов, как зарубежных, так и отечественных производителей с целью выявления оптимального варианта для данного изделия. Среди зарубежных продуктов рассмотрены клеевые композиции: Loctite 641, 603 и 620, которые показали достаточную прочность и устойчивость к высоким температурам, характерным для работы рассмотренных энергетических установок [5–7].

Среди отечественных производителей были выделены составы: Унигерм-7, Анатерм-112 и Анатерм-17, соответствующие высоким требованиям прочности и надежности. Состав Унигерм-7 выделяется благодаря высокой прочности на сдвиг и оптимальному времени отверждения, что позволяет корректировать положение соединяемых деталей до завершения процесса отверждения. В тоже время состав Анатерм-112 отличается высокой температурной устойчивостью и прочностью, что делает его подходящим для различных промышленных задач [8, 9].

На основании проведенных исследований, расчетов прочности и анализа характеристик клеевых составов было принято решение в пользу состава Унигерм-7, который отвечает требованиям надежности и экономической эффективности. Это поддерживает курс на импортозамещение, снижая зависимость от зарубежных поставщиков, обеспечивая стабильность производства.

В результате проведенного исследования было установлено, что применение клеевых технологий существенно повышает качество конструкции, упрощает технологический процесс сборки изделия, что особенно важно для таких энергетических установок, как центробежные насосы. Такой вариант отработки конструкции на технологичность, позволит автоматизировать технологический процесс сборки, снизить затраты и повысить надежность конечной продукции.

Литература

[1] Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. *Гидравлика, гидромашины и гидроприводы.* Москва, Машиностроение, 1982, 368 с.

[2] Винокурова М.Э. *Сборка регулируемых цилиндрических клеевых соединений*. Дис. … канд. техн. наук. Москва, 2017, 133 с.

[3] Захарова М.Э., Гулидов Д.С. Разработка классификации лопастных колес центробежных насосов в зависимости от условий работы агрегата. *Главный механик,* 2024, № 4, с. 53–62.

[4] *Онлайн-каталог торговой марки Pedrollo с возможностью подбора центробежных насосов*. URL: https://pd-shop.ru/nasos-centrobezhnyj-pedrollo-ngam-1a (дата обращения 28.09.2024).

[5] Barbeau W.H., Cocco J., Cowdrey S., Eyles S.K., Ferguson C., Fleischmann W., Forgach A., Garnich F., Heaton J., Lennox A.F., Mayr W., Neumayer R., McNickle J., Nolan D.A., Perkins J.G. *Loctite.* Hartford Square North, Hartford, 2006, 460 c.

[6] *Онлайн-каталог торговой марки LOCTITE*. URL: https://loctite-x.litmoseu.com/home/dashboard (дата обращения 28.09.2024).

[7] *Сайт торговой марки LOCTITE.* URL: http://www.loctite.ru/product-search-3772.htm (дата обращения 20.04.2019).

[8] *Сайт ФГУП «НИИ Полимеров».* URL: http://www.nicp.ru (дата обращения 23.04.2019).

[9] *Онлайн-каталог клеевой продукции*. URL: http://www.nicp.ru/ru/52/kley/ (дата обращения 23.04.2019).

Refinement of the centrifugal pump design for manufacturability by introducing adhesive joints into the assembly process of the power unit

Zakharova M.E. vin.m@bmstu.ru

Gulidov D.S. dimka3845@gmail.com

BMSTU, Moscow, Russia

This paper examines the possibility of replacing traditional methods for assembling the shaft and impeller of a power unit with adhesive bonding. The focus is on analyzing the advantages of adhesive technologies, such as increased manufacturability of the joint, improved strength, reduced labor intensity and production costs, as well as the potential for automating the assembly process. Various adhesive compositions were studied, including foreign brands like Loctite and domestic ones from the Polymer Research Institute (NII Polymers). The strength of the resulting joints was calculated.

Keywords: *adhesive bonding, anaerobic adhesive composition, shear strength, power unit, technological process, import substitution, centrifugal pump*

УДК 621:658.511:721.012.1:004.02

Выбор метода оптимизации компоновочного плана машиностроительного производства в зависимости от размерности задачи

Прилипский Кирилл Владимирович kvprilipskiy@bmstu.ru
Рижская Дарья Дмитриевна rizhskayadd@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Изучены различные методы оптимизации компоновочных планов машиностроительных производств. Выделен главный критерий оценки оптимальности компоновочного плана — суммарная величина мощности грузопотоков между подразделениями машиностроительного производства. Основное внимание уделено сравнительной характеристике методов, областям их применения, преимуществам и недостаткам. В ходе работы были рассмотрены эвристические и эволюционные методы оптимизации компоновочных решений, приведены алгоритмы их работы и рекомендации по применению различных методов.

Ключевые слова: *компоновочный план, мощность грузопотока, машиностроительное производство, производственные здания, минимизация затрат на производство, методы оптимизации*

В работе приводится обзор основных методов оптимизации компоновочных планов машиностроительных производств. Оптимизация компоновочных планов необходима для сокращения производственного цикла, снижения загруженности транспортных систем на производстве и для повышения эффективности использования производственных мощностей и площадей. Это достигается благодаря сокращению расходов на приобретение и обслуживание транспортных средств, а также расходов на заработную плату вспомогательных рабочих.

Для получения или улучшения компоновочного плана производства существуют различные алгоритмы оптимизации, использующие разные принципы и позволяющие с наименьшими трудозатратами и в короткие сроки получить оптимальное компоновочное решение производства с учетом одного или множества критериев оценки.

В качестве главного критерия оценки оптимальности была выбрана суммарная величина мощности грузопотоков на производстве. Она удобна для оценки, поскольку является конкретной вычисляемой величиной и отражает интенсивность движения материалов на предприятии, состояние логистики и загруженность транспортных систем.

Целью данной — изучение ключевых методов оптимизации компоновочных планов производства и их сравнение для выбора наиболее эффективного метода в конкретных условиях. В работе рассматривается два вида методов оптимизации: эвристические и эволюционные.

Эвристические методы не всегда математически обоснованы, но в большинстве задач выдают оптимальное решение [1]. Эти методы основаны на логике и опыте, благодаря чему сужается пространство для поиска решений. Они работают при большом числе возможных комбинаций подразделений. К числу эвристических методов относятся: CORELAP (COmputerized RElationship LAyout Planning), ALDEP (Automated Layout DEsign Program), SHAPE (Selection of materials Handling equipment and Area Placement Evaluation), CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique), MCCRAFT (Modified Computerized Relative Allocation of Facilities Technique), COFAD (COmputerized FAcilities Design) и MULTIPLE (Multi-Level Technique for Placement Evaluation). Они обладают разным уровнем детализации, работают с разным количеством критериев оценки и, соответственно, обладают разными областями применения.

CRAFT, ALDEP, CORELAP и SHAPE используют более простые алгоритмы и чаще всего способны оценивать оптимальность компоновочного решения по одному критерию (например, по величине мощности грузопотоков), не учитывая другие важные требования (безопасность на производстве, доступ к оборудованию, стоимость транспортировки и т. д.) [2]. Поэтому эти методы подходят для задач небольшой размерности, т. е. небольших производств с простыми связями между участками.

В методах MCCRAFT, MULTIPLE и COFAD устранены многие недостатки предыдущих методов, поэтому они подходят для составления компоновочных планов крупных машиностроительных производств, предприятий с высоким уровнем автоматизации и большим количеством факторов, которые необходимо учитывать [3].

В основе эволюционных методов лежат законы биологии. Изначально fлгоритм создает случайный набор возможных компоновочных решений производства, которые служат базой для дальнейших преобразований. Путем множественных мутаций, клонирований, кроссинговеров (скрещиваний) и селекций алгоритм приходит к оптимальному компоновочному решению [1, 4].

К эволюционным методам относятся: эволюционные стратегии (Evolutionary Strategies (ES)), генетические алгоритмы (Genetic Algorithm (GA)), метод дифференциальной эволюции (Differential Evolution (DE)) и метод искусственной иммунной системы (Artificial Immune System (AIS)). Их основное отличие друг от друга — преобладающий «генетический оператор». Для GA таким оператором является кроссинговер, для ES — мутация, и т. д. Это определяет гибкость метода и область его применения.

Исследование показало, что эволюционные методы (DE, AIS, GA, ES) более применимы к задачам с большим количеством подразделений, взаимосвязей и критериев оценки, а классические эвристические методы (например, CRAFT, SHAPE, ALDEP, CORELAP) лучше работают с задачами малой размерности.

Данное исследование предоставляет рекомендации для выбора методов оптимизации компоновочных планов производства в зависимости от количества подразделений и взаимосвязей между ними.

Литература

[1] Мицель А.А. *Эвристические методы оптимизации*. Томск, ТУСУР, 2024, 82 с.

[2] Tompkins J.A. An applied model for the facilities design problem. *International journal of production research*, 1976, no. 14, pp. 7519–7520.

[3] Narayanan V., Pillai R.R., Surendran A. Development of a suitable plant layout using computerised relative allocation of facility techniques. *International journal of recent technology and engineering*, 2019, vol. 8, no. 2, pp. 4958–4962.

[4] Abdoun O., Tajani C., Abouchabaka J. Analyzing the performance of mutation operators to solve the traveling salesman problem. *International Journal of Emerging Sciences*, 2012, vol. 2, no. 1, pp. 61–77.

Selection of the Optimization Method for Mechanical Engineering Production Layout Planning Based on Problem Dimensionality

Prilipskiy K.V. kvprilipskiy@bmstu.ru

Rizhskaya D.D. rizhskayadd@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

The study examines various methods for optimizing layout plans in mechanical engineering production. The main criterion for assessing the optimality of a layout plan — the cargo flow capacity in production — is highlighted. Primary attention is given to the comparative characteristics of these methods, their areas of application, advantages, and disadvantages. Both heuristic and evolutionary optimization methods were reviewed, with their working algorithms provided and recommendations given on the application of different methods.

Keywords: *layout plan, cargo flow capacity, mechanical engineering production, industrial buildings, minimization of production costs, optimization methods*

Секция 2. Технологии и машины сварочного производства

УДК 621.791

Способы повышения твердости и коррозионной стойкости металла, наплавленного на зубья ковша

Орлик Антон Геннадьевич a.g.orlik@yandex.ru
Орлик Геннадий Владимирович g.v.orlik@yandex.ru
Иванов Евгений Иванович ivanovei01@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Представлены результаты исследований микроструктуры покрытия, наплавленного на поверхность зубьев ковша. В металле могут образовываются различные структуры, такие как феррит, аустенит, мартенсит, по-разному влияющие на коррозионную стойкость конструкции. Показано, что для повышения прочности наплавленного покрытия количеством феррита необходимо управлять. Одним из способов уменьшения содержания феррита является легирование никелем. Легирование данным материалом позволяет получать в структуре металла метастабильный аустенит, который увеличивает стойкость покрытия к гидроабразивным воздействиям. Другим методом является отпуск при температуре 600–700 °С. Содержание феррита после отпуска уменьшается на 8–10 %, вследствие чего износостойкость покрытия увеличивается.

Ключевые слова: *прочность, абразивный износ, наплавка, легирование, долговечность, коррозионная стойкость, износостойкость*

В современном машиностроении детали землеройных машин подвергаются значительным нагрузкам и гидроабразивному износу, что приводит к необходимости их восстановления и упрочнения. Объектом данного исследования являются непосредственно рабочие органы ковшей, плунжеров, шнеков, которые играют ключевую роль в обеспечении надежности и долговечности оборудования. В условиях постоянного роста требований к производительности и эффективности машин, актуальность темы восстановления и упрочнения деталей становится особенно значимой.

Восстановление деталей является технически обоснованным и экономическим оправданным мероприятием, поскольку позволяет сокращать время простоя, повышать качество технического обслуживания и положительно влиять на улучшение показателей надежности машин. Существуют различные способы восстановления и упрочнения деталей, основными из которых являются: наплавка, механическая и слесарная обработка, сварка, хромирование и т. д. Среди данных способов наибольший интерес представляет наплавка. На основе анализа данных доля деталей, восстанавливаемых данным методом, достигает 41,4 % [1].

Особое внимание в процессе наплавки отводится к свойствам и микроструктуре полученного слоя. Покрытие должно обеспечивать высокую износостойкость, твердость и прочность детали, по причине использования детали

в агрессивных средах, способствующих интенсивному разрушению. Анализ литературных источников показывает, что существует большое количество работ, которые исследуют способы повышения данных характеристик за счет применения различных механизмов упрочнения поверхностей. В работах Еремина Е.Н., Шевелева Т.А., Филиппова Ю.О., Лосева А.С., Бородихина С.А., Маталасова А.Е. рассматривается исследование структуры и твердости металла, наплавленного на зубья ковша экскаватора [2].

Для изготовления зубчатых пластин ковша используются низколегированные конструкционные стали, такие как 10ХСНД, 09Г2С легированные кремнием, хромом, марганцем, никелем, медью, способствующие защите детали от коррозии.

Суть статьи заключается в исследовании микроструктуры металла, наплавленного проволокой ПП-АН3 и электродами Т-620. На основе полученных данных, предлагаются методы по повышению прочности и коррозионной стойкости деталей [3].

Для восстановления зубьев рекомендуется ручная дуговая наплавка электродами марки Т-620. Однако производительность данного метода низкая — 1,5 кг наплавленного металла в час. Более приемлемой технологий в данном случае является полуавтоматическая наплавка самозащитной порошковой проволокой ПП-АН3. Наплавка на зубья осуществляется в один или два прохода, с режимами: ток 300–340 А, напряжение 32–34 В, скорость подачи проволоки 80 м/час. Микроструктура этих слоев при этом идентична, состоит из карбидных выделений и α-твердого раствора, а также аустенита 10 %, который незначительно снижает прочность [3]. При влажном или сухом трении аустенит полностью превращается в мартенсит деформации, повышая этим прочность изделия. Также характерна структурная неоднородность, за счет самоотпуска образуется ферритно-цементитные структуры, обладающие низким сопротивлением к разрушению. Чтобы снизить влияние феррита, автор предлагает пути решения данной проблемы. Одним из вариантов является легирование наплавленного слоя никелем (4–6 %). Легирование никелем способствует появлению в структуре метастабильного аустенита, которые повышает коррозионную стойкость. Помимо этого, в структуре присутствуют сложнолегированные карбиды типа: $(CrFe)_{23}C_6$, MeC, значительно упрочняющие зубья. В результате твердость по шкале HRC после легирования увеличилась с 64 до 67 [4].

Структура, полученная полуавтоматической наплавкой, значительно отличается от структуры электродами Т-620, формой, размерами и количеством аустенита и феррита. Микроструктура состоит из среднеигольчатого мартенсита 35 %. В структуре также присутствует феррит 19 %. В зоне термического влияния образуется небольшое количество аустенита. При большом содержании феррита (более 15 %) твердость наплавленного слоя уменьшается. Одним из вариантов снижения процентного содержания феррита является отпуск детали после наплавки. Результаты показывают, что распад феррита начинается при температуре 600–700 °С. Содержание феррита уменьшается

8–10 %, вследствие чего износостойкость наплавленного слоя увеличивается. Таким образом, после отпуска твердость металла по шкале HRC составляет HRC 65 [5].

Таким образом, на основе анализа микроструктуры металла, можно сделать выводы о его долговечности. Наплавленный слой может содержать различные включения, такие как феррит, негативно влияющие влияют на прочность и коррозионную стойкость изделия. Снижение коррозионной стойкости значительно уменьшает срок эксплуатации изделия, а значит требует больших капиталовложений. В некоторых случаях целесообразно проводить дополнительные мероприятия по упрочнению наплавленного слоя. Для повышения вышеперечисленных характеристик металла в статье были предложены следующие способы: легирование наплавленного слоя никелем (4–6 %), способствующего повышению сопротивления к коррозионной стойкости. В результате легирования образуется метастабильный аустенит, повышающий прочностные характеристики. Также помимо легирования, был рассмотрен отпуск детали после наплавки при температуре 600–700 °С способствующий распаду аустенита. При большом содержании аустенита в структуре (более 15 %) снижается прочность. В результате данных исследований прочность зубьев экскаватора по шкале HRC достигает 65–67, что является отличным показателем для работы в среде абразивного воздействия.

Литература

[1] Еремин Е.Н., Шевелева Т.А., Филиппов Ю.О., Лосев А.С., Бородихин С.А., Маталасова А.Е. Исследование структуры и твердости металла, наплавленного на зубья ковша. *Омский научный вестник*, 2015, № 1 (2), с. 30–33.

[2] Еремин Е.Н., Лосев А.С., Бородихин С.А. Порошковая проволока для наплавки коррозионностойкой и износостойкой стали. *Вестник машиностроения*, 2018, № 7, с. 66–68.

[3] Максимов А.Б., Гуляев М.В. Поверхностное упрочнение сталей для изделий шахтного оборудования. *Актуальные проблемы в машиностроении,* 2015, № 2, с. 370–374.

[4] Ковалев А.А., Красько А.С. Влияние параметров газотермического напыления на прочность сцепления функциональных стойких покрытий. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2021, № 3, с. 31–39.

[5] Артемьев А.А., Соколов Г.Н., Дубцов Ю.Н., Лысак В.И. Формирование композиционной структуры износостойкого наплавленного металла с боридным упрочнением. *Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия*, 2011, № 2, с. 44–48.

Methods for increasing the hardness and corrosion resistance of metal deposited on the teeth of the bucket.

Orlik A.G. a.g.orlik@yandex.ru
Orlik G.V. g.v.orlik@yandex.ru
Ivanov E.I. ivanovei01@mail.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The paper considers the results of studies of the microstructure of the coating deposited on the surface of the bucket teeth. Various structures can form in the metal, such as ferrite, austenite, martensite, which affect the corrosion resistance of the structure in different ways. It is shown that to increase the strength of the deposited coating, the amount of ferrite must be controlled. One of the ways to reduce the ferrite content is nickel alloying. Alloying with this material makes it possible to obtain metastable austenite in the metal structure, which increases the resistance of the coating to waterjet effects. Another method is tempering at a temperature of 600–700 °C. The ferrite content decreases by 8–10 % after tempering, as a result, the wear resistance of the coating increases.

Keywords: *strength, abrasive wear, surfacing, alloying, durability, corrosion resistance, wear resistance*

УДК 621.791

Способы увеличения износостойкости деталей машин, полученных наплавкой

Орлик Антон Геннадьевич a.g.orlik@yandex.ru
Орлик Геннадий Владимирович g.v.orlik@yandex.ru
Манзюк Андрей Иванович andrey.manzuuk@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены различные способы повышения износостойкости деталей машин в условиях абразивного и биокоррозионного износа путем наплавки. Произведен анализ таких способов, как полуавтоматическая наплавка электродной проволокой в среде защитного газа, электродуговая наплавка с использованием наплавочной головки с механизмом колебания электрода кривошипно-шатунного типа в среде защитного газа, и электродуговая наплавка с использованием ультразвука в среде защитного газа, и сделан вывод о рациональности использования проволоки Св-08Г2С совместно с порошкообразным присадочным материалом с различным составом.

Ключевые слова: *ППМ, износостойкость, восстановительная наплавка, легирование, абразивный износ, восстановление поверхностей, долговечность*

Опыт эксплуатации машин и оборудования показал, что основной причиной потери работоспособности механизмов являются не механические поломки деталей, а их износ, приводящий машину в нерабочее состояние. Износу подвержены детали любого оборудования. Поэтому обеспечение износостойкости с целью поддержания долговечности изнашивающихся ответственных деталей машин — важная проблема машиностроения.

Чтобы обеспечить долговечность деталей, применяется ряд методов и материалов для повышения износостойкости. Одним из методов является наплавка. Она предусматривает нанесение расплавленного металла на оплавленную металлическую поверхность с последующей его кристаллизацией для создания слоя с заданными свойствами и геометрическими параметрами. В качестве материалов для наплавки используются специальные присадочные материалы, обеспечивающие более высокую износостойкость деталей машин, подвергающихся гидроабразивному, абразивному, коррозионному видам износа. Анализ литературных источников показывает, что над этим вопросом работает большое число авторов статей и книг представляя разные методы обеспечения повышенной износостойкости деталей машин с помощью применения наплавки для упрочнения поверхности.

Повышение износостойкости деталей машин с помощью материалов приводится в работе [1], где рассматривается полуавтоматическая наплавка электродной сварочной проволокой Св-08Г2С в среде защитного газа.

Авторы ставят перед собой цель — повысить эксплуатационные свойства деталей машин с помощью совмещения со сварочной проволокой порошко-

образного присадочного материала (ППМ). В результате проведенных опытов выяснилось, что благодаря ППМ, включающему механическую смесь на основе железа и никеля в процентном содержании 70–75 % к 30–25 % соответственно, обеспечивается повышенная износостойкость к абразивному износу, но слабое противостояние биокоррозионному износу. Проведя анализ химического состава сварочной проволоки Св-08Г2С и ППМ самофлюсующегося сплава ПГ-СР, была доказана эффективность против абразивного и биокоррозионного износа при массовом соотношении проволоки и ППМ 60 к 40 % соответственно. Наличие боридов, силицидов и карбоборидов обеспечивает твердость 51–55 HRC, медная компонента блокирует биокоррозию, а смесь алюминия повышает стойкость к наводороживанию поверхности [2]. Эксперименты показали, что применение данной смеси позволяет снизить в 1,7–1,9 раз интенсивность изнашивания деталей машин и обеспечивает 6–7 класс износостойкости.

Другим примером повышения износостойкости деталей машин является работа [3], где рассматривается влияние способа сварки на износостойкость посредством воздействия на каплеперенос расплавленного электродного металла. Авторы считают, что каплеперенос влияет на износостойкость деталей машин с помощью изменения качества шва, что для получения качественной поверхности необходимо обеспечивать капельный перенос металла снижением размеров капель по мере увеличения силы тока. При электродуговой наплавке в смеси защитных газов электродной проволокой сплошного сечения диаметром 1,6 мм и скоростью подачи 11 м/мин происходит струйный перенос, а при диаметре 1,2 мм и скорости подачи 50 м/мин и силе тока до 500 А происходит струйно-вращательный каплеперенос. Авторы считают, что если добавить поперечные колебания при наплавке, то это сильно увеличит производительность и изменит форму и структуру наплавленного слоя: ширина увеличится, а длина уменьшится. Наплавленный слой состоит из дендритов, которые расположены перпендикулярно к линии оплавления основного металла. Аустенитные зерна являются основой для растущих дендритов, из-за этого размеры и число дендритов определяются количеством и величиной этих зерен. Если уменьшить длину слоя жидкого металла с помощью поперечных колебаний, то это снизит пребывание в зоне перегрева, и, следовательно, способствует образованию мелкозернистой структуры наплавленного металла, что, в свою очередь, способствует созданию более прочной и износостойкой поверхности [4]. Поперечные колебания сейчас можно получить с помощью механических и пневматических колебательных механизмов, а именно наплавочные головки с механизмом колебания электрода кривошипно-шатунного типа. Плюсы данного метода: надежность, простота и удобство. Минусом является то, что мгновенная погонная энергия соответствует крайнему положению электрода, а наименьшая — среднему, что уменьшает глубину проплавления. Чтобы решить данную проблему авторы использовали электродуговую наплавку с использованием ультразвука. Этот метод способствует формированию однородной мелкозернистой струк-

туры и позволяет одновременно легировать наплавляемый слой путем вдувания порошкообразного материала под оболочку защитного газа [5]. Проведя сравнение между этими двумя способами, авторы пришли к выводу, что твердость наплавленной поверхности с использованием УЗК выше на 1,3 чем без применения УЗК, зернистость, плотность и качество слоя также выше и практически отсутствует граница раздела слоев. ППМ частицы под воздействием УЗК равномерно распределяются в объеме и образуют композитный сплав вроде механической смеси с различными свойствами: износостойкими, абразивными, коррозионостойкими и др. Благодаря этому износостойкость увеличивается в 1,5–1,7 раз.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что применение разных способов наплавки различными материалами, позволяет не только повышать износостойкость изделия, но и увеличивать производительность и качество шва, путем изменения его структуры.

Для повышения долговечности деталей, работающих в условиях абразивного износа рационально легировать наплавленный слой с помощью ППМ, в состав которого могут входить такие элементы, как Ni, Al, Fe, B, Mn, Cr, Si, благодаря которым увеличивается количество упрочняющих фаз из-за формирования гетерофазного строения покрытия.

Литература

[1] Кураш В.В., Кудина А.В., Антонишин Ю.Т., Кривицкий А.В. Исследование интенсивности изнашивания нового состава износо-коррозионностойкого металлопокрытия для триботоверхностей деталей машин. *Агропанорама*, 2012, № 5, с. 13–17.

[2] Лебедев М.П., Болотина Н.П. Способ получения покрытий из самофлюсующихся порошковых материалов на изделиях из железоуглеродистых сплавов. Патент № 2112815 РФ, 1997, 5 с.

[3] Спиридонов Н.В., Кудина А.В., Кураш В.В. Электродуговая наплавка металлоповерхностей колеблющимся электродом в среде защитного газа. *Машиностроение и машиноведение*, 2013, с. 1–8. эту статью нашла в другом журнале https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tjxkyj, так?

[4] Мантурови Д.С. Повышение износостойкости металлических и металлополимерных трибосистем путем формирования структуры и свойств их поверхностного слоя. Дис. … канд. техн. наук, 2020, 160 с.

[5] Шуляковский О.Б., Шевелкин В.И., Булатов В.П. Способ наплавки изделий износостойкими материалами. Патент № 2109610 РФ, 1998, 6 с.

Ways to increase the wear resistance of machine parts obtained by surfacing

Orlik A.G. a.g.orlik@yandex.ru
Orlik G.V. g.v.orlik@yandex.ru
Manzyuk A.I. andrey.manzuuk@gmail.com

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The paper discusses various ways to increase the wear resistance of machine parts in conditions of abrasive and biocorrosive wear by surfacing. The analysis of such methods as semi-automatic welding with an electrode wire in a protective gas environment, electric arc welding using a welding head with a crank-rod type electrode oscillation mechanism in a protective gas environment, and electric arc welding using ultrasound in a protective gas environment, and a conclusion was made about the rationality of using the Sv-08G2C wire together with a powdered additive material with a different composition.

Keywords: *PPM, wear resistance, restorative surfacing, alloying, abrasive wear, surface restoration, durability*

УДК 621.7

Особенности постобработки в аддитивном производстве металлических изделий

Труханов Константин Юрьевич konstantin.truhanov@yandex.ru
Титов Дмитрий Дмитриевич titov.dmitry02@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Выполнен обзор применения аддитивных технологий, таких как селективное лазерное сплавление и электродуговое выращивание. Проведен всесторонний анализ и сравнительная оценка этих технологий, а также их ключевых преимуществ и недостатков. Описаны различные методы и приемы постобработки изделий, изготовленных с использованием данных технологий. На основе проведенного исследования сделан вывод о целесообразности применения технологий изготовления и последующей постобработки в зависимости от конкретного типа изделия, что позволяет оптимально выбирать подходящий метод в зависимости от требований к продукту.

Ключевые слова: *аддитивное производство, селективное лазерное сплавление, электродуговое выращивание, постобработка, качество поверхности*

В современном производстве внедрение передовых технологий играет решающую роль в достижении эффективности и внедрения инноваций [1]. Изготовление деталей с помощью методов селективного лазерного сплавления (Selective Laser Melting, SLM) и электродугового выращивания (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) представляет собой новаторские подходы, которые трансформируют производственные процессы.

Технология SLM (селективное лазерное сплавление) использует лазерный луч для плавления слоев металлического порошка. Это обеспечивает создание изделий с высокой точностью и минимальным количеством отходов, что делает метод особенно привлекательным для производства сложных геометрий и мелких деталей [2]. С другой стороны, технология WAAM (электродуговое выращивание) применяет дуговой разряд для плавления проволочного присадочного материала. Этот подход позволяет значительно ускорить процесс изготовления крупных изделий с увеличенной производительностью, что делает его оптимальным для массового производства [3].

Важным этапом аддитивного производства является постобработка. Она используется для обработки изделия и получения требуемого уровня свойств, качества поверхности и точности размеров.

Для постобработки изделий полученных SLM методом применяют следующие операции:

– удаление лишнего порошка — производится струей сжатого воздуха, могут применяться вибростолы или электростатические методы;

– термообработка — служит для снятия внутренних напряжений, уменьшения пористости и микротрещин. Термообработка изделий, изготовленных

методом SLM, часто проводится без снятия с подложки и удаления опорных структур по нескольким причинам — предотвращение коробления и деформации, равномерный нагрев, уменьшение риска повреждений;

– удаление поддержек — поддержки могут быть отрезаны на специализированном оборудовании. Изделия, полученные методом SLM, имеют очень тонкую и хрупкую структуру, с высокой плотностью и минимальным количеством остаточных напряжений. Поддержки в SLM часто интегрированы в саму деталь, имеют сложную форму и часто невозможно удалить их без повреждения самой детали. Поэтому, агрессивные методы механической обработки, используемые в WAAM, здесь неприемлемы. Зачистка поверхности после SLM печати часто проводится с помощью обработки пескоструйной струей, химическим травлением, лазерной обработкой;

– нанесение покрытий — химическое травление, плазменная обработка. Данные мероприятия необходимы для улучшения свойств поверхности детали.

Постобработка изделий, полученных методом WAAM, значительно отличается от постобработки изделий, созданных методом SLM, из-за различий в процессах производства. В случае WAAM основное внимание уделяется удалению избыточного материала, улучшению качества поверхности и достижению необходимых механических свойств [4]. Этапы постобработки могут варьироваться в зависимости от используемого материала, геометрии детали и требуемых свойств, но в целом они включают механическую обработку, такие как шлифовка и фрезерование, а также термообработку для улучшения структуры материалов. Эти этапы обеспечивают высокую точность и необходимые характеристики готовых изделий, создавая возможность их дальнейшего применения в различных отраслях.

Этапы обработки изделий, полученных методом WAAM, включают в себя следующие стадии:

– удаление поддерживающих конструкций — механическое удаление (абразивный инструмент, фрезы) или разрушающее удаление (вибрация). Изделия, полученные методом WAAM, имеют более грубую поверхность с отчетливыми следами сварных слоев. Они менее хрупкие, чем изделия SLM, и обладают большей прочностью. Поддержки в WAAM часто проще по конструкции и легче удаляются;

– зачистка поверхности — механическая обработка, абразивно-струйная обработка;

– термическая обработка — в основном используется для снятия внутренних напряжений, возникших в процессе выращивания;

– нанесение защитных покрытий — для повышения коррозионной стойкости, износостойкости или других свойств, может применяться гальванические или другие виды покрытия.

Для обработки скрытых поверхностей изделия может применяться чередующаяся с выращиванием промежуточная обработка. Однако результаты исследований показали отрицательнее влияние материалов и продуктов обработки на свойства конструкции [5].

Таким образом, можно сделать вывод, что постобработка изделий, изготовленных методом SLM и WAAM, имеет как сходства, так и различия, обусловленные спецификой самих технологий и свойствами получаемых материалов. В целом, для WAAM характерны бóльшая производительность, применение распространенных материалов, более доступное и дешевое оборудование, в том числе для постобработки. В сравнении с WAAM, технология SLM характеризуется высокой точность, но и большей стоимостью, как оборудования, так и материалов, необходимых для изготовления и постобработки изделий.

Литература

[1] Киричек А.В., Федонин О.Н., Хандожко А.В. Гибридные технологии и оборудование аддитивного синтеза изделий. *Наукоемкие технологии в машиностроении*, 2022, № 8 (134), с. 31–38. https://doi.org/10.30987/2223-4608-2022-8-31-38

[2] Кубанова А.Н., Сергеев А.Н., Добровольский Н.М. Особенности материалов и технологий аддитивного производства изделий. *Чебышевский сборник*, 2019, т. 20, № 3 (71), с. 453–477. https://doi.org/10.22405/2226-8383-2019-20-3-453-477

[3] Осколков А.А., Матвеев Е.В., Безукладников И.И. Передовые технологии аддитивного производства металлических изделий. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение*, 2018, т. 20, № 3, с. 90–105. https://doi.org/10.15593/2224-9877/2018.3.11

[4] Чуканов А.Н., Цой Е.В., Яковенко А.А. Формирование структурных дефектов SLM технологии. *Современные материалы, техника и технологии*, 2023, № 6 (51), с. 29–36.

[5] Шестакова Е.Б. *3D-печать: аддитивные технологии в строительстве*. Москва, Ай Пи Ар Медиа, 2022, 112 с.

Post-processing for metal products additive manufacturing

Trukhanov K.Y. konstantin.truhanov@yandex.ru
Titov D.D. titov.dmitry02@mail.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The application of additive technologies such as selective laser fusion and electric arc cultivation is reviewed. A comprehensive analysis and comparative assessment of these technologies, as well as their key advantages and disadvantages, has been carried out. Various methods and techniques of post-processing of products manufactured using these technologies are described. Based on the conducted research, it is concluded that it is advisable to use manufacturing technologies and subsequent post-processing, depending on the specific type of product, which makes it possible to optimally choose the appropriate method depending on the requirements for the product.

Keywords: *additive manufacturing, selective laser fusion, electric arc cultivation, post-treatment, surface quality*

УДК 621.791

Перспективы применения полуавтоматической лазерной сварки

Труханов Константин Юрьевич konstantin.truhanov@yandex.ru
Маханьков Денис Дмитриевич mahannkov@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрен процесс лазерной сварки, в том числе наиболее используемые типы лазеров, их концепция, области применения, а также преимущества и недостатки. Основное внимание сосредоточено на полуавтоматическом методе лазерной сварки, где обозреваются причины, по которым этот способ становится более популярным по сравнению с традиционной автоматической лазерной сваркой, анализируется принцип работы, используемый газ, присадочные материалы и области применения данного метода с перспективой развития в будущем.

Ключевые слова: *лазерная сварка, полуавтоматическая сварка, оборудование, перспектива использования*

Современные технологии предъявляют высокие требования к производственным процессам, что делает их непрерывное совершенствование необходимым условием для достижения максимальной эффективности и скорости работы. В условиях жесткой конкуренции компании стремятся оптимизировать свои процессы и внедрять инновации, что приводит к появлению новых методов и оборудования для обработки материалов. Одним из таких передовых решений является лазерная сварка. Этот метод не только обеспечивает высокую точность соединения, но и значительно ускоряет процесс обработки, что, в свою очередь, снижает затраты на производство. Лазерная сварка обладает множеством преимуществ как с технической, так и с экономической точки зрения, что делает ее привлекательной для различных отраслей промышленности.

Для производства широко используются два основных типа лазеров: твердотельный лазер, где в качестве активного элемента используется алюмоиттриевый гранат или рубиновый стержень, и газовый CO_2-лазер, где в роли активного элемента выступает газовая смесь $CO_2 + N_2 + He$ [1]. Твердотельные лазеры имеют невысокую мощность и применяются в основном в приборостроении и работе с небольшими деталями, в то время как газовые лазеры широко используются в машиностроении для изготовления точных деталей из листового металла, сварки кузовов автомобилей и производства высокопрочных деталей.

Исследования показали, что использование лазерной сварки имеет несколько ключевых преимуществ [2]. Среди них значится возможность работать с различными материалами, высокая скорость работы, минимальное воздействие на детали в виде нагрева и деформации, а также высокое качество сварных соединений. Благодаря взаимосвязанных между собой зеркал

и оптоволоконных соединений имеется возможность вести сварку в труднодоступных местах. Лазерная сварка считается более эффективным и чистым процессом по сравнению с другими методами сварки, так как не загрязняет материалы. Несмотря на то, что КПД лазеров не слишком высока, с развитием технологий минусы начинают терять свою значимость.

В последнее время полуавтоматическая лазерная сварка получила широкое распространение и признание в различных сферах производства. Это можно объяснить несколькими важными факторами. Во-первых, уменьшение габаритных размеров оборудования позволяет избежать жесткой привязки к стационарному типу устройств. Это значительно упрощает как транспортировку, так и перемещение самого оборудования на производственном участке, что особенно важно для динамично меняющихся условий работы. Во-вторых, полуавтоматическая сварка предоставляет возможность вести сварочный процесс в более удобном и эргономичном положении. Это является значительным преимуществом по сравнению с автоматической лазерной сваркой, при которой необходимо производить переналадку параметров при изменении условий работы. Кроме того, полуавтоматическое оборудование сохраняет определенную степень гибкости ручного управления, что делает его особенно ценным для решения сложных или изменяющихся сварочных задач. Это позволяет операторам адаптировать процесс под конкретные требования, что делает данный метод идеальным для использования на средних и крупных предприятиях, где может возникнуть необходимость в быстрой адаптации к новым условиям или спецификациям. Полуавтоматическая лазерная сварка объединяет в себе преимущества автоматизации и ручного управления, что позволяет достигать высоких результатов в производительности и качестве сварных соединений.

При проведении сварочного процесса важно определить необходимость применения присадочной проволоки, которая подается от сварочного пистолета непосредственно в зону свариваемой кромки. Это позволяет улучшить качество соединения и обеспечить его прочность. Защитный газ поступает из сопла лазерной головки, создавая защитную атмосферу вокруг сварочной зоны. Он играет ключевую роль в снижении негативного воздействия, связанного с окислением окружающей среды, а также предотвращает образование брызг и пористости в сварном шве.

Полуавтоматическая лазерная сварка представляет собой отличную альтернативу традиционным методам сварки, позволяя соединять разнообразные материалы, включая химически активные металлы, тугоплавкие металлы, а также магний, никель, титан, медь, алюминий, углеродистую сталь, низколегированную сталь, легированную сталь и конструкционную сталь [3].

Для повышения качества и эффективности лазерной сварки, а также для расширения ее области применения продолжаются исследования, направленные на улучшение лазерных источников с различными длинами волн и длительностью импульсов [4]. Разрабатываются многопроходные и многолучевые методы, гибридная сварка с использованием вставок и присадочных

материалов, а также осуществляется сканирование лазерного пучка по различным траекториям, что включает сварку разнородных и трудносвариваемых материалов, а также толстостенных соединений.

Литература

[1] Кончакова Л.Н., Рогозина М.А. Технология лазерной сварки. *Научный диалог: молодой ученый. Сб. науч. тр. по материалам XIII Междунар. науч. конф.* Международная Объединенная Академия Наук, 2018, ч. 1, с. 5–6.

[2] Якушев Е.Н., Кубышкин С.В., Кобзева Н.А. К вопросу о технологии лазерной сварки. *Актуальные направления развития техники и технологии. V Междунар. науч.-практ. конф.: сб. материалов.* Керчь, Керченский государственный морской технологический университет, 2024, с. 72–74.

[3] Колесников Д.Н. Применение лазерной сварки в различных областях машиностроения. *Наука в движении: от отражения к созданию реальности*. *Материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: сб. тр*. Москва, Перо, 2017, с. 73–75.

[4] Игнатов А.Г. *Лазерная сварка: история, состояние и перспективы*. URL: https://ritm-magazine.com/en/node/4129 (дата обращения 11.04.2025).

Prospects for the semi-automatic laser welding application

Trukhanov K.Y. konstantin.truhanov@yandex.ru
Makhankov D.D. mahannkov@mail.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This paper discusses the laser welding process, including the most used laser types, their concept, applications, and pros and cons. The main focus is on the semi-automatic laser welding method, which reviews the reasons why this method is becoming more popular than traditional automatic laser welding, analyzes the principle of operation, the gas used, filler materials and applications of this method with the prospect of development in the future.

Keywords: *laser welding, semi-automatic welding, equipment, prospect of use*

УДК 621.787

Разработка математической модели холодной дуговой сварки серого чугуна

Никишкина Алевтина Борисовна abnikishkina@bmstu.ru
SPIN-код: 6739-3155

Булычев Всеволод Валериевич vvbul@bmstu.ru
SPIN-код: 4096-5425

Труханов Константин Юрьевич konstantin.truhanov@bmstu.ru
SPIN-код: 1564-4885

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

В процессе изготовления литьем и эксплуатации корпусных деталей машин, часто возникают дефекты в виде раковин и трещин. При этом высокая стоимость деталей приводит к целесообразности из ремонта. Одним из способов их устранения является ремонтная сварка. Однако процесс сварки вносит значительные изменения в структуру и напряженное состояние материала. Работа посвящена численному моделированию процесса сварки детали из серого чугуна источником теплоты. Полученная численная модель позволяет проанализировать влияние режимов холодной сварки на распределение температурных полей и напряженно-деформированное состояние зоны сварки.

Ключевые слова: *чугун, источник теплоты, компьютерное моделирование, холодная сварка*

Многие металлоемкие детали машин изготавливают из серых чугунов. В процессе изготовления подобных деталей литьем, а также в процессе их эксплуатации могут возникать поверхностные дефекты в виде местных износов, раковин и коротких трещин. Одним из низко затратных способов устранения подобных дефектов является их дуговая заварка штучными электродами без предварительного подогрева ремонтируемого изделия (холодная сварка), что позволяет снизить энергоемкость ремонтной технологии по сравнению с методами, предусматривающими подогрев всего изделия, минимизировать общие деформации обрабатываемого изделия. Однако существенным недостатком технологий холодной сварки является повышенная вероятность возникновения в зоне термического влияния трещин, вызванных охрупчиванием основного металла и возникающими остаточными напряжениями растяжения.

В результате литературного обзора статей и патентов за последнее десятилетие по сварке серого чугуна можно сделать вывод, что большинство работ, направленных на совершенствование технологий ремонтной сварки чугуна, связаны с экспериментальными исследованиями особенностей применения новых сварочных материалов, режимов сварки и условий ее реализации [1–4].

Для получения научно-обоснованных направлений совершенствования технологий сварки широкое применение нашли методы математического мо-

делирования. Так, в работе [5] с целью оптимизации процесса ремонтной сварки чугунных деталей было выполнено математическое моделирование температурных полей и напряженно-деформированного состояния (НДС) металла шва и околошовной зоны, на основании чего был выполнен прогноз наиболее вероятных мест образования трещин. В работе был исследован случай наплавки с предварительным подогревом детали до 200 °С.

Однако применительно к холодной сварке чугуна подобные исследования практически отсутствуют, что обуславливает актуальность разработки математической модели, позволяющей проанализировать температурное воздействие точечным источником теплоты, графически визуализировать поля напряжений и температур во всей анализируемой области с целью прогнозирования распределения трещин, температур и напряжений для управления НДС.

Разработка математической модели включала следующие этапы: создание геометрии модели, занесение данных о физических свойствах материалов, задание граничных условий и тепловой нагрузки, создание КЭ сетки, выбор результатов расчетов (напряжений по Мизесу).

При математическом моделировании температурных полей принимали следующие значения основных параметров наплавки и теплофизических характеристик материала: сила тока $I = (150 - 200)$А; напряжение $U = 20$ В; эффективный КПД нагрева $\eta_и = 0{,}7$; коэффициент температуропроводности $a = 1{,}4 \cdot 10^{-6}$ м^2/с. Определяли количество тепла, выделяемое тепловым источником, а затем в выбранном интервале были выбраны несколько значений: 2100, 2300, 2500 Вт, а длительность горения дуги 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 с.

Рассматривались два этапа решения тепловой задачи:

1) стадия нагрева зоны сварки под действием теплового неподвижного теплового источника;

2) стадия остывания до комнатной температуры (+22 °С) при выключенном тепловом источнике.

Источник теплоты действовал на окружности диаметром 3 мм (рис. 1). Теплообмен между тепловым источником и поверхностью металла задавали с использованием граничного условия 2-го рода.

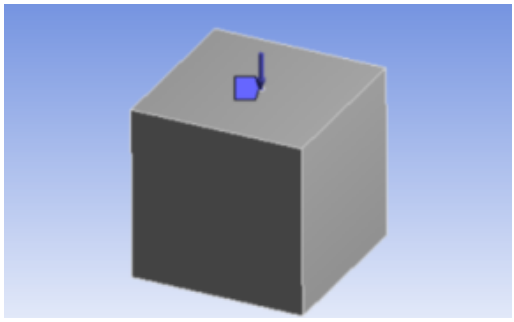


Рис. 1. Ввод теплоты через пятно нагрева

Результат моделирования температурного поля представлен на рис. 2.

Результаты решения тепловой задачи использовались для решения механической задачи. На рис. 3 представлено распределение напряжений по Мизесу после 2,95 с момента начала действия теплового источника.

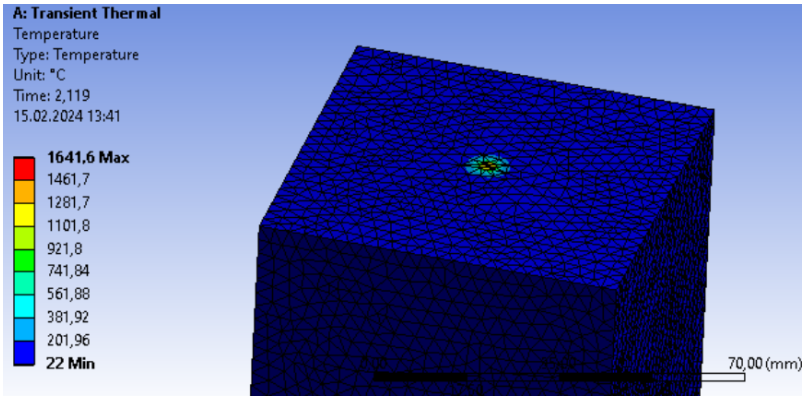


Рис. 2. Температурное поле для цикла 3 с и $q = 2100$ Вт

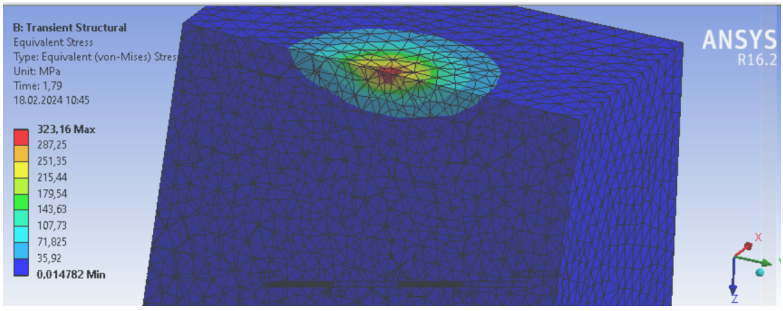


Рис. 3. Напряжения по Мизесу после 2,95 с момента начала действия теплового источника

Так, при длительности горения дуги 3 с и мощности 2100 Вт на расстоянии 1,37 мм от поверности детали напряжения составили 167 МПа. Полученные результаты с погрешностью 15 % соответствуют результатам экспериментальных исследований [6], что позволяет рекомендовать разработанную математическую модель для прогнозирования результатов наплавки и проверки новых способов холодной дуговой наплавки чугунных деталей.

Литература

[1] Бригидо О.Н., Журавлев С.Ю. Технология восстановления чугунных деталей сваркой. *Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века*, 2017, № 8, с. 47–49.

[2] Чигрин В.Н. Сварка и наплавка при ремонте и восстановлении чугунных деталей. *Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации. Междунар. науч.-практ. конф.: сб. материалов.* Казань, ЧУДПО «Научно-исследовательский и образовательный центр», 2020, с. 89–93.

[3] Леонтьев Л.Б., Дощенников Е.Д., Погодаев А.В., Чабан П.В. Технологические возможности перспективных методов сварки деталей из серого чугуна. *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета,* 2017, № 1 (30), с. 3–14.

[4] Королев А.Г., Чернова Т.Г. Технологические возможности перспективных методов сварки деталей из серого чугуна. *Наука, техника и образование*, 2021, № 2 (33), с. 5–15.

[5] Farahani E.B., Sarhadi A., M. Alizadeh-Sh, Fæster S., Danielsen H.K., Eder M.A. Thermomechanical modeling and experimental study of a multi-layer cast iron repair welding for weld-induced crack prediction. *Journal of Manufacturin Processes*, 2023, vol. 104, pp. 443–459. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.08.059

[6] Булычев В.В., Никишкина А.Б. *Способ электродуговой наплавки изделий из чугунов*. Патент № 2283709 РФ, 2023, бюл. № 30, 2 с.

Development of a mathematical model for cold arc welding of gray cast iron

Nikishkina A.B. abnikishkina@bmstu.ru
SPIN-code: 6739-3155

Bulychev V.V. vvbul@bmstu.ru
SPIN-code: 4096-5425

Trukhanov K.Y. konstantin.truhanov@bmstu.ru
SPIN-code: 1564-4885

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

In the process of casting and operation of machine body parts, defects in the form of shells and cracks often occur. At the same time, the high cost of parts leads to the expediency of repair. One of the ways to eliminate them is repair welding. However, the welding process makes significant changes to the structure and stress state of the material. The work is devoted to numerical modeling of the welding process of a part made of gray cast iron by a heat source. The resulting numerical model makes it possible to analyze the effect of cold-welding modes on the distribution of temperature fields and the stress-strain state of the welding zone.

Keywords: *cast iron, heat source, computer modeling, cold welding*

Секция 3. Физика конденсированного состояния и электронная техника

УДК 621.383

Анализ схемы фотоприемного устройства для регистрации наносекундных импульсов в видимом и инфракрасном диапазоне

Андреев Дмитрий Владимирович dmitrii_andreev@bmstu.ru
Цирульников Илья Юрьевич tsirulnikoviyu@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Объектом исследования является коэффициент передачи фотоприемного устройства, предназначенного для регистрации лазерных импульсов наносекундной длительности в диапазоне видимого и инфракрасного оптического излучения. При помощи схемотехнического моделирования в системе автоматического проектирования NI Multisim было проведено исследование зависимости коэффициента передачи схемы предварительного усиления от длительности принимаемого оптического импульса. Полученная зависимость была представлена в графическом виде. Также представлены результаты моделирования переходных процессов и сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: *фотоприемное устройство, коэффициент передачи, NI Multisim, схемотехническое моделирование*

Фотоприемные устройства (ФПУ) применимы в случаях необходимости регистрации оптического излучения в определенном диапазоне длин волн [1]. Рассматриваемое далее устройство должно обладать возможностью регистрации оптических импульсов длительностью от 5 до 100 нс с частотой следования от одиночных до нескольких десятков кГц в диапазоне видимого и инфракрасного излучения. Для предварительной оценки работоспособности ФПУ требуется провести моделирование переходных процессов и получить зависимость K от длительности импульса.

Применение высокоомного p-i-n фотодиода (ФД) обусловлено его высоким быстродействием и линейностью в широком динамическом диапазоне, что необходимо для регистрации импульсов длительностью от 5 нс. Для эффективной обработки сигнала, поступающего с ФД в дальнейшей схеме предварительного усиления, используется полевой транзистор с управляющим p-n переходом 3П344Б. Он обладает током утечки затвора, сравнимым по величине с темновым током ФД, высоким значением крутизны характеристики, малыми значениями входной и проходной емкости и нормированным коэффициентом шума. Это позволяет уменьшить шунтирующее влияние емкости ФД на схему и согласовать его по шумам с каскадом, формирующим малошумящий трансимпедансный усилитель и выполненным на основе биполярных транзисторов 2Т3191А91 и 2Т3187А91 [2–5].

Особое внимание, уделяемое шуму схемы, обусловлено необходимостью в увеличении доли полезного сигнала в соотношении к шуму, поскольку данное соотношение определяет величину порога чувствительности ФПУ, кото-

рый является одним из важнейших параметров в подобных устройствах. Основными составляющими шума в ФПУ являются: шум ФД, определяемый его темновым током; шум, вызванный током утечки усилителя; ЭДС шума усилителя и шум общего сопротивления входной цепи прибора. Данные параметры позволяют предъявить требования к усилительной схеме и используемым компонентам, что было учтено в процессе разработки.

Цепь отрицательной обратной связи (ООС) R6, C3 снижает величину входного сопротивления схемы до нескольких десятков Ом. Она также позволяет определить коэффициент передачи усилителя K в соответствии с формулой (1):

$$K = I_{\text{вх}} Z_{\text{ООС}} = U_{\text{вых}} / I_{\text{вх}}. \quad (1)$$

Исходя из представленной выше формулы, можно сделать вывод о том, что для увеличения значения K достаточно повышать величину сопротивления обратной связи. Однако это также приведет к росту величины входного сопротивления усилительной схемы, что в итоге увеличит влияние емкости ФД, ограничивающей K.

Для проведения моделирования были подобраны аналоги транзисторов, присутствующие в библиотеке компонентов NI Multisim: 3П344Б был заменен на виртуальную модель с измененными параметрами в соответствии с технической документацией на прибор (VT1), а 2Т3191А91 и 2Т3187А91 были заменены на BFT92W (VT2) и BFR92W (VT3) соответственно. ФД был заменен импульсным источником тока I1 с амплитудой 10 мкА, периодом следования импульсов 30 мкс и длительностью импульса от 5 до 100 нс. Влияние ФД на сигнал, обусловленное его структурой, учтено за счет элементов C_fd и R_fd [6].

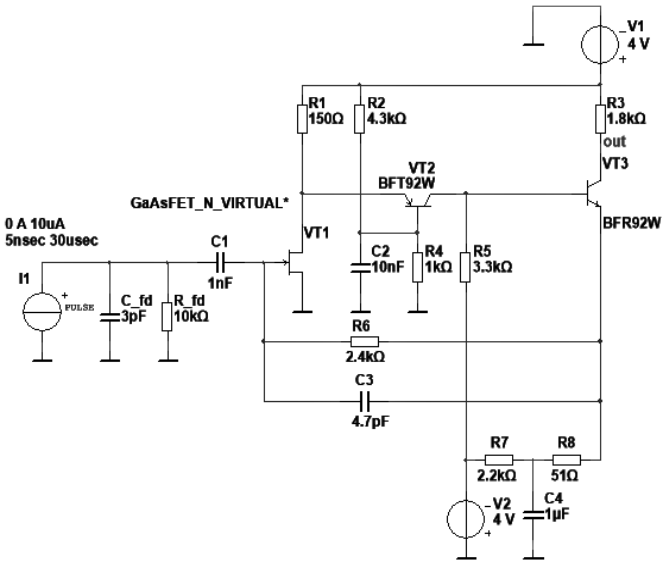


Рис. 1. Модель фотоприемного устройства, построенная в NI Multisim

Для построения зависимости K от длительности импульса в графическом виде было проведено моделирование переходных процессов при изменении длительности импульса от 5 до 100 нс с шагом 5 нс и вычисление значения K для каждой длительности. На рис. 2 и 3 представлены результаты моделирования для длительности 5 и 100 нс соответственно. Исходя из них можно отметить изменение величины амплитуды и формы выходного импульса.

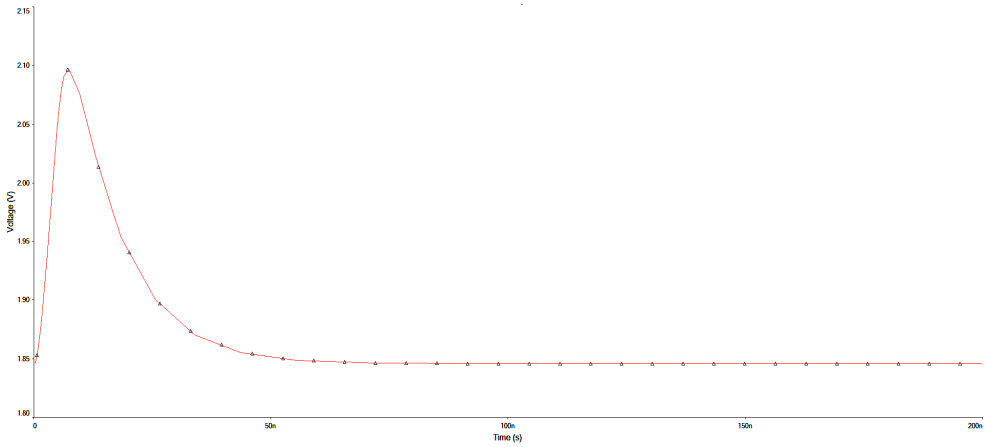


Рис. 2. Результат моделирования переходных процессов, полученный при длительности принимаемого оптического импульса 5 нс

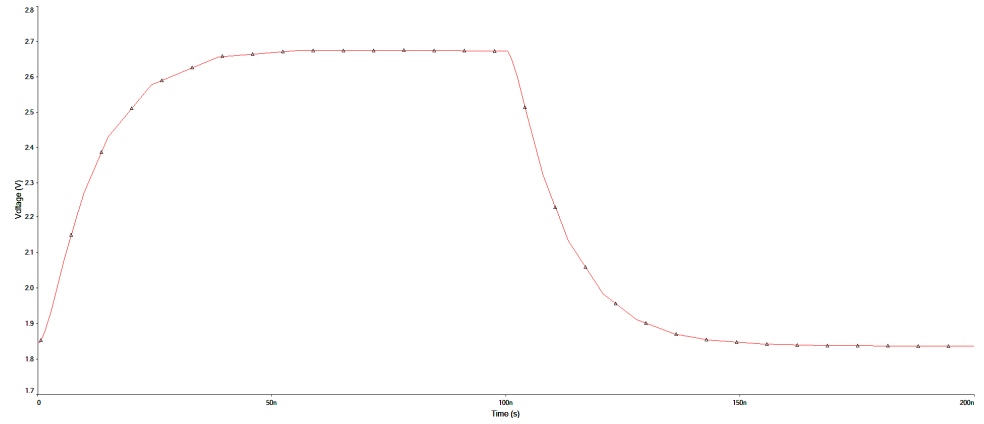


Рис. 3. Результат моделирования переходных процессов, полученный при длительности принимаемого оптического импульса 100 нс

В результате моделирования переходных процессов были получены данные по изменению амплитуды выходного сигнала $U_{\text{вых}}$ в зависимости от длительности входного импульса. Для каждого значения $U_{\text{вых}}$ по формуле (1) был определен K и построен график зависимости K от длительности импульса.

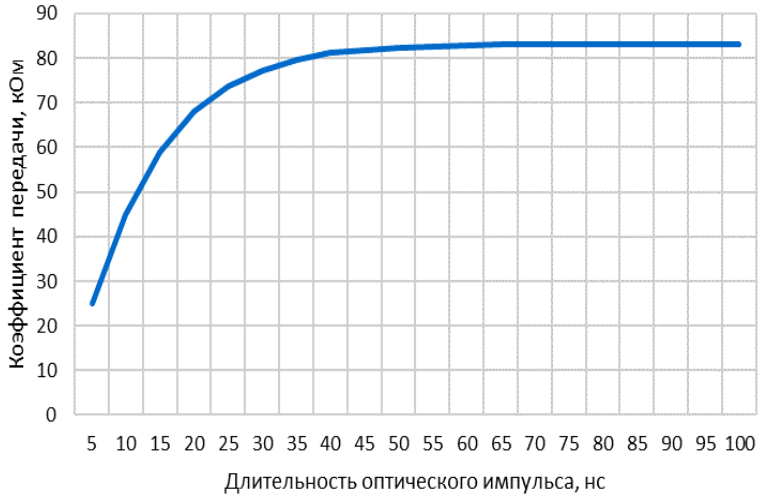


Рис. 4. Зависимость коэффициента передачи схемы от длительности принимаемого оптического импульса

Путем применения САПР NI Multisim проведен анализ работы ФПУ при разных значениях длительности входных импульсов и моделирование требуемых для исследования параметров. Рассмотренная схема обеспечивает высокий коэффициент передачи импульсов наносекундной длительности и является достаточно простой в реализации. Полученные результаты могут быть применимы как для практических, так и для учебных целей.

Литература

[1] Тришенков М.А. *Фотоприемные устройства и ПЗС. Обнаружение слабых оптических сигналов.* Москва, Радио и связь, 1992, 400 с.

[2] Степаненко И.П. *Основы теории транзисторов и транзисторных схем*. Москва, Энергия, 1977, 672 с.

[3] Andreev D.V., Andreev V.V., Konuhova M., Popov A.I. Technique of high-field electron injection for wafer-level testing of gate dielectrics of mis devices. *Technologies*, 2024, vol. 12, no. 102(1–10). https://doi.org/10.3390/technologies12070102

[4] Andreev D.V., Bondarenko G.G., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modification of thin oxide films of MOS structure by high-field injection and irradiation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 110, art no. 012041(1–6). https://doi.org/10.1088/1757-899x/110/1/012041

[5] Schmidt W. Optimum choice of Si FET or GaAs FET as first stage active device for very low-noise optical receivers with medium bandwidth. *Electronic Letters*, vol. 19, no. 22.

[6] Разевиг В.Д. *Система сквозного проектирования электронных устройств DesignLab 8.0.* Москва, Солон-Р, 2003, 704 с.

The analysis of the photodetector circuit for receiving nanosecond pulses in the visible and infrared range

Andreev D.V. dmitrii_andreev@bmstu.ru
Tsirulnikov I.Y. tsirulnikoviyu@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This research considers the transmission coefficient of the photodetector designed to register nanosecond laser pulses in the range of visible and infrared optical radiation. The study on the dependence of the transmission coefficient of the pre-amplification circuit on the duration of the received optical pulse was conducted using circuit simulation in the CAD system NI Multisim. The resulting dependence was presented graphically. The results of transient modeling are also presented and the corresponding conclusions are drawn.

Keywords: *photodetector, transmission coefficient, NI Multisim, circuit simulation*

УДК 621.317

Разработка устройства для измерения времени задержки распространения при выключении и включении сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода

Борисов Егор Олегович borisoveo@student.bmstu.ru
SPIN-код: 4246-4131
Гришин Григорий Константинович grishin_gr@mail.ru
Белинский Дмитрий Николаевич elinskiydn@student.bmstu.ru
Андреев Дмитрий Владимирович dmitrii_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрена задача разработки устройства для измерения времени задержки распространения при выключении и включении сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода. Представлена последовательность моделирования измерительного прибора, а также изложена процедура проведения измерений. Устройство основано на анализе сигналов, передаваемых по манчестерскому коду, что позволяет достичь высокой точности. Описаны используемые технологии и методы, включая аппаратные и программные компоненты, а также алгоритмы обработки данных. Приведены результаты экспериментальных измерений, которые подтверждают эффективность предложенного решения.

Ключевые слова: *схема, время задержки, измерение, манчестерский код, ГОСТ*

Введение. В работе разработано устройство для измерения времени задержки распространения при выключении и включении сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода.

Микросхема является сдвоенным приемопередатчиком манчестерского кода с установкой выходов приемника в состояние низкого уровня при запрете приема, предназначена для применения в устройствах автоматики и вычислительной техники в гальванически развязанных линиях передачи информации [1].

Сдвоенный приемопередатчик манчестерского кода — это устройство, которое используется в коммуникационной системе для передачи и приема данных по схеме манчестерского кодирования.

Манчестерский код представляет собой метод кодирования данных, где каждый бит информации задается последовательностью сигналов на различных уровнях в течение определенного времени. Существует несколько вариантов манчестерского кода, но в данном случае рассматриваем его сдвоенный вариант. Сдвоенный манчестерский код включает два перехода сигнала в каждом цикле передачи данных. В традиционном манчестерском коде каждый бит соответствует одному переходу сигнала, тогда как в сдвоенном варианте каждый бит обозначается двумя переходами. Это улучшает устойчивость к ошибкам, поскольку даже если один переход был определен неверно,

наличие второго позволяет корректно интерпретировать бит. Сдвоенный приемопередатчик манчестерского кода состоит из двух ключевых компонентов: передатчика и приемника [2].

Передатчик преобразует входные данные в последовательность сигналов с разных уровней согласно правилам сдвоенного манчестерского кода. Приемник, в свою очередь, считывает сигналы и декодирует их обратно в исходную последовательность данных. Передатчик сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода состоит из:

– кодировщика: преобразует входные данные в сигналы согласно сдвоенному манчестерскому коду. Кодировщик определяет, какие сигналы будут обозначать логический ноль, а какие — логическую единицу. Он также управляет переходами между уровнями сигнала в зависимости от значений входных данных;

– усилителя: усиливает сигнал, затем передает его на канал связи для дальнейшей передачи.

Приемник сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода состоит из следующих ээлементов:

– демодулятора: преобразует сигналы из канала связи обратно в последовательность сигналов с разных уровней. Демодулятор определяет переходы сигнала и интерпретирует их как логические нули и единицы;

– декодера: преобразует последовательность сигналов с разных уровней в исходные данные. Декодер сопоставляет комбинации сигналов с определенными значениями битов и восстанавливает исходную последовательность данных [3].

Устройство для измерения времени задержки распространения при выключении и включении потребления сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода. На рис. 1 для измерения времени задержки распространения при выключении и включении сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода представлена схема установки, на которой следует проводить измерения. Также была разработана печатная плата (рис. 2, 3).

При трассировке печатной платы для сдвоенного приемопередатчика, работающего на основе манчестерского кода, необходимо учитывать следующие особенности:

– правильная организация маршрутов и использование экранирования помогут снизить перекрестные помехи между соседними сигналами;

— манчестерский код более подвержен влиянию шумов, поэтому необходимо минимизировать длину проводников и избегать пересечений сигнала с источниками помех;

– керамические конденсаторы необходимо располагать непосредственно возле корпуса микросхемы для оптимизации работы системы.

– следует учитывать равенство длины трасс для передачи и приема, чтобы минимизировать задержки.

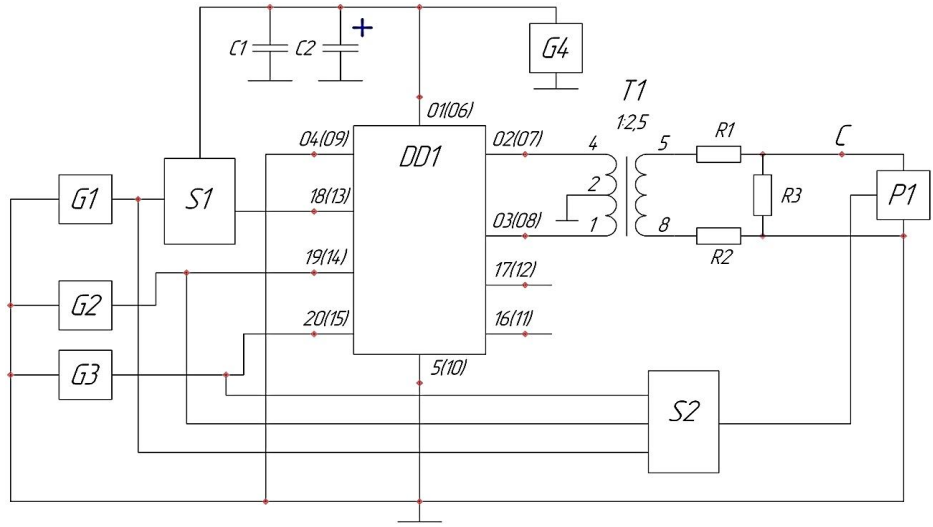


Рис. 1. Электрическая схема оценочной платы:

DD1 — микросхема сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода; G1–G3 — генератор импульсный, Г5-75; G4 — источники напряжения, Б5-71/2; P1 — осциллограф, С1-114; S1, S2 — коммутирующие устройства; C1 — конденсатор 0,1 мкФ ± 20 %; C2 — конденсатор 47 мкФ ± 20 %; R1, R2 — резисторы 55 Ом ± 0,1 % (1,5 Вт); R3 — резистор 35 Ом ± 0,1 % (1,5 Вт); T — импульсный трансформатор ТИЛ6В; C — точка измерения параметров передатчика

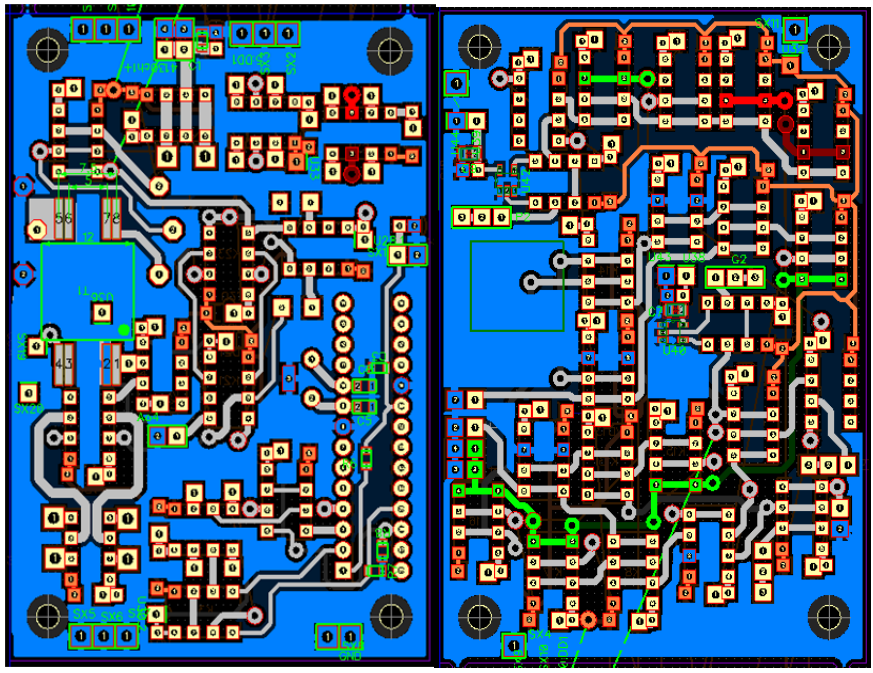


Рис. 2. Верхняя сторона платы

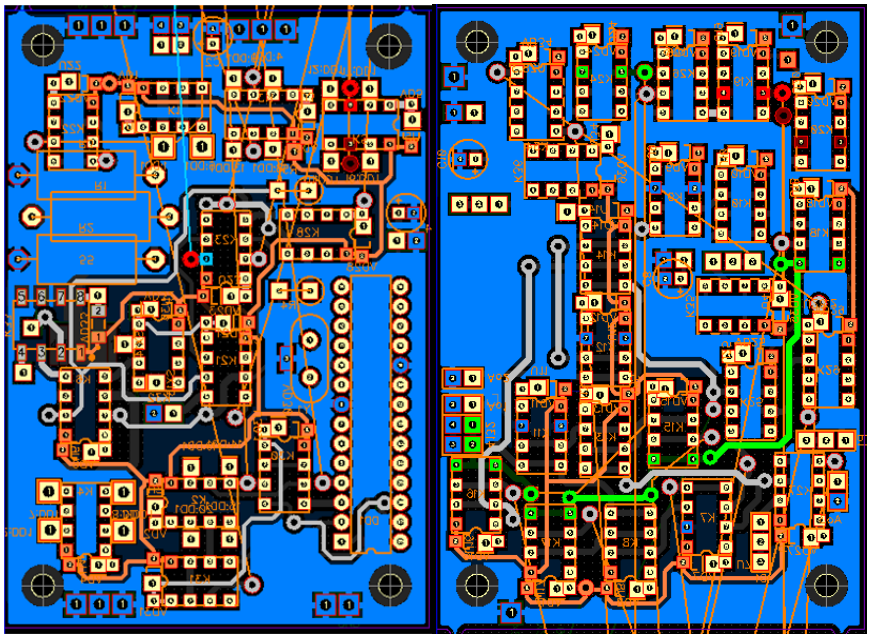


Рис. 3. Нижняя сторона платы

Проведение измерений. Измерение времени задержки распространения при выключении и включении сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода проводят согласно ГОСТ 18683.2, метод 2. Настоящий стандарт распространяется на цифровые интегральные микросхемы и устанавливает методы измерения динамических электрических параметров микросхем. Подают на микросхему напряжения питания от источника G4, входные импульсные напряжения от источников G1–G3, значения которых равны 4,5 В. Интервал времени между входным и выходным импульсами измеряют в соответствии с рис. 4.

Результаты измерений. На рис. 5 проиллюстрирован процесс настройки измерений с использованием оборудования компании National Instruments и программы LabVIEW. В рамках этого процесса осуществляется инициализация всех измерительных устройств и источников питания, а также выполняются математические расчеты для обеспечения точности получаемых результатов, включая управление включением и выключением питающих реле.

Результаты, представленные на рис. 6, демонстрируют измерения времени задержки распространения при активации и деактивации микросхемы с постоянным уровнем сигнала 4,5 В на входе приемопередатчика. Генератор и осциллограф были откалиброваны для достижения высокой точности отображения результатов [4].

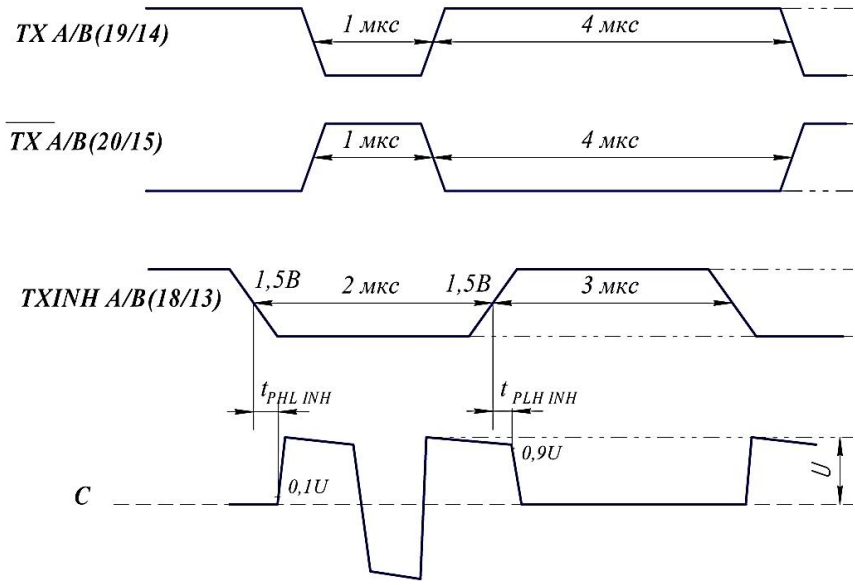


Рис. 4. Временная диаграмма сигналов при измерении времени задержки распространения при выключении и включении микросхемы

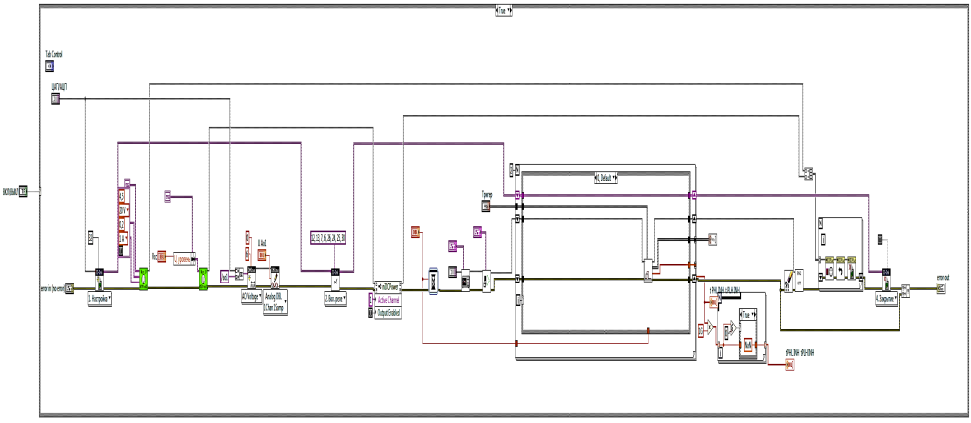


Рис. 5. Алгоритм для измерения времени задержки распространения при выключении и включении

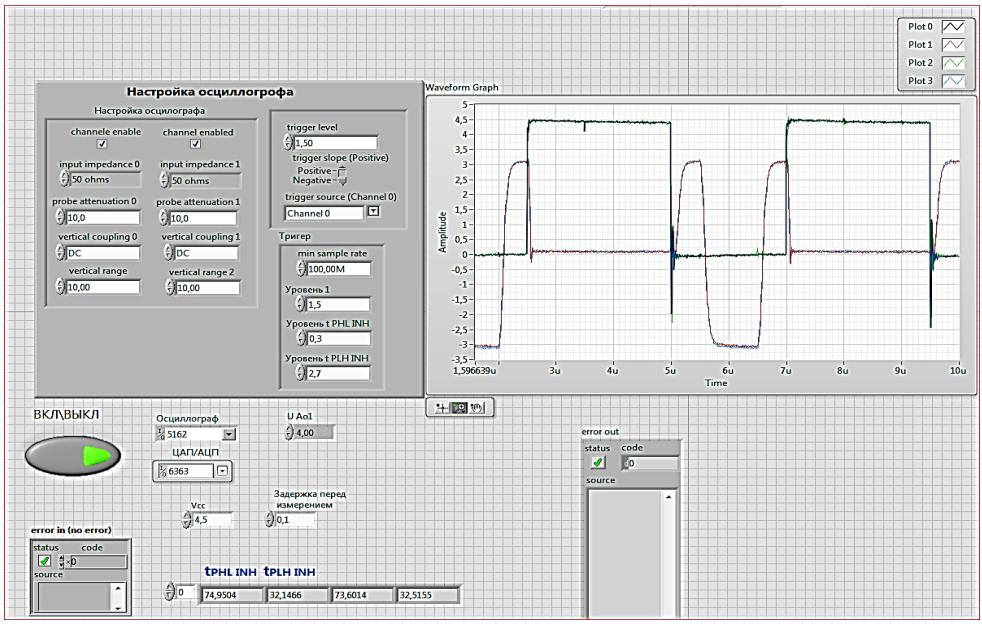


Рис. 6. Временная диаграмма сигналов при измерении времени задержки распространения при выключении и включении

Заключение. В ходе исследования разработано электронное устройство для измерения времени задержки распространения при выключении и включении микросхемы. Были проведены измерения показаний с использованием данного устройства на тестируемом образце.

Литература

[1] Andreev D.V., Maslovsky V.M., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modi-fied Ramped Current Stress Technique for Monitoring Thin Dielectrics Reliability and Charge Degradation. *Phys. Status Solidi A*, 2022, vol. 219, is. 9, art. no. 2100400(1–5). https://doi.org/10.1002/pssa.202100400

[2] Bondarenko G.G., Andreev V.V., Loskutov S.A., Stolyarov A.A. The method of the MIS structure interface analysis. *Surface and Interface Analysis*, 1999, vol. 28, pp. 142–145. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9918(199908)28:1<142

[3] Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. *Теория передачи сигналов*. Москва, Радио и связь, 2011, 368 с.

[4] Yang Y., Li L. Communication System Using Multilevel Modulation Based on Manchester Coding. *IEEE Photonics Journal*, 2017, vol. 9 (1), pp. 1–8.

Development of a device for measuring propagation delay time during turning off and turning on of a manchester coded double transceiver

Borisov E.O. borisoveo@student.bmstu.ru
SPIN-code: 4246-4131
Grishin G.K. grishin_gr@mail.ruUniversity
Belinsky D.N. belinskiydn@student.bmstu.ru
Andreev D.V. dmitrii_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The paper considers the task of developing a device for measuring the propagation delay time when switching off and on a dual Manchester code transceiver. The sequence of modeling of the measuring device is presented, as well as the measurement procedure is described. The device is based on the analysis of signals transmitted by the Manchester code, which allows you to achieve high accuracy. The technologies and methods used, including hardware and software components, as well as data processing algorithms, are described. The results of experimental measurements are presented, which confirm the effectiveness of the proposed solution.

Keywords: *circuit, delay time, measurement, Manchester code, GOST*

УДК 621.385.69

Проектирование полосового фильтра в диапазоне частот от 500 до 650 МГц мощного сверхвысокочастотного передатчика

Платошин Владимир Олегович platoshinvo@student.bmstu.ru
Андреев Владимир Викторович vladimir_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены полосовые фильтры сверхвысокочастотного диапазона и приведены основные характеристики таких фильтров. Осуществлено проектирование полосовых фильтров третьего и пятого порядка на пассивных элементах, а также их моделирование в среде Multisim. Описаны сложности при проектировании фильтров различного порядка, преимуществах и недостатках фильтра третьего и пятого порядка. Выполнен сравнительный анализ приведенных фильтров по амплитудно-частотным характеристикам, на основе которых сделан вывод о наиболее подходящем фильтре для работы в диапазоне частот от 500 до 650 МГц на уровне ослабления –10 dB.

Ключевые слова: *полосовой фильтр, СВЧ-диапазон, моделирование, пассивные элементы, порядок фильтра*

Стремительное развитие технологий и нарастающая необходимость улучшения качества обработки сигналов в различных областях, таких как связь, обработка и передача сигналов и телекоммуникация приводят к необходимости разработки и анализа различных устройств, в число которых входят полосовые фильтры сверхвысокочастотного диапазона.

Сверхвысокочастотные фильтры работают на основе преобразования входного сигнала с помощью коэффициентов фильтра и последующей фильтрации сигнала в соответствии с заданными характеристиками. Процесс фильтрации включает в себя задержку сигнала на определенное время и усиление или ослабление определенных частотных составляющих сигнала. К основным характеристикам фильтров относятся амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) и фазо-частотная характеристика (ФЧХ) [1, 2].

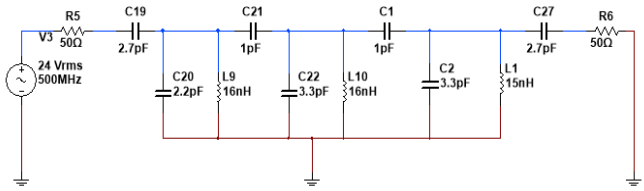
Сверхвысокочастотные фильтры являются важными компонентами в высокочастотных системах, обеспечивающие избирательность по частоте и предотвращающие помехи другим системам. Они делятся на типы по параметру «полоса пропускания».

Полосовые фильтры предназначены для пропускания определенной полосы частот, отсекая остальные составляющие. Они являются обязательными компонентами для систем передачи данных.

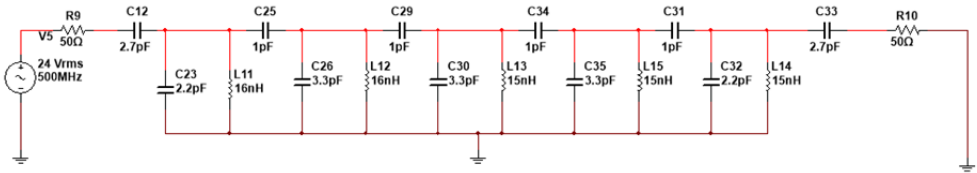
В работе проведен сравнительный анализ амплитудно-частотных характеристик полосовых фильтров третьего и пятого порядков, предназначенных для работы в диапазоне частот от 500 до 650 МГц. Фильтры третьего порядка имеют более простую реализацию и меньшее количество элементов, что де-

лает их более легкими для настройки и оптимизации. Также они имеют более низкую стоимость по сравнению с фильтрами пятого порядка. Они эффективны на средних частотах. Однако они имеют худшие характеристики по сравнению с фильтрами пятого порядка, особенно в области высоких частот. Это выражается в невысокой крутизне спада и узкой полосе пропускания. Фильтры пятого порядка обеспечивают лучшую АЧХ и ФЧХ, но требуют больше ресурсов для реализации и настройки. Они имеют более сложную конструкцию и их стоимость зачастую выше.

Для моделирования и осуществления анализа использована среда Multisim [3], в которой построены модели фильтров третьего и пятого порядков, состоящие из пассивных элементов, после чего осуществлено симулирование их работы. Для согласования на вход и выход фильтров подключены нагрузки 50 Ом. Для симуляции сигнала использован источник AC_POWER (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Схемы фильтров в программе Multisim:
а — фильтр третьего порядка; *б* — фильтр пятого порядка

В целях проведения сравнительного анализа приведем АЧХ и ФЧХ для симулируемых полосовых фильтров. Наиболее информативным в нашем случае является график АЧХ. С помощью данного графика можно визуально проанализировать и сравнить характеристики двух приведенных фильтров. Идеальный полосовой фильтр имеет прямоугольную АЧХ [4]. Для анализа рассматривается угол спада и ширина полосы пропускания. Цель работы — проектирование фильтра, имеющего АЧХ с наиболее острым углом спада и широкой полосой пропускания, обеспечивающего наиболее стабильную работу в диапазоне частот от 500 до 650 МГц на уровне ослабления –10 dB.

В нашем случае на графике видно, что фильтр пятого порядка имеет форму АЧХ более близкую к идеальной, чем фильтр третьего порядка. Также он обладает более широкой полосой пропускания, составляющей от 480

до 660 МГЦ, по уровню ослабления –10 dB, по сравнению с полосой пропускания фильтра третьего порядка, составляющей от 470 до 630 МГц, по тому же уровню, и более острым углом спада. Следовательно, фильтр пятого порядка имеет более высокие коэффициенты затухания и передачи, что делает его более предпочтительным для работы в заданных условиях, так как повышается его избирательность и уменьшаются вносимые потери (рис. 2).

Таким образом, для работы в диапазоне частот от 500 до 650 МГц наилучшим вариантом является фильтр пятого порядка, который обеспечивает оптимальную работу заданном диапазоне частот и меньшие потери на уровне ослабления –10 dB.

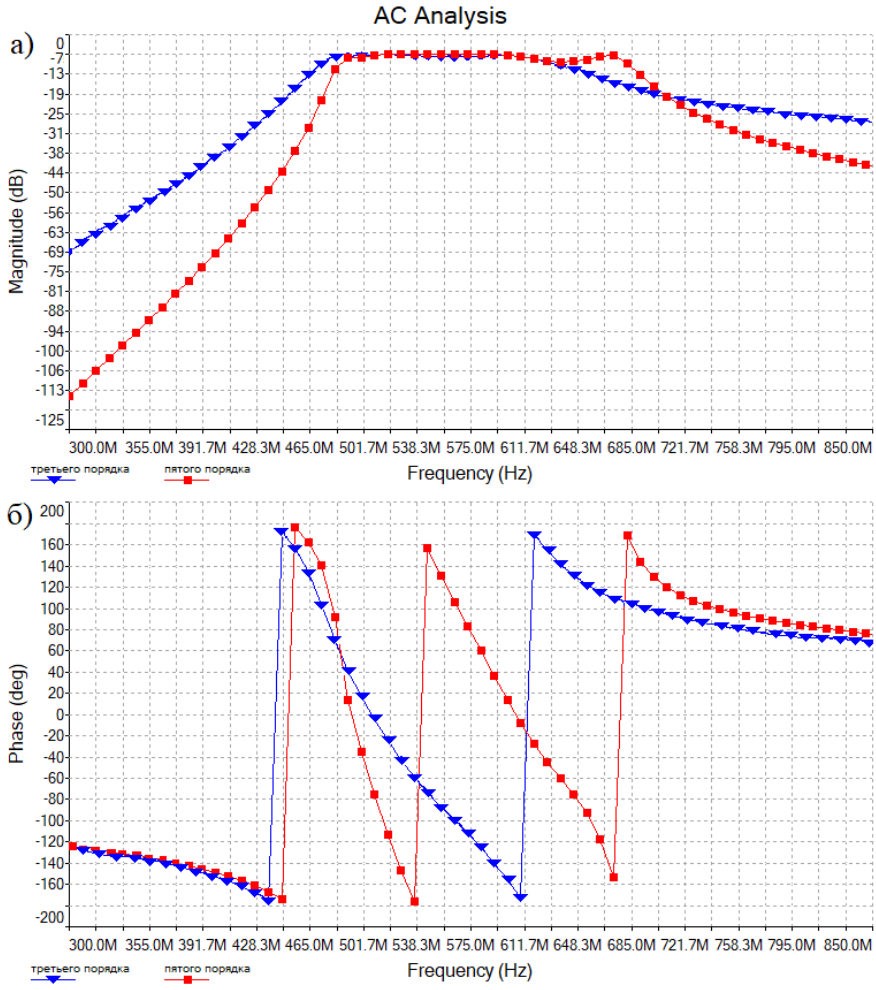


Рис. 2. Характеристики фильтров третьего и пятого порядка:
а — АЧХ; *б* — ФЧХ

Заключение. Рассмотрены основные преимущества и недостатки полосовых СВЧ-фильтров третьего и пятого порядка. Промоделированы рассмотренные типы фильтров для работы в диапазоне частот 500–650 МГц. Получены графики АЧХ и ФЧХ данных СВЧ-фильтров. Проведен сравнительный анализ и выбор на его основании наиболее подходящего для заданных условий устройства.

Литература

[1] Андреев Д.В., Курносенко А.Е., Макарчук В.В., Соловьев В.А. *Технологические процессы изготовления электронной компонентной базы приборостроения*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, 467 с.

[2] Андреев В.В., Жалнин В.П., Столяров А.А. *Физические основы микро- и наноэлектроники*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, 292 с.

[3] Дьяконов В.П. *MATLAB 6.5 SP 1/7 + Simulink 5/6. Обработка сигналов и проектирование фильтров*. Москва, Изд-во СОЛОН-Пресс, 2009.

[4] Романовский М.Н. *Полосовые фильтры на ПАВ. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Интегральные устройства радиоэлектроники».* Томск, Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022.

Designing a bandpass filter in the frequency range from 500 to 650 MHz of a powerful ultrahigh frequency transmitter

Platoshin V.O. platoshinvo@student.bmstu.ru

Andreev V.V. vladimir_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

In this paper, bandpass filters of the ultrahigh frequency range are considered and the main characteristics of such filters are given. The design of bandpass filters of the third and fifth order on passive elements, as well as their modeling in the Multisim environment, has been carried out. The paper describes the difficulties in designing filters of various orders, the advantages and disadvantages of the filter of the third and fifth order. A comparative analysis of the above filters by amplitude-frequency characteristics was performed, on the basis of which a conclusion was made about the most suitable filter for operation in the frequency range from 500 to 650 MHz at the attenuation level of –10 dB.

Keywords: *bandpass filter, microwave range, modeling, passive elements, filter order*

УДК 621.317

Контроль дефектности диэлектрических пленок ИМС с использованием термочувствительного порошка

Шахаев Богдан Маратович bogdansahaev@gmail.com
Андреев Владимир Викторович vladimir_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Разработан метод контроля дефектности диэлектрических пленок микросхем, вышедших из строя в процессе эксплуатации, основанный на контроле поверхности кристалла путем нанесения на нее термочувствительного порошка. Проведена апробация метода при анализе дефектности диэлектрических пленок на кристаллах КМДП-ИМС. Показано, что предложенный метод позволяет локализировать место дефектов на поверхности кристалла ИМС

Ключевые слова: *анализ диэлектрических пленок, пробой ИМС, термочувствительный порошок*

В процессе всего жизненного цикла интегральной микросхемы (ИМС), включающего разработку, производство и эксплуатацию прибора важнейшей задачей является контроль качества электронного изделия. Для улучшения качества ИМС необходимо выявлять слабые места в структуре кристалла, а также производить анализ важных элементов микросхемы, которые могут привести к ее отказу, особенно при критических режимах эксплуатации [1–7]. Для реализации данной задачи может потребоваться решение проблемы выявления локализации расположения дефектов в ИМС, что позволяет идентифицировать их с конкретными элементами и структурами микросхемы.

Разработанный метод позволяет выявить скрытые дефекты в структуре диэлектрика возникшие в процессе эксплуатации или из-за воздействия повышенного напряжения. Локализация дефекта и его анализ позволяют увеличить надежность микросхемы и выявить недостатки в технологическом процессе производства. Также локализация дефекта может быть полезна при анализе технологического процесса и его совершенствовании [1–3].

В интегральных микросхемах со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) основными видами дефектов являются дефекты, связанные с диэлектрическими слоями [1–7]. Такие дефекты являются причиной возникновения токов утечки в полупроводниковой структуре [1–5] из-за которых в значительной степени могут измениться параметры ИМС.

Принцип разработанного метода основан на проявлении дефекта с помощью порошка благодаря току утечки на дефектном участке ИМС [8] из-за которого выделяется мощность. Данная особенность позволяет определять положение скрытых дефектов на поверхности диэлектрической пленки без травления верхних слоев кристалла.

Локализация дефекта кристалла ИМС начинается с анализа замеров электрических параметров и ВАХ. Полученные данные позволяют определить цепь или группу элементов на котором мог произойти пробой.

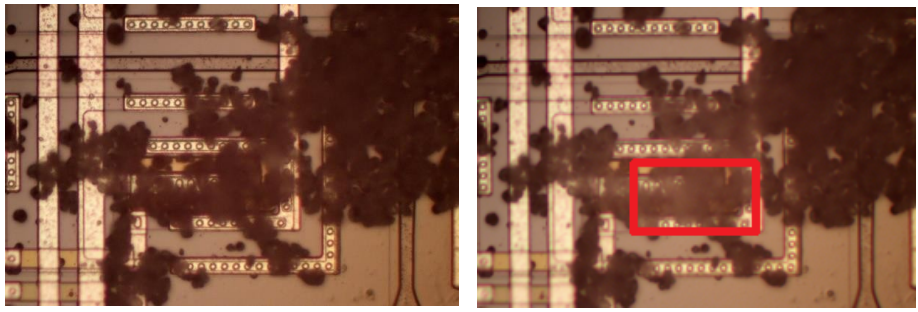
В случае если визуальным осмотром не удалось выявить положения дефекта применяется метод с использованием термочувствительного порошка.

На поверхность кристалла наносится тонкий слой термочувствительного порошка. Нанесение производится посредством смешивания его с этиловым спиртом и последующим нанесением небольшого количества полученной смеси на кристалл. Термочувствительный порошок равномерно оседает на поверхность кристалла с испарением спирта из смеси. Полученное покрытие получается неоднородным, что является недостатком данного метода. Оптимальная толщина слоя порошка, при которой место дефекта возможно визуально различить должна быть менее 6 мкм.

На выводы микросхемы необходимо подать режим напряжения, который соответствует режиму нормальной работы рассматриваемого участка цепи микросхемы.

Нанесенный порошок реагирует на тепло, выделяемое в месте дефекта. Визуальным контролем определяется зона, в которой произошли изменения в структуре порошка

На рис. 1 изображен фрагмент топологии КМДП ИМС при анализе дефектности разработанным в статье методом до и после подачи напряжения. Зона порошка, изменившая свою структуру, соответствует месту пробоя диэлектрической пленки.



а *б*

Рис. 1. Фрагмент топологии ИМС:
а — место дефекта до подачи напряжения; *б* — место дефекта после подачи напряжения

Дефект, рассмотренный в примере, невозможно визуально определить на поверхности кристалла. Также для точной локализации необходимо равномерное распределение порошка по поверхности кристалла.

Получаемое «свечение» порошка напрямую зависит от поданного напряжения. Постепенно уменьшая напряжение на выводах, можно более точно локализовать место пробоя. При высоком напряжении данное свечение может проявиться и в элементах схемы за счет их нагрева.

По полученному положению дефекта можно судить о причине его возникновения. Эти данные можно использовать для увеличения надежности ИМС. Они также могут быть полезны при проектировании или улучшении уже существующей электроники.

Заключение. В работе был разработан метод выявления дефектов диэлектрических пленок, а также проведен анализ микросхемы разработанным методом. В результате был выявлен дефект в структуре ИМС. Разработанный метод позволил подтвердить наличие пробоя в диэлектрической пленке, а также определить его положение в структуре ИМС.

Литература

[1] Strong A.W., Wu E.Y., Vollertsen R., Suñé J., Rosa G.L., Rauch S.E., Sullivan T.D. *Reliability wearout mechanisms in advanced CMOS technologies*. Wiley-IEEE Press, 2009.

[2] Lombardo S., Stathis J.H., Linder P., Pey K.L., Palumbo F., Tung C.H. Dielectric breakdown mechanisms in gate oxides. *Journal of Applied Physics*, 2005, vol. 98, art. no. 121301(1–36). https://doi.org/10.1063/1.2147714

[3] Palumbo F., Wen C., Lombardo S., Pazos S., Aguirre F., Eizenberg M., Hui F., Lanza M. A Review on Dielectric Breakdown in Thin Dielectrics: Silicon Dioxide, High-k, and Layered Dielectrics. *Adv. Funct. Mater.,* 2019, vol. 29, art. no. 1900657(1-26). https://doi.org/10.1002/adfm.201900657

[4] Wu E.Y. Facts and Myths of Dielectric Breakdown Processes — Part I: Statistics, Experimental, and Physical Acceleration Models. *IEEE Trans. Electron Devices,* 2019, vol. 66, pp. 4523–4534. https://doi.org/10.1109/TED.2019.2933612

[5] Martin A., Vollertsen R., Mitchell A., Traving M., Beckmeier D., Nielen H. Fast wafer level reliability monitoring as a tool to achieve automotive quality for a wafer process. *Microelectronics Reliability*, 2016, vol. 64, pp. 2–12. https://doi.org/10.1016/j.microrel.2016.07.120

[6] Андреев В.В., Барышев В.Г., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А. Метод многоуровневой токовой нагрузки для исследования генерации и релаксации положительного заряда в МДП-структурах. *Микроэлектроника*, 2003, т. 32, № 2, с. 152–158.

[7] Andreev D.V., Andreev V.V., Konuhova M., Popov A.I. Technique of High-Field Electron Injection for Wafer-Level Testing of Gate Dielectrics of MIS Devices. *Technologies*, 2024, vol. 12, art. no. 102(1–10). https://doi.org/10.3390/technologies12070102

[8] Куликова И.В., Пашковский А.Б., Приступчик Н.К. Тепловые режимы мощных полевых транзисторов с донорно-акцепторным легированием. *Электроника и микроэлектроника СВЧ*, 2016, т. 1, с. 238–241.

Defect control of dielectric films with using thermosensitive powder

Shakhaev B.M. bogdansahaev@gmail.com
Andreev V.V. vladimir_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

A method of defect control of dielectric films of microscopic that have failed during operation has been developed, based on the control of the crystal surface by applying a thermosensitive powder to it. The method has been tested in the analysis of defects in dielectric films on CMDP-IMS crystals. It is shown that the proposed method makes it possible to localize the location of defects on the surface of the IC crystal.

Keywords: *analysis of dielectric films, IC breakdown, thermosensitive powder*

УДК 621.313.8

О стабилизации тока в цифровых системах управления коллекторным двигателем

Власовский Алексей Игоревич[1, 2] tfzmistery6@gmail.com
Гришин Григорий Константинович[1, 2] grishin_gr@mail.ru
Андреев Владимир Викторович[1] vladimir_andreev@bmstu.ru

[1] *КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

[2] *АО «ОКБ МЭЛ», Калуга, Россия*

Представлен обзор некоторых ключевых аспектов стабилизации тока в цифровых системах управления коллекторным двигателем с целью увеличения стабилизации, безопасности и робастности. Рассмотрена система с мостовой схемой с микроконтроллерным управлением, позволяющая эффективно контролировать работу двигателя. Приведена серия распространенных сценариев управления коллекторным двигателем. Сформулированы причины возникновения переходных процессов в системе управления. Приведены способы подавления дестабилизирующих факторов.

Ключевые слова: *коллекторный двигатель, система управления, стабилизация, метод, тормозной ток*

Использование коллекторных двигателей широко распространено в технике, от бытовых задач до комплексных систем наведения [1, 2]. Требования к точности отработки двигателем управляющих параметров повышаются с каждым новым поколением проектируемых систем управления.

Задача управления двигателем включает в себя не только контуры стабилизации по управляющему воздействию, но и обеспечение безопасности, стабильности и экономичности всей системы в целом. Коллекторный двигатель способен за короткий промежуток времени потреблять или генерировать мощность, существенно превышающую номинальную, в зависимости от сценария управления.

Рассмотрим сценарии управления коллекторным двигателем на примере цифровой микроконтроллерной системы управления. Силовая часть устройства выполнена в виде мостовой схемы с полевыми транзисторами.

В сценарии начала движения двигатель стартует с большим током для страгивания вала и, по мере набора оборотов, ток спадает до номинального при данной нагрузке. Опасной в данном случае является крутизна нарастания тока при страгивании, обусловленная малым сопротивлением обмотки двигателя или малой индуктивностью обмоток. В данном случае задача стабилизации тока упирается в чувствительность и точность токового датчика обратной связи. При правильном подборе алгоритма своевременной регуляции скважности широтно-импульсной модуляции, стартовый ток стабилизируется на заданном уровне, что увеличивает стабильность и робастность системы управления [3, 4].

В сценарии замедления или торможения двигатель из машины постоянного тока превращается в машину генераторную, что приводит к следующим последствиям:

– механическая энергия преобразуется обратно в электрическую и попадает в цепь электропитания;

– происходит выброс напряжения, поскольку ключи разрывают индуктивную нагрузку.

Для обеспечения задачи стабилизации в данном случае необходимо учитывать направление движения тока и дать возможность системе управления регулировать скважность как в сторону наращивания, так и в сторону убывания. Чаще всего этого достаточно в системах, где система электропитания позволяет направить генерируемую энергию в аккумулятор или другую емкостную нагрузку. Однако если питание системы обеспечивается источником, который способен только отдавать энергию и не способен ее принимать, на шинах двигателя происходит колоссальный выброс напряжения. Для обеспечения стабилизации в данном случае необходим второй контур управления по напряжению. Для увеличения электробезопасности устройства, может быть использован дополнительный модуль для сброса генерируемой энергии в тепло.

Необходимо упомянуть, что существует сценарий, когда внешняя сила вращает вал двигателя в сторону, противоположную вращению, заданному системой управления. Этот сценарий во многом схож со сценарием замедления или торможения, однако его физический смысл заключается в том, что система в некоторый момент, при достижении заданного уровня стабилизации тока, начнет «помогать» внешней силе вращать вал, для предотвращения дальнейшего роста генерируемого тока.

Заключение. Представленное описание аспектов стабилизации тока в цифровых системах управления двигателем охватывает множество сценариев работы и повышает надежность, стабильность и робастность устройства. Раскрыты причины возникновения негативных явлений работы двигателя и способы их подавления.

Литература

[1] Власовский А.И., Ахмелкин Д.М., Андреев Д.В. Применение термопластичных полимеров при создании аксиального синхронного электродвигателя для агрессивных сред. *Электронные информационные системы*, 2023, № 4 (39), с. 65–73.

[2] Рентюк В. Управление двигателем постоянного тока. *Компоненты и технологии*, 2014, № 10 (159), с. 110–114.

[3] Priyanka K., Mariyammal A. DC motor speed control using PWM. *International journal of innovative science and research technology*, 2018, vol. 3, no. 2.

[4] Linares-Flores J., Sira-Ramirez H. DC motor velocity control through a DC-to-DC power converter. *IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, 2004, vol. 5, pp. 5297–5302. https://doi.org/10.1109/CDC.2004.1429649

Current stabilization in digital control systems for a commutator motor

Vlasovsky A.I.[1,2] tfzmistery6@gmail.com
Grishin G.K.[1,2] grishin_gr@mail.ru
Andreev V.V.[1] vladimir_andreev@bmstu.ru

[1] *BMSTU (KB), Kaluga, Russia*

[2] *JSC OKB MEL, Kaluga, Russia*

The article presents an overview of some key aspects of current stabilization in digital control systems for brushed DC motors, aimed at increasing stability, safety, and robustness. A bridge circuit system with microcontroller control is examined, allowing for effective control of motor operation. A series of common control scenarios for brushed DC motors is provided. The causes of transitional processes in the control system are formulated. Methods for suppressing destabilizing factors are also presented.

Keywords: *collector motor, control system, stabilization, method, braking current*

УДК 621.3.049

Тестирование цифровых микросхем с использованием сканирующих цепочек

Корнев Сергей Александрович s.kornev.tov@gmail.com
Андреев Владимир Викторович vladimir_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрен алгоритм тестирования цифровых микросхем с применением цепочек сканирования. Показан процесс тестирования с использованием сканирующих ячеек, а также его преимущества по сравнению с обычным функциональным тестированием. Рассмотрены особенности архитектур цепочек сканирования, а также их преимущества и недостатки. Показаны особенности создания тестовых последовательностей с использованием автоматической генерации тестовых последовательностей для поиска неисправностей в цифровых микросхемах.

Ключевые слова: *сканирующие цепочки, тестирование цифровых микросхем, надежность, МДП-прибор, КМОП микросхемы*

Методика проектирования современных цифровых СБИС полагается на использование библиотек стандартных элементов, включающих триггеры, защелки, комбинационные логические элементы, блоки памяти, IP блоки и др. Данные библиотеки используются для преобразования исходного описания микросхемы на языках описания аппаратуры (HDL) в нетлист для выбранной полупроводниковой технологии и последующего создания топологии.

Цифровые микросхемы могут включать в себя тысячи таких элементов, что неизбежно приводит к проблеме тестирования: как определить, что все элементы функционирую корректно, а межсоединения между ними не повреждены.

Обнаружение константных, переходных неисправностей и неисправностей, связанных с задержками и замыканиями с помощью функционального тестирования, является сложным и долгим процессом из-за наличия запоминающих элементов и множества внутренних состояний в цифровых микросхемах, при отсутствии достаточного количества точек контроля внутренних сигналов — число внутренних цепей значительно превышает число выводов микросхемы [1–3].

Для решения этой проблемы применяется введение сканирующих цепочек (scan-chains): триггеры в схеме заменяются на ячейки сканирования (scan-cells), которые далее объединяются в сканирующие цепочки (сдвиговые регистры).

Такие ячейки сканирования контролируются с помощью нескольких дополнительных выводов:

– вход сканирования (scan in) — служит для ввода данных в сдвиговых регистр сканирования;

– выход сканирования (scan out) — используется для получения результатов тестирования (данных из сдвигового регистра);

– вход управления (scan enable) — контролирует режим ячеек сканирования: в неактивном режиме все ячейки ведут себя как исходные триггеры, а при активации переходят в режим сдвигового регистра.

Таким образом, цепочки сканирования решают одну из главных проблем тестирования: получения доступа к внутренним цепям схемы без использования большого числа выводов.

В некоторых случаях, входы и выходы сканирующих цепочек могут быть объединены с уже существующими выводами микросхемы для экономии выводов кристалла. В таком случает добавляется еще один контролирующий сигнал для управления режимом выводов — test mode enable [4].

Алгоритм процесса тестирования в общем случае имеет следующий вид:

– установка scan enable в активное состояние — перевод триггеров в режим сдвигового регистра;

– загрузка *i*-ой тестовой последовательности по scan in и чтение результатов для последовательности *i*–1 с помощью scan out, а также их сравнение с ожидаемым результатом;

– установка scan enable в неактивное состояние — нормальный режим функционирования триггеров;

– выполняется один или несколько тактов функционирования микросхемы для достижения ее заданного состояния;

– повторение шагов 1–4 до проверки всех тестовых последовательностей.

К примеру, для проверки того, что на выходе двухвходового элемента И, присутствует константная неисправность с фиксированием выхода на логический ноль, необходимо загрузить логические единицы в регистры устанавливающие его входные значения. При наличии неисправности, с регистра связанного с выходом данного элемента будет считан логический ноль.

Для создания сканирующих ячеек чаще всего применяется архитектура Mux DFF, в которой обычные D триггеры (DFF), заменяются на D триггеры с мультиплексором на входе данных: вход данных (от схемы) и вход режима сканирования подаются на входы мультиплексора, а выход мультиплексора соединен с входом данных D триггера [5]. Мультиплексор контролируется входом scan enable. Многие библиотеки стандартных элементов уже имеют готовые структуры для использования с архитектурой Mux DFF.

Существуют и другие архитектуры организации сканирующих цепочек, к примеру Level Sensitive Scan Design (LSSD), которая вносит меньше задержек в путь сигнала и предпочтительна для высокоскоростных систем [6].

При применении цепочек сканирования в тестировании также важен этап создания тестовых последовательностей: создание тестов для поиска неисправностей для тысяч элементов, исключает ручную генерацию тестов.

Автоматическая генерация тестовых последовательностей (Automatic test pattern generation, ATPG) использует данные о логических функциях элементов схемы для создания последовательностей, которые позволят выявить

максимальное число неисправностей. При создании последовательностей, необходимо достигнуть компромисса между процентом тестового покрытия (процентом найденных неисправностей) и числом тестов (т. е. временем тестирования) [7].

На тестовое покрытие также влияет и то, какая часть схемы имеет сканирующие ячейки: в современных цифровых микросхемах разработчики стремятся заменить практически каждый триггер на сканирующие ячейки.

Большая часть ATPG программ, являются коммерческими продуктами с закрытым исходным кодом, но существуют и альтернативы с открытым исходным кодом. К примеру, программа Fault [8], которая позволяет использовать алгоритм на основе генератора случайных чисел или генератор Atalanta, основанный на FAN алгоритме [9]. Наличие бесплатных альтернатив с открытым программным кодом для генерации тестовых последовательностей упрощает внедрение данной технологии в процесс тестирования цифровых микросхем на пластине.

Добавление цепочек сканирования в цифровую схему позволяет с помощью малого числа выводов и незначительного увеличения площади кристалла, повысить тестовое покрытие схемы и минимизировать время тестирования.

Литература

[1] Herman K., Montanares M., Marin J. Design and Implementation of Integrated Circuits Using Open Source Tools and SKY130 Free PDK. *30th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and System (MIXDES)*. Kraków, Poland, 2023, pp. 105–110. https://doi.org/10.23919/MIXDES58562.2023.10203216

[2] Корнев С.А., Андреев В.В. Проектирование конфигурируемого 32-разрядного RISC-V микропроцессора. *Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС)*, 2022, № 4, с. 122–129. https://doi.org/10.31114/2078-7707-2022-4-122-129

[3] Andreev D.V., Maslovsky V.M., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modified Ramped Current Stress Technique for Monitoring Thin Dielectrics Reliability and Charge Degradation. *Phys. Status Solidi A*, 2022, vol. 219, is. 9, art. no. 2100400(1–5). https://doi.org/10.1002/pssa.202100400

[4] Navabi Z. *Test pattern generation methods and algorithms*. Digital System Test and Testable Design, Using HDL Models and Architectures, Springer, 2011, 435 p.

[5] Hesham S., Shalan M., El-Kharashi M.W., Dessouky M. Digital ASIC Implementation of RISC-V: OpenLane and Commercial Approaches in Comparison. *IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, Lansing, MI, USA, 2021, pp. 498–502. https://doi.org/10.1109/MWSCAS47672.2021.9531753

[6] Nikhade K., Sowmiya G., Malarvizhi S. Classification of Valid Test Patterns Using Autoencoder for Adaptive Testing In VLSI. *International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI)*, Chennai, India, 2023, pp. 1–5. https://doi.org/10.1109/RAEEUCCI57140.2023.10134483

[7] Gaber L., Hussein A.I., Moness M. Fault detection based on deep learning for digital VLSI circuits. *Procedia Computer Science*, 2021, vol. 194, pp. 122–131. https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.10.065

[8] Abdelatty M., Gaber M., Shalan M. Fault: Open-Source EDA's Missing DFT Toolchain. *IEEE Design & Test*, 2021, vol. 38, no. 2, pp. 45–52. https://doi.org/10.1109/MDAT.2021.3051850

[9] Lee H.K., Ha D.S. An efficient forward fault simulation algorithm based on the parallel pattern single fault propagation. *Proceedings. International Test Conference*. Nashville, USA, 1991, pp. 946–955. https://doi.org/10.1109/TEST.1991.519760

Digital chip testing using scan chains

Kornev S.A. s.kornev.tov@gmail.com
Andreev V.V. vladimir_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The algorithm for testing digital microchips using scan chains is discussed. The process of testing using scan cells is shown, as well as its advantages over conventional functional testing. The features of scan chain architectures are considered, as well as their advantages and disadvantages. Features of test sequence generation using automatic test pattern generation for digital microcircuit fault finding are shown.

Keywords: *scan-chains, digital ic testability, reliability, mis-structure, cmos chip*

УДК 621.311.69

Схемотехническое моделирование импульсного источника питания

Кузнецов Вадим Вадимович vadim.kuznetsov@bmstu.ru
Рогов Даниил Михайлович rogovdm@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Объектом исследования являются импульсные источники питания (ИИП). Обсуждаются конструктивные особенности ИПП по системе «Евромеханика», обеспечивающей компактность и малый вес, что позволяет использовать их в авиации и космической отрасли. Также акцентируется внимание на новых полупроводниковых материалах, позволяющих ИИП работать на повышенных частотах переключения. Представлен блок питания для радиоэлектронной аппаратуры с защитой от перегрузок и перенапряжений.

Ключевые слова: *qucs, схемотехническое моделирование, импульсные источники питания, импульс*

Введение. Импульсные источники питания занимают значительное место в современной электронике, имея преимущества в показателях КПД по сравнению с линейными достигая до 95 %. Конструктивное исполнение импульсного источника питания может быть выполнено в системе «Евромеханика 19» [1], что позволяет достичь компактности и минимального веса, что открывает возможность использовать в более обширной области, такой как авиация и космическая отрасль.

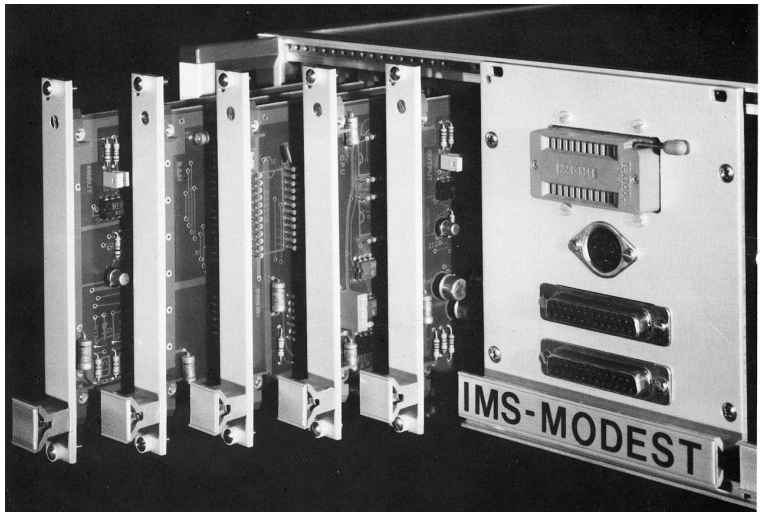


Рис. 1. Блок с печатными платами выполненными в системе «Евромеханика»

Импульсные источники питания работают за счет быстрого переключения между состояниями «включено» и «выключено» [2], используя транзисторы и высокочастотные модуляции, такие как широтно-импульсная (ШИМ) и частотная модуляция. Основные этапы работы включают:

– выпрямление и фильтрация входного напряжения: переменное напряжение преобразуется в постоянное, что упрощает последующие этапы преобразования;

– импульсное преобразование: высокочастотный транзисторный ключ переключает напряжение для подачи на трансформатор;

– гальваническая развязка: трансформатор обеспечивает изоляцию входной и выходной цепей, что увеличивает безопасность;

– обратная связь: система поддерживает стабильное выходное напряжение, регулируя длительность импульсов или частоту переключений на основе изменений нагрузки.

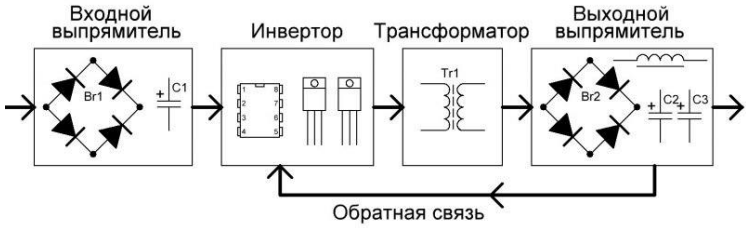


Рис. 2. Структурная схема работы импульсного источника питания

Недавние разработки включают использование полупроводниковых материалов [3] с широкими запрещенными зонами. Эти материалы позволяют повысить частоту переключения, уменьшить потери и обеспечить дальнейшее снижение размеров. Также растет потребность в энергоэффективных импульсных источниках питания в контексте Интернета вещей (IoT), так как подключаемые устройства требуют стабильного и эффективного питания.

Описание выбранного блока. Был выбран блок питания, предназначенный для питания радиоэлектронной аппаратуры постоянным стабилизированным напряжением установленного уровня и реализации различных систем вторичного электропитания. Используется исполнение «Евромеханика 19» блок будет принудительно воздушно охлаждаться в составе шкафа.

Блок обеспечивает защиту от перегрузок по току и КЗ. Диапазон срабатывания от перегрузки по току соответственно:

– первый канал — (27,5–30,0) А,

– второй канал — (36–39) А.

Блок обеспечивает защиту от превышения выходного напряжения. Диапазон срабатывания схемы защиты от перенапряжения по выходу соответственно:

– первый канал — (5,4–5,5) В;

– второй канал — (3,5–3,6) В.

При этом выходное напряжение снижается, блок переходит в прерывный режим работы.

В прерывном режиме работы импульсного блока питания энергия передается импульсами, и катушка индуктивности полностью разряжается между циклами. В результате катушка отключается в каждый период, то есть ток через нее снижается до нуля перед тем, как начинается новый цикл зарядки.

Блок обеспечивает защиту от снижения напряжения питающей сети. При снижении напряжения до уровня 153–163 В блок отключается и выдает на панель сигнал в виде запирания *n–p–n*-транзистора с открытым коллектором.

При повышении напряжения питающей сети до минимального уровня питания 164 В, блок автоматически включается и снимается сигнал в виде отпирания n-p-n транзистора с открытым коллектором.

Блок обеспечивает защиту от перегрева. При повышении температуры в месте установки температурного датчика до уровня +(88–92) °С блок отключается. После снижения температуры до уровня не более чем +55 °С блок автоматически включается.

Постановка задач. После рассмотрения данного блока питания были выдвинуты следующие задачи:

– выполнить схемотехническое моделирование в программе Qucs-S [4];

– выполнить замеры пульсаций и сравнить их с результатами, полученными при регулировке реального изделия;

– измерить помехи, выдаваемые в сеть;

– оценить целесообразность внедрения фильтра.

Заключение. Было проведено ознакомление с импульсными блоками питания, и дальнейшими перспективами их развития. Поставлены задачи и выбраны способы их решения. Импульсные источники питания продолжают совершенствоваться, становясь все более универсальными, экономичными и безопасными. Благодаря этим характеристикам, ИИП обеспечивают питание множества современных электронных устройств — от бытовой электроники до медицинских и промышленных приложений, где надежность и эффективность имеют ключевое значение.

Литература

[1] Бердичевский М. Конструктивы Евромеханики во встраиваемых системах. *Современные технологии автоматизации*, 2002, № 4, с. 52–59.

[2] Мураховский В.И. *Импульсные источники питания: теория и практика*. Москва, Радио и связь, 2016.

[3] Смирнов Ю.А. *Импульсные источники питания: от простого к сложному*. Москва, ДМК Пресс, 2020.

[4] Кузнецов В.В. Симулятор электронных схем с открытым исходным кодом Qucs: основные возможности и основы моделирования. *Компоненты и технологии*, 2015, № 3(164), с. 114–120.

Circuit simulation of a switched-mode power supply

Kuznetsov V.V. vadim.kuznetsov@bmstu.ru
Rogov D.M. rogovdm@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The research objective is to compare measurements of ripple and noise from a switched-mode power supply (SMPS) with data collected from an actual product. These measurements were conducted through circuit simulation using the Qucs-S software.

Keywords: *qucs, circuit simulation, switched-mode power supply, pulse*

УДК 621.317

Частотные свойства резисторов

Чубурков Александр Евгеньевич chuburkov2015@mail.ru
Кузнецов Вадим Вадимович vadim.kuznetsov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрено поведение резисторов в условиях быстроменяющихся сигналов и высоких частот. Частотные свойства, такие как индуктивные и емкостные эффекты, особенно важны в импульсном режиме, где резисторы подвержены резким изменениям напряжения и тока, что может привести к перегреву и искажению сигналов. Исследуется зависимость активного и реактивного сопротивления от заданной частоты. В статье обсуждается необходимость учитывания конструкторской особенности различных типов резисторов. В исследовании делается вывод о том, что активное и реактивное сопротивления изменяются в зависимости от частоты, что влияет на качество работы схем и надежность электронных устройств.

Ключевые слова: *активное сопротивление, реактивное сопротивление, конструкторская особенность, измерение, частота*

В современном мире электроника проникает во все сферы нашей жизни, от бытовых приборов до сложных систем управления и связи. Одним из основных компонентов, обеспечивающих надежную работу электрических схем, является резистор [1]. Несмотря на свою простоту, резисторы играют ключевую роль в формировании электрических сигналов, их распределении и регулировании. Однако в условиях быстроменяющихся сигналов и высоких частот поведение резисторов становится более сложным и требует более глубокого понимания. [2].

Частотные свойства резисторов, такие как индуктивные и емкостные эффекты, становятся особенно актуальными при работе в импульсном режиме. В этом режиме резисторы подвергаются резким изменениям напряжения и тока, что может привести к нежелательным эффектам, таким как перегрев, искажение сигналов и даже выход из строя компонентов [2]. Введение в данную тему позволяет не только рассмотреть основные характеристики резисторов, но и проанализировать, как эти характеристики влияют на работу схем в реальных условиях. [3].

Понимание этих взаимодействий имеет важное значение для разработчиков и инженеров, стремящихся создавать надежные и эффективные электронные устройства, способные функционировать в условиях высоких частот и быстрого изменения сигналов. [4].

Частотные свойства резисторов становятся заметными при работе на переменном токе, когда полное сопротивление представляет собой комплексное значение $Z = R_s + jX_s$, где Z — полное сопротивление резистора на переменном токе; R_s — активная составляющая сопротивления резистора; jX_s — ре-

активная составляющая сопротивления резистора. При использовании резисторов в цепях переменного тока с высокой частотой или в импульсных устройствах с короткими импульсами необходимо учитывать зависимость полного сопротивления от частоты. Эта зависимость возникает из-за наличия реактивных компонентов, связанных с собственными емкостями и индуктивностями резисторов. В частности, для непроволочных резисторов с номинальным сопротивлением в несколько кОм и выше реактивная составляющая в основном определяется их собственной емкостью, тогда как для низкоомных резисторов важную роль играют индуктивности элемента и его конструкции. [5].

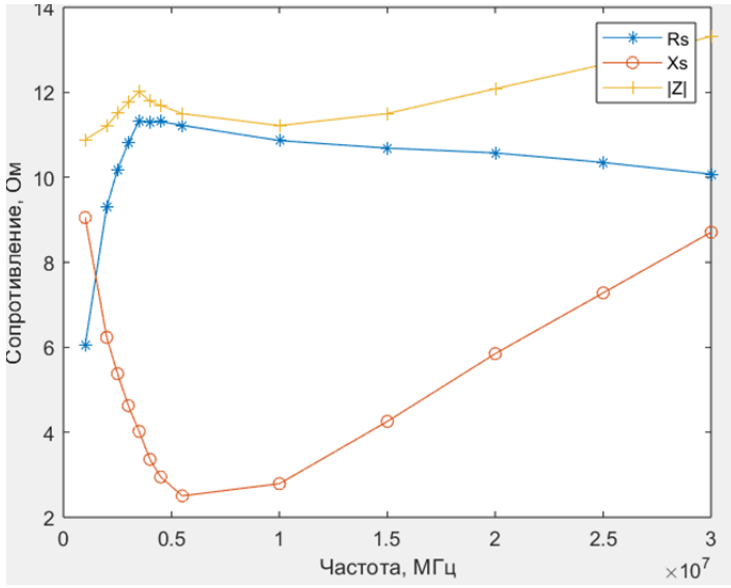
Резисторы, применяемые в аттенюаторах, колебательных контурах и усилителях высокой частоты, должны обладать исключительно активным сопротивлением, то есть быть как можно более реактивными и сохранять свое значение постоянным на протяжении всего необходимого диапазона частот. Однако, несмотря на использование специальных технологий производства, на высоких частотах резисторы подвержены влиянию собственной емкости и индуктивности. Кроме того, возникают потери на вихревые токи в металлических частях резисторов и диэлектрические потери в керамических основаниях и покрытиях. [5].

В таблице приведены значения *Rs, Xs, Zp*, измеренные с помощью антенного анализатора и измерителя импедансов MINI1300.

Таблица с измеренными параметрами

Резисторы С2-33Н 10 Ом 2 Вт			
Частота *f*, МГц	***Zp***	***Rs***	***Xs***
1	10,8856	6,0457	9,0524
2	11,1989	9,3038	6,2333
2,5	11,5117	10,1781	5,3782
3	11,7581	10,8095	4,6269
3,5	12,0151	11,3226	4,0201
4	11,7890	11,2992	3,3627
4,5	11,6897	11,3120	2,9476
5,5	11,4973	11,2214	2,5036
10	11,2162	10,8638	2,7894
15	11,5017	10,6857	4,2550
20	12,0837	10,5733	5,8500
25	12,6527	10,3484	7,2801
30	13,3148	10,0729	8,7074

На рисунке приведена оптимизация данных таблицы. На данном графике приведена зависимость активного и реактивного сопротивления резистора 10 Ом от частоты.



Зависимость активного и реактивного сопротивления от частоты

На основе полученных данных, приведенных в таблице и рисунке, делается вывод, что активное сопротивление имеет свое минимальное значение на частоте 1 Мгц, затем достигает своего максимального значения на частоте 3,5 МГц. После этого с увеличением частоты начинается постепенное снижения показателя. Реактивное сопротивление, в свою очередь, имеет минимальное значение на частоте 1 МГц, затем достигает своего минимального значения на частоте 5,5 МГц. При прохождении минимального значения начинается увеличение данного сопротивления на протяжении всего измеренного диапазона.

Влияние частотных свойств резисторов и их особенности работы в импульсном режиме оказывают заметное влияние на качество работы электронных схем. Увеличение частоты и быстрые изменения сигналов требуют более детального анализа и выбора резисторов, способных эффективно справляться с такими условиями. Понимание этих факторов способствует созданию надежных и эффективных электронных устройств, которые могут работать в широком диапазоне условий.

Литература

[1] Salman E. *Switching noise and timing characteristics in nanoscale integrated circuits.* Degree Dr. (Phil.)., 2011, pp. 135–140.

[2] Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В., Белоусов О.А. *Конструирование устройств электронных средств.* Ростов-на-Дону, Феникс, 2013, 540 с.

[3] Уваров А.С. PCAD-2002 и SPECCTRA. *Проектирование печатных плат*. Москва, СОЛОН-Пресс, 2003, 524 с.

[4] Пасынков В.В., Сорокин В.С. *Материалы электронной техники*. Санкт-Петербург, Лань, 2002, 481 с.

[5] Четверткова И.И., Терехова В.М. *Резисторы*. Москва, Радио и связь, 1991, 528 с.

Frequency properties of resistors

Chuburkov A.E. chuburkov2015@mail.ru

Kuznetsov V.V. vadim.kuznetsov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

The parasitic parameters of pin throug hole resisitors in RF domain are considered in this article. The parasitic capacitinace and inductance are especially important for RF domain operation and pulsed currents and voltages. This may cause signal wavefrom distorition. The frequency dependency of the resistor impedance and reactance is investigated. The article states that the restors parasitics should be taken into the consideration. The resitostor parasitic reactance frequncy dependency may affect the quality and reliabilty of electronic devices.

Keywords: *active resistance, reactance, design feature, measurement, frequency*

УДК 621.385.69

Методы моделирования СВЧ-устройств на микрополосковых линиях

Кузнецов Вадим Вадимович vadim.kuznetsov@bmstu.ru
Лукашов Дмитрий Игоревич dimitriluckashov@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрены основные направления развития современных сверхвысокочастотных устройств, новые материалы для их изготовления, инновационные методы проектирования оборудования данного типа, а также перспективные, на данный момент, направления исследований в данной сфере. Объектом исследования являются последние достижения в области сверхвысокочастотных фильтров, основанных на микрополосковых линиях. Используя различные источники информации, были описаны улучшения характеристик данных устройств.

Ключевые слова: *СВЧ-фильтры, микрополосковые линии, связанные резонаторы, метаматериалы, электромагнитные симуляции, программируемые фильтры*

Введение**.** СВЧ-фильтры на микрополосковых линиях играют ключевую роль в современных радиоэлектронных системах, обеспечивая селекцию частот и формирование необходимых спектральных характеристик сигналов. Постоянно растущие требования к миниатюризации, повышению производительности и расширению функциональных возможностей радиоэлектронных устройств стимулируют развитие новых технологий в этой области.

Основные направления развития. ***Новые топологии фильтров.*** Устройства на основе связанных резонаторов обеспечивают высокую селективность и компактность, позволяя создавать фильтры с большим числом полюсов в ограниченном пространстве. Их конструкция основана на взаимодействии электромагнитных полей, что позволяет достичь более крутых скатов характеристик [1].

Устройства с распределенными элементами дают возможность реализовать сложные частотные характеристики, включая фильтры с крутыми скатами и полосами подавления. В них используются не только сосредоточенные элементы (индуктивности и емкости), но и распределенные параметры микрополосковых линий [2].

Фильтры на основе метаматериалов обеспечивают уникальные электромагнитные свойства, такие как отрицательная диэлектрическая проницаемость или магнитная проницаемость, что позволяет создавать устройства с необычными характеристиками, например, с отрицательной групповой скоростью. Новые материалы:

– диэлектрики;

– высокочастотные керамики: такие материалы, как алюминат лантана (LTCC), позволяют создавать многослойные структуры с высокой плотно-

стью интеграции и низкими потерями. Они широко используются в микроволновых интегральных схемах (МИС) [3];

– жидкие кристаллы: их электрооптические свойства используются при создании перестраиваемых фильтров, где изменение электрического поля воздействует на диэлектрическую проницаемость среды и, соответственно, его характеристики [4].

– метаматериалы — искусственные материалы с необычными электромагнитными свойствами, которые могут быть использованы для создания СВЧ-устройств с отрицательной эффективной диэлектрической проницаемостью или магнитной проницаемостью. Это позволяет реализовать компактные фильтры с уникальными характеристиками [5];

– металлы: благородные металлы такие как золото и серебро традиционно используются в СВЧ-технике благодаря своим низким потерям. Однако их высокая стоимость стимулирует поиск более дешевых альтернатив. К таким аналогам можно отнести нитриды металлов, например нитриды титана, ниобия и другие обладают низкими потерями и высокой температурой плавления, что делает их перспективными для высокотемпературных применений. Металлические сплавы, такие как монель и купроникель, используются для создания микрополосковых линий с высокой механической прочностью и хорошей проводимостью [1];

– композитные материалы: полимерные композиты — сочетание полимеров с металлическими или керамическими наполнителями позволяет создавать легкие и прочные материалы с заданными диэлектрическими свойствами; ферриты — материалы с ферромагнитными свойствами, которые используются в фильтрах для создания нерезонансных поглотителей и изоляторов [2].

Новые методы проектирования. Электромагнитные симуляции предоставляют возможность точно моделировать характеристики СВЧ-приборов и оптимизировать их конструкцию. Современные программные комплексы позволяют проводить детальный анализ электромагнитного поля внутри фильтра и учитывать различные паразитные эффекты. Нейронные сети используются для ускорения процесса проектирования и оптимизации. Они обучаются на больших массивах данных и позволяют определять характеристики фильтров без проведения трудоемких симуляций [3].

Интеграция с активными элементами позволяет создавать программируемые фильтры с низким уровнем шумов. Например, сочетание микрополосковых СВЧ-приборов с транзисторами позволяет реализовать фильтры с переменной полосой пропускания. Интеграция с другими пассивными компонентами дает возможность создавать компактные модули с высокой функциональностью. Например, объединение фильтра с антенной и усилителем позволяет реализовать компактный приемный модуль [4].

Перспективные направления исследований. Устройства с программируемыми характеристиками: Использование активных элементов и микроэлектромеханических систем (MEMS) для создания фильтров с динамически

изменяемыми характеристиками. Они могут использоваться в адаптивных системах связи и радиолокации.

Фильтры для многочастотных систем: разработка СВЧ-устройств, способных работать в широком диапазоне частот и перестраиваться под различные сигналы. Такие фильтры необходимы для систем связи нового поколения, которые будут поддерживать множество стандартов и протоколов [5].

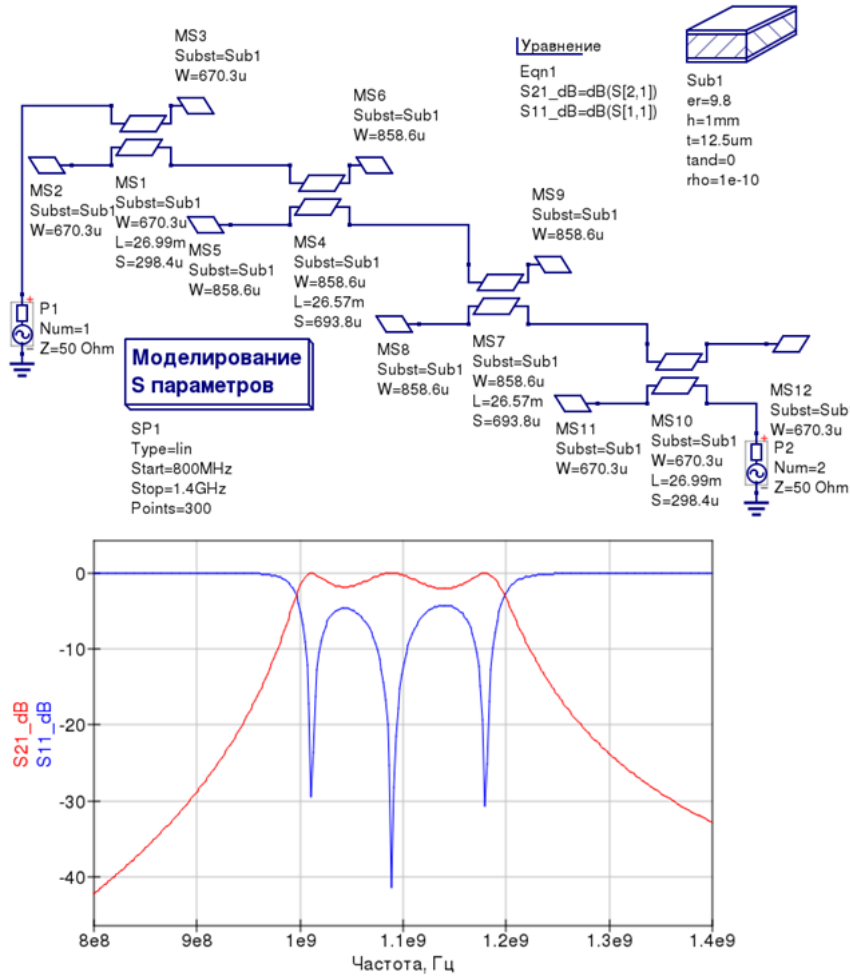


Рис. 1. Пример моделирования СВЧ-фильтра на микрополосковых линиях при помощи программного обеспечения Qucs

Приборы с повышенной устойчивостью к внешним воздействиям: разработка фильтров, способных работать в экстремальных условиях (высокая температура, высокая влажность, радиация). Они востребованы в космической и военной технике.

Фильтры для систем с фазовой модуляцией: разработка фильтров, обеспечивающих минимальные искажения фазы сигнала. Такие устройства необходимы для систем цифровой связи, где важна высокая точность передачи информации [1].

Заключение. СВЧ-фильтры на микрополосковых линиях продолжают развиваться, и новые технологии открывают широкий диапазон перспектив для их применения в различных областях. Постоянно появляются новые материалы, конструкции и методы проектирования, что позволяет создавать более совершенные и функциональные устройства. Дальнейшее развитие этой области будет направлено на создание еще более компактных, эффективных и многофункциональных устройств, способных удовлетворить растущие потребности современной электроники.

Литература

[1] Сидоров Б.С. Моделирование СВЧ-фильтров на основе метаматериалов. *Современные проблемы электродинамики*, 2021, с. 120–135. — уточните, пожалуйста, номер журнала

[2] Кузнецов В.В. Моделирование высокочастотных схем в частотной области при помощи САПР Qucs. *Компоненты и технологии*, 2015, № 8, с. 120–126.

[3] Иванов В.А. *Микроволновая электроника: основы и приложения.* Москва, Лань, 2022, с. 55–61.

[4] Гуляев Ю.В. *Новые материалы для СВЧ-фильтров*. Москва, Наука, 2022, с. 55–62.

[5] Смирнов В.Г. *Сравнительный анализ программных комплексов для моделирования СВЧ-фильтров*, 2023, с. 58–77. — что это? журнал? Сборник трудов? Уточните выходные данные

Innovations in microstrip based microwave (ultra high frequency) filters: a review of recent advances

Kuznetsov V.V. vadim.kuznetsov@bmstu.ru
Lukashov D.I. dimitriluckashov@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

This article discusses the main directions of development of modern ultra-high-frequency devices, new materials for their manufacture, innovative methods of designing equipment of this type, as well as promising, at the moment, research directions in this area. The object of the study is the latest achievements in the field of ultra-high-frequency filters based on microstrip lines. Using various sources of information, improvements in the characteristics of these devices were described.

Keywords: *microwave filters, microstrip lines, coupled resonators, metamaterials, electromagnetic simulations, programmable filters*

УДК 621.3.049.774

Сравнительный анализ качества топологического рельефа кристалла микросхемы методами контактной и проекционной фотолитографии

Перевозчикова Дарья Сергеевна perevozcikovadara10888@gmail.com
Андреев Владимир Викторович vladimir_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Проанализированы особенности проведения фотолитографических процессов методами контактной и проекционной фотолитографии. Исследован процесс создания топологического рельефа методами контактной и проекционной фотолитографии, выявлены преимущества и недостатки. Проведено сравнение методов контактной и проекционной фотолитографии в условиях производства интегральных микросхем.

Ключевые слова: *фотолитография, проекционная фотолитография, контактная фотолитография*

Качество воспроизведения топологического рельефа на поверхности полупроводниковых пластинах во многом зависит от особенностей проведения фотолитографических процессов. Для сложных изделий, предполагающих многократное повторение фотолитографических операций, качество их проведения может существенно сказываться на получении годной продукции [1]. Конечный результат фотолитографии во многом определятся формированием пленки фоторезиста, адгезией его к подложке, конфигурацией элементов, клином травления и привнесенными дефектами, такими как царапины, проколы пленки фоторезиса, загрязнение, уход элементов и т. д. [2].

Основным параметром, характеризующим фотолитографический процесс, является его разрешающая способность [3]. Контактная и проекционная фотолитография относятся к методам оптической фотолитографии. Предельные возможности оптической фотолитографии определяются качеством объектива, осветителем, формирующим плоскопараллельный пучок света, качеством фотошаблонов и фоторезиста, условиями производства и т. п. [4].

Контактная фотолитография наиболее распространенный метод получения элементов на поверхности полупроводниковой пластины, имеющий как ряд преимуществ, так и недостатков. Методами контактной фотолитографии можно реализовывать топологические элементы интегральных схем с размерами до 1,5–2,0 мкм. Контактная фотолитография основана на прямом контакте маски с поверхностью подложки. Перенос рисунка с фотошаблона на пластину происходит в масштабе 1:1 по всей поверхности пластины, что значительно увеличивает скорость операции, при этом повышая дефектность слоя, поскольку дефекты фотошаблона, в том числе и привнесенные переносятся на поверхность пластины также в масштабе 1:1. Контактная фотолито-

графия более проста в исполнении и менее затратна, чем проекционная фотолитография, однако она имеет ряд недостатков, в большей мере связанных с контактом подложки и фотошаблона, что может приводить как к повреждению маски, так и шаблона, из-за чего срок службы фотошаблона значительно сокращается [1]. Дефекты, привнесенные вследствие контакта на фотошаблон, переносятся при дальнейшем экспонировании на поверхность пластины, что повышает дефектность слоя. Также следует учитывать, что качество совмещения ключевым образом завит от человеческого фактора, который может оказать существенное влияние на качество проведения фотолитографического процесса [2].

Существенным преимуществом проекционной фотолитографии является отсутствие прямого контакта фотошаблона с поверхностью пластины, что значительно уменьшает количество дефектов при проведении процесса экспонирования, при этом также увеличивается срок службы фотошаблона. При сравнении в статье будет рассматриваться метод пошагового экспонирования, который заключается в последовательном пропечатывании модулей, содержащих один или несколько кристаллов в зависимости от размера кристаллов и мощности засветки установки. Фотошаблоны для такого метода экспонирования увеличивают в масштабах 5:1 или 10:1 от реальной величины пропечатываемого модуля, позволяя уменьшить влияния дефектов шаблона до несущественных значений и упростить нахождение дефекта на шаблоне. Однако такой метод требует более высокого уровня качества фотошаблонов, поскольку дефект шаблона будет пропечатываться на каждый модуль, содержащийся на поверхности полупроводниковой пластины, также такой метод экспонирования увеличивает время проведение процесса, а при необходимости пропечатывания отличных друг от друга модулей время увеличивается значительно. В некоторых случаях для уменьшения количества привнесенных дефектов (накопленных на поверхности фотошаблона частиц пыли) используется тонкая пленка полимера — пелликул, которая дефокусируют изображение пылевидных частиц. Фотошаблоны с пелликулами имеют большой срок службы, однако они существенно дороже и срок их изготовления значительно дольше, что в случаях необходимости делает их замену проблематичной. Проекционная фотолитография имеет более высокую разрешающую способность по сравнению с контактной, что позволяет создавать микросхемы с более высокой плотностью интеграции. Совмещение выполняется установкой по знакам совмещения, точность совмещения составляет ±0,1 мкм, при длине волны излучения около 400 нм (ртутная лампа). Работа с установкой требует более высокого уровня подготовки оператора, чем при контактной фотолитографии, также установка сложна в ремонте и обслуживании [5].

Заключение. Оба метода имеют ряд преимуществ и недостатков, выбор метода будет зависеть от требований к конкретному технологическому процессу [2]. Проекционная фотолитография обеспечивает меньшую дефектность процесса, более высокое разрешение и точность, однако она требует

дорогостоящего оборудования и технологической оснастки, высокой подготовки операторов, более жестких производственных условий, а также значительно большего времени, чем контактная фотолитография, что увеличивает стоимость производства. Проекционную фотолитографию целесообразно использовать для производства сложных схем высокого уровня интеграции, схем, требующих точного совмещения топологических слоев, дорогостоящих микросхем с высоким уровнем требований. Контактная фотолитография более проста и экономически эффективна, что делает ее предпочтительным методом для производства массовых партий устройств. Однако она имеет более низкое разрешение и может не подходить для создания более сложных структур.

Литература

[1] Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. Москва, Радио и связь, 2007, 464 с.

[2] Андреев В.В. Барышев В.Г., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А. Метод многоуровневой токовой нагрузки для исследования генерации и релаксации положительного заряда в МДП-структурах. Микроэлектроника, 2003, т. 32, № 2, с. 152–158.

[3] Андреев Д.В., Курносенко А.Е., Макарчук В.В., Соловьев В.А. Технологические процессы изготовления электронной компонентной базы приборостроения. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, 467 с.

[4] Andreev D.V., Maslovsky V.M., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modified Ramped Current Stress Technique for Monitoring Thin Dielectrics Reliability and Charge Degradation. Phys. Status Solidi A., 2022, vol. 219, is. 9, art. no. 2100400(1–5). https://doi.org/10.1002/pssa.202100400

[5] Трапашко Г. Контроль микроразмеров в производстве ИС задачи и особенности. Электроника, наука, технология, бизнес, 2011, № 3, с. 96–103.

Comparative analysis of the quality of the topological relief of the crystal of the microcircuit with the methods of contact and projection photolithography

Perevozchikova D.S. perevozcikovadara10888@gmail.com
Andreev V.V. vladimir_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The features of photolithographic processes by contact and projection photolithography methods are analyzed. The process of creating a topological relief by contact and projection photolithography methods is studied, advantages and disadvantages are identified. A comparison of contact and projection photolithography methods was carried out under the conditions of integrated circuit production.

Keywords: *photolithography, projection photolithography, contact photolithography*

УДК 621.317

Оптимизация быстродействия инструментального усилителя: влияние емкости и тока стока

Серов Илья Евгеньевич serovie@student.bmstu.ru
Чубурков Александр Евгеньевич chuburkov2015@mail.ru
Адарчин Сергей Александрович adarchin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрено решение проблемы низких динамических параметров микросхемы инструментального усилителя, вызванных существенным падением тока стока полевого p-канального транзистора и недостаточной фильтрацией высокочастотных шумов и помех. Улучшение этих параметров путем совершенствования технологии производства полупроводниковой пластины на этапах формирования структуры элементов полевого транзистора и емкости, позволило двукратно повысить быстродействие всей микросхемы усилителя. Данные качественные изменения позволят в перспективе расширить область применения инструментальных усилителей и повысить их надежность.

Ключевые слова: *динамические параметры, технология, полевой транзистор, емкость, улучшение, исследование*

Инструментальные усилители с высокой скоростью отклика находят применение там, где необходимо быстрое и точное усиление слабых сигналов. В медицинских приборах, таких как ЭКГ и ЭЭГ, важна способность усилителя оперативно фиксировать изменения сигналов. Оптимизация времени отклика повышает точность диагностики. В промышленных и научных измерительных устройствах измерения давления, температуры и других величин требуется высокая скорость отклика для точной обработки быстро меняющихся сигналов. Уменьшение времени отклика позволяет надежно фиксировать данные даже в условиях помех. Лабораторное оборудование, предназначенное для регистрации кратковременных изменений параметров, также требует усилителей с низким временем отклика для минимизации искажений.

Быстродействие микросхемы инструментального усилителя характеризуется параметром «времени отклика» ($t_г$). Данная характеристика в большей степени зависит от величины емкости микросхемы и тока стока ($I_{стока}$) полевого p-канального транзистора. Величина тока стока, в свою очередь, определяется концентрацией примеси бора в области кармана, а емкость толщиной диэлектрического слоя в обкладках конденсатора [1].

Ток стока полевого транзистора — это электрический ток, протекающий через канал полевого транзистора от истока к стоку. Управление током осуществляется изменением проводимости канала, которая зависит от напряжения между затвором и истоком. Этот ток определяется проводимостью канала, который образуется при приложении напряжения на затвор. Изменение

концентрации примеси (в данном случае бора) в области кармана влияет на проводимость канала и, следовательно, на величину тока стока.

Для повышения концентрации примеси в области кармана *p*-канального транзистора необходимо увеличить дозу легирования при проведении ионной имплантации. Это отразится уменьшением поверхностного сопротивления области (ρ_s) и увеличением глубины залегания диффузионного слоя (X_j) [2].

Концентрация примеси — это количество атомов примеси на единицу объема полупроводникового материала. Концентрация определяется плотностью ионного тока и временем имплантации и влияет на электрические свойства полупроводника, а также на глубину проникновения примеси.

Поверхностное сопротивление — это сопротивление квадратного участка поверхности материала толщиной *d*. Оно не зависит от величины сторон этого квадрата и характеризует электропроводящие свойства материала.

Глубина залегания диффузионного слоя — это расстояние от поверхности полупроводниковой пластины до границы между областями с различным типом проводимости, образованной в результате диффузии примесей. Эта глубина также зависит от параметров процесса имплантации примесей [3].

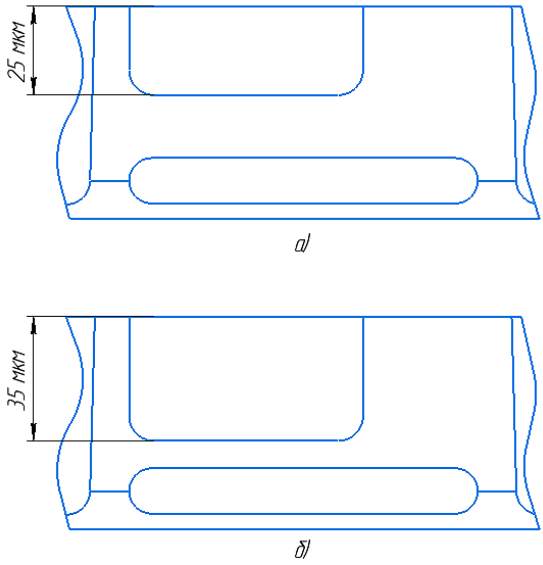


Рис. 1. Глубина залегания диффузионного слоя:
а — до изменения концентрации; *б* — после

Ток стока нельзя неконтролируемо повышать ввиду того, что его рост сказывается также на одновременном увеличении токов потребления, которые должны оставаться в установленных пределах. В случае данного инструментального усилителя, токи потребления должны находиться в интервале от 2 до 5 мА [4].

Величина емкости в микросхеме инструментального усилителя напрямую влияет на время отклика усилителя, так как она определяет, насколько быстро схема может реагировать на изменения входного сигнала. В контексте быстродействия микросхемы, большая емкость может замедлить реакцию схемы на изменения входного сигнала, поскольку для изменения состояния требуется большее количество энергии и, следовательно, больше времени. Однако в определенных пределах увеличение емкости может улучшить стабильность усилителя и снизить его чувствительность к высокочастотным шумам, поскольку повышенная емкость выполняет фильтрацию высокочастотных колебаний.

Увеличения емкости можно добиться уменьшением толщины слоя тонкого окисла, который служит изоляцией между электродами конденсатора. Исходная толщина тонкого окисла составляет 0,2 мкм, ее уменьшение до 1000 Å позволит увеличить емкость с 10 до 20 пФ.

Увеличение емкости позволяет более эффективно фильтровать высокочастотные шумы и помехи, улучшая стабильность схемы [5].

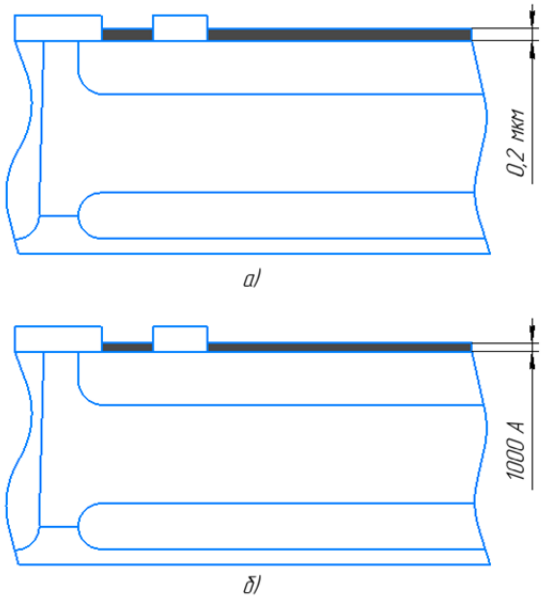


Рис. 2. Толщина диэлектрического слоя:
а — до уменьшения толщины; *б* — после

Экспериментально было установлено, что результатом таких мер станет двукратное сокращение времени отклика микросхемы. В совокупности эти изменения в технологии положительно скажутся на управляемости полевого транзистора, что, в свою очередь, существенно увеличит быстродействие усилителя в целом.

Литература

[1] Волович Г.И. *Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств*. Саратов, Профобразование, 2017, с. 62–65.

[2] Курносов А.И., Юдин В.В. *Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.* Москва, Высш. шк., 1986, с. 202–207.

[3] Берикашвили В.Ш., Воробьев С.А. *Твердотельная электроника и микроэлектроника*. Москва, КноРус, 2023, с. 214–215.

[4] Жмудь В.А. *Электронные системы управления лазерным излучением: специальные главы*. Новосибирск, Новосиб. гос. ун-т, 2010, с. 12–17.

[5] Баранов П.Ф. *Синхронный усилитель с сигнальной инвариантностью к синфазному сигналу*. Дис. … канд. техн. наук. Томск, 2020, с. 26–29.

Optimizing tool amplifier speed: effect of capacity and drain current

Serov I.E. serovie@student.bmstu.ru
Chuburkov A.E. chuburkov2015@mail.ru
Adarchin S.A. adarchin@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The solution of the problem of low dynamic parameters of the instrumentation amplifier chip caused by a significant drop in the drain current of the p-channel FET and insufficient filtering of high-frequency noise and interference is considered. Improving these parameters by improving the technology of semiconductor wafer production at the stages of forming the structure of FET elements and capacitance, made it possible to double the speed of the entire amplifier chip. These qualitative changes will allow in the future to expand the scope of application of instrument amplifiers and increase their reliability.

Keywords: *dynamic parameters, technology, field-effect transistor, capacitance, improvement, research*

УДК 519.876.5

Цифровое моделирование в Qucs-S: обзор текущего состояния

Кузнецов Вадим Вадимович vadim.kuznetsov@bmstu.ru
Алехин Артем Владимирович alyokhinav@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Представлен обзор текущего состояния моделирования цифровых ИМС в программе схемотехнического моделирования Qucs-S. Рассмотрены ключевые особенности Qucs-S, включая его возможности по моделированию аналоговых и цифровых цепей, а также новые функции, добавленные в актуальной версии программы.

Ключевые слова: *цифровое моделирование, Qucs-S, электронные схемы, анализ, инструменты проектирования, модели компонентов, симуляция*

Введение. Цифровое моделирование стало одним из распространенных методов симуляции и анализа электронных схем в последнее время. Это стало возможно благодаря стремительному развитию программ-эмуляторов и расширение их компонентной базы. Одним из популярных инструментов для выполнения задач моделирования схем является Qucs-S (Quite Universal Circuit Simulator with SPICE). Этот программный пакет был разработан как расширение оригинального Qucs, выпущенным в начале 2000-х годов. Qucs-S предоставляет возможность проводить симуляции с использованием методов, основанных на SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), и обеспечивает более широкий спектр возможностей для анализа схем.

Общая информация о программе и ее основных функциях. Qucs-S является программой с открытым исходным кодом для моделирования электронных схем. Qucs-S кроссплатформенный (поддерживаются Linux и Windows) и написан на C++ с использованием набора библиотек Qt [1]. Является дополнением программы Qucs, выпущенной немцами Stefan Jahn и Michael Margraf в 2003 г. [2] Изначально она представляла простой симулятор электронных схем, однако со временем у пользователей появилась потребность более глубокого анализа. В 2014 г. на основе ранних наработок по Qucs началась работа над Qucs-S, который позволял подключать в качестве движка моделирования Ngspice с открытым исходным кодом. В 2022 г. Qucs-S был портирован на фреймворк Qt5, что фактически можно считать воскрешением симулятора.

Qucs-S предназначен для моделирования цифровых и аналоговых схем с целью получения частотных и временных характеристик в обширном диапазоне частот (от постоянного тока до СВЧ-частот). Основное преимущество, которое выгодно выделяет Qucs-S среди других программ подобного назначения (например, Ltspice, Multisim и PSpice), является встроенная возможность моделирования гармонического баланса и S-параметров. [3] Программа включает в себя множество встроенных моделей для резисторов, конденсато-

ров, транзисторов и других активных и пассивных компонентов. Кроме того, пользователи могут добавлять собственные модели, создавая персональные библиотеки компонентов.

Возможности Qucs-S в сфере цифрового моделирования. Quite Universal Circuit Simulator with SPICE обладает обширным списком видов моделирования и функций, позволяющих проводить анализ различных схем. Помимо классических функций, таких как моделирование на постоянном токе (DC analysis), моделирование в частотной области на переменном токе (AC analysis) и моделирование переходного процесса (Transient analysis), Qucs-S также поддерживает моделирование цифровых схем, спектральный анализ и параметрический анализ [4].

Примечательной особенностью Qucs-S является возможность анализа схем в частотной области. С этой целью в программе реализованы следующие функции:

– моделирование S-параметров;

– модели длинных линий;

– постпроцессор Qucsator, предназначенный для работы с S-параметрами;

– утилиты для расчета параметров МПЛ и синтеза фильтров на их основе [3].

Текущее состояние Qucs-S. На данный момент Qucs-S активно развивается. Последнее обновление 24.4.0 внесло улучшения в пользовательский интерфейс и расширило функциональность, добавив новые компоненты и модели. Главными новшествами этого выпуска являются:

– добавление утилиты для просмотра файлов Touchstone (SnP) (формата, используемого для документирования данных n-портовых сетевых параметров и данных о шумах линейных активных устройств, пассивных фильтров, пассивных устройств или межсоединений);

– введение библиотеки SPICE_Tline, содержащей модели для симуляции длинных линий для Ngspice;

– исправление ряда ошибок предыдущих версий, таких как проблемы с запуском Ngspice в некоторых режимах, сбои при отсутствии симуляторов при первом запуске и т. д. [5].

Все эти нововведения положительно сказываются на опыт использования данной программы схемотехнического моделирования.

Предпоследней версией программы является версия 24.3.0. Она примечательна тем, что в ней была значительно облегчена процедура импорта сторонних SPICE моделей электронных компонентов [5]. Данное нововведение позволяет ускорить и упростить создание пользовательских библиотек компонентов, а также расширить уже существующие в Qucs-S библиотеки. Кроме того, был обновлен движок рендеринга схемы, сборка бинарных пакетов была переведена на Qt6.

Тем не менее, пользователи сталкиваются с определенными проблемами, например недостаточная поддержка сложных моделей. Производительность симуляции может снижаться при работе с большими схемами, что может ограничивать применение Qucs-S в некоторых областях.

Заключение. В настоящее время можно отметить быстрое развитие цифрового моделирования, связанное с ростом сложности электронных систем и интеграцией новых технологий. Это способствует улучшению уже имеющихся программ схемотехнического моделирования, одной из которых является Qucs-S. Текущие ее возможности позволяют эффективно симулировать электронные схемы, исследовать временные и частотные характеристики и проводить параметрический анализ.

Qucs-S продолжает активно развиваться, и в ближайшие годы планируется улучшение функциональности программы. Разработчики намерены внедрить новые компоненты и модели, что позволит пользователям более точно симулировать различные электронные схемы и системы

Несмотря на свои преимущества, Qucs-S сталкивается с определенными ограничениями, в особенности с необходимостью дальнейшей оптимизации и расширения компонентной базы. Однако активная работа разработчиков и пользователей способствует улучшению программы. В будущем Qucs-S может занять значительное место в области цифрового моделирования благодаря своему открытому коду и активному сообществу разработчиков. Это делает его привлекательным для научных исследований способствуя развитию новых технологий и инновационных решений в электронике.

Литература

[1] Brinson M.E., Jahn S. Qucs: A GPL software package for circuit simulation, compact device modelling and circuit macromodelling from DC to RF and beyond. *International journal of numerical modelling (ijnm): electronic networks, devices and fields*, 2008, vol. 22, no. 4.

[2] *Quite Universal Circuit Simulator*. URL: http://qucs.sourceforge.net (accessed March 23, 2025).

[3] Кузнецов В.В. Моделирование высокочастотных схем в частотной области при помощи САПР Qucs. *Компоненты и технологии*, 2015, № 8, с. 120–126.

[4] Кузнецов В.В. Симулятор электронных схем с открытым исходным кодом Qucs: основные возможности и основы моделирования. *Компоненты и технологии*, 2015, № 3, с. 114–120.

[5] *Репозиторий исходных кодов проекта Qucs*. URL: https://github.com/Qucs/qucs (accessed March 23, 2025).

Digital modeling in Qucs-S: an overview of the current state

Kuznetsov V.V. vadim.kuznetsov@bmstu.ru
Alyokhin A.V. alyokhinav@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

An overview of the current state of digital IC modeling in the Qucs-S circuit modeling program is presented. The key features of Qucs-S are considered, including its capabilities for modeling analog and digital circuits, as well as new functions added in the current version of the program.

Keywords: *digital modeling, Qucs-S, electronic circuits, electronic circuit analysis, design tools, component models, simulation, data visualization*

УДК 621.317

Уменьшение времени задержки выключения интегральной микросхемы компаратора

Лыков Андрей Дмитриевич lyykovad@student.bmstu.ru
Андреев Владимир Викторович vladimir_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Предложена корректировка биполярного технологического процесса изготовления интегральных микросхем компараторов, направленная на уменьшение времени задержки выключения микросхемы. Такая корректировка позволяет существенно улучшить параметры компаратора и увеличить процент выхода годный интегральных микросхем. Изменение технологического процесса дает возможность снизить сопротивление коллекторных областей n-p-n-транзисторов и повысить стабильность получение n-p-n- транзисторов Шоттки.

Ключевые слова: *интегральная микросхема, компаратор, время задержки выключения, транзистор Шоттки*

Компаратор — это электронное устройство, которое сравнивает два входных сигнала и выдает сигнал на выходе в зависимости от их значений. Основная функция компаратора — это определение того, какой из входных сигналов больше. Компараторы широко используются в различных областях электроники и автоматизации, включая системы управления, аналоговую обработку сигналов и цифровую логику [1–3].

Важнейшей характеристикой компаратора является его электрический параметр, такой как время задержки, которое может сильно повлиять на общую производительность систем, в которых он используется.

Время задержки выключения компаратора — это период, который проходит с момента достижения изменения на входах до фактического изменения состояния на выходе. Этот параметр имеет решающее значение для определения быстродействия компаратора и, соответственно, всей системы. При работе компараторов, особенно в высокочастотных приложениях, время задержки может стать критически важным, ведь оно влияет на скорость реагирования системы на изменения входных сигналов. Это может быть особенно актуально в системах управления, где задержка может привести к ошибкам и нестабильности.

При высоких температурах время задержки может увеличиваться из-за изменения характеристик полупроводниковых материалов. Именно это и стало причиной доработки технологического процесса изготовления ИС [4, 5].

Для уменьшения время задержки выключения микросхем компаратора было обеспечено малое сопротивление коллекторных областей *n–p–n*-транзисторов и стабильное получение *n–p–n*-транзисторов Шоттки.

Для обеспечения низкого сопротивления коллекторных областей *n–p–n*-транзисторов и стабильного получения n-p-n-транзисторов Шоттки были проведены следующие изменения технологического процесса:

– снижение толщины и удельного сопротивления эпитаксиального слоя исходной структуры с 12 КЭФ 2 до 10 КЭФ 1;

– введение дополнительного подлегирования коллекторных областей транзисторов (слой «глубокий коллектор»);

– для стабильного получения *n–p–n*-транзисторов Шоттки, было введено дополнительное подлегирование областей транзисторов Шоттки (слой «Подлегирование ТТЛШ»).

На рис. 1 представлена структура элементов после проделанных операций по усовершенствованному технологическому методу. В данном методе допускается смещений слоев эмиттера, тонкого окисла и контактных окон относительно слоя базы не более 2 мкм, для остальных слоев не более 3 мкм.

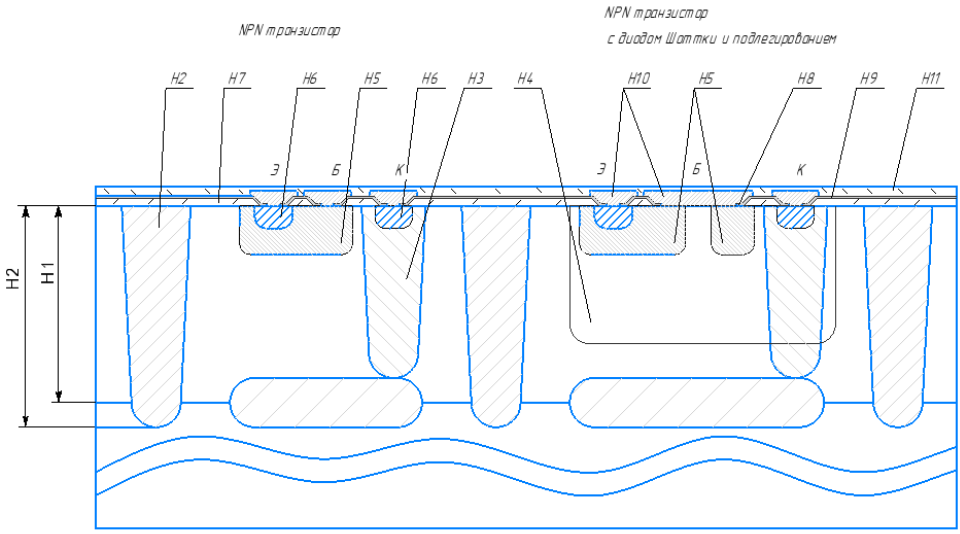


Рис. 1. Структура элементов кристалла компаратора (обозначения и параметры элементов структуры приведены в таблице)

В таблице приведенные данные по изготовлению слоев для кристалла интегральной микросхемы компаратора.

Данные по изготовлению слоев для кристалла интегральной микросхемы компаратора

Элемент структуры					Толщина окисных слоев над элементами структуры, мкм
Наименование	Обозначение	Толщина слоя/глубина диффузии, мкм	Тип проводимости	Удельное поверхностное сопротивление, Ом/кв.	
Область разделения, легированные бором	Н2	>10	p+	5–10	0,7±0,1
Область глубокого коллектора, легированные фосфором	Н3	>6	n+	2–6	0,7±0,1
Область подлегирования карманов ТТЛШ, легированные фосфором	Н4	>4	n+	300–500	0,5±0,1
Область базы, легированные бором	Н5	3,1±0,3	p	250±20	0,5±0,1
Область эмиттера, легированные фосфором	Н6	2,05±0,6	n+	6–11	0,3±0,1
Область термического окисла	Н7	0,7	–	–	–
Область тонкого окисла	Н8	0,175±0,025	–	–	–
Область нитрида кремния (Si_3N_4)	Н9	0,05±0,01	–	–	–
Контактные площадки и проводники из алюминия	Н10	1,2±0,2	–	0,005	–
Область защитного окисла	Н11	0,8±0,2	–	–	–

Заключение. Проведена корректировка биполярного технологического процесса изготовления интегральных микросхем компараторов, направленная на уменьшение времени задержки выключения микросхемы. Изменение технологического процесса включало в себя: снижение толщины и удельного сопротивления эпитаксиального слоя исходной структуры; введение дополнительного подлегирования коллекторных областей транзисторов; для стабильного получения n-p-n-транзисторов Шоттки, введено дополнительное подлегирование областей транзисторов Шоттки.

Литература

[1] Абрамов И.И., Дворников О.В. Тенденции и проблемы проектирования прецизионных аналоговых интерфейсов. *Нано и микросистемная техника*, 2005, № 10, с. 23–35.

[2] Stefanovic D., Kayal M. *Structured Analog CMOS Design*. Springer, 2008, 290 p.

[3] Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. *Теория передачи сигналов*. Москва, Радио и связь, 2011, 368 с.

[4] Андреев Д.В., Курносенко А.Е., Макарчук В.В., Соловьев В.А. *Технологические процессы изготовления электронной компонентной базы приборостроения*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, 467 с.

[5] Андреев В.В., Жалнин В.П., Столяров А.А. *Физические основы микро- и наноэлектроники*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, 292 с.

Reducing the shutdown delay time of the comparator integrated circuit

Lykov A.D. lyykovad@student.bmstu.ru
Andreev V.V. vladimir_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

An adjustment of the bipolar manufacturing process of integrated comparator chips is proposed aimed at reducing the delay time of switching off the chip. Such an adjustment can significantly improve the comparator parameters and increase the percentage of usable integrated circuits. A change in the technological process makes it possible to reduce the resistance of the collector regions of n-p-n transistors and increase the stability of obtaining n-p-n Schottky transistors.

Keywords: *integrated circuit, comparator, shutdown delay time, Schottky transistor*

УДК 621.317

Реальная RC - цепь при воздействии прямоугольного импульса

Чубурков Александр Евгеньевич chuburkov2015@mail.ru
Мельниченко Никита Александрович nekroshved@mail.ru
Серов Илья Евгеньевич serovie@student.bmstu.ru
Кузнецов Вадим Вадимович vadim.kuznetsov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрена реальная цепь RC, состоящая из резистора и конденсатора, а также влияние выходного сопротивления источника импульсов и паразитных емкостей на ее поведение. Изучение электрических цепей является важной задачей в электротехнике и радиофизике, особенно реакций элементов на прямоугольные импульсы. Приведены эпюры напряжения для цепей при воздействии п-р входного импульса, и оценена длительность фронта в интегрирующей и дифференцирующей цепях. В исследовании делается вывод о том, что понимание того, как цепь реагирует на изменения внешних условий, помогает в проектировании более эффективных и надежных электронных устройств.

Ключевые слова: *интегрирующая цепь, дифференцирующая цепь, резистор, конденсатор, импульс, четырехполюсник*

Изучение электрических цепей является одной из ключевых задач в области электротехники и радиофизики. Особое внимание уделяется реакциям различных элементов цепи на внешние воздействия, в частности на прямоугольные импульсы, которые представляют собой распространенный тип сигналов в современном электрооборудовании [1]. В данной статье сосредоточено внимание на реальной цепи, состоящей из резистора (R) и конденсатора (C), что позволяет изучить динамику ее реакции на прямоугольный импульс.

Прямоугольные импульсы находят широкое применение в цифровой электронике, в системах управления и в обработке сигналов, поэтому понимание поведения *RC*-цепи в ответ на такие сигналы имеет ключевое значение. [2].

В реальной *RC*-цепи в большинстве случаев следует учитывать не только резистор R и конденсатор C, являющиеся основными элементами цепи и представленными на рис. 1, но также выходное сопротивление источника импульсов $R_{вых}$ и паразитные емкости, присутствующие в схеме.

В реальной цепи приходится учитывать влияние как выходного сопротивления $R_{вых}$, так и паразитных емкостей $C_{п}$. Паразитные емкости становятся значимыми преимущественно во время быстрых процессов, связанных с образованием фронта и среза выходного импульса, когда большая емкость C практически ведет себя как нулевое сопротивление. Поэтому паразитную емкость Сп можно рассматривать как сосредоточенную и включенную параллельно к резистору R (рис. 2, *а*) [3].

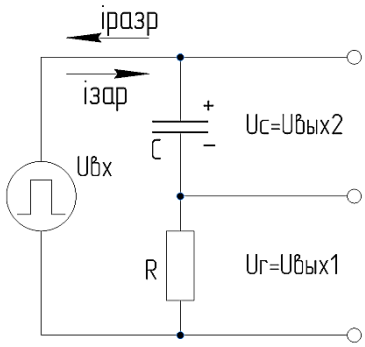


Рис. 1. Схема линейной цепи *RC* при воздействии прямоугольного входного импульса

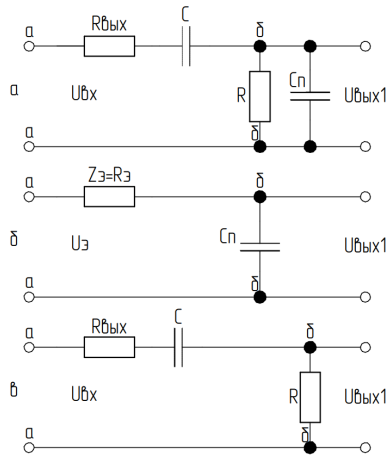


Рис. 2. Эквивалентные схемы реальной цепи *RC* с дифференцирующим выходом:
а — в общем случае; *б* — для периода формирования фронта и среза; *в* — для периода формирования вершины

В общем случае паразитная емкость равна

$$C_{\text{п}} = \text{C}_{\text{вх}} + \text{C}_{\text{вых}} + \text{C}_{\text{м}},$$

где $\text{C}_{\text{вх}}$ — входная емкость нагрузки; $\text{C}_{\text{вых}}$ — выходная емкость генератора; $\text{C}_{\text{м}}$ — емкость монтажа.

Эквивалентное сопротивление $Z_{\text{э}}$ определяется методом короткого замыкания и представляет собой сопротивление, рассчитанное (или измеренное) в точках *бб* в сторону четырехполюсника при замкнутых накоротко входных клеммах *аа*. Эквивалентное напряжение $U_{\text{э}}$ является выходным напряжением на клеммах *бб* при отсутствии нагрузки (холостой ход) [4].

Эквивалентное сопротивление $Z_{\text{э}}$ вычисляется с использованием метода короткого замыкания и представляет собой сопротивление, определенное (или измеренное) в точках *бб*, когда входные клеммы аа замкнуты накоротко. Эквивалентное напряжение $U_{\text{э}}$ соответствует выходному напряжению на клеммах *бб* при отсутствии нагрузки, т. е. в режиме холостого хода [5].



Рис. 3. Четырехполюсник

Пересчитав сопротивление R с использованием теоремы об эквивалентном генераторе, получаем цепь, представленную на рис. 2, *б*. Полученная схема позволяет сделать вывод, что длительность фронта выходного импульса определяется постоянной времени зарядки паразитной емкости [5].

При медленных изменениях напряжения на емкости Сп (вершина импульса) ток $i_c = C_{\text{п}} \frac{du_{\text{вых2}}}{dt}$, идущий на паразитную емкость, остается малым. Следовательно, в этот момент емкость Сп можно не учитывать, применяя эквивалентную схему, изображенную на рис. 2, *в*, которая представляет собой дифференцирующую или интегрирующую цепь. Для цепей этого типа актуальны эпюры, показанные пунктиром на рис. 4, *а* и *б* соответственно. При этом надо принять, что амплитуда выходного напряжения будет равна $U_{\text{вх}} \frac{R}{R+R_{\text{вых}}}$, а постоянная времени $\tau = (R + R_{\text{вых}})\text{C}$.

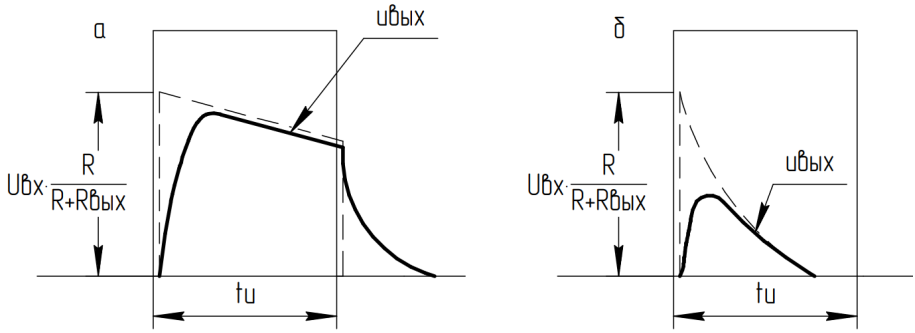


Рис. 4. Эпюры напряжений для реальной интегрирующей (*а*) и дифференцирующей (*б*) цепей при воздействии прямоугольного входного импульса

С учетом Сп получаются эпюры $U_{\text{вых}}$, изображенные на рис. 4 сплошными линиями [5]. Покажем, как приближенно оценить длительность фронта в интегрирующей и дифференцирующей цепях и длительность среза в переходной цепи. Для этого напомним, что во время протекания интересующих нас быстрых процессов пластины конденсатора С считаем замкнутыми накоротко, и тогда, использовав теорему об эквивалентном генераторе, получаем схему, изображенную на рис. 2, *б* [5].

В этой схеме

$$R_{\text{э}} = \frac{RR_{\text{вых}}}{R + R_{\text{вых}}}$$

и начальное значение $u_{\text{э}}$

$$U_{\text{э макс}} = U_{\text{вх}} \frac{R}{R+R_{\text{вых}}}.$$

Для переходной цепи $u_э$ с полным основанием можно рассматривать прямоугольный импульс, так как за время действия фронта $t_ф = 2{,}3R_э C_п$ напряжение на вершине успеет снизиться весьма незначительно поскольку $R \gg R_э,\ C \gg C_п$ и, следовательно, $\tau \gg \tau_п$ [5].

В дифференцирующей цепи обычно принимают

$$C \gg C_{мин} = (3 \div 4)C_п,$$

а величину R выбирают такой, чтобы получить соответствующую длительность выходного импульса, определяемую по формуле

$$t'_и = 2{,}3\tau = 2{,}3RC.$$

Минимальная постоянная времени цепи $\tau_{мин} = R_{мин}C_{мин}$ выбирается исходя из указанных обстоятельств [5].

Если принять условие $C \gg C_{мин} = (3 \div 4)C_п$, положив $C = 4C_п$, и учесть, что при любых обстоятельствах $R_э < \frac{R}{2}$, то можно записать: $\tau_п = R_э C_п < \frac{\tau}{8}$.

Примем для определенности $\tau_п = \frac{\tau}{10}$ и предположим, что во время формирования фронта в дифференцирующей цепи $u_э$, также как и в предыдущем случае, является прямоугольным импульсом амплитуды $u_э$. Тогда

$$t_ф = 2{,}3\tau_п = \frac{2{,}3}{10}\tau \cong 0{,}25\tau.$$

За это время, согласно соотношению $u_{вых1} = u_R = U_{вх}e^{-\frac{t}{\tau}} = U_{вых1макс}e^{-\frac{t}{\tau}}$, напряжение $u_э$ дифференцирующей цепи упало бы до величины

$$u_{э\ t=t_ф} = U_э e^{-\frac{t_ф}{\tau}} = U_э e^{-0{,}25} = 0{,}75U_э.$$

Такой спад, с точки зрения приблизительного определения длительности фронта, может рассматриваться как незначительный. Следовательно, для дифференцирующей цепи длительность фронта можно вычислить по формулам $t_ф = t_{ср} = \tau ln = 2{,}3\tau$ и $t_ф = t_{ср} \cong 2{,}2\tau$, если в последних τ заменить на $\tau_п$ [5].

Изучение поведения реальной RC-цепи при воздействии прямоугольного импульса предоставляет важную информацию для профессионалов в области электроники и связанных технологий. Понимание того, как цепь реагирует на изменения внешних условий, помогает в проектировании более эффективных и надежных электронных устройств. Учитывая все факторы, важно не только применять теоретические модели, но и проводить экспериментальные исследования, чтобы проверить полученные результаты на практике. Это знание открывает новые горизонты в проектировании, оптимизации и разработке современных электронных систем.

Литература

[1] Salman E. *Switching noise and timing characteristics in nanoscale integrated circuits*. Degree Dr. (Phil.)., 2011, pp. 135–140.

[2] Муромцев Д.Ю., Тюрин И.В., Белоусов О.А. *Конструирование устройств электронных средств*. Ростов-на-Дону, Феникс, 2013, 540 с.

[3] Уваров А.С. *PCAD-2002 и SPECCTRA*. Проек*тирование печатных плат.* Москва, СОЛОН-Пресс, 2003, 524 с.

[4] Пасынков В.В., Сорокин В.С. *Материалы электронной техники*. Санкт-Петербург, Лань, 2002, 481 с.

[5] Регельсон Л.М., Кузнецов А.В., Пятибратов А.П. *Импульсная техника*. Москва, МГУ, 1967, 479 с.

A real *RC* circuit when subjected to a rectangular pulse.

Chuburkov A.E. chuburkov2015@mail.ru
Melnichenko N.Al. nekroshved@mail.ru
Serov I.E. serovie@student.bmstu.ru
Kuznetsov V.V. vadim.kuznetsov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

This paper deals with a real RC circuit consisting of a resistor and a capacitor and the influence of the output resistance of the pulse source and parasitic capacitances on its behaviour. The study of electrical circuits is an important task in electrical engineering and radiophysics, especially the response of elements to rectangular pulses. In the paper, we present voltage epuples for circuits when subjected to pr input pulse and estimate the edge duration in integrating and differentiating circuits. The study concludes that understanding how a circuit responds to changes in external conditions helps in designing more efficient and reliable electronic devices.

Keywords: *integrating circuit, differentiating circuit, resistor, capacitor, pulse, quadrupole*

УДК 621.3.049.77

Влияние дефектов ионной имплантации на характеристики кристаллов микросхем

Радзышевская Виктория Витальевна vikuharad13@gmail.com
Андреев Владимир Викторович vladimir_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрен процесс ионной имплантации легирующей примеси и возникающие при этом дефекты в кремнии. Проанализировано влияние дефектов на работоспособность микросхем и рассмотрена возможность их контроля. Проанализированы дефекты различных типов, возникающие при ионном легировании. Изучены электрофизические параметры, зависящие от дефектов, появляющихся при проведении процесса имплантации ионов. Предложена методика подбора параметров процесса ионного легирования для минимизации возникающих дефектов.

Ключевые слова: *ионная имплантация, дефекты, электрофизические параметры*

Ионная имплантация представляет собой процесс внедрения атомов примеси в кристаллическую решетку полупроводника для изменения его электрических свойств. В процессе ионного легирования могут возникнуть различные виды дефектов, которые существенно влияют на качество и характеристики конечного продукта [1].

Основные типы дефектов, возникающие в процессе ионной имплантации:

– поверхностные дефекты — это аморфизация, микротрещины, эрозия поверхности;

– дефекты в объеме материала — замещающие дефекты, кластерные дефекты, фазовые превращения;

– радиационные повреждения — генерация свободных электронов и дырок, образование центров рекомбинации.

Дефекты также могут оказывать существенное влияние на параметры и характеристики микросхем, это приводит к ухудшению свойств микросхем, таких как: электрические свойства (изменение удельного сопротивления, снижение подвижности носителей, увеличение уровня шума), диэлектрическая прочность (повышение вероятности пробоя, понижение надежности, оптические свойства (поглощение и рассеяние света), механические свойства (нарушение целостности структуры, стрессовые эффекты), теплопроводность (замедление отвода тепла) [2].

Рассмотрим каким образом некорректность процесса ионной имплантации влияет на электрофизические параметры кристаллов микросхем.

1. *Подвижность носителей заряда*. Под этим параметром понимают способность электронов и дырок перемещаться в полупроводнике под действием внешнего электрического поля. Дефекты в кристаллической решетке, такие

как вакансии, междоузельные атомы и дислокации, действуют как препятствия для свободного перемещения носителей. В результате это ведет к увеличению времени переключения транзисторов и ухудшению быстродействия микросхем [1, 2].

2. *Удельное сопротивление*. Удельное сопротивление определяет, насколько легко ток проходит через материал. Дефекты могут изменить концентрацию носителей заряда, что напрямую влияет на удельное сопротивление.

3. *Пороговое напряжение транзистора*. Пороговое напряжение — это минимальное напряжение, необходимое для включения транзистора. Дефекты вблизи канала транзистора могут изменить распределение заряда и локальные электрические поля, что повлияет на пороговое напряжение и может сделать работу транзисторов нестабильной.

4. *Ток утечки*. Ток утечки — это нежелательный ток, протекающий через устройство даже при отсутствии управляющего сигнала. Дефекты создают дополнительные пути для протекания тока, что увеличивает ток утечки.

5. *Эффективность генерации и рекомбинации носителей*. Некоторые дефекты могут выступать в роли центров рекомбинации, где электроны и дырки встречаются и нейтрализуют друг друга. Это снижает эффективность работы светодиодов, солнечных батарей и других устройств, основанных на процессах генерации носителей [2].

6. *Шумовые характеристики*. Дефектные центры могут захватывать и освобождать носители заряда случайным образом, что создает шумы в сигналах и могут сильно ухудшать чувствительность и стабильность работы аналоговых цепей.

7. *Время жизни неосновных носителей*. Время жизни неосновных носителей характеризует скорость, с которой носители возвращаются в равновесное состояние после возбуждения. Дефектные центры увеличивают скорость рекомбинации и уменьшают время жизни, что важно для работы биполярных транзисторов, фотодиодов и других приборов [1].

Для снижения негативного влияния дефектов применяются следующие меры: оптимизация процесса имплантации (подбор необходимых параметров энергии и дозы ионов позволяющих уменьшить количество дефектов), использование защитных покрытий (защищает поверхность от повреждений и снижает возможность образования поверхностных дефектов), применение современных методов отжига (позволяют восстанавливать кристаллическую структуру и устранять дефекты) [1, 3, 4].

Заключение. Дефекты, возникающие при ионной имплантации, играют важную роль в определении качества и характеристик полупроводниковых устройств, так как они оказывают комплексное влияние на электрофизические параметры микросхемы. Они могут снижать подвижность носителей, увеличивать удельное сопротивление, сдвигать пороговое напряжение, повышать ток утечки, усиливать шумы и сокращать время жизни неосновных носителей. Правильный контроль процесса и использование методов устранения дефектов позволяют получать высококачественные материалы и изделия.

Литература

[1] Никифоров А.Ю. *Основы физики процессов в полупроводниковых приборах*. Санкт-Петербург, Лань, 2018.

[2] Андреев В.В., Барышев В.Г., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Шахнов В.А. Исследование зарядовой деградации МДП-структур в сильных электрических полях методом управляемой токовой нагрузки. *Микроэлектроника*, 2000, т. 29, № 2, с. 105–112.

[3] Строгонов А. В. Долговечность субмикронных БИС и ПЛИС. *Микроэлектроника*, 2005, т. 34, № 2, с. 138–158.

[4] Глудкин О.П., Черняев В.Н. *Анализ и контроль технологических процессов производства РЭ.* Москва, Радио и Связь, 1983, 296 с.

[5] Andreev D.V, Bondarenko G.G, Andreev V.V., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A. Influence of temperature on high-field injection modification of MIS structures with thermal SiO_2 films doped with phosphorus. *High temperature material processes: an international quarterly of high-technology plasma processes*, 2019, vol. 23, is. 4, pp. 303–312. https://doi.org/10.1615/HighTempMatProc.2019031840

The effect of ion implantation defects on the characteristics of chip crystals

Radzyshevskaya V.V. vikuharad13@gmail.com
Andreev V.V. vladimir_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The process of ion implantation of an alloying impurity and the resulting defects in silicon are considered. The influence of defects on the performance of microcircuits is analyzed and the possibility of their control is considered. Defects of various types that occur during ion alloying are analyzed. The electrophysical parameters depending on the defects that appear during the ion implantation process have been studied. A method for selecting the parameters of the ion doping process to minimize the defects that occur is proposed.

Keywords: *ion implantation, defects, electrophysical parameters*

УДК 621.375.4

Методы улучшения параметров операционных усилителей с помощью моделирования

Кузнецов Вадим Вадимович **vadim.kuznetsov@bmstu.ru**
Козлов Александр Игоревич **kozlovai@student.bmstu.ru**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Объектом исследования является инструментальный операционный усилитель (ОУ), реализованный на биполярных транзисторах, который представляет собой ключевой элемент в области аналоговой электроники и используется для точного усиления сигналов. В ходе работы были подробно проанализированы методы улучшения характеристик операционных усилителей, включая повышение коэффициента усиления, улучшение линейности, расширение полосы пропускания и снижение уровня шумов. Исследование проводилось с применением современных средств схемотехнического моделирования, что позволило тщательно оценить влияние различных схемных решений и компонентов на итоговые параметры ОУ. Симуляции и моделирование предоставили возможность детально исследовать схемы и выявить наиболее эффективные подходы к улучшению их характеристик.

Ключевые слова: *операционный усилитель, ОУ, моделирование, Qucs-S, проектирование*

Моделирование играет ключевую роль в процессе проектирования. Создание модели дает возможность исследовать работу устройства в различных режимах, получать характеристики, а также выявлять потенциальные недостатки и ошибки на ранних этапах разработки. Кроме того, моделирование облегчает процесс внесения изменений и усовершенствований конструкции, позволяя эффективно анализировать различные параметры и режимы работы, которые трудно или долго проверять на реальных испытаниях, а иногда это и вовсе невозможно [1].

Основные способы улучшения параметров ОУ. Улучшение параметров операционных усилителей (ОУ) с помощью моделирования — это комплексный процесс, включающий применение специализированных программных инструментов и методов анализа. Моделирование позволяет инженерам и разработчикам точно оценивать и оптимизировать параметры, такие как коэффициент усиления, полоса пропускания и уровни шума, еще на этапе проектирования. Ниже рассмотрены ключевые методы улучшения характеристик ОУ с использованием моделирования.

Анализ частотной характеристики помогает выявить слабые места в АЧХ и корректировать параметры схемы для расширения полосы пропускания и улучшения стабильности [2]. Используя программы, такие как SPICE, Qucs-S и т. д., разработчики могут находить оптимальные конфигурации компонентов, например, корректировать номиналы резисторов и конденсаторов,

чтобы улучшить коэффициент усиления и линейность [3]. Моделирование также позволяет учитывать влияние температуры. Путем проведения симуляций при различной температуре можно подобрать схемные решения, устойчивые к изменениям окружающей среды, что улучшает надежность работы ОУ [4]. Методы моделирования переходных процессов помогают исследовать поведение ОУ при внезапных изменениях входных сигналов [5]. Точность модели напрямую влияет на результаты симуляции. Подбирая компоненты с параметрами, максимально приближенными к реальным, можно достичь большей достоверности анализа [4].

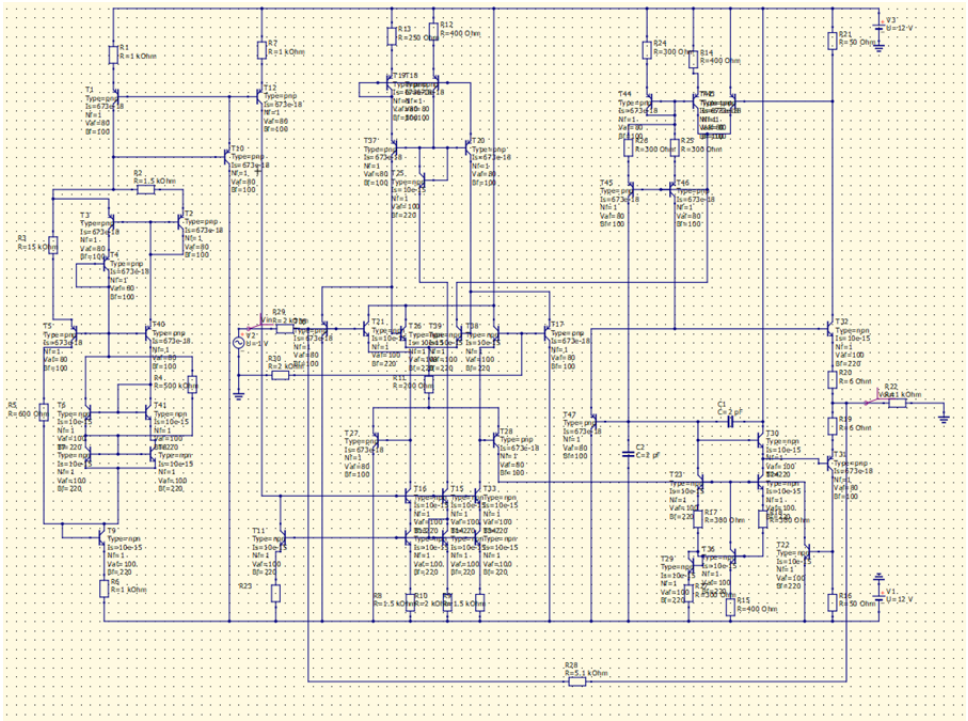


Рис. 1. Пример принципиальной схемы канала ОУ, смоделированной в программе Qucs-S

Канал операционного усилителя состоит из источника тока, находящегося в левой части схемы и двух усилительных каскадов, обеспечивающих необходимый коэффициент усиления по напряжению. Также реализована обратная связь с коэффициентом усиления равному 2.5. Канал включен по схеме инвертирующего усилителя.

На рис. 2 представлены результаты моделирования переходного процесса и амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) канала. АЧХ определяет частотный диапазон работы схемы, а переходный процесс показывает, насколько быстро и качественно она реагирует на изменения.

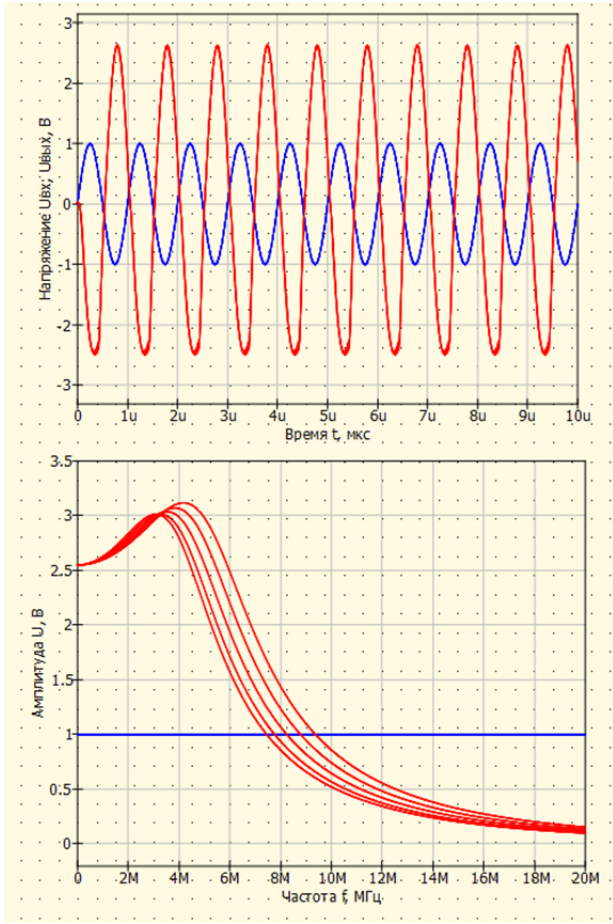


Рис. 2. Пример моделирования канала ОУ

Заключение. Моделирование — это важный инструмент в проектировании и улучшении параметров операционных усилителей. С его помощью инженеры могут проводить детальный анализ и оптимизацию схем на этапе разработки, что существенно повышает эффективность и надежность работы устройств. Методы, такие как частотный анализ, параметрическая симуляция, исследование шумовых характеристик и температурная устойчивость, помогают не только улучшить параметры усилителя, но и адаптировать его для работы в различных условиях. Использование современных программ, включая SPICE и Qucs-S, позволяет разработчикам находить оптимальные решения быстрее и с меньшими затратами [1].

Литература

[1] Кузнецов В.В. Моделирование высокочастотных схем в частотной области при помощи САПР Qucs. *Компоненты и технологии*, 2015, № 8, с. 120–126.

[2] Картер Б., Манчини Р. *Операционные усилители для всех*. Москва, ДМК Пресс, 2016, 528 с.

[3] Бутковский Ю.П., Токарев И.В. *Моделирование в электронных устройствах*. Москва, Машиностроение, 1989.

[4] Николаев В.Г. *Моделирование в проектировании электронных устройств*. Москва, Техносфера, 2004.

[5] Horowitz P., Hill W., Robinson I. *The art of electronics*. Cambridge, Cambridge university press, 1989, vol. 2, 658 p.

Methods for improving the parameters of operational amplifiers through modeling

Kuznetsov V.V. vadim.kuznetsov@bmstu.ru
Kozlov A.I. kozlovai@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

An instrumnetal bipolar operational amplifier was simulated in this reserarch. It was analysed how to impove its performance using the circuit simulation tools.

Уточните перевод аннотации, не соответствует русской версии.

Keywords: *operational amplifier, OA, modeling, Qucs-S, designing*

Секция 4. Тепловые двигатели и гидромашины

УДК 621.184:004.89

Оптимизация эксплуатации энергетических систем с использованием цифровых двойников и нейронных сетей

Кашанов Никита Андреевич[1] nkashanov@gmail.com
Милосердов Владислав Олегович[1, 2] miloserdovvo@bmstu.ru
SPIN-код: 1394-4940

[1] *КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

[2] *ЗАО НПВП «Турбокон», Калуга, Россия*

Рассмотрены современные технологии применения цифровых двойников и нейронных сетей в энергетике для повышения эффективности работы сложных инженерных систем. Особое внимание уделено примерам повышения точности предсказаний и снижения энергозатрат в процессе эксплуатации. Представлены результаты, показывающие улучшение точности моделирования до 15–20 % и оптимизацию энергозатрат на 10 %. Сделаны выводы о перспективности данных технологий для повышения надежности, устойчивости и эффективности энергетических объектов.

Ключевые слова: *цифровые двойники, нейронные сети, энергетические системы, оптимизация, сухая вентиляторная градирня*

В последние годы использование цифровых двойников и нейронных сетей в различных областях энергетики становится все более распространенным. Эти технологии обеспечивают новые возможности для оптимизации проектирования и эксплуатации сложных систем. Цель работы заключается в исследовании и анализе современных подходов к использованию цифровых двойников и нейронных сетей для управления и оптимизации энергетических систем. В работе рассмотрены различные технологии и методы, направленные на повышение эффективности и надежности работы компонентов энергетической инфраструктуры. Особое внимание уделяется применению этих технологий для оптимизации функционирования сухой вентиляторной градирни (СВГ), которая играет ключевую роль в системах охлаждения энергоблоков, обеспечивая эффективное управление тепловыми процессами.

СВГ является важным элементом систем охлаждения в энергетике. Она служит для отвода тепла от оборудования посредством теплообмена с воздухом. Однако эксплуатация СВГ сопряжена с рядом проблем, включая неэффективность охлаждения в условиях меняющейся окружающей среды и трудности поддержания стабильных рабочих режимов. Использование цифрового двойника может значительно повысить эффективность эксплуатации СВГ, позволяя в реальном времени моделировать поведение системы и прогнозировать ее состояние, что способствует своевременному управлению и предотвращению возможных сбоев.

Цифровые двойники, являясь виртуальными моделями физических объектов, играют важную роль в управлении энергетическими объектами. В ис-

следованиях, посвященных моделированию теплообменников, было выявлено, что использование цифровых двойников в сочетании с нейронными сетями позволяет сократить затраты на обслуживание и снизить количество внеплановых остановок оборудования [1]. В такой системе цифровой двойник предоставляет данные о текущем состоянии объекта в формате временных рядов, которые затем анализируются нейронной сетью для предсказания потенциальных отказов с точностью 15–20 %, что существенно повышает надежность системы [1, 2].

Применение нейронных сетей для моделирования энергетических процессов дает возможность улучшить точность предсказаний и снизить погрешность моделирования. В работе [3] были использованы основные термодинамические параметры работы парогенератора для создания нейросетевой модели. Обучение модели на ограниченном наборе примеров позволило достигнуть средней ошибки предсказаний в пределах 10–11 % для областей, не включенных в обучение. Это демонстрирует потенциал нейросетевого подхода. В работе [4] модели на основе нейронных сетей помогли оптимизировать процессы теплопередачи, снижая энергозатраты на 10 %. Эти результаты подтверждают высокую эффективность применения нейронных сетей в эксплуатации сложных систем.

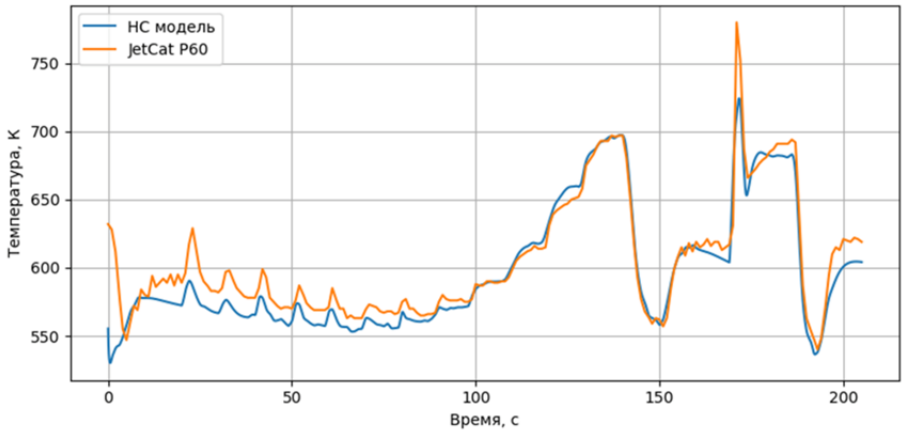
Применение цифровых двойников совместно с нейронными сетями в процессе эксплуатации градирен может обеспечить следующие преимущества:

– точность прогнозирования отказов. Использование нейронных сетей для анализа временных рядов работы градирни позволяет точно прогнозировать потенциальные сбои, деградацию эксплуатационных показателей и сигнализировать о необходимости технического обслуживания. Модели на основе LSTM демонстрируют снижение MAE в сравнении с традиционными методами [5];

– оптимизация режимов работы. Модели, имеющие цифровых двойников, способны в реальном времени адаптировать параметры работы градирни в зависимости от внешних условий, таких как температура окружающей среды, нагрузка, нештатные ситуации. В этом процессе нейронные сети играют ключевую роль, анализируя данные, поступающие от цифрового двойника, и прогнозируя оптимальные параметры системы. В одном из исследований такой подход позволил повысить эффективность системы на 10 %, что привело к снижению энергозатрат [1];

– сокращение времени на расчеты и прогнозы. Модели, основанные на графовых нейронных сетях, способны производить прогнозы с высокой точностью на GPU (Graphics Processing Unit, графический процессор), что делает такие подходы масштабируемыми и применимыми для крупномасштабных систем [6].

Для демонстрации возможностей предсказания параметров представлен рисунок, на котором показано моделирование температуры газа за турбиной малогабаритного газотурбинного двигателя JetCat P60.



Результаты моделирования температуры за турбиной

На рисунке показаны результаты моделирования температуры с использованием модели LSTM. Две кривые отражают прогнозируемые и фактические значения температуры, демонстрируя точность модели при прогнозировании температурных скачков, что особенно важно для переходных процессов, характерных для работы малогабаритных газотурбинных двигателей. MAE (Mean Absolute Error, средняя абсолютная ошибка — это среднее арифметическое отклонение прогнозируемых значений от фактических) для модели LSTM составила 2,72 % [5]. Такая модель служит примером для применения аналогичных подходов в системе СВГ, где также требуется точное управление температурными параметрами.

Таким образом, применение цифровых двойников и нейронных сетей в энергетике открывает широкие возможности для повышения эффективности управления и проектирования систем. Оптимизация эксплуатационных процессов с помощью нейронных сетей и цифровых двойников может существенно снизить затраты на обслуживание, повысить надежность работы оборудования и уменьшить энергозатраты. Эти технологии обладают высоким потенциалом для дальнейшего развития в области энергетики.

Литература

[1] Lavrov N.A., Khutsieva S.I., Shananin V.A. Use of neural networks for dynamic heat exchanger modeling. *Chemical and petroleum engineering*, 2023, vol. 58, no. 11–12, pp. 917–924. https://doi.org/10.1007/s10556-023-01183-8

[2] Grieves M. *Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication*. White Paper, 2014.

[3] Miloserdov V.O., Gorelov D.A., Korlyakova M.O. Construction of a predictive model of a steam generator experimental stand based on the organic rankine cycle. *Lecture notes in mechanical engineering*, 2022, pp. 103–109. https://doi.org/10.1007/978-981-16-9376-2_10

[4] Vodeniktov A., Chichirova N., Melnikova V. Experimental assessment of the condenser at off-design modes. *Case studies in thermal engineering*, 2021, vol. 28, art. no. 101457. https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101457

[5] Кузнецов А.В., Макарьянц Г.М. Динамическая модель газотурбинного двигателя на основе структуры LSTM с изменяемой памятью. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2020, т. 19, № 2, с. 38–52. https://doi.org/10.18287/2541-7533-2020-19-2-38-52

[6] Li S., Zhang M., Piggott M.D. End-to-end wind turbine wake modelling with deep graph representation learning. *Applied Energy*, 2023, vol. 339, art. no. 120928. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120928

Optimization of the operation of energy systems using digital twins and neural networks

Kashanov N.A.[1] nkashanov@gmail.com

Miloserdov V.O.[1,2] miloserdovvo@bmstu.ru
SPIN-code: 1394-4940

[1] *BMSTU (KB), Kaluga, Russia*

[2] *CJSC SPC "Turbocon", Kaluga, Russia*

Modern technologies for the use of digital twins and neural networks in the energy sector to improve the efficiency of complex engineering systems are considered. Special attention is paid to examples of improving the accuracy of predictions and reducing energy consumption during operation. The results are presented showing an improvement in modeling accuracy of up to 15–20 % and an optimization of energy consumption by 10 %. Conclusions are drawn about the prospects of these technologies for improving the reliability, stability and efficiency of energy facilities.

Keywords: *digital twins, neural networks, energy systems, optimization, dry fan cooling tower*

УДК 536.24

Определение коэффициента теплоотдачи при поперечном обтекании трубного пучка методами численного моделирования и с помощью критериальных уравнений

Шевелев Денис Владимирович denis.v.shevelev@bmstu.ru
Жинов Андрей Александрович azhinov@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Определен коэффициент теплоотдачи при поперечном обтекании трубного пучка коридорного типа воздушным потоком при сопряженном теплообмене методами численного моделирования и с использование известных критериальных уравнений. Сравнение полученных результатов для среднего коэффициента теплоотдачи показало значительное их расхождение. Определена погрешность нахождения коэффициента теплоотдачи рассмотренными методами и даны рекомендации по их применению. Полученные результаты могут быть полезны при численном моделировании теплообмена в аппаратах с поперечным обтеканием трубных пучков.

Ключевые слова: *конвективный теплообмен, коэффициент теплоотдачи, численное моделирование, CFD, расчетная сетка, трубный пучок, критериальное уравнение, верификация*

При проектировании современного теплообменного оборудования для решения сопряженных задач «гидрогазодинамика-теплообмен», наряду с традиционными методами, основанными на теории подобия и критериальных уравнениях, все чаще пользуются численными методами [1], заложенными в специализированные компьютерные программы, такие как Star-CCM+, Siemens FLOEFD, FlowVision, OpenFOAM и др.

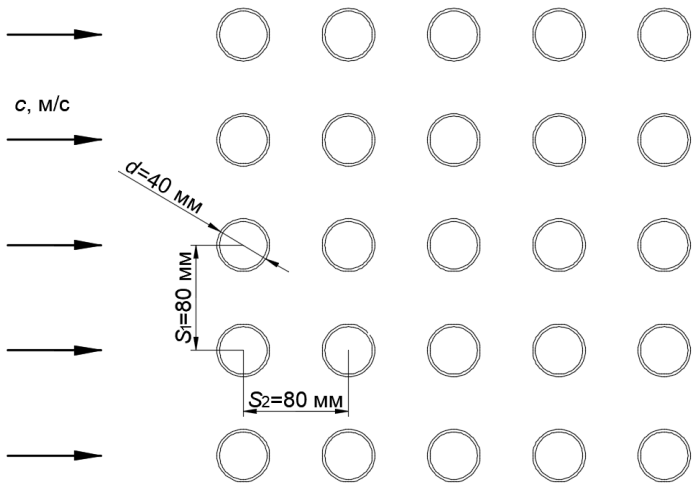
При сложной картине течения в реальных теплообменных аппаратах всегда возникает потребность оценки достаточности степени детализации расчетной сетки, принятой в численной модели, а также оценки адекватности получаемых результатов моделирования. Оценить эту адекватность можно путем сравнения результатов полученного при численном моделировании среднего коэффициента теплоотдачи с аналогичным, полученным с помощью критериальных уравнений, описывающих теплообмен при подобных условиях.

Сложность заключается в том, что вариантов критериальных уравнений для однотипных задач существует, как правило, несколько, и не ясно с чем сравнивать.

В данной работе проведено исследование сопряженного теплообмена при обтекании воздухом трубного пучка, представленного на рисунке.

В качестве граничных условий были выбраны параметры, характерные для воздухоохлаждаемых теплообменных аппаратах [2]. Для натекающего воздушного потока была задана температура $t_ж$ = 292 K (20 °C), наружная

поверхность труб имела температуру $t_{ст}$=333 K (60 °C). Скорость воздуха, натекающего на трубный пучок, составляла c = 4,23 м/с. Теплофизические свойства воздуха при $t_{ж}$ = 313 K (40 °C) определялись согласно [2].



Геометрические характеристики исследуемого трубного пучка

Численное моделирование проводилось при различной густоте расчетной сетки. Расчеты показали, что использование для данной плоской задачи адаптивной сетки со средним количеством ячеек на поверхности одной трубки более 150, дает практически идентичные показатели по коэффициенту теплоотдачи [3]. Средний коэффициент теплоотдачи по характерной трубке (четвертый по ходу воздуха ряд, средняя трубка) составил α = 51,6–63,1 Вт/(м^2 · K).

Известно несколько работ по определению критериальных уравнений, описывающих конвективный теплообмен при наружном обтекании трубных пучков. Все они определяют уравнение вида

$$\mathrm{Nu} = f(\mathrm{Re}, \mathrm{Pr}). \quad (1)$$

Далее, после нахождения числа Нуссельта Nu, можно рассчитать и коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{\mathrm{Nu}\cdot\lambda}{d}. \quad (2)$$

В работе [4] Михеевым М.А. для определения коэффициента теплоотдачи при поперечном обтекании коридорного трубного пучка (Re >1·10^3) рекомендуется уравнение вида

$$\mathrm{Nu} = 0{,}22\,\mathrm{Re}^{0{,}65}\,\mathrm{Pr}^{0{,}36}\left(\frac{\mathrm{Pr}_{ж}}{\mathrm{Pr}_{c}}\right)^{0{,}25}. \quad (3)$$

В работе [5] Жукаускасом А. рекомендуется похожая зависимость

$$\mathrm{Nu} = 0{,}26\,\mathrm{Re}^{0{,}65}\,\mathrm{Pr}^{0{,}33}\left(\frac{d}{s_2}\right)^{0{,}15}\left(\frac{\mathrm{Pr_ж}}{\mathrm{Pr}_c}\right)^{0{,}25}. \quad (4)$$

В зависимостях (1) и (2) в качестве определяющего размера принимается наружный диаметр трубы, в качестве определяющей скорости — скорость потока в узком сечении трубного пучка; для определения теплофизических параметров потока, определяющей является средняя температура жидкости

$$T_{\mathrm{ср}} = \frac{T_{\mathrm{ж}} - \mathrm{T_c}}{2}. \quad (5)$$

В работе [6] Бэром Х. для расчета коэффициента теплоотдачи при обтекании трубного пучка рекомендуется определять число Nu для случая обтекания круглого цилиндра (6) с введением поправочного коэффициента на тип трубного пучка (10):

$$\mathrm{Nu} = \sqrt{\mathrm{Nu}_{\mathrm{lam}}^2 + \mathrm{Nu}_{\mathrm{turb}}^2}, \quad (6)$$

где

$$\mathrm{Nu}_{\mathrm{lam}} = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\mathrm{Re}^{0{,}5}\,\varphi_1\,(Pr()); \quad (7)$$

$$\varphi_1\left(\mathrm{Pr}()\,\frac{\mathrm{Pr}^{0.5}}{\left(1+1{,}973\,\mathrm{Pr}^{0{,}272}+21{,}29\mathrm{Pr}()^{1/6}\right)}\right); \quad (8)$$

$$\mathrm{Nu}_{\mathrm{turb}} = \frac{0{,}037\,\mathrm{Re}^{0{,}8}\,\mathrm{Pr}}{1+2{,}443\,\mathrm{Re}^{-0{,}1}\left(\mathrm{Pr}^{2/3}-1\right)}; \quad (9)$$

$$f_A = 1 + 0{,}7\,\frac{\frac{b}{a}-0{,}3}{\varepsilon^{3/2}\left(\frac{b}{a}+0{,}7\right)^2}, \quad (10)$$

где $a = \frac{s_1}{d}$; $b = \frac{s_2}{b}$; $\varepsilon = 1 - \frac{\pi}{4a}$.

При определении числа Рейнольдса, в уравнениях (7) и (9), в качестве определяющего размера используется параметр $l = \frac{d\pi}{2}$, а в качестве определяющей скорости — скорость в узком сечении трубного пучка.

Результаты определения коэффициента теплоотдачи α по критериальным уравнениям и численному моделированию для рассматриваемого трубного пучка, приведены в таблице.

Расчет коэффициента теплоотдачи с помощью критериальных уравнений показал, что различие результатов между методикой Бэра и методикой Жукаускаса около 40 %. Численное моделирование показало лучшее соответствие результатов с методикой, описанной Бэром. Погрешность определения коэффициента теплоотдачи составила менее 7 %.

Результаты определения коэффициента теплоотдачи α по критериальным уравнениям и численному моделированию для рассматриваемого трубного пучка

Значение коэффициента теплоотдачи α, Вт/м^2·К	Численное моделирование	По методике Михеева	По методике Жукаускаса	По методике Бэра
	51,6–63,1	83	90	59

Таким образом, для проведения предварительных оценочных расчетов при проектировании воздухоохлаждаемых теплообменников в рассмотренной в работе конфигурацией трубных пучков, можно рекомендовать методику Х. Бэра [6], а также численное моделирование с числом расчетных ячеек по поверхности трубок не менее 150 для плоской задачи сопряженного теплообмена.

Литература

[1] Jianping Zhu. *Computional Simulation and Application*. Croatia, InTech Press, 2011, 574 p.

[2] Мильман О.О., Федоров В.А. *Воздушно-конденсационные установки*. Москва, Изд-во МЭИ, 2002, 208 с.

[3] Шевелев Д.В., Жинов А.А., Юрик Е.А. Исследование густоты расчетной сетки при численном моделировании коэффициента теплоотдачи с поверхности цилиндра при его поперечном обтекании. *Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе. Всерос. науч.-техн. конф.: материалы.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, с. 143–147.

[4] Михеев М.А. Расчетные формулы конвективного теплообмена. *Известия АН СССР. Энергетика и транспорт*, 1966, № 5, с. 96–105.

[5] Жукаускас А., Макарявичус В., Шлаичяускас А. *Теплоотдача пучков труб в поперечном потоке жидкости.* Вильнюс, Миитис, 1968.

[6] Baehr H., Stephan K. *Heat and Mass Transfer*. Springler, 2011.

Determination of the heat transfer coefficient in transverse flow around a tube bundle using numerical modeling methods and criterial equations

Shevelev D.V. denis.v.shevelev@bmstu.ru
Zhinov A.A. azhinov@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The heat transfer coefficient for transverse air flow around a corridor-type tube bundle with conjugate heat exchange is determined using numerical modeling methods and known criterial equations. Comparison of the obtained results for the average heat transfer coefficient showed their significant discrepancy. The error in finding the heat transfer coefficient by the considered methods is determined and recommendations for their application are given. The obtained results can be useful in numerical modeling of heat exchange in devices with transverse flow around tube bundles.

Keywords: *convective heat transfer, heat transfer coefficient, CFD, computational grid, tube bundle, criteria equation, verification*

УДК 536.5

Экспериментальное исследование явлений нестационарной теплопроводности на основе программных и аппаратных средств Arduino

Шевелев Денис Владимирович[1] denis.v.shevelev@bmstu.ru
Апокин Игорь Александрович[1] apokinia@student.bmstu.ru
Федин Роман Русланович[1] fedinrr@student.bmstu.ru
Олейников Павел Владимирович[2] oleinikov_pv@paoktz.ru

[1] *КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

[2] *ПАО «Калужский турбинный завод», Калуга, Россия*

Приводится описание и принцип работы экспериментального стенда по изучению нестационарной теплопроводности. На базе платформы Arduino собрана аппаратная часть для измерения температуры опытного образца экспериментального стенда. Разработан программный код прошивки микроконтроллера Arduino, позволяющая осуществлять опрос датчиков температуры, обработку их показаний и передачу данных на ПК. Разработана прикладная программа для визуализации данных, характеризующих процесс нестационарной теплопроводности.

Ключевые слова: *нестационарная теплопроводность, термопара, Arduino, MAX6675*

Явление нестационарной теплопроводности играют важную роль в процессах, протекающих в паротурбинных установках (ПТУ). Так, в массивных элементах конструкции паровых турбин, в момент запуска и останова, возможно возникновение термических напряжений, которые могут достигать критических значений и приводить к разрушению деталей. Кроме того, несогласованные термические расширения ротора и статора турбины могут привести к выборке радиальных зазоров и повреждение лабиринтных уплотнений и даже заклиниванию ротора [1]. Для уменьшения термических напряжений и согласования термических расширений корпуса и статора паровой турбины используют различные приемы, например паровой обогрев фланцев [2].

Для успешного прохождения процедуры запуска турбины, необходим непрерывный мониторинг теплового состояния ее ключевых корпусных деталей. Он осуществляется с помощью системы температурных датчиков, работающих в составе системы автоматического управления (САУ) ПТУ, включающей в себя, помимо первичных датчиков, аналого-цифровые преобразователи, промышленные компьютеры и специализированное программное обеспечение [3].

Учебной альтернативой может стать создание стенда по изучению нестационарных теплопроводности на базе программно-аппаратной платформы Arduino.

Основными компонентами платформы Arduino являются плата ввода-вывода на базе микроконтроллера ATmega328P и среда разработки Arduino-IDE на языке Processing/Wiring [4].

Плата Arduino обладает богатым набором цифровых и аналоговых входов/выходов, последовательным портом стандарта RS-232, последовательным интерфейсом SPI.

Самый простой способ измерения температуры с помощью Arduino — это использование температурных датчиков сопротивления — полупроводниковых термисторов. В этом случае, Arduino конфигурируется в режим потенциометра с измерением параметров тока в электрической схеме делителя напряжения с термистором в качестве одного плеча [5]. Термисторы позволяют с высокой точностью измерять температуру, однако верхний предел ее измерения их ограничен 150–200 °C. Более универсальны — термоэлектрические датчики (термопары). Они не требуют дополнительного питания, отличаются стабильностью характеристик, пригодны для измерения высоких температур [6]. Недостатком термопар является очень слабый генерируемый сигнал (десятки милливольт), поэтому использовать аналоговые входы Arduino для точного измерения температуры не представляется возможным. Однако подключение термопары возможно через промежуточный интерфейс — модуль MAX6675, выполняющий функцию усилителя напряжения термпопары, перевода его в цифровую форму и осуществляющий функцию компенсатора холодного спая [7]. Подключение MAX6675 к Arduino осуществляется по интерфейсу SPI. Количество цифровых входов/выходов Arduino UNO позволяет подключить до 12 модулей MAX6675 и, соответственно, термопар. Для изучения процессов нестационарной теплопроводности был создан экспериментальный стенд, схема которого приведена на рис. 1.

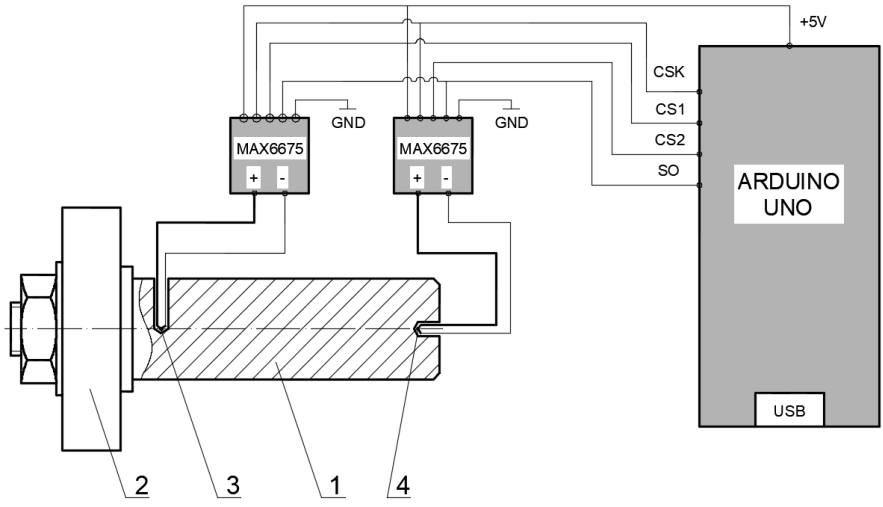


Рис. 1. Схема экспериментального стенда по изучению нестационарной теплопроводности

Рабочим участком экспериментального стенда является металлический цилиндрический стержень *1*, одним торцом он соединяется с нагревательным элементом *2*, второй конец — свободный. Стержень — препарированный. В него установлены две хромель-копелевые термопары. Первая (*3*), через отверстие в боковой стенке, установлена на оси цилиндра у нагреваемого торца, вторая (*4*) — на оси цилиндра, у свободного торца. Выводы термопар подключаются к двум модулям MAX 6675, а те, в свою очередь, к цифровым входам/выходам Arduino.

Разработанная программная прошивка микроконтроллера Arduino осуществляет циклический опрос термопар, время преобразования аналогового сигнала модулем MAX6675 составляет 220 мс, что достаточно для исследования нестационарных процессов теплопроводности в массивных деталях. Для облегчения написания программного кода, была использована библиотека GyverMAX6675 для драйвера модуля MAX6675 [8].

Регистрация и визуализация показаний термопар осуществляется на персональном компьютере, куда данные передаются с микроконтроллера по виртуальному последовательному интерфейсу (COM) по шине USB. Для этого было разработана прикладная программа на языке программирования Object Paskal в IDE Lazarus [9]. Программное сопряжение Arduino с программой сбора и визуализации данных осуществлялось с помощью модуля Synaser [10].

Визуализация показаний термопар осуществлялась с помощью оконного приложения. С периодичностью в одну секунду выводились текущие значения температуры и строился график функции $t_1, t_2 = f(\tau)$.

Пример работы разработанной программы приведен на рис. 2.

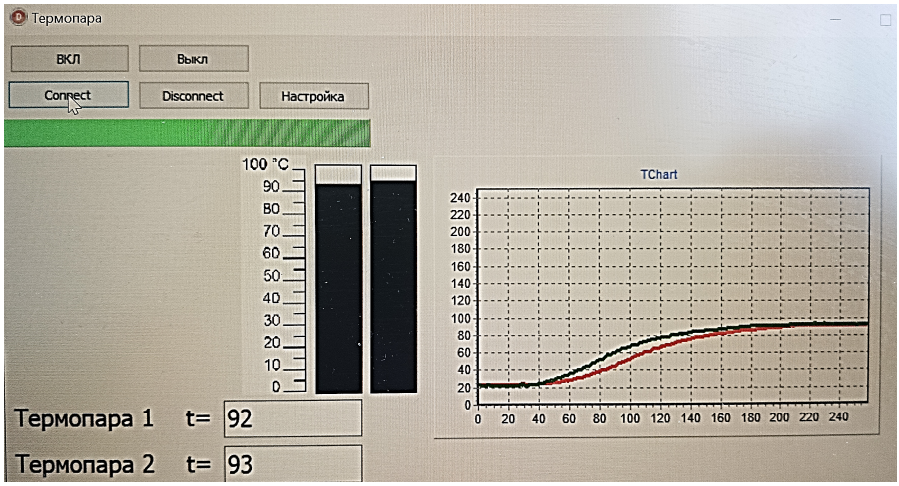


Рис. 2. Пример регистрации параметров процесса нестационарной теплопроводности в разработанной программе

Графическое представление данных позволяет определить базовые параметры процесса нестационарной теплопроводности.

1. Время неупорядоченного режима нестационарного нагрева стержня (τ = 20 с), когда скорость изменения температуры в отдельных точках исследуемого объекта различна.

2. Время регулярного режима нестационарной теплопроводности (τ = 180 с), когда относительная скорость изменения температуры во всех точках тела становится постоянной.

3. Время выхода на стационарный режим (τ = 240 с) с постоянным распределением температуры в теле.

В рамках дальнейших работ, планируется:

– разработка программного алгоритма автоматического распознавания временных характеристик процессов нестационарной теплопроводности;

– разработка методики вычисления теплового потока в стержне в процессе эксперимента;

– архивация данных эксперимента сохранением в файл в формате электронной таблицы.

Выводы. Разработан и изготовлен экспериментальный стенд по изучению нестационарной теплопроводности. Собрана на базе платформы Arduino аппаратная часть для измерения температуры опытного образца экспериментального стенда. Разработан программный код прошивки микроконтроллера Arduino, позволяющая осуществлять опрос датчиков температуры, обработку их показаний и передачу данных на ПК. Разработана прикладная программа для визуализации данных, характеризующих процесс нестационарной теплопроводности.

Литература

[1] Сафонов Л.П., Селезнев К.П., Коваленко А.Н. *Тепловое состояние высокоманевренных паровых турбин*. Ленинград, Машиностроение, 1983.

[2] Иоффе Л.С., Коротенко В.В. *Эксплуатация теплофикационных паровых турбин*. Екатеринбург, Уральский рабочий, 2002, 160 с.

[3] Плаксин И.К., Алимжанова З.Х., Бережной Н.А. Типовое решение: Система автоматического управления электрогидравлической системой регулирования (ЭГСР) паровой турбины на базе отечественного ПТК. *Автоматизация и IT в энергетике*, 2021, № 4 (141), с. 2–7.

[4] *Официальный сайт проекта Arduino.* URL: https://www.arduino.cc/ (дата обращения 04.11.2024).

[5] Ильичев В.Ю., Шевелев Д.В., Назаров Е.С. Создание системы измерений теплофизических параметров на основе аппаратных и программных средств Arduino. *Системный администратор*, 2021, вып. № 09 (226), с. 82–85.

[6] Данишевкий С.К. *Высокотемпературные термопары*. Москва, Металлургия, 1977, 232 с.

[7] *MAX6675 Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter*. URL: https://datasheet.dip8.ru/b568d0562f2ebeb0bdc508c175399e85.pdf (дата обращения 04.11.2024).

[8] *Библиотека GyverMAX6675.* URL: https://github.com/GyverLibs/GyverMAX6675 (дата обращения 04.11.2024).

[9] *Открытая среда программного обеспечения Lazarus*. URL: https://www.lazarus-ide.org/ (дата обращения 04.11.2024).

[10] *Ararat Synpse Code.* URL: https://sourceforge.net/p/synalist/code/HEAD/tree/trunk/ (дата обращения 04.11.2024).

Experimental study of the phenomena of unsteady thermal conductivity based on Arduino software and hardware

Shevelev Denis Vladimirovich[1] denis.v.shevelev@bmstu.ru
Apokin Igor Alexandrovich[1] apokinia@student.bmstu.ru
Fedin Roman Ruslanovich[1] fedinrr@student.bmstu.ru
Oleynikov Pavel Vladimirovich[2] oleinikov_pv@paoktz.ru

[1] *BMSTU (KB), Kaluga, Russia*

[2] *Kaluga Turbine Plant PJSC, Kaluga, Russia*

The description and principle of operation of the experimental stand for the study of non-stationary thermal conductivity are given. The hardware for measuring the temperature of the prototype of the experimental stand has been assembled on the basis of the Arduino platform. The software code for the firmware of the Arduino microcontroller has been developed, which allows polling temperature sensors, processing their readings and transferring data to a PC. An application program has been developed to visualize data characterizing the process of non-stationary thermal conductivity.

Keywords: *non-stationary thermal conductivity, thermocouple, Arduino*

УДК 62-523.3

Особенности выбора типа системы регулирования детандер-генераторного агрегата в газораспределительной системе

Костюков Иван Сергеевич[1] kostyukov_is@paoktz.ru
Жинов Андрей Александрович[2] azhinov@bmstu.ru

[1] *ПАО «Калужский турбинный завод», Калуга, Россия*

[2] *КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

Рассмотрены особенности выбора и работы системы регулирования детандер-генераторного агрегата (ДГА) в газораспределительной системе. Дана классификация основных типов системы регулирования ДГА и описываются особенности их работы. Рассмотрен вопрос применения стандартных пневматических элементов в составе системы регулирования ДГА. В качестве примера, рассмотрена работа УТДУ-2500, в байпасной ветке которой используется стандартный пневматический регулятор давления. Даются рекомендации по выбору типа и основных элементов системы регулирования в зависимости от условий работы систем регулирования.

Ключевые слова: *детандер-генератор, система регулирования, регулятор давления, газораспределительная система*

В системах газоснабжения для редуцирования давления в трубных системах потребителей в последнее время часто применяются детандер-генераторные агрегаты (ДГА). Это позволяет полезно использовать энергию сжатого газа для выработки электроэнергии, а не терять ее на дросселировании в традиционных устройствах газоредуцирующих станций (ГРС) или пунктов (ГРП).

ДГА сложные устройства, для которых требуется сложная и более дорогая система регулирования. Кроме того, ДГА обычно работают совместно/параллельно с традиционными системами, что также требует совершенствования и обоснованного подбора типа системы регулирования.

Отличительная особенность системы автоматического регулирования турбодетандера — необходимость поддерживать требуемые характеристики газа в большом диапазоне изменения параметров (давления, температуры и расхода газа) [1, 4].

Обычно система регулирования ДГА состоит из 2-х частей:

– основной ветки регулирования самого ДГА;

– байпасной ветки регулирования, предназначенной на случай аварийного останова детандера, а также для пуска детандер-генераторной установки.

Система регулирования ДГА бывает гидравлической, пневматической и пневмогидравлической. Она может комплектоваться как стандартными элементами, так и состоять из нестандартных элементов, изготовленных предприятием-изготовителем ДГА.

Пневматические системы регулирования обычно создают на базе стандартных элементов — регуляторов давления газа прямого и непрямого действия [2]. У регуляторов давления прямого действия (статических) неравномерность регулирования составляет ±(0–20) %, статических непрямого действия (с пилотом) и у астатических регуляторов неравномерность ±(5–10) %. В работе [2] подробно рассмотрены характеристики и требования к таким регуляторам.

Как правило, статические регуляторы прямого действия применяют для тупикового газопровода (с отбором газа в конце газопровода). Статические регуляторы непрямого действия применяют на газопроводах с большими расходами газа.

При подборе регулятора требуется, чтобы его пропускная способность была на 15–20 % больше максимального расхода газа потребителю. Это обеспечивает подвижность исполнительных механизмов в регуляторе и, соответственно, саму возможности регулирования при максимальных расходах. Снижение расхода газа ниже 10 % от максимального может привести к возникновению автоколебаний в механизме регулятора, что не допустимо по условиям эксплуатации.

Регуляторов давления газа бывают:

– прямого действия с пружинной и рычажно-пружинной нагрузками;

– непрямого действия с пилотом.

В гидравлических системах регулирования для упрощения конструкции применяют обычно компоновки систем защиты и регулирования в едином блоке. При этом основными элементами системы регулирования являются дозирующий и байпасный блоки. Байпасный блок включает в себя смонтированный в едином корпусе клапан защиты и регулятор давления. Дозирующий блок, устанавливаемый на основной ветке газа, состоит из клапана стопорного, приводимого в движение сервоклапаном и клапана дозирующего, управляемого командным узлом.

На практике чаще всего в дозирующем блоке применяется гидравлическое управление с жесткой обратной связью по давлению за ДГА, а в блоке байпасном может быть как гидравлическое, так и пневматическое управление в зависимости от рабочего давления в трубопроводе, или же в качестве байпасного элемента регулирования иногда применяется стандартный регулятор давления.

Примером может послужить система автоматического регулирования установки типа УТДУ-2500, в которой система регулирования самого детандера представляет собой блок собственного изготовления производителя детандера, а в качестве регулятора байпасной линии используется стандартный пневматический регулятор давления типа ДР-150-64. Такая комплектация обеспечивает достаточно большое время переходного процесса регулирования (~45–60 с) [3].

На основе проведенного обзора, можно сделать вывод о целесообразности использования/подбора в системах регулирования детандер-генератор-

ных агрегатов регуляторов различного типа, исходя из конкретных условия работы ДГА и выбранной комплектации.

Литература

[1] Степанец А.А. *Энергосберегающие турбодетандерные установки*. Москва, Недра, 1999, 258 с.

[2] Клюев А.С. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. Москва, Энергоатомиздат, 1989, 368 с.

[3] Мальханов В.П. *Турбодетандерные агрегаты в системах подготовки и распределения природного газа*. Москва, Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004, 228 с.

[4] *Основные принципы выбора регуляторов.* URL: https://gazovik-gaz.ru/spravochnik/reg/principle?ysclid=m2kalsytxj91165847 (дата обращения 22.10.2024).

Features of choosing the type of control system for an expander-generator unit in a gas distribution system

Kostyukov I.S.[1] kostyukov_is@paoktz.ru

Zhinov A.A.[2] azhinov@bmstu.ru

[1] *Kaluga Turbine Plant PJSC, Kaluga, Russia*

[2] *BMSTU (KB), Kaluga, Russia*

The article considers the features of selection and operation of the control system of the expander-generator unit (EGU) in the gas distribution system. The classification of the main types of the EGU control system is given and the features of their operation are described. The issue of using standard pneumatic elements in the EGU control system is considered. As an example, the operation of the UTDU-2500 in the bypass branch of which a standard pneumatic pressure regulator is used is considered. Recommendations are given on the selection of the type and main elements of the control system depending on the operating conditions of the control systems.

Keywords: *expander-generator, control system, pressure regulator, gas distribution system*

УДК 536.24

Экспериментальное определение постоянной учебного калориметра

Меткурбанов Арсений Владиславович metkurbanovav@student.bmstu.ru
Меткурбанов Илья Владиславович metkurbanoviv@student.bmstu.ru
Шевелев Денис Владимирович denis.v.shevelev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Описана конструкция учебного калориметра, используемого для изучения термодинамических свойств воды и водяного пара. Отмечена важность величины постоянной калориметра для экспериментального определения степени сухости водяного пара. Предложена и апробирована методика определения постоянной учебного калориметра. Исследовано влияние потерь в окружающую среду от наружных стенок калориметра. Установлено, что в диапазоне изменения температур воды в калориметре от 20 до 40 °С влиянием потерь тепла в окружающую среду можно пренебречь.

Ключевые слова: *калориметр, тарировка, постоянная калориметра, эксперимент*

В ходе проведения термодинамических и химических опытов часто ставится задача экспериментального определения теплоты того или иного процесса. Например, большую практическую ценность имеет экспериментальное определение удельной теплоты конденсации (парообразования) того или иного вещества или теплового эффекта химической реакции.

Уже более 200 лет для измерения количества теплоты, выделяющейся или поглощающейся в каком-либо физическом или химическом процессе используется специальный прибор — калориметр. Первый калориметр изобрел английский химик Джозеф Блэк, с помощью которого определил скрытую теплоту плавления льда и испарения воды [1]. Усовершенствованную конструкцию калориметра (ледяной калориметр) предложили французские ученые Антуан Лоран Лавуазье и Пьер Симон Лаплас, данный прибор и эксперименты с ним они описывают в работе [2].

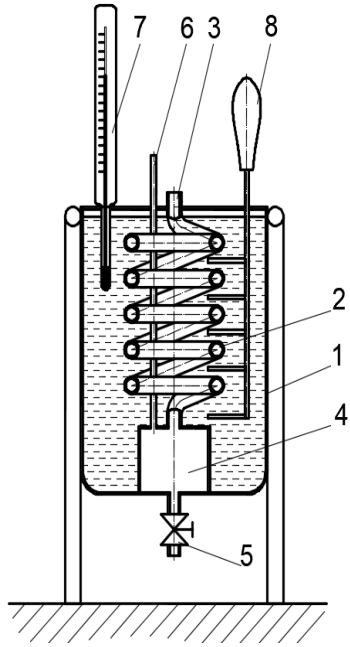
Свое название калориметр получил позже. По предложению французского химика Николя Клемана-Дезорма большой калорией (от латинского слова calor — тепло) стали называть единицу тепловой энергии как количество теплоты, которое необходимо затратить, чтобы нагреть один килограмм воды на один градус Цельсия [3].

В лаборатории термодинамики и тепломассообмена КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана при проведении лабораторных работ используется учебный калориметр (ссм. рисунок).

Назначение калориметра — изучение свойств водяного пара путем определения степени его сухости. Калориметр представляет собой металлический бак *1*, внутри которого располагается змеевик *2*, в который через патрубок *3*

подается водяной пар. Конденсат собирается в конденсатосборнике *4*, откуда может через кран *5* выливаться в мерную емкость. Постоянное давление конденсации водяного пара обеспечивается атмосферной трубкой *6*. В ходе конденсации пара благодаря выделению скрытой теплоты парообразования происходит нагрев воды в калориметре, что регистрируется термометром *7*. Равномерный прогрев воды обеспечивается ручной мешалкой *8*.





Учебный калориметр (калориметр Лавуазье — Лапласа)

В ходе учебного эксперимента повышение температуры воды в калориметре составляет около 5–10 °С. Определение степени сухости водяного пара осуществляется путем решения уравнения теплового баланса:

$$C(t_2 - t_1) = G_к(xr + h_s - h_2), \quad (1)$$

где C — постоянная калориметра; t_1 и t_2 — начальная и конечная температура воды в калориметре; x — степень сухости водяного пара; r — удельная теплота парообразования воды; h_s и h_2 — энтальпия воды при температуре насыщения и t_2 соответственно.

Постоянная калориметра — это константа, которая количественно определяет теплоемкость калориметра. Она представляет собой количество теплоты, необходимое для нагревания калориметрической системы на 1 °С.

В «идеальном» калориметре подобной конструкции константа калориметра будет равна теплоемкости залитой в него воды, т. е. вся подводимая в калориметр теплота идет только на ее нагрев. Однако реальная конструкция калориметра приводит к тому, что часть теплоты идет на нагрев его металлических частей — змеевика, мешалки, стенок бака и конденсатосборника. Некоторое количество теплоты будет теряться в окружающую среду в результате конвективного теплообмена от наружных стенок бака.

Для корректной работы с калориметром требуется его тарировка — экспериментальное определение его постоянной *C*. Известны различные способы тарировки калориметров различной конструкции [4].

Для описанного выше учебного калориметра, рациональным оказался метод, при котором нагрев воды в калориметре осуществлялся с помощью помещенного в него электрического нагревательного устройства. В ходе эксперимента засекалось время работы нагревателя τ, с, и, потребляемая им мощность с помощью ваттметра *N*, кВт. Измерение температуры воды проводилось два раза, перед включением нагревателя t_1, °С и после его работы t_2, °С. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные неизолированного калориметра

Номер опыта	Начальная температура воды t_1, °С	Конечная температура воды t_2, °С	Время нагрева τ, с,	Потребляемая мощность электрического нагревателя $N_{эл}$, кВт
1	23	29	240	0,600
2	29	36	240	0,604

Для оценки потерь тепла в окружающую среду наружные стенки калориметра теплоизолировались с помощью отражающей теплоизоляции ВПЭ/Лавсан толщиной 5 мм. Результаты повторного эксперимента с теплоизолированным корпусом калориметра приведены в табл. 2.

Таблица 2

Исходные данные изолированного калориметра

Номер опыта	Начальная температура воды t_1, °С	Конечная температура воды t_2, °С	Время нагрева τ, с,	Потребляемая мощность электрического нагревателя $N_{эл}$, кВт
3	26	33	240	0,599
4	33	39	240	0,600

Обработка результатов эксперимента с целью определения постоянной калориметра осуществлялось по следующей методике.

1. Количество подведенного в калориметр тепла:

$$Q = N_{эл}\tau, \text{ кДж}. \qquad (2)$$

2. Постоянная «идеального» калориметра:

$$C_{\text{ид}} = \frac{(h_2 - h_1)V\rho}{(t_2 - t_1)},\ \text{кДж/°С}, \tag{3}$$

где h_1 и h_2 — энтальпия воды при температуре t_1 и t_2; V = 0,00445 м^3 — внутренний объем калориметра; ρ — плотность воды при температуре t_1, кг/м^3. Термодинамические свойства веществ в выражении (3) определялись с помощью сервиса [4].

3. Экспериментально определенная постоянная калориметра:

$$C = \frac{Q}{t_2 - t_1},\ \text{кДж/°С}. \tag{4}$$

Результаты обработки экспериментальных данных приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты обработки экспериментальных данных

Номер опыта	***Q*, кДж**	***C*$_{\text{ид}}$, кДж/°С**	***C*, кДж/°С**
Без теплоизоляции			
1	144	18,6	24
2	145		21
С теплоизоляцией			
3	144	18,6	21
4	144		24

Обработка экспериментальных данных показала, что теплоемкость учебного калориметра больше «идеального» на 2–5 кДж/°С. Это объясняется поглощением теплоты его конструктивными элементами — стенками, змеевиком, мешалкой. Разброс определенных величин постоянной калориметра объясняется, по-видимому, погрешностями выполненных измерений — прежде всего термометра с ценой деления 1 °С.

Выводы. Выполнена тарировка учебного калориметра, в результате которой была определена его постоянная $C_{\text{ср}}$ = 22,5 кДж/°С. Установлено, что в условиях проводимого эксперимента в диапазоне изменения температуры воды от 20 до 40 °С, потерями теплоты в окружающую среду можно пренебречь. Их влияние зарегистрировать не удалось. Точность экспериментального определения постоянной калориметра можно увеличить путем его тарировки с помощью термометра с меньшей ценой деления шкалы. Полученные результаты могут быть полезны в учебном процессе при экспериментальном определении степени сухости водяного пара.

Литература

[1] Chisholm H. *Encyclopædia Britannica*. Cambridge University Press, 1911, vol. 4.

[2] *Memoire sur la chaleur, par Lavoisier et de Laplace*. Memoires de l'Academie des sciences, 1780, 355 p.

[3] Marks P.L. The Two Calories. *Nature*, 1928, vol. 121 (3037), no. 58. https://doi.org/10.1038/121058d0

[4] *CoolProp. Кроссплатформенная библиотека теплофизических свойств веществ.* URL: http://www.coolprop.org/ (дата обращения 04.01.2024).

Experimental determination of the constant of the educational calorimeter

Metkurbanov A.V. metkurbanovav@student.bmstu.ru
Metkurbanov I.V. metkurbanoviv@student.bmstu.ru
Shevelev D.V. denis.v.shevelev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The design of an educational calorimeter used to study the thermodynamic properties of water and steam is described. The importance of the value of the calorimeter constant for the experimental determination of the degree of dryness of water vapor is noted. A method for determining the constant of the educational calorimeter is proposed and tested. The effect of environmental losses from the outer walls of the calorimeter has been investigated. It has been established that in the range of water temperatures in the calorimeter from 20 to 40 °C, the effect of heat loss to the environment can be ignored.

Keywords: *calorimeter, calibration, calorimeter constant, experiment*

УДК 621.565.93/.95

Исследование процессов свободной конвекции в трубчатом оребренном теплообменнике

Петрушин Кирилл Александрович petrushin9ka@mail.ru
Ильичев Владимир Юрьевич patrol8@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Представлено численное моделирование процессов свободной конвекции в трубчатом оребренном теплообменнике, используемом в системах воздушного охлаждения. Исследованы условия эксплуатации теплообменника с вытяжной шахтой и без нее и их влияние на тепловую эффективность устройства. Полученные результаты показали, что применение вытяжной шахты позволяет значительно повысить коэффициент теплоотдачи. Численные расчеты, выполненные в Ansys CFX, продемонстрировали достаточную точность и согласованность с расчетными методиками, подтверждая корректность подхода. Данные исследования могут быть полезны для проектирования более эффективных систем воздушного охлаждения.

Ключевые слова: *теплообменник, конвекция, вытяжная шахта, интенсификация теплообмена, воздушное охлаждение*

Теплообменники с оребренными трубами получили широкое распространение в системах воздушного охлаждения благодаря их высокой эффективности и компактности. Эти устройства позволяют эффективно отводить тепло за счет теплообмена с окружающим воздухом, что делает их востребованными в различных промышленных и энергетических установках. Цель данной работы заключается в исследовании процессов свободной и смешанной конвекции в трубчатом оребренном теплообменнике, а также в анализе эффективности использования вытяжной шахты для интенсификации теплообмена. Рассмотрены различные условия эксплуатации теплообменников, направленные на повышение их тепловой эффективности и снижение энергозатрат.

Воздухоохлаждаемые теплообменники функционируют в различных режимах конвекции: свободной, смешанной и вынужденной. В режиме свободной конвекции движение воздуха происходит за счет естественной циркуляции, вызванной разницей температур [1]. В условиях смешанной конвекции процесс также включает элементы принудительного потока, который создается с помощью внешних устройств, таких как вытяжная шахта.

В данной работе исследованы два основных режима работы теплообменника: свободная конвекция, при которой процесс охлаждения осуществляется без дополнительного оборудования, и смешанная конвекция.

Объектом исследования является теплообменный аппарат, представленный четырехрядным шахматным пучком, состоящим из биметаллических оребренных труб со спирально накатанными ребрами, имеющий угол наклона к горизонтальной плоскости $\varphi = 60°$. Геометрические параметры трубок:

диаметр по основанию $d_0 = 26$ мм; диаметр по оребрению $d_н = 57$ мм; шаг ребер $s = 3{,}24$ мм; высота ребер $h = 15$ мм; толщина ребра $\Delta = 0{,}27$ мм; длинна трубок $l = 2{,}5$ м; поперечный шаг $s_1 = 58$ мм; продольный шаг $s_2 = 50$ мм; коэффициент оребрения $\varphi = 16$.

Переход к режиму свободной конвекции был осуществлен путем установки вытяжной шахты высотой $H = 1{,}8$ м над теплообменником. Шахта усиливает естественную тягу, что способствует увеличению потока воздуха через теплообменник и интенсификации процесса теплоотдачи.

Для каждого из режимов работы были заданы значения температур. В режиме без вытяжной шахты температура окружающего воздуха за теплообменником составила $t_0 = 29{,}2$ °С, а температура стенки трубки $t_{ст} = 47{,}2$ °С. В режиме с вытяжной шахтой температура окружающего воздуха за теплообменником составила $t_0 = 21$ °С, а температура стенки трубки $t_{ст} = 43{,}3$ °С.

Свободно-конвективная теплоотдача теплообменного аппарата без шахты рассчитана на основе методики приведенной в работе [2]. Число Нуссельта определялось по формуле:

$$Nu = ARa^n(1 - \exp(-B/Ra)), \qquad (1)$$

где коэффициенты *A*, *n*, *B* определялись по таблице в соответствии с углом наклона трубок к горизонтальной плоскости.

$$\mathrm{R}a = \mathrm{GrPr};$$

$$\mathrm{Gr} = \frac{g\beta d_0^3(t_{ст} - t_0)}{\nu^2};$$

$$Pr = \frac{\nu}{a},$$

где ν, λ, α, β — теплофизические свойства воздуха, которые определяли по температуре t_0; $\beta = \frac{1}{t_0+273}, \mathrm{K}^{-1}$.

Коэффициент теплоотдачи составил $\alpha = 0{,}246$ Вт/(м^2·К).

Для определения числа Нуссельта в режиме с использованием конвективной шахты была использована формула, приведенная в работе [3].

$$\mathrm{Nu} = (0{,}00313 + 0{,}07693 \cdot 0{,}45^z)(1{,}1 - \exp(-1{,}69z^{0{,}72}\chi_ш) \times$$
$$\times (1{,}3 - \exp(-7{,}65 \cdot 10^{-4}z^{0{,}72}H/d_э))\mathrm{Gr}^{0{,}48}, \qquad (2)$$

где $\chi_ш = F_ш/F_{сж}$ — коэффициент сужения площади сечения выходной шахты по отношению к сжатому сечению пучка; *z* — число рядов в пучке.

Эквивалентный диаметр сжатого поперечного пучка определяется по формуле

$$d_э = \frac{2s}{2h+s}s_1\chi, \qquad (3)$$

где $\chi = 1 - \frac{1}{s_1}\left(d_0 + 2\frac{h\Delta}{s}\right)$ — коэффициент загромождения оребренными трубами поперечного сечения пучка для прохода воздуха.

С помощью вычисленного значения Nu по формуле (4) находят средний коэффициент теплоотдачи пучка:

$$\alpha = \frac{\mathrm{Nu}\lambda}{d_0} = 1{,}01. \quad (4)$$

Для случая с использованием конвективной шахты также были произведены численные исследования в пакете численного моделирования Ansys CFX [4]. Расчетная сетка подготавливалась с помощью Ansys Meshing, встроенного в Ansys инструмента, предоставляющего широкий выбор возможностей при создании сетки. В результате расчета получено значение коэффициента теплоотдачи $\alpha = 0{,}915$ Вт/(м^2·К), который отличается от полученного при расчетах на 10,38 %. В результате расчета получена картина распределения температур в теплообменнике, представленная на рис. 1.

В результате расчета получено распределение линий тока, представленное на рис. 2.

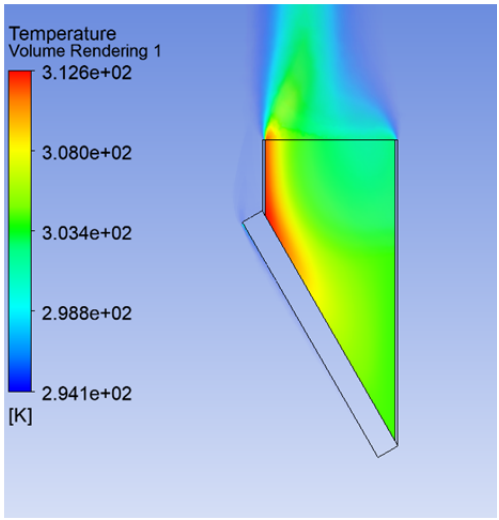


Рис. 1. Распределение температур в теплообменнике

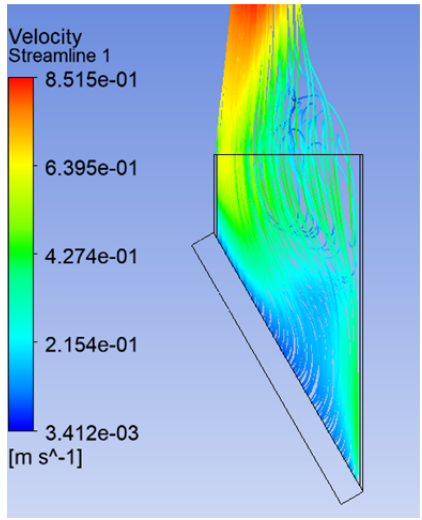


Рис. 2. Распределение линий тока

Из рисунка видно область, в которой происходит подсос снаружи холодного воздуха. В некоторый момент условие неустойчивого равновесия нарушается и под действием разряжения происходит подсос снаружи холодного плотного воздуха в шахту через край его боковой стенки [5].

Проведенное исследование процессов свободной конвекции в трубчатом оребренном теплообменнике позволило выявить значительное влияние использования вытяжной шахты на его тепловую эффективность. Численные исследования, выполненные с использованием Ansys CFX, продемонстриро-

вали соответствие расчетных данных результатам моделирования, что подтвердило корректность выбранных методик. Применение вытяжной шахты привело к улучшению характеристик теплоотдачи. Полученные данные позволяют рекомендовать использование вытяжной шахты для интенсификации теплообмена в системах воздушного охлаждения, обеспечивая повышение общей эффективности работы теплообменника.

Литература

[1] Ерофеев В.Л. *Теплотехника. Т. 1. Термодинамика и теория теплообмена*. Москва, Юрайт, 2023, 308 с.

[2] Самородов А.В. *Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками*. Дис. … канд. техн. наук. Архангельск, 1999, 172 с.

[3] *Инженерный метод теплового расчета аппарата воздушного охлаждения с вытяжной шахтой*. URL: https://chemtech.ru/inzhenernyj-metod-teplovogo-rascheta-apparata-vozdushnogo-ohlazhdenija-s-vytjazhnoj-shahtoj/ (дата обращения 26.10.2024).

[4] *Официальный сайт Ansys*. URL: https://www.ansys.com/ (дата обращения 26.10.2024).

[5] Сухоцкий А.Б. Особенности гравитационного течения нагретого воздуха в вытяжной шахте над многорядным оребренным пучком. *Инженерно-физический журнал*, 2019, т. 92, № 3, с. 619–625.

Study of free convection processes in a tubular finned heat exchanger

Petrushin K.A. petrushin9ka@mail.ru

Ilyichev V.Y. patrol8@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article presents numerical modeling of free convection processes in a tubular finned heat exchanger used in air-cooling systems. The operating conditions of the heat exchanger with and without an exhaust shaft and their effect on the thermal efficiency of the device are studied. The results show that the use of an exhaust shaft can significantly increase the heat transfer coefficient. Numerical calculations performed in Ansys CFX demonstrated sufficient accuracy and consistency with calculation methods, confirming the correctness of the approach. These studies can be useful for designing more efficient air-cooling systems.

Keywords: *heat exchanger, convection, exhaust shaft, heat exchange intensification, air cooling*

УДК 621.165

К вопросу термогазодинамического расчета проточной части турбины по средней линии тока

Жариков Артем Андреевич artemzhrk@gmail.com
Шевелев Денис Владимирович denis.v.shevelev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Процесс проектирования паровых турбин достаточно сложен и требует учета различных факторов: конструкторских, прочностных, технологических и экономических. Основой проектирования является термогазодинамический расчет турбины по средней линии тока, который определяет основные геометрические размеры и кинематические параметры потока, а также мощностные и эффективностные показатели турбины и ее ступеней. Данный расчет является базовым для дальнейших подробных вычислений и оптимизации проточной части турбины. Рассматриваются этапы термогазодинамического расчета, начиная с формирования исходных данных, предварительного расчета и расчета по средней линии тока, заканчивая построением 3D-модели ступени и CFD-моделированием, которое позволяет более точно оценить потери энергии в решетках профилей.

Ключевые слова: *турбина, проточная часть, методика проектирования, термогазодинамический расчет ступени, потери энергии в решетках профилей*

Проектирование паровых турбин является сложной многоуровневой задачей, решение которой требует одновременного учета конструкторских, прочностных, технологических и экономических факторов. Вне зависимости от уровня сложности и многофакторности задач, стоящих перед проектировщиками паровых турбин, их решение начинается с термогазодинамического расчета турбины «по средней линии тока», в ходе которого определяются ключевые геометрические характеристики проточной части, кинематические параметры потока в ключевых сечениях, мощностные параметры и параметры эффективности как отдельных ступеней, так и турбины в целом. Результаты расчета проточной части по средней линии тока ложатся в дальнейшем в основу более детальных конструкторских и газодинамических расчетов, используются при поиске оптимальных решений. В ходе оптимизационных расчетов, термогазодинамический расчет проточной части по средней линии тока выполняется многократно, что делает актуальной задачу создания программных средств и сервисов, автоматизирующих и облегчающих этот этап проектирования турбины, в их основу должны быть положены новейшие достижения в области турбостроения.

Традиционно последовательность термогазодинамического расчета многоступенчатой паровой турбины следующая.

1. На основании термодинамического расчета тепловой схемы ПТУ формируется набор исходных данных для расчета паровой турбины: расход

и параметры пара на входе в турбину, параметры отборов пара, давление в конденсаторе.

2. Предварительный расчет турбины, в ходе которого определяются при заданной частоте вращения ротора: число цилиндров (частей) и количество ступеней на каждый, распределение по ступеням средних диаметров, степеней реактивности, теплоперепадов. Методика предварительного расчета [1] основывается на базовых положениях термодинамики, газодинамики, теории турбомашин и обобщения опыта проектирования и характеристик выполненных конструкций паровых турбин. Предварительный расчет позволяет оценить различные варианты формирования проточной части в первом приближении в зависимости от частоты вращения ротора, формы меридионального сечения проточной части, ключевых геометрических характеристик, например, среднего диаметра первой ступени. Примерный результат выполнения предварительного расчета турбины представлен на рис. 1.

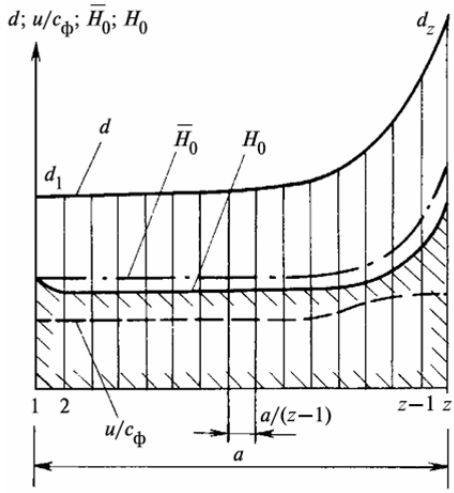


Рис. 1. Диаграмма для определения числа ступеней и распределения теплоперепадов по ступеням

3. Поступенчатый расчет паровой турбины по средней линии тока. Расчет выполняется на основании данных, полученных в ходе предварительного расчета. Каждая последующая ступень считается на основании данных, полученных из расчета предыдущей по ходу рабочего тела. Данный подход, рассматривающий многоступенчатую турбину, как состоящую из одноступенчатых основан еще на идеях Стодолы [2]. В основе расчета лежит изоэнтропная модель расширения рабочего тела в межлопаточных каналах соплового аппарата и рабочего колеса ступени. В настоящее время целесообразно использование не устаревших табличных или графических данных, а аппроксимированных зависимостей свойств воды и водяного пара [3–5]. Учет влияния

потерь на данном этапе достаточно приближенный, так как точную их величину можно получить только в ходе натурного эксперимента [6] или с высокой степенью достоверности оценить с помощью CFD-моделирования [7]. На данном этапе производится детальный расчет термогазодинамических и кинематических параметров потока в характерных сечениях ступени, а также расчет основных геометрических характеристик лопаточных решеток соплового аппарата и рабочего колеса. Методика термогазодинамического расчета ступени широко известна и изложена [8–10]. Ввиду того, что положенная во все вышеуказанные методики изоэнтропная модель расширения газа, физические процессы, термодинамические законы и тригонометрические соотношения одинаковы, отличие заключается только в подходах к оценке и уточнению потерь в лопаточных решетках. Первоначально коэффициенты, характеризующие потери, задаются исходя из опыта проектирования достаточно приближенно, а после определения кинематических параметров потока и геометрических характеристик лопаточных решеток уточняются. Алгоритм расчета ступени иллюстрирует рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм расчета ступени по традиционной методике

Подходы к уточнению потерь в ступени различны. Наиболее старый, простой и достаточно достоверный — использование данных, обобщающих результаты экспериментального исследования лопаточных решеток различных типов [11, 12]. Недостаток этого метода — ограниченность количества исследованных ступеней, не охватывающих все возможные комбинации гео-

метрических характеристик решеток, возникающих в процессе расчета. Это приводит к необходимости идти на назначение тех или иных углов атаки, снижающих эффективность работы ступени, при этом не учитывается современный опыт проектирования лопаточных решеток.

Второй подход — использование опытных зависимостей, позволяющих учесть те или иные виды потерь в решетках (потери на трение, отрыв потока, кромочные потери, волновые потери) в зависимости от скорости потока, конкретных геометрических характеристик решеток — углов входа и выхода потока, величины хорды, угла установки, высоты лопатки и т. д. Таких данных достаточно много [13–16], они обобщают опыт экспериментаторов различных школ турбостроения, которые не всегда соответствуют друг другу, так как получены в разных условиях, а критерии обобщения недостаточно универсальны.

4. Расчет пространственного течения газа в ступени турбины в соответствии с выбранным законом профилирования и построение профилей плоских сечений лопаточных решеток соплового аппарата и рабочего колеса. Профили лопаток могут выбираться по атласам профилей [11, 12] или строится по тем или иным методикам [17, 18]. Итогом этого этапа является построение проточной части ступени турбины, образованной лопатками соплового аппарата и рабочего колеса конкретной конфигурации.

Корректность расчета ступени турбины во многом зависит от правильности выбора методики расчета потерь. Как отмечалось выше, результаты расчета потерь по разным методикам могут быть достаточно противоречивы. Построение 3D-модели ступени турбины, по данным полученным на 4 этапе расчета, дает возможность выполнить исследование рабочего процесса ступени турбины методами CFD-моделирования в двумерной или трехмерной постановке. Анализ результатов моделирования даст возможность выбрать из множества методик расчета потерь наиболее подходящую, которая может быть положена в создаваемую компьютерную программу поступенчатого расчета проточной части турбины по средней линии тока.

Литература

[1] Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. *Паровые и газовые турбины для электростанций*. Москва, Издательский дом МЭИ, 2016.

[2] Стодола А. *Паровые турбины*. Санкт-Петербург, Столичная скоропечатня, 1904, 253 с.

[3] Александров А.А., Агапова Р.К. Расчет термодинамических свойств воды и водяного пара на ЭЦВМ методом интерполяции. *Теплоэнергетика*, 1972, № 8, с. 83–85.

[4] *REFPROP. Программа для расчета свойств воды, водяного пара, газов и смесей газов*. URL: https://www.nist.gov/srd/refprop (дата обращения 22.04.2024).

[5] CoolProp. Программа для расчета свойств воды, водяного пара, газов и смесей газов. URL: http://www.coolprop.org/ (дата обращения 22.04.2024).

[6] Дорфман Л.А. Исследование натурных ступеней паровых турбин с полным и парциальным подводом. *Энергомашиностроение*, 1956, № 10, с. 18–20.

[7] Amaral L.G.F., Diaz R.B., Tomita J.T. Optimization based on 3D CFD simulations of an axial turbine from a small gas turbine engine. *Aeron Aero Open Access J.,* 2019, vol. 3 (4), pp. 198–211. https://doi.org/10.15406/aaoaj.2019.03.00098

[8] Щегляев А.В. *Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкции турбин*. Москва, Энергоатомиздат, 1993, 384 с.

[9] Шнеэ Я.И. *Теория газовых турбин.* Москва, Машгиз, 1950, 387 с.

[10] Кириллов И.И., Кантор С.А. *Теория и конструкции паровых турбин*. Москва, Машгиз, 1947.

[11] Афанасьева Н.Н., Бусурин В.Н., Гоголев И.Г. *Аэродинамические характеристики ступеней тепловых турбин*. Ленинград, Машиностроение, 1980, 263 с.

[12] Дейч М.Е., Филиппов Г.А., Лазарев Л.Я. *Атлас профилей решеток осевых турбин*. Москва, Машиностроение, 1965.

[13] Гольцов В.В., Кадетов А.П. Обобщение экспериментальных зависимостей для определения коэффициентов профильных потерь в турбинных решетках. *Сб. тр. ЦИАМ*, 1977, № 786, с. 1–3.

[14] Дронник Ю.М. Анализ методов расчета профильных потерь в турбинных решетках. *Энергомашиностроение,* 1982, вып. 34, с. 9–14.

[15] Зысина-Моложен Л.М. *Приближенный метод расчета профильных потерь в решетках*. Москва, Энергия, 1960, с. 48–87.

[16] Шубенко-Шубин Л.А., Стоянов Ф.А. Об оценке профильных потерь в турбинной решетке, обтекаемой нестационарным потоком. *Энергомашиностроени*е, 1972, № 1, с. 24–28.

[17] Аронов Б.М. *Профилирование лопаток авиационных газовых турбин.* Москва, Машиностроение, 1975, 192 с.

[18] Шевелев Д.В., Жариков А.А. Использование КОМПАС-3D для параметрического построения профилей рабочих лопаток турбин. *Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: регион. науч.-техн. конф.: сб. матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024, т. 1, с. 176–179.

On the issue of thermogasodynamic calculation of the flow part of the turbine along the middle current line

Zharikov A.A. artemzhrk@gmail.com

Shevelev D.V. denis.v.shevelev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The design process of steam turbines is quite complex and requires consideration of various factors: design, strength, technological and economic. The basis of the design is the thermogasodynamic calculation of the turbine along the mean current line, which determines the basic geometric dimensions and kinematic parameters of the flow, as well as the power and efficiency indicators of the turbine and its stages. This calculation is the basic one for further detailed calculations and optimization of the flow part of the turbine. The stages of thermogasodynamic calculation are considered, starting with the formation of initial data, preliminary calculation and calculation along the average current line, ending with the construction of a 3D model of the stage and CFD modeling, which allows more accurately estimating energy losses in profile grids.

Keywords: *turbine, flow part, design methodology, thermogasodynamic calculation of the stage, energy loss in profile grids*

УДК 621.592.3

Обзор детандер-компрессорных агрегатов: применение, принцип работы и особенности

Резчиков Владислав Русланович vladislavrezcikov2011@gmail.com
Шевелев Денис Владимирович denis.v.shevelev@bmstu.ru
SPIN-код: 2076-0373

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены основные понятия, связанные с детандер-компрессорным агрегатом, его назначение и применение, а также необходимые данные для расчета проточных частей детандера и компрессора. Особое внимание уделено его применению в качестве осушительной установки для промыслового газа. Рассмотрен принцип работы агрегата для этого процесса. Представлены преимущества и недостатки данной аппарата при включение его схему осушки газа. Сделаны выводы о возможностях данных изделий для дальнейшего изучения и проектирования.

Ключевые слова: *детандер-компрессорный агрегат, осушка газа, газовая промышленность, газотурбинная установка, природный газ*

В современном мире детандер-компрессорные агрегаты (ДКА) играют важную роль в газовой промышленности. Они могут выполнять различные функции при работе с газом, такие как сжижение природного газа, регулирование давления в газопроводах, переработка и очистка газа. Введение ДКА в систему обработки и транспортировки газа обеспечивает более безопасные и экономически эффективные процессы. Цель данной работы — исследование и анализ детандер-компрессорного агрегата. Это становится важно в наше время по многим причинам, одними из главных является активное импортозамещение многих продуктов и наличие огромных запасов природного газа. С этой целью ведется изучение ДКА, процессов, проходящих при его работе, а также методики проектирования этого агрегата. При выполнение этой работы особое внимание уделяется применению этого ДКА в системах осушки промыслового газа.

Осушка газа является важной частью производственных процессов. Этот процесс выражается в удаления воды, находящейся в природном газе в парообразном состоянии. Общепризнано, что осушка газа является необходимым условием для обеспечения бесперебойной работы магистральных газопроводов. Она предотвращает образование гидратов и уменьшает коррозию, а это, в свою очередь, увеличивает срок службы оборудования и снижает энергетические затраты на их удаление [1].

Детандер-компрессорный агрегат состоит из двух основных частей: детандера и компрессора. В процессе работы газ поступает под высоким давлением в детандер, где происходит его адиабатное расширение с совершением механической работы. Вследствие чего понижается температура и давление

газа с отводом энергии [2]. Понижение температуры приводит к конденсации влаги, содержащейся в газе, так как при снижении температуры точка росы газа также понижается, и вода выпадает в виде капель. Капли оседают на стенках оборудования или собираются в специальных конденсатосборниках. Для более эффективного удаления влаги после детандера устанавливают сепараторы, которые собирают остаточные капли воды. После осушения газ может быть снова сжат с помощью компрессора, который использует механическую энергию, переданную через вал детандера. Это позволяет восстановить давление газа перед подачей его в трубопроводную систему или на следующий этап обработки.

Использование детандер-компрессорного аппарата по сравнению с другими способами осушки газа имеет свои преимущества.

1. Энергоэффективность и высокая производительность. ДКА позволяет осушить большие объемы газа. Использование энергии газа, высвободившеюся при расширении в детандере, для его последующего сжатия компрессором, позволяет получить газ рабочего давления, что делает процесс сепарации экономически выгодным. Это особенно важно для крупных газоперерабатывающих предприятий.

2. Надежность и долговечность. Осушение газа ДКА уменьшает риск образования гидратов и коррозии, что улучшает надежность работы трубопроводов и оборудования. Вследствие чего улучшается долговечность всего оборудования.

3. Снижение эксплуатационных затрат. Объединение процессов осушки и рекуперации энергии снижает потребность в использовании дополнительного оборудования и уменьшает затраты на его обслуживание. В долгосрочной перспективе могут привести к значительной экономии средств [3].

При проектировании важно знать вид и параметры газа ДКА, для того чтобы созданная установка была высокоэффективной, надежной и безопасной при эксплуатации. Одними из важнейших параметров установки является производительность, рабочие температуры и давления. Кроме того, важно знать состав газа, который будет использоваться в ДКА, от него зависит какие материалы или оборудование может дополнительно потребоваться. От типа установки зависит какими размерами или в каких количествах будет производиться агрегат. В ДКА газ на входе в детандер обычно имеет температуру 20–30 °С, давление 55–75 атм, в редких случаях может достигать 100–120 атм, расход газа варьируется от нескольких $м^3$/ч до нескольких тысяч $м^3$/ч, эффективный КПД может достигать 65–75 % [4].

Разнообразие типов и видов ДКА позволяет выбрать оптимальный агрегат для конкретных условий эксплуатации. Они подразделяются по типу используемого детандера и компрессора, по области применения, по конструктивным особенностям. В ходе работы будет изучаться детандер и компрессор турбинного типа, целью которого будет осушка природного газа.

Таким образом, применение ДКА в энергетике открывает широкие возможности для повышения эффективности управления параметрами газа

и надежности конструкций энергетического машиностроения. ДКА позволяет осушать газ с минимумом эксплуатационных затрат затрат. Эти технологии обладают потенциалом для дальнейшего развития в области энергетики.

Литература

[1] Дедов В.В. Промысловая обработка природного газа и газового конденсата. *Вестник науки*, 2019, № 12 (21), с. 147–157.

[2] Тульская С.Г., Панов М.Я., Долгих А.А., Кузнецов С.Н. Анализ низкотемпературной сепарации для осушки газа в магистральных трубопроводах. *Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации*, 2021, № 2 (23), с. 12–19.

[3] Тульская С.Г., Панов М.Я., Долгих А.А., Кузнецов С.Н. Анализ низкотемпературной сепарации для осушки газа в магистральных трубопроводах. *Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации*, 2021, № 2 (23), с. 12–19.

[4] Стребков А.С., Осипов А.В., Жавроцкий С.В. Термодинамические основы использования детандер-компрессорной газотурбинной установки. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2021, № 1 (136), с. 166–184.

Review of expander-compressor units: application, principle of operation and features

Rezchikov V.R. vladislavrezcikov2011@gmail.com

Shevelev D.V. denis.v.shevelev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article reviews the basic concepts associated with the expander-compressor unit, its purpose and application, as well as the data required to calculate the flow parts of the expander and compressor. Particular attention is paid to its use as a drying unit for field gas. The advantages and disadvantages of this device are presented. Conclusions are made about the capabilities of these products for further study and design.

Keywords: *expander-compressor unit, gas drying, gas industry, gas turbine unit, natural gas*

УДК 621

Анализ возможности выбора рабочих тел для органического цикла Ренкина с учетом современных тенденций

Ганков Максим Сергеевич gankovms@student.bmstu.ru
Ильичев Владимир Юрьевич ilyichev.vyu@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены основные требования, предъявляемые к рабочим телам, используемым в органическом цикле Ренкина, а также произведен анализ их эффективности с учетом современных тенденций к уменьшению использования гидрофторуглеродов, регламентированное Кигалийской поправкой. Для рассматриваемых природных низкокипящих рабочих тел, а также некоторых наиболее эффективных ГФУ были определены линии наиболее эффективных параметров цикла. Показаны области температур, в которых каждое из рассматриваемых веществ имеет преимущество перед другими.

Ключевые слова: *органический цикл Ренкина, низкокипящие рабочие тела, оптимальные параметры, Кигалийская поправка*

При проектировании теплоутилизационных установок, реализующих органический цикл Ренкина (ОЦР), одной из ключевых задач является выбор наиболее подходящего рабочего тела, чему посвящено значительное число публикаций [1–4], но быстро меняющаяся мировая ситуация по их регулированию приводит к необходимости постоянной актуализации этих данных. Однако стоит отметить, что критерии их выбора остаются неизменными [5]:

– высокая экономичность цикла при заданных начальных температурах;

– высокая термическая стабильность вещества в рабочем диапазоне температур;

– безопасность к окружающей среде и пожаробезопасность;

– низкие температуры замерзаний;

– дешевизна.

В качестве рабочих веществ для ОЦР применяются низкокипящие рабочие тела (НРТ), которые имеют температуру кипения ниже, чем у воды, что позволяет использовать тепло от низкопотенциальных источников, начальная температура которых ниже 300 °С. Данные вещества по своему происхождению делятся на природные и синтезированные, а по составу — на «чистые», содержащие одно химическое вещество, и смесевые, являющиеся смесью нескольких «чистых» веществ [6].

Наибольшее распространение в энергетике получили синтезированные рабочие тела, к которым относятся фреоны (хладоны), которые по способности оказания воздействия на озоновый слой делятся на насколько групп:

– группа А: хлорфторуглероды (ХФУ) — вещества, оказывающие истощение озонового слоя;

– группа B: гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) — вещества, оказывающие незначительное влияние на истощение озонового слоя;

– группа C: гидрофторуглероды (ГФУ) — озонобезопасные вещества.

Из-за потенциального вреда, который данные рабочие тела могут причинить окружающей среде, их использование регулируется Монреальским протоколом [7] и поправками к нему. Так в 2010 г. произошел полный отказ от ХФУ, а к 2030 г. должен быть достигнут полный отказ от ГХФУ.

В 2021 г. в РФ вступила в силу Кигалийская поправка Монреальского протокола, которая предусматривает постепенное уменьшение производства и потребления ГФУ до уровня 15 % от базового периода к 2036 г. [8]. Данные вещества хоть и не оказывают озоноразрушающее воздействие, но они являются парниковыми газами с высоким показателем глобального потепления, измеряемом в CO_2 эквиваленте. В связи с этим, их ввоз на территорию РФ и использование в настоящее время контролируется.

Исходя из вышесказанного, выбор подходящего НРТ следует производить при учете дополнительных ограничений. Таким образом, целесообразно уделять повышенное внимание природным рабочим телам, но также учитывать вероятную возможность применения ГФУ.

В данной работе рассматривались следующие природные рабочие тела: циклопентан, изопентан, изобутан, а также некоторые наиболее эффективные ГФУ: R245fa и R236fa. Для каждого сравнения органических рабочих тел производится тремодинамический расчет идеального цикла Ренкина с использованием набора функций CoolProp [9]. Во всех расчетах давление в конденсаторе задавалось как давление насыщения $p_к$ при температуре $t_к$=32 °C, а начальные параметры принимали разные значения вдоль каждой начальной изобары p_0, выбираемой из интервала $[\approx 1{,}1p_к,\ p_{max}]$ с шагом Δp = 0,2 МПа, где $p_{max} = 3{,}3$ МПа — произвольно выбранное максимальное начальное давление цикла. Для каждой изобары было определено состояние, которое способствует получению максимума КПД, что в конечном итоге позволило построить линии оптимальных параметров на h-s диаграмме конкретного рабочего тела, например циклопентана, представленной на рис. 1.

В случае если оптимальные параметры цикла оказывались в двухфазной области, то дополнительно определялся КПД по линии насыщения для сравнения с оптимальным значением. Во всех подобных случаях было установлено, что КПД цикла для параметров на линии насыщения оказывается незначительно меньше, чем на линии оптимальных параметров. Таким образом, сделан вывод о целесообразности доведения начальных параметров до состояния сухого насыщенного пара с целью предотвращения потерь от влажности.

Исходя из полученных линий оптимальных параметров для природных НРТ, также были построены зависимости КПД циклов от начального давления p_0 для природных НРТ, представленные на рис. 2.

Также получен график зависимости КПД эффективных ГФУ, представленный на рис. 3.

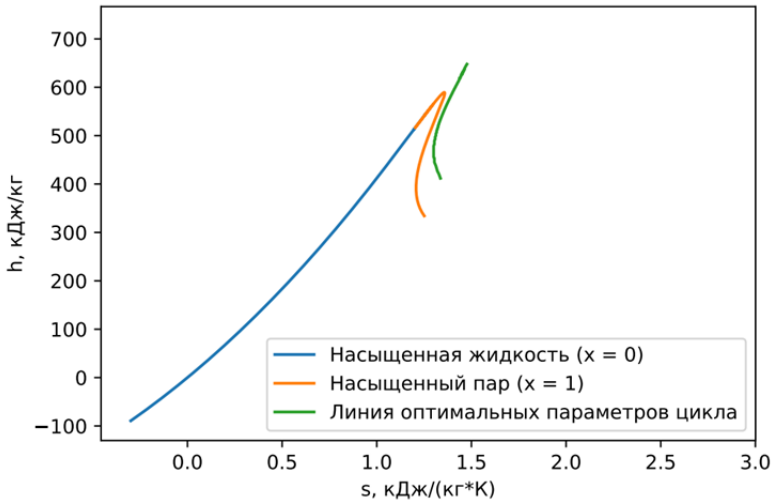


Рис. 1. Линия оптимальных параметров цикла для циклопентана

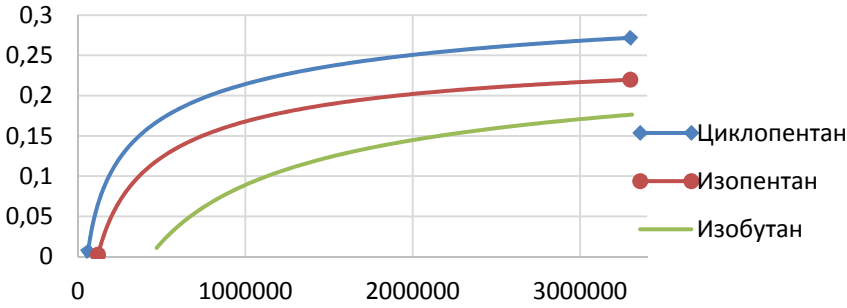


Рис. 2. График зависимости КПД природных НРТ от p_0

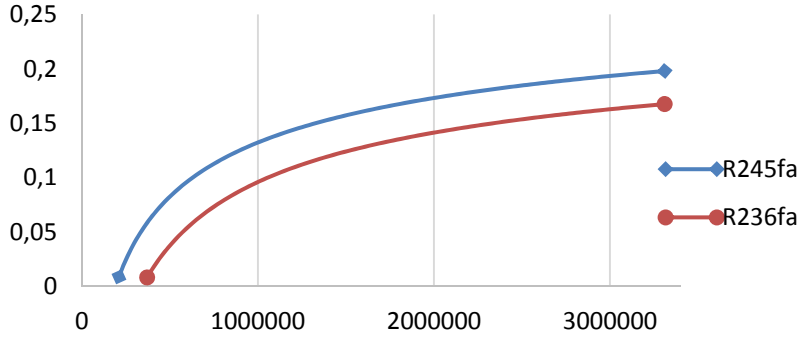


Рис. 3. График зависимости КПД ГФУ от p_0

Обобщение результатов проделанных расчетов сведены в таблицу.

Результаты расчетов

Показатель	Природные НРТ			ГФУ	
	Изобутан	Изопентан	Циклопентан	R245fa	R236fa
Эффективный диапазон температур, ℃	50–85	50–125	>130	50–100	50–80
Термический КПД	0,121 (max)	0,183 (max)	0,183 (min)	0,153 (max)	0,112 (max)
$p_к$, МПа	0,428	0,117	0,055	0,191	0,341

По полученным результатам исследования можно сделать вывод, что эффективность цикла на природных НРТ в большинстве случаев сравнима или превосходит ГФУ, что особенно заметно в «высокотемпературной» области (более 130 ℃), где циклопентан имеет значительное превосходство. Однако в области до 100 ℃ фреон R245fa имеет значительное преимущество за счет высокого КПД, сравнимого с КПД изопентана, а также пожаробезопасности, по сравнению с последним. Однако, не учитывая во внимание фактор пожароопасности рабочих тел, наиболее подходящим рабочим телом является изопентан за счет давления конденсации близкого к атмосферному, что должно вызывать меньшие проблемы при проектировании уплотнений по сравнению с другими веществами.

Литература

[1] Дологлонян А.В., Матвеенко В.Т. Выбор рабочего тела и оптимизация параметров органического цикла Ренкина. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2019, № 5 (337), с. 139–150.

[2] Ильичев В.Ю., Ганков М.С. Влияние типов рабочего тела на цикл энергетической установки, работающей на органическом рабочем теле. *Вопросы науки,* 2023, № 4, с. 63–68.

[3] Тимошенко Д.В., Александров А.А. Установки органического цикла Ренкина. *Ученые заметки ТОГУ*, 2024, т. 15, № 1, с. 92–101.

[4] Овсянник А.В., Ключинский В.П. Выбор, расчет и термодинамический анализ турбоустановок на органическом цикле Ренкина. *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*, 2022, т. 65, № 1, с. 76–88.

[5] Рагулин И.Ю., Нестеренко И.С., Фесенко А.А., Королев А.Д. Подход к выбору рабочего тела для органического цикла Ренкина. *Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности. XVI Междунар. науч.-практ. конф.: сб. материалов.* Москва, АЛЕФ, 2023, с. 147–153.

[6] Сапожников М.Б., Тимошенко Н.И. Электрические станции на низкокипящих рабочих телах. *Теплоэнергетика*, 2005, № 3, с. 73–77.

[7] *Монреальский протокол о веществах, разрушающих озоновый слой Земли.* URL: http://ozone.unep.org/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer/32506 (дата обращения 04.11.2024).

[8] *О принятии поправки к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой.* Постановление Правительства РФ от 25.03.2020 № 333. URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102704946 (дата обращения 04.11.2024).

[9] *CoolProp*. URL: http://www.coolprop.org (дата обращения 04.11.2024).

Analysis of the possibility of selecting working fluids for the organic Rankine cycle, taking into account current trends

Gankov M.S. gankovms@student.bmstu.ru

Ilyichev V.Y. ilyichev.vyu@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The main requirements for working fluids used in the organic Rankine cycle are considered, and their effectiveness is analyzed taking into account current trends towards reducing the use of hydrofluorocarbons, regulated by the Kigali Amendment. For the considered natural low-boiling working fluids, as well as some of the most effective HFCs, the lines of the most effective cycle parameters were determined. The temperature ranges in which each of the substances under consideration has an advantage over the others are shown.

Keywords: *organic Rankine cycle, low-boiling working fluids, optimal parameters, Kigali Amendment*

УДК 621.165

Пути совершенствования маслосистем паротурбинных установок

Кошелев Егор Васильевич egor-koshelev01@mail.ru
Шитохина Ольга Григорьевна shitohina@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрена структура маслосистемы паротурбинной установки, а также оборудование, входящее в состав ее подсистем. Рассмотрены основные требования, предъявляемые к рабочей жидкости маслосистемы. Описаны основные тенденции совершенствования маслосистем на основе обзора патентов и научных публикаций в области маслосистем паротурбинных установок. Сформулированы пути совершенствования маслосистем, обеспечивающие надежность, бесперебойность и эффективность их работы.

Ключевые слова: *маслосистема, система смазки, система управления, система регулирования, паротурбинная установка, интенсификация теплообмена*

От правильного функционирования системы маслоснабжения зависит долговечность и бесперебойность работы паротурбинной установки (ПТУ). В состав маслосистемы ПТУ входят подсистемы смазки рабочих элементов, управления, регулирования и защиты ПТУ.

Система смазки паротурбинной установки предназначена для обеспечения смазкой опорных, упорных подшипников турбины, зубчатой передачи, подшипников, мощных вспомогательных механизмов, а также для отвода теплоты от смазываемых узлов [1]. В ее состав входят, расходная и запасная масляные цистерны, цистерна грязного масла, масляные насосы различных исполнений, масляные фильтры, маслоохладители и маслоподогреватели, масляные сепараторы и т. д.

Электрогидравлическая система регулирования и защиты паровой турбины предназначена для поддержания основных рабочих параметров турбины в режимах электрической и тепловой нагрузки. Система состоит из трех основных частей — гидравлической, электрогидравлических преобразователей и электрической. Гидравлическая часть предназначена для перемещения рабочих органов таких, как клапаны и диафрагмы, с помощью сервомоторов. Электрогидравлические преобразователи — обеспечивают связь между гидравлической частью и электрической по средством обратной связи. Электрическая часть производит измерение основных параметров турбины, анализ состояния и выработку управляющих воздействий. Электрическая часть предназначена для управления частотой вращения ротора турбины при пусках, остановах, а также для синхронизации генератора с сетью, управления мощностью турбогенератора.

Важным параметром, влияющим на бесперебойную работу маслосистемы, является тип используемого масла. Выбор масла зависит от конкретных

условий эксплуатации ПТУ. Рабочая температура основных узлов паротурбинной установки может достигать 500–600 °С. Поэтому в маслосистеме ПТУ используют специальные турбинные масла средней вязкости, например ТП-22, ТП-30, Т-46 [2], они содержат антиокислительные, деэмульгирующие и антикоррозионные присадки.

Для улучшения характеристик минеральных масел к ним добавляют синтетические масла. Полусинтетические масла имеют высокую термоокислительную стабильность, высокий индекс вязкости, обеспечивающий оптимальную толщину масляной пленки, как при низких, так и при высоких температурах, а также позволяющий сохранить текучесть масла при запуске ПТУ в условиях экстремально низких температур. Полусинтетическим маслам свойственна низкая испаряемость и не горючесть.

Система восстановления масел с помощью добавления присадок, позволяет улучшить свойства, изнашивающихся со временем, масел при помощи очистки масла и добавления комплекса специальных присадок [3]. Это позволяет продлить срок службы масла, не прибегая к полной замене рабочей жидкости маслосистемы.

Разработка новейших синтетических масел на основе синтезируемых полимеров [4] отличающихся лучшими характеристиками от минеральных полусинтетических масел по антиокислительной способности, гигроскопичности, деэмульгируемости, антикоррозионным свойствам, стойкости, трибологическим свойствам.

Для интенсификации процессов теплообмена в маслоохладителях устанавливают трубки из нержавеющей стали, а также применяют новые поверхности, в том числе различно профилированные и оребреные трубки. Профильных витые трубки имеют искусственную шероховатость как с наружной, так и с внутренней стороны [5]. Это приводит к турбулизации и изменению траектории движения потоков теплоносителей. Интенсификация теплообмена в маслоохладителях.

Потери в трубопроводах оказывают негативное влияние на работу маслосистемы в целом. Для этого разрабатываются различные способы по снижению потерь в самих трубопроводах [6]. Добавление устройства, создающего вибрации приводит к разрушению пограничного слоя, контрастирующего с жидкостью тем самым снижая сопротивление трения в трубопроводе.

Применение автоматического переключения распределителя масла [7] позволяет улучшить виброакустические характеристики и экономичность системы за счет уменьшения количества масла и сокращения количества работающих насосов при работе ПТУ на режимах с пониженной частотой вращения главной турбины.

Таким образом, анализ научных публикаций и патентов по теме паротурбинных установок позволил установить следующие тенденции в развитии маслосистем: интенсификация процессов теплообмена, улучшение характеристик масла, оптимизация режимов работы маслосистемы, снижение потерь

при работе гидравлического оборудования и повышение его коэффициента полезного действия, уменьшение габаритов оборудования.

Литература

[1] Болдырев О.Н. *Судовые энергетические установки. Ч. 2. Котлотурбинные энергетические установки*. Северодвинск, Севмашвтуз, 2004, 187 с.

[2] Татур И.Р., Митин И.В., Спиркин В.Г., Макаров А.Д. *Энергетические масла. Ч. 1. Турбинные масла.* Москва, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2019, 229 с.

[3] Колоколов В.Е., Тимченко А.А., Мясников Ю.А. *Мобильная станция регенерации и восстановления турбинных масел*. Патент № 2618525C1 РФ, 2016, бюл. № 13, 10 с.

[4] Алексашин А.А., Хурумова А.Ф., Дунаев С.В., Довгополый Е.Е., Кузнецова М.В., Коновалова А.С. *Смазочная композиция синтетического турбинного масла для паротурбинных установок.* Патент № 2550137C РФ, 2013, бюл. № 13, 10 с.

[5] Желонкин Н.В. *Теплообменная трубка*. Патент № 112752U1 РФ, 2012, бюл. № 2, 10 с.

[6] Ковалев И.С. *Устройство для уменьшения гидравлических потерь в трубопроводе*. Патент № 195692U1 РФ, 2020, бюл. № 26, 1 с.

[7] Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю. Модернизация маслоохладителей паротурбинных установок. *Теплоэнергетика*, 1999, № 12, с. 24–27.

Ways to improve the oil system steam turbine installation

Koshelev E.V. egor-koshelev01@mail.ru

Shitokhina O.G. shitohina@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The structure of the oil system of a steam turbine installation, as well as the equipment that is part of its subsystems, is considered. The basic requirements for the working fluid of the oil system are considered. The main trends in improving oil systems are described based on a review of patents and scientific publications in the field of steam turbine oil systems. The ways of improving oil systems that ensure reliability, continuity and efficiency of their operation are formulated.

Keywords: *oil system, lubrication system, control system, control system, steam turbine installation, intensification of heat transfer*

Секция 5. Методы теории автоматического управления; автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

УДК 621.6

Разработка системы мониторинга и контроля для газораспределительной станции

Мартынов Никита Андреевич nikita-martynov1002@mail.ru
Финошин Александр Викторович finoshin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Описаны постановка задачи и этапы проектирования системы мониторинга и контроля для газораспределительной станции (ГРС). Основными задачами являются объединение датчиков в общую систему сбора данных с этих датчиков, разработка алгоритмов контроля, обработка и передача данных, выбор компонентов, обеспечение доступа к данным и их отображение. Система позволяет автоматизировать реагирование на аварийные ситуации, а также предоставляет оператору возможность вручную отключать системы безопасности при необходимости. Также рассмотрены результаты тестирования системы, которые показывают ее стабильность и соответствие проектным ожиданиям.

Ключевые слова: *газораспределительная станция (ГРС), система мониторинга и контроля, автоматизация процессов, реагирование на угрозы, повышение эффективности*

ГРС (газораспределительная станция) — это комплекс установок для распределения газа по веткам магистральных газопроводов и изменения его давления. ГРС обеспечивает подогрев, редуцирование, изменение расхода природного газа, а также его очистку от жидких и твердых примесей.

Корректная работа ГРС определятся и контролируется на основе различных датчиков. Рассмотрим конкретные, наиболее важные: термохимический датчик, манометр, приемно-контрольный прибор пожарной безопасности и сигнализатор загазованности в помещении. Они функционируют на основе принципа нормально разомкнутых контактов, что означает подачу сигнала при возникновении определенных условий.

Датчики, используемые на газораспределительных станциях (ГРС), обычно работают автономно и редко объединяются в единую систему, за исключением дорогостоящих и сложных проектов, что не всегда оправдано. Автономный режим работы этих приборов значительно затрудняет их мониторинг и контроль.

Проектируемая система должна обеспечивать автоматический сбор данных, в то время как существующие автономно датчики не всегда передают всю необходимую информацию о своем состоянии, что усложняет контроль за работой станции. Предполагается, что интеграция данных с датчиков в систему позволит повысить безопасность работы станции: при отклонении параметров датчиков от нормы в интерфейсе будет отображаться предупреждающее сообщение, и активироваться определенные инструкции.

Цель работы — создание системы, которая объединяет данные с различных датчиков, автоматизирует процессы реагирования и предоставляет удобные инструменты для контроля и анализа, повышая уровень безопасности и стабильности работы газораспределительной станции.

Для проектируемой системы поставлена задача разработки следующих функций:

– интеграция полученных данных. Система должна объединять данные с термохимического датчика, манометра, прибора пожарной безопасности и сигнализатора загазованности;

– автоматизация работы станции заключается в автоматическом реагировании системы мониторинга и контроля на следующие события, представленные в таблице.

Реакция система на различные ситуации

Ситуация	Датчики	Реакция
Превышение порога 1 загазованности в помещении	Датчик загазованности (СТМ-30)	Включение светозвуковой индикации; вывод сообщения о превышении порога в интерфейс
Превышение порога 2 загазованности в помещении	Датчик загазованности (СТМ-30)	Включение вентиляции; включение светозвуковой индикации; вывод сообщения о превышении порога в интерфейс; отключение электрозамков
Сработка 1 датчика пожарной безопасности из 3	Датчик пожарной безопасности (Сигнал-20М)	Включение светозвуковой индикации; вывод сообщения о превышении порога в интерфейс
Сработка 2 датчиков пожарной безопасности из 3	Датчик пожарной безопасности (Сигнал-20М)	Включение светозвуковой индикации; отключение электрозамков; включение подачи углекислого газа; вывод сообщения о превышении порога в интерфейс
Понижение температуры в помещении	Термосигнализатор	Активация отопительного оборудования; вывод сообщения о превышении порога в интерфейс
Выход давления за установленные нормы	Манометр	Включение светозвуковой индикации; вывод сообщения о превышении порога в интерфейс

Взаимодействие оператора со станцией. Включает несколько важных функций, которые обеспечивают более эффективное управление и контроль за оборудованием:

– оператор имеет возможность получать детализированные отчеты о состоянии каждого конкретного прибора за выбранный период времени;

– возможность ручного отключения всех систем безопасности в случае необходимости. Эта функция важна для проведения технического обслуживания и проведения поверок оборудования;

– функционал изменения настроек. Это позволяет оператору адаптировать частоту записи в зависимости от условий работы станции, повышая гибкость системы и обеспечивая наиболее точное соответствие потребностям контроля.

Выполненные действия:

1. Проектирование системы и выбор компонентов.

1.1. Для управления системой выбрана плата Arduino Uno с микроконтроллером ATmega328P [1].

1.2. Выбраны необходимые компоненты для корректного сбора информации с приборов.

1.2.1. Понижение и стабилизация напряжения. Устройства для понижения напряжения играют важнейшую роль в защите платы Arduino Uno от повреждений, так как подключаемые к системе приборы могут выдавать напряжение до 28 В.

1.2.2. Использование реле для работы с цепями. В данном проекте реле принимают на вход управляющее напряжение до 5 В, что позволяет им активировать и размыкать цепи, работающие с напряжением от 5 В и выше. Они необходимы для переключения электрических нагрузок, таких как исполнительные устройства или системы безопасности.

2. Разработка программного обеспечения и алгоритмов.

2.1. Программа для микроконтроллера на языке C++ написана для постоянного опроса входов и обработки сигналов [2].

2.2. Разработана программа для обработки данных с микроконтроллера и занесения их в базу данных с использованием Python [3].

2.3. Написана программа интерфейса на языке программирования Python с использованием библиотеки PyQt. Реализованы основные функции: закрытие окна, вывод отчетов о срабатывании и настройки [4].

3. Проведение первичных тестов отклика системы на срабатывание определенных инструкций.

3.1. Для проведения тестирования подавалось напряжение с экспериментального источника питания АТН-1031. В процессе тестирования напряжение подавалось на поочередно на семь входов платы Arduino.

3.2. Микроконтроллер, установленный на плате, обрабатывал поступающие сигналы и передавал их для дальнейшего анализа.

3.3. Полученные данные автоматически сохранялись в таблицу базы данных (см. рисунок).

В данной таблице (рисунок) столбцы porog_1 и porog_2 — пороги загазованности прибора СТМ-30; pcm_1, pcn_2 и pcn_3 — датчики пожарной безопасности прибора Сигнал-20М; pressure — манометр; temperature — термосигнализатор; ventilation — вентиляции; i_and_s_worry — светозвуковая индикация; electric_locks — электрозамки; gas — подача углекислого газа; heater — отопительное оборудование.

Таблица: data

Filter in any column

	id	time	porog_1	porog_2	pcn_1	pcn_2	pcn_3	pressure	temperature	ventilation	l_and_s_worry	electric_locks	gas	heater
	Фи...	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фил...	Фил...	Фил...	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фильтр	Фи...	Фильтр
8404	8404	2024-07-08 09:08:07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8405	8405	2024-07-08 09:08:09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8406	8406	2024-07-08 09:08:11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8407	8407	2024-07-08 09:08:13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8408	8408	2024-07-08 09:08:15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8409	8409	2024-07-08 09:08:17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8410	8410	2024-07-08 09:08:19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8411	8411	2024-07-08 09:08:21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8412	8412	2024-07-08 09:08:23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8413	8413	2024-07-08 09:08:25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8414	8414	2024-07-08 09:08:27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8415	8415	2024-07-08 09:08:29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8416	8416	2024-07-08 09:08:31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8417	8417	2024-07-08 09:08:33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8418	8418	2024-07-08 09:08:36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8419	8419	2024-07-08 09:08:38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8420	8420	2024-07-08 09:08:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8421	8421	2024-07-08 09:08:42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8422	8422	2024-07-08 09:08:44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8423	8423	2024-07-08 09:08:46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8424	8424	2024-07-08 09:08:48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8425	8425	2024-07-08 09:08:50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8426	8426	2024-07-08 09:08:52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8427	8427	2024-07-08 09:09:22	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
8428	8428	2024-07-08 09:09:52	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
8429	8429	2024-07-08 09:10:22	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
8430	8430	2024-07-08 09:10:52	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0
8431	8431	2024-07-08 09:11:22	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0
8432	8432	2024-07-08 09:11:52	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
8433	8433	2024-07-08 09:12:22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1

Таблица базы данных

Как видно из строк 8427–8433 на рисунке, при поступлении сигнала на один из заранее определенных портов системы начинает подаваться питание на определенные выходы платы, отвечающие за инструкции, представленные в таблице.

Во время выполнения тестирования обеспечивалась стабильная и корректная запись всех параметров, что важно для последующего анализа работы системы и выявления возможных сбоев или отклонений в работе. Каждый входной сигнал инициировал запуск конкретной инструкции, что подтверждает наличие четкой взаимосвязи между поступающими сигналами и реакцией системы. Разработанная логика позволяет системе безошибочно выполнять заложенные алгоритмы и корректно реагировать на входные данные.

В рамках дальнейшей разработки системы предстоит выполнить еще множество задач:

– добавление в интерфейс модуля логирования пользователей. Это позволит отслеживать действия операторов и контролировать время их сеансов в системе, которое будет настраиваться главным администратором;

– резервирование данных для обеспечения их сохранности и защиты от потерь. Для этого необходимо подобрать оборудование и определить оптимальный метод хранения данных, чтобы система оставалась надежной и устойчивой к сбоям;

– проведение тестов, направленные на проверку стабильности системы. Это позволит убедиться в ее надежности и готовности к использованию в реальной среде;

– доработка интерфейса. Оптимизация интерфейса и добавление новых возможностей обеспечат более удобное и эффективное взаимодействие оператора с системой.

Заключение. Разрабатываемая система мониторинга и контроля для газораспределительной станции направлена на повышение безопасности и эффективности ее работы. На текущем этапе выполнены ключевые задачи: выбраны компоненты, разработано основное программное обеспечение и проведены первичные тесты. Первичные результаты показывают корректную обработку сигналов и запись данных, что подтверждает соответствие проектным требованиям. Для обеспечения надежной работы в реальных условиях планируются дополнительные тесты и оптимизация. Это повысит оперативность реагирования и адаптирует систему к различным условиям эксплуатации, снижая риски и повышая стабильность работы станции.

Литература

[1] Blum J. *Exploring Arduino Tools And Techniques For Engineering Wizardry*. Wiley, 2013.

[2] Носов Т. *Программирование на СИ для PIC*. URL: https://pic-project.ucoz.ru/_ld/0/16_C_for_PIC.pdf (дата обращения 22.02.2025).

[3] Маккинни У. Python for Data Analysis. O'Reilly, 2012.

[4] Рэмси М. *Создание интерфейсов на Python: библиотеки Tkinter и PyQt*. Москва, ДМК Пресс, 2019.

Development of a monitoring and control system for a gas distribution station

Martynov N.A. nikita-martynov1002@mail.ru

Finoshin A.V. finoshin@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article describes the formulation of the task and the stages of designing a monitoring and control system for a gas distribution station (GDS). The main tasks are to combine sensors into a common system for collecting data from these sensors, developing control algorithms, processing and transmitting data, selecting components, providing access to data and displaying them. The system allows you to automate emergency response, and also provides the operator with the ability to manually turn off the safety system if necessary. The article also discusses the results of testing the system, which show its stability and compliance with design expectations.

Keywords: *gas distribution station (GDS), monitoring and control system, process automation, threat response, efficiency improvement*

УДК 681.5.015.23

Идентификация и фильтрация «сглаживание» экспериментальных данных для построения математической модели привода планарного сканера

Евтеева Дарья Михайловна meowwoww@rambler.ru
Корнюшин Юрий Петрович theroland@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены вопросы идентификации и фильтрации данных для создания математической модели привода, применяемого в высокоточных системах позиционирования, например для солнечных панелей и антенных установок. Представлены методы фильтрации сигнала, такие как сглаживание с помощью метода LOWESS, эффективно снижающего высокочастотные шумы. Показаны результаты фильтрации и сравнительный анализ математических моделей привода, что позволило выбрать оптимальную модель для последующего синтеза регулятора.

Ключевые слова: *идентификация, фильтрация, математическая модель, системы управления, объект управления, привод*

Создание высокоточных систем позиционирования и стабилизации таких объектов, как панели солнечных батарей, телескопы, радиоантенны, инструменты обрабатывающих станков и центров и других требует при проектировании их систем автоматического управления не только разработки регуляторов, но и выбора приводов и соответствующих типов двигателей.

В качестве двигателей достаточно часто используются двигатели постоянного тока. Выбор типа двигателя определяется характером решаемой системой задачи и массогабаритными характеристиками объекта управления. Для двигателей, выпускаемых отечественной промышленностью, всегда приводятся необходимые паспортные данные. По паспортным данным можно рассчитать основные параметры двигателя при составлении его математической модели. Однако учесть все особенности присоединенного к приводу объекта (т. е. дополнительные моменты инерции) не всегда возможно.

Уточнение параметров математической модели обычно выполняется при проведении натурных экспериментов получением экспериментальных данных и последующей идентификацией. Однако, полученные экспериментальные данные (представленные, как правило, в цифровом виде) обычно содержат случайные колебания, причем измеряемый сигнал является низкочастотным, а помеха является его высокочастотной составляющей. Таким образом, задача уточнения параметров математической модели разбивается на две подзадачи: первой является фильтрация полезного сигнала, второй — идентификация.

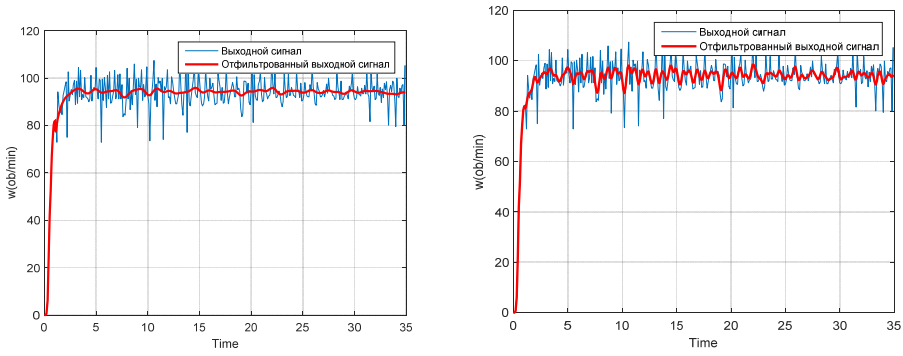
В анализе временных рядов используются разнообразные методы фильтрации полезного сигнала, такие как сглаживание средними, медианами

и полиномами по временному окну, экспоненциальное сглаживание, использование различных фильтров с конечной или бесконечной импульсными характеристиками и др. [1]. Критерием пригодности метода служит наименьшее уширение (размытие) полезных (соответствующих дефектам) пиков и наибольшее подавление шумовых пиков.

В качестве примера приведем результаты фильтрации входного (напряжение) и выходного (угловая скорость) сигналов подаваемого и снимаемого с двигателя постоянного тока ЕЛПРОМ-ТРОЯН 21МВН-2-К, используемого в качестве привода планарного сканера, применяемого для точного измерения параметров антенных устройств.

«Пульсации» помехи входного воздействия обусловлены ШИМ-сигналом управления, подаваемого на двигатель. Помехи в выходном сигнале вызваны работой энкодера двигателя, снимающего данные, передаваемые по цепям питания.

На ниже представленных рисунках приведены полученные результаты работы алгоритма фильтрации при разных значениях параметра b для выходного сигнала: на рис. 1 для $b = 0{,}1$ (*а*), для $b = 0{,}5$ (*б*),



а *б*

Рис. 1. Реакция системы (исходный и отфильтрованный сигналы):
а — при $b = 0{,}1$; *б* — при $b = 0{,}5$

Параметр b определяет эффективную ширину окна усреднения данных. При больших значениях b происходит уширение и уменьшение амплитуды пиков. При маленьких значениях b не будут подавляться узкие шумовые пики. Для сглаживания использовался метод LOWESS (LOcally-WEighted Scatterplot Smoothing), основанный на локально-взвешенном усреднении данных. [2]. Суть этого метода заключается в следующем. Сглаженное значение $y^s(x_t)$ в точке x_t для исходной последовательности $y(x)$ вычисляется как взвешенное среднее всех y_i с весами $w(x_i, x_t)$:

$$y^s(x_t) = \frac{\sum_{i=1}^{n} w(x_i,x_t)\cdot y(x_i)}{\sum_{i=1}^{n} w(x_i,x_t)}, \quad (1)$$

где n — число точек последовательности $y(x)$; $y(x_i)$ — значение исходного сигнала в точке x_i; $w(x_i, x_1)$,$w(x_i, x_2)$, …., $w(x_i, x_n)$ — набор весовых коэффициентов для точки x_t, экспоненциально убывающих с ростом расстояния от x_t до x_i.

Весовые коэффициенты рассчитываются следующим образом:

$$w(x_i, x_t) = e^{-\frac{(x_i - x_t)^2}{b^2}}, \quad (2)$$

где i = 1, 2, 3, …., n; b — параметр алгоритма сглаживания.

На рис. 2 представлен график входного воздействия с высокочастотной помехой. На рис. 3 представлен график реакции объекта.

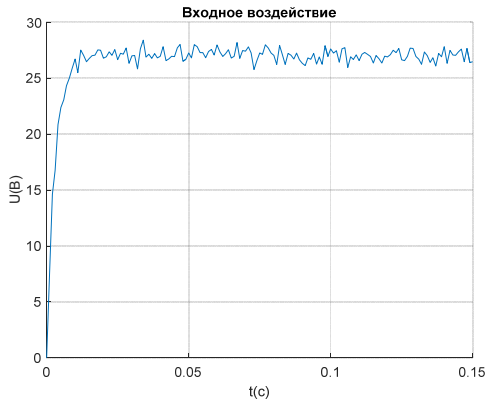


Рис. 2. График входного воздействия с высокочастотной помехой

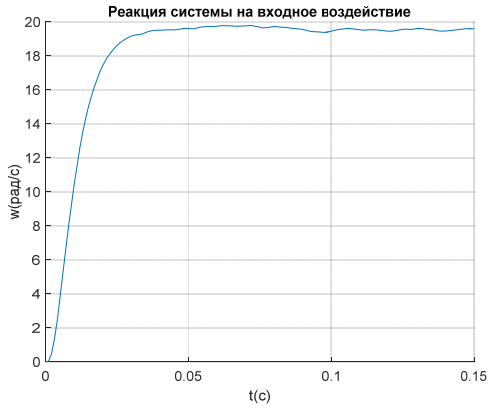


Рис. 3. График реакции обьекта

Как видно из приведенных на рис. 3 измеренных значений угловой скорости двигателя, ввиду его инерционных свойств, «пульсации» становятся

минимальными, двигатель работает как фильтр низких частот. Идентификацию параметров математической модели, наилучшим образом описывающей динамику привода сканера, выполним с использованием специализированных средств MATLAB, таких как System Identification Toolbox.

Рассмотрим различные варианты математической модели, описывающие заданный объект управления. Под математической моделью будем понимать вид передаточной функции. Исследуемыми моделями передаточных функций являются (представленные данные эмпирические, возможны другие значения параметров передаточных функций, параметры передаточных функций взяты исходя из значений, полученных по паспортным данным на двигатель [3]):

$$W(s) = \frac{30.6s+6.962*e04}{0{,}015s^4+0{,}215s^3+10{,}9s^2+25{,}9s+49{,}7}; \quad (1)$$

$$W(s) = \frac{9.74*e04}{s^2+1050s+1.345*e05};$$

$$W(s) = \frac{94.93}{s+130.9};$$

$$W(s) = \frac{0.7246}{0.007s+1}\exp(-0.00079s);$$

$$W(s) = \frac{0.7246}{(0.007s+1)(0.0015s+1)}\exp(-0.003s).$$

Выбор двух последних моделей был обусловлен наличием возможной «транспортной задержки». Фильтрация выходного сигнала не производилась, ввиду работы двигателя в качестве фильтра низких частот. На рис. 4 приведены сравнительные результаты, полученные от приведенных экспериментов с различными типами математических моделей.

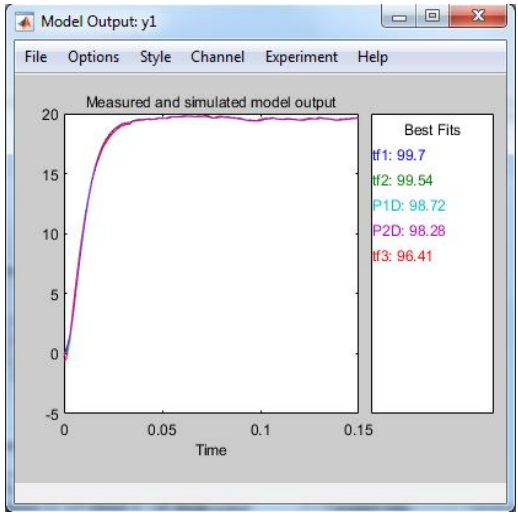


Рис. 4. Варианты моделей, построенных с помощью System Identification Toolbox

Сравнение результатов, полученных от приведенных экспериментов, показывает (рис. 5), что моделью, наилучшим образом описывающей динамику объекта управления, является модель tf1, поэтому для описания объекта управления выберем ее [4].

Литература

[1] Мусалимов В.М., Калапышина И.И., Нуждин К.А. *Идентификация динамических систем фрикционного взаимодействия (MATLAB).* Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 2017, 143 с.

[2] Улахович Д.А. *Введение в цифровую обработку сигналов*. Москва, Изд-во Инфра-Инженерия, 2023, 436 с.

[3] Cohen R. An introduction to PROC LOESS for Local Regression. *Proceedings of the 24th SAS Users Group International Conference (SUGI)*, 1999, pp. 1584–1592.

[4] Герман-Галкин С.Г. *Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных устройств на ПК*. Санкт-Петербург, Корона-Век, 2008, 368 с.

Identification and filtering “smoothing” of experimental data for the construction of a mathematical model of the drive of the planetary scanner

Evteeva D.M. meowwoww@rambler.ru

Kornyushin Y.P. theroland@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The issues of data identification and filtering for creating a mathematical model of a drive used in high-precision positioning systems, for example, for solar panels and antenna installations, are considered. Signal filtering methods are presented, such as smoothing using the LOWESS method, which effectively reduces high-frequency noise. The results of filtration and a comparative analysis of mathematical models of the drive are shown, which made it possible to choose the optimal model for the subsequent synthesis of the regulator.

Keywords: *identification, filtering, mathematical model, control systems, control object, drive*

УДК 681.5.015.23

Синтез алгоритма управления электроприводом требуемой динамической точности

Акименко Дмитрий Андреевич akimenko@kaluga.ru
Семехин Дмитрий Евгеньевич sde19ki188@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрен вопрос построения алгоритма управления электроприводом из условия обеспечения требуемой динамической точности. Построена и определены числовые значения параметров эталонной модели из условия обеспечения требуемых динамических показателей, на основании которой формируется алгоритм управления электроприводом. Приведены результаты моделирования полученной замкнутой системы управления приводом при наличии нагрузки, а также при отклонениях числовых значений параметров привода от номинальных, которые демонстрируют эффективность полученного алгоритма управления.

Ключевые слова: *математическая модель, системы управления, объект управления, электропривод*

Простота конструкции и управления способствовали широкому внедрению электроприводов в различных отраслях техники как в качестве самостоятельных объектов регулирования, так и в составе элементов сложных систем управления. Классический подход к управлению электроприводом, основанный на использовании стандартных регуляторов, позволяет получить хорошие результате в плане стабилизации заданного положения или постоянной скорости движения объекта. В случае переменных во времени задающих воздействий, отклонениях параметров приводов от номинальных, системы с такими алгоритмами будут иметь динамические ошибки. В таких случаях необходим иной подход к синтезу алгоритмов управления.

Одним из возможных подходов к обеспечению требуемой динамической точности замкнутой системы управления электроприводом является синтез алгоритма управления из условия обеспечения показателей качества близких к эталонной модели, заданной уравнений

$$\dddot{y} + \alpha_2\ddot{y} + \alpha_1\dot{y} + \alpha_0 y = \alpha_1\dot{x}_{\text{вх}} + \alpha_0 x_{\text{вх}}, (\alpha_0, \alpha_1 > \alpha_0), \quad (1)$$

которая обладает астатизмом второго порядка.

Поскольку порядок замкнутой системы будет выше порядка эталонной модели, то алгоритм управления будет наилучшим образом соответствовать требованиям сформулированной задачи в смысле приближения процессов $x(t) \to y(t)$, если его структуру синтезировать из условия минимума функционала [1]

$$G(u, \dot{u}) = \frac{1}{2}[\ddot{y}(t) - \ddot{x}(t, u, \dot{u})], t \geq 0. \quad (2)$$

Алгоритм управления синтезируется таким образом, чтобы в каждый момент времени значение функции (2) находится в малой окрестности минимума. Следовательно, дифференциальный закон управления будет иметь вид

$$\frac{\mathrm{d}u(t)}{\mathrm{d}t} = \lambda \frac{\partial G(u,\dot{u})}{\partial \dot{u}},\ \lambda = const. \quad (3)$$

Подставляя (2) в (3) и выражая третью производную выходного сигнала эталонной модели из (1), после соответствующих преобразований окончательно получим

$$u(t) =$$

$$= K\left\{\int_0^t \left\{\alpha_0 \int_0^t [x_{\text{вх}}(t) - x(t)]dt + \alpha_1[x_{\text{вх}}(t) - x(t)]\right\} dt - \alpha_2 x(t) - \dot{x}(t)\right\}. \quad (4)$$

Структурная схема замкнутой системы управления примет вид, представленный на рис. 1.

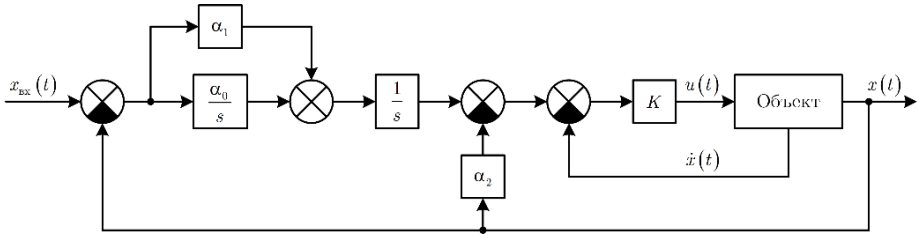


Рис. 1. Структурная схема замкнутой системы управления

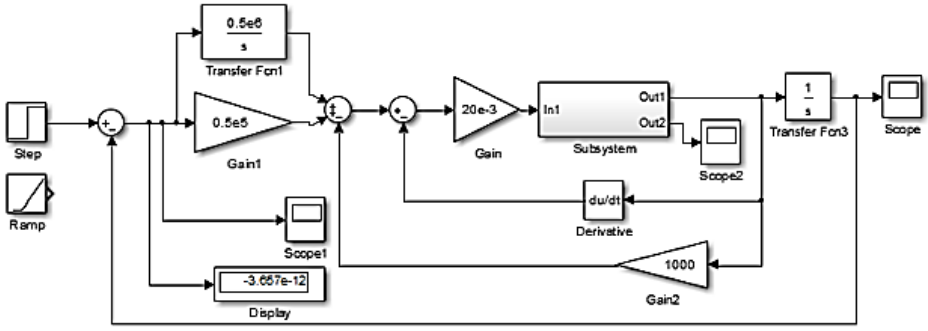
Поскольку требуется обеспечить время управления электроприводом порядка 0,6–0,8 с, то в качестве эталонной модели принята передаточная функция

$$W_э(s) = \frac{23{,}14 \cdot s + 133{,}9}{s^2 + 23{,}14 \cdot s + 133{,}9}.$$

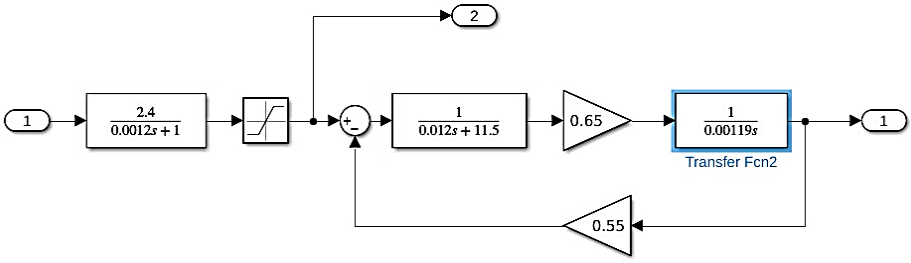
На рис. 2 представлена структурная схема, реализованная в пакете Simulink, замкнутой системы управления электроприводом.

На рис. 3 представлены временные и частотные характеристики полученной замкнутой системы управления электроприводом.

На рис. 4 представлены результаты моделирования для случая отклонений числовых значений параметров электропривода в пределах 15 % от номинальных, которые демонстрируют робастные свойства полученного алгоритма, а на рис. 5 — при наличии внешнего возмущающего момента, заданного выражением $M_n = 0{,}8\sin(0{,}1t) + 0{,}2\cos(0{,}5t) - 0{,}1\sin(0{,}9t)$.

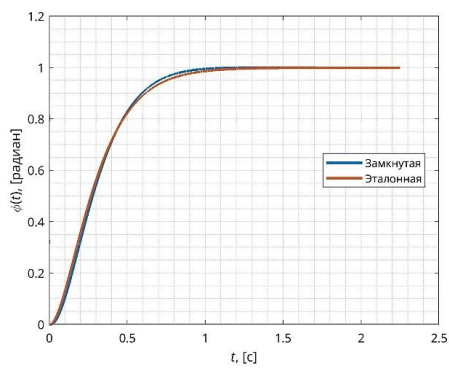


а

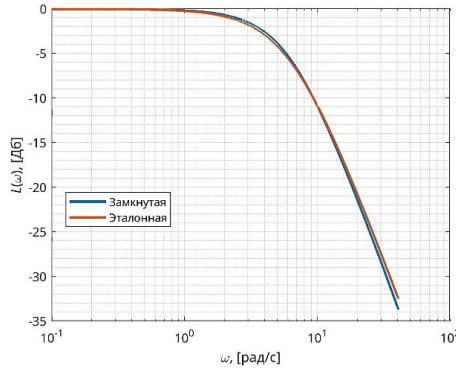


б

Рис. 2. Структурная схема объекта управления в simulink:
а — замкнутой системы; *б* — электропривода



а



б

Рис. 3. Характеристики замкнутой системы управления электроприводом:
а — переходная характеристика; *б* — ЛАЧХ

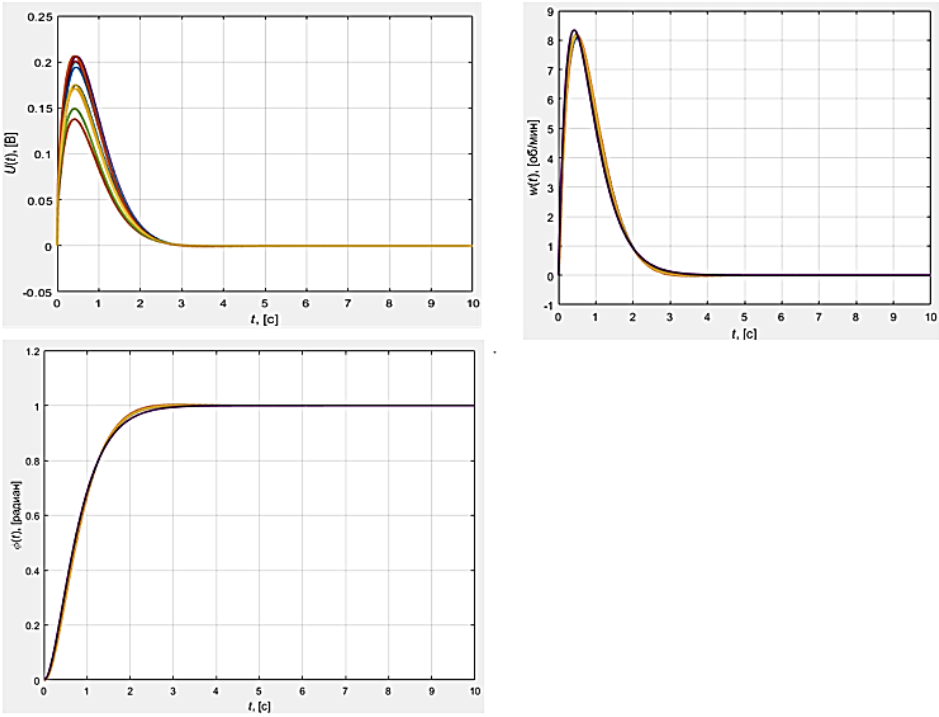


Рис. 4. Графики управления, скорости вращения и угла поворота электропривода в случае отклонения параметров от номинальных

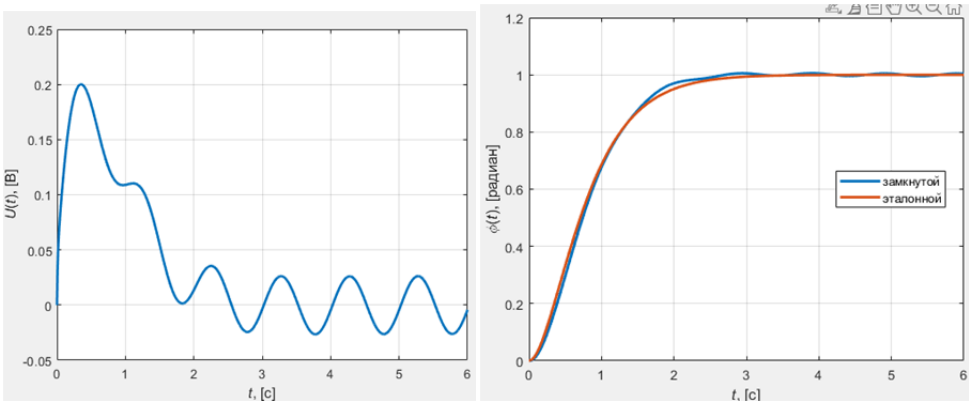


Рис. 5. Графики управления и угла поворота электропривода в случае наличия возмущающего момента

Таким образом, рассмотренный подход к синтезу алгоритма управления электроприводом позволил построить замкнутую систему управления с динамическими характеристиками близкими в известном смысле к характеристикам эталонной модели, а также обладающей параметрической робастностью, что подтверждено результатами моделирования.

Литература

[1] Крутько П.Д. *Обратные задачи динамики в теории автоматического управления*. Москва, Машиностроение, 2004, 576 с.

[2] Пупков К.А., Егупов Н.Д., ред. *Методы инженерного синтеза сложных систем управления: аналитический аппарат, алгоритмы приложения в технике. Ч. II. Вычислительно-аналитический эксперимент: аппарат матричных операторов и вычислительные технологии*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 416 с.

[3] Крутько П.Д. *Управление исполнительными системами роботов*. Москва, Наука, 1991, 336 с.

[4] Крамаренко Н.В., Рыков А.А. *Алгоритмы управления движениями точки и робота-манипулятора*. Новосибирск, НГТУ, 2016, 87 с.

[5] Гайдук А.Р., Плаксиенко Е.А. *Адаптивные системы управления*. Ростов-на-Дону, Издательство Южного Федерального университета, 2018, 120 с.

Synthesis of an algorithm for controlling an electric drive with the required dynamic accuracy

Akimenko D.A. akimenko@kaluga.ru
Semekhin D.E. sde19ki188@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The issue of constructing an algorithm for controlling an electric drive from the condition of ensuring the required dynamic accuracy is considered. Numerical values of the parameters of the reference model are constructed and determined from the condition of providing the required dynamic indicators, on the basis of which an algorithm for controlling the electric drive is formed. The results of modeling the resulting closed-loop drive control system in the presence of a load, as well as deviations of the numerical values of the drive parameters from the nominal ones, which demonstrate the effectiveness of the obtained control algorithm, are presented.

***Keywords**: mathematical model, control systems, control object, electric drive*

УДК 004.83

SSL модель в задаче распознавания специализированной речи

Безлюдов Михаил Дмитриевич bezlyudovmd@student.bmstu.ru
Корлякова Мария Олеговна mkorlyakova@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Изучен подвид задачи обработки естественного языка — задачу распознавания специализированной речи, ее актуальность и возможные сферы применения. Особое внимание уделяется обработке устной информации с точки зрения семантической близости: ее обеспечение с применением методов word embedding, а также основные методы и концепции, применяемые из word embedding, которым дается краткое описание с упоминанием преимуществ и недостатков. Также рассмотрен один из подходов к решению задачи распознавания специализированной речи при помощи нейронных моделей класса Self Supervised Learning (SSL). Далее приведен сравнительный анализ SSL модели с моделями, обучающиеся согласно классическому подходу.

Ключевые слова: *классификация текстов, Self-Supervised Learning, word embedding*

Автоматизация и цифровизация все больше проникает в нашу жизнь во всех сферах жизни и производства. Однако компьютеры и различные системы ввиду своего устройства не понимают человеческую речь так, как ее понимают люди между собой. Прежде всего, голос или текст для компьютера — это обычный файл. Такая прямолинейная интерпретация без учета смыслов делает работу пользователя менее эффективной или вовсе бессмысленной. Отсюда возникает необходимость в алгоритме, который был бы способен распознавать специализированную речь.

В том или ином виде, данная задача сводится к задаче классификации текстов. Задача классификации текстов [1] (англ. Text Classification) — область машинной обработки информации и искусственного интеллекта, заключающаяся в категоризации письменного текста в определенной последовательности и его объединения в упорядоченные словари. Основные подходы при решении данной задачи включают:

– лексический анализ: выявление отдельных слов и фраз, которые используются в речи наиболее часто;

– синтаксический анализ: анализ структуры предложений и грамматических конструкций для определения контекста сказанного;

– семантический анализ: изучение смысловых связей между словами и фразами для более глубокого понимания текста.

При решении данной задачи в целом и при решении распознавания специализированной речи в частности, ключевую роль играет семантическая составляющая. Чтобы получить возможность представить семантическую близость, наиболее подходящим методом решения задачи классификации текстов является использование процесса под названием word embedding [2],

то есть сопоставления слова в тексте некоторому вектору. Краткое описание методов word embedding, а также описание их основных преимуществ и недостатков приведены в таблице.

Описание методов word embedding, применяемых в классификации текстов

Название метода	Краткое описание	Преимущества метода	Недостатки метода
One-hot encoding (OHE)	Создание вектора длиной в словарь, ставится единица в позиции, соответствующей номеру слова в словаре	Простота реализации; Эффективен при малом наборе данных	Неэффективен при больших объемах данных; Семантическая близость слов или учет контекста не обеспечивается
TF	Представление набора текста в виде матрицы «слово-документ»	Эффективность при малом наборе данных; Указание слов, употребляемых в документе	
TF-IDF	Модификация TF метода. В матрице «слово-документ» вес слова пропорционален количеству его употребления в документе и обратно пропорционален частоте употребления в других документах	Эффективность при малом наборе данных; Возможность выявления уникальных слов в документе	
Word2vec	Каждому слову присваивается вектор. Далее идет предсказание появления слова по его окружению: учитываются такие вектора соседей, чтобы вероятность появления слова была равна вероятности встретить его в таком же окружении в реальном тексте	Модель более эффективна при большом наборе данных; Частично реализована классификация текста по семантической близости	Зависимость от качества данных в наборе

Из представленной таблицы очевидно, что OHE, TF и TF-IDF методы имеют практически идентичные преимущества и схожие недостатки, при том для метода word2vec величина данных наоборот является преимуществом. Причина заключается в том, что word2vec метод основан на ином подходе к обучению моделей.

Self-Supervised Learning (или unsupervised) [3, 4] — это метод обучения нейронных моделей, при котором она обучается самостоятельно, используя избыточный набор данных. Сама задача при этом формируется исходя

из внутренней структуры самих объектов в наборе, либо из базовых знаний о них.

Прежде чем рассмотреть Self-Supervised Learning, рассмотрим классический подход к обучению нейронный сетей. Он подразумевает случайную инициализацию весов модели и использование немалых объемов данных, размеченных для лучшей точности. Поскольку параметры в современных нейронных моделях могут исчисляться миллионами, случайная инициализация является единственным выходом для обеспечения сходимости.

Из приведенного выше описания исходят три главные проблемы классического метода обучения нейронных моделей:

– необходимость инициализировать модель перед началом каждого обучения;

– большая ресурсоемкость;

– сильная зависимость от обучающей выборки, прежде всего — от ее размеров.

Источник первой и второй проблем кроется в необходимости каждый раз инициализировать модель. Это происходит довольно часто, так как во время эксперимента может поменяться архитектура модели, либо параметры, либо набор данных. Как следствие, процесс обучения модели приходится каждый раз начинать сначала для обеспечения лучшего результата. Частичным решением данных проблем может послужить дообучение уже предтренированной модели для ускорения сходимости. Такое решение заключается в тренировке модели на гораздо больших данных, чем тех, что связаны с исходной задачей.

Это усугубляет третью проблему. Если для обучения будет дан большой объем тренировочных данных, то модель не сможет эффективно выполнить свою задачу на тестовых. Вопрос с малым объемом исходной выборки стоит особенно остро в контексте задачи распознавания специализированного текста, т. к. очевидно, что объем реальных данных к задаче априори меньше.

Из описания выше можно сделать вывод, что классический метод обучения нейронных моделей малоприменим для распознавания речи в специализированных лексических областях.

Как уже было упомянуто, SSL метод обучения основан на использовании информации, которая иуже известна про каждый конкретный объект, следовательно, необходимости делать разметку данных нет [5]. Согласно данному подходу, сначала выполняется два важных этапа:

– на основе имеющейся информации модель делает искусственную (псевдо) метку, на которой обучается модель, чтобы сформировать представления об объекте;

– модель проверяет качество полученных представлений. Почти во всех экспериментах в статьях по самообучению на полученных признаковых представлениях в последующих задачах обучают простые модели: логистическую регрессию или метод ближайшего соседа.

Методы SSL начали массово появляться в нейронных сетях именно после успехов в задачах естественной обработки языка. Примером этого успеха яв-

ляется как раз word2vec модели. Они берут неразмеченный набор текстов, затем сами ставят метку на определенном слове или словах и начинают обучение на этой задаче.

Далее такая обученная модель может применяться в другой задаче, которая отличается от изначальной. В задачах распознавания речи эта техника обучения позволяет быстро адаптировать модель к специализированным терминам и особенностям актуального речевого окружения. Проективные слои позволяют значительно изменять свойства модели без существенных затрат ресурсов.

Литература

[1] *Плавное введение в Natural Language Processing (NLP)*. URL: https://datastart.ru/blog/read/plavnoe-vvedenie-v-natural-language-processing-nlp (дата обращения 22.02.2025).

[2] *Чудесный мир Word Embeddings: какие они бывают и зачем нужны?* URL: https://habr.com/ru/companies/ods/articles/329410/ (дата обращения 22.02.2025).

[3] *Self-Supervised Learning. Проблематика и постановка задачи*. URL: https://habr.com/ru/articles/704710/ (дата обращения 22.02.2025).

[4] *Self-Supervised Learning and Its Applications*. URL: https://neptune.ai/blog/self-supervised-learning (дата обращения 22.02.2025).

[5] *Анализ малых данных*. URL: https://alexanderdyakonov.wordpress.com/2020/06/03/%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-self-supervision/ (дата обращения 22.02.2025).

SSL model in specialized speech recognition task

Bezlyudov M.D bezlyudovmd@student.bmstu.ru
Korlyakova M.O. mkorlyakova@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This work studies a subtype of the natural language processing problem — the problem of specialized speech recognition, its relevance and possible fields of application. Special attention is given to the processing of oral information in terms of semantic proximity: its provision with word embedding methods, as well as basic methods and concepts applied from word embedding, which are briefly described with reference to the advantages and disadvantages. Also, in this article we consider one of the approaches to solve the problem of specialized speech recognition — by means of neural models of the class Self Supervised Learning (SSL). Next, a comparative analysis of SSL models with models learning according to the classical approach is performed.

Keywords: *text classification, Self-Surveyed Learning, word embedding*

УДК 004.932.2

Нейросетевая реализация монокамерного измерения глубины сцены

Лысенко Олег Дмитриевич olegkeatzin@yandex.ru
Корлякова Мария Олеговна mkorlyakova@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Монокамерная глубина сцены — это техника, при которой глубинная информация о сцене оценивается с использованием изображений, сделанных одной камерой. В отличие от стереозрения, где для оценки глубины используются два или более изображений с разных углов, монокамерная глубина извлекает информацию о расстояниях на основе одного изображения. Монокамерные системы могут работать на любом устройстве с одной камерой, что делает их доступными для широкого спектра задач, от смартфонов до дронов. Описаны проблемы определения монокамерной глубины сцены. Выбрана нейросетевая модель для оценки глубины сцены. Построена и обучена U-Net модель.

Ключевые слова: *монокамерная глубина сцены, сверточная нейронная сеть, U-Net, Depth estimation*

Карты глубины играют важную роль в современных технологиях, обеспечивая трехмерное восприятие и анализ различных сцен и объектов. Их использование охватывает множество областей: автономные автомобили, дополненная реальность, фотография и видеосъемка, архитектура и многие другие. Они позволяют улучшить точность навигации, безопасность, качество изображений и видео, а также создавать более реалистичные и интерактивные виртуальные среды.

Для решения задачи оценки глубины на основе изображений часто используются специализированные устройства, такие как LiDAR и ультразвуковые датчики. Однако интересен подход, при котором глубина оценивается исключительно на основании изображения, без необходимости использования дополнительных сенсоров. Эта задача может быть решена с использованием нейросетей.

В качестве основной архитектуры была выбрана модель U-Net. Эта архитектура обладает способностью к эффективному извлечению признаков из изображения благодаря своей специфичной структуре, состоящей из двух частей: кодировщика (encoder) и декодера (decoder). Кодировщик выполняет сжатие входных данных, выделяя ключевые особенности изображения, тогда как декодер восстанавливает исходный размер изображения, одновременно добавляя контекстную информацию, необходимую для точной сегментации или предсказания глубины. Такая структура позволяет модели U-Net успешно справляться с задачами, требующими высокой точности, включая оценку глубины на изображениях.

В U-Net есть skip connections, соединяющие энкодер и декодер. Это позволяет сохранять и восстанавливать важную пространственную информацию, улучшая качество и точность обработки изображений.

Для обучения U-Net модели был выбран датасет NYU Depth V2 [2]. Он состоит из кадров помещений и карт глубины к ним.



Рис. 1. Архитектура U-Net сети [1]

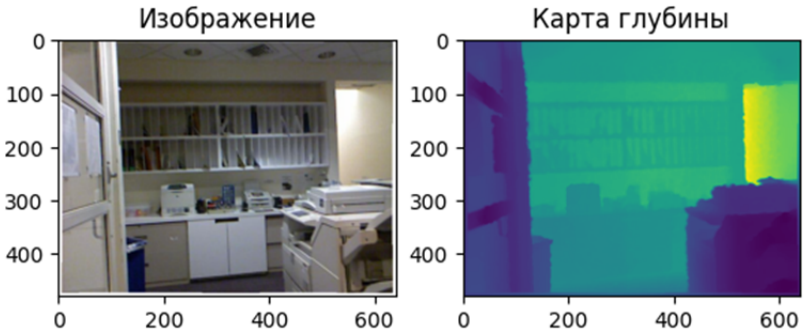


Рис. 2. Пример изображения и его карты глубины из NYU Depth V2

Датасет из 1449 изображений был поделен в соотношении: 80 % на обучение, 10 % на тест и 10 % на валидацию. Модель имеет 5 encoder слоев и 5 decoder слоев. В качестве функции потерь использовалась MSEloss и logMSEloss. Модели обучались 50 эпох. Для оценки готовой модели использовалась метрика MSE — средняя квадратичная ошибка [3]:

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2,$$

где y_i — истинное значение; $\hat{y}_i$ — предсказанное значение.

Сравнение обученных моделей

Модель	Потери	MSE
U-Net	MSE	1,3266
U-Net	logMSE	0,5529

Из таблицы видно, что модель использующая logMSE лучше конкурента. Логарифмирование позволило лучше справляться с предсказаниями, имеющими широкий диапазон значений, минимизируя влияние больших ошибок и обеспечивая более устойчивую и точную оптимизацию модели [4].

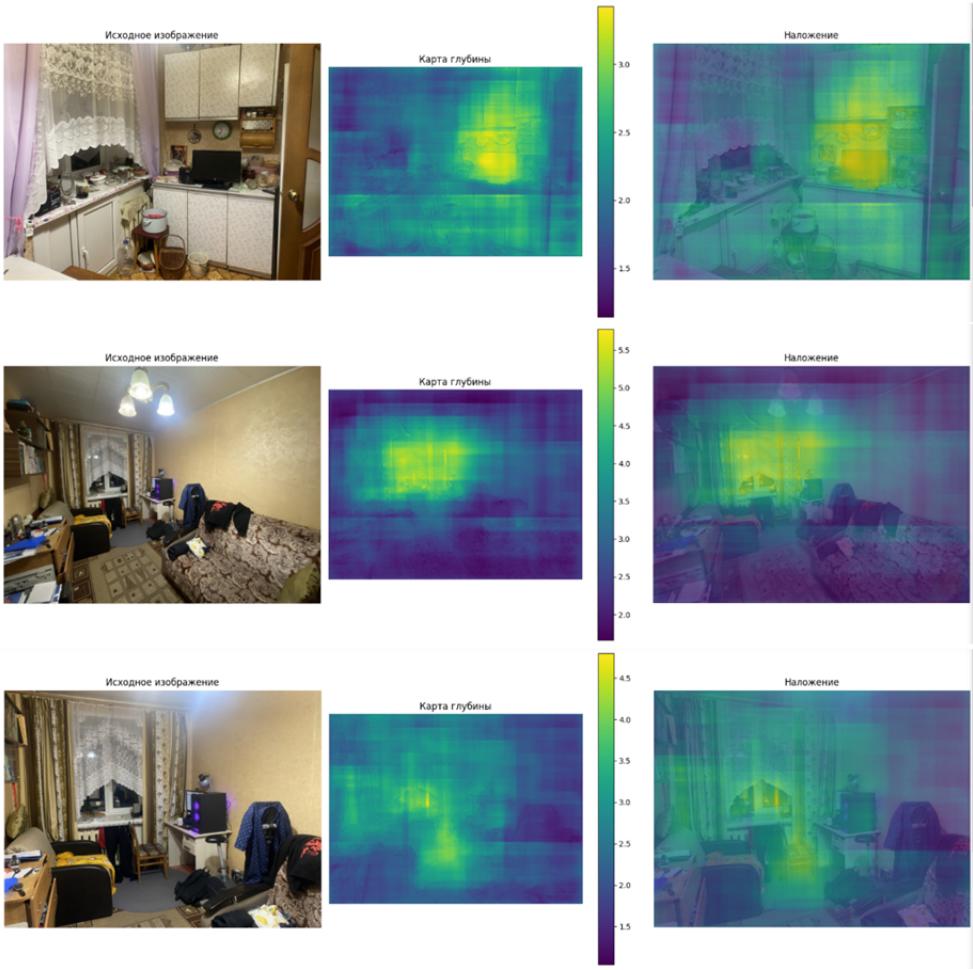


Рис. 3. Тестирование модели (logMSE)

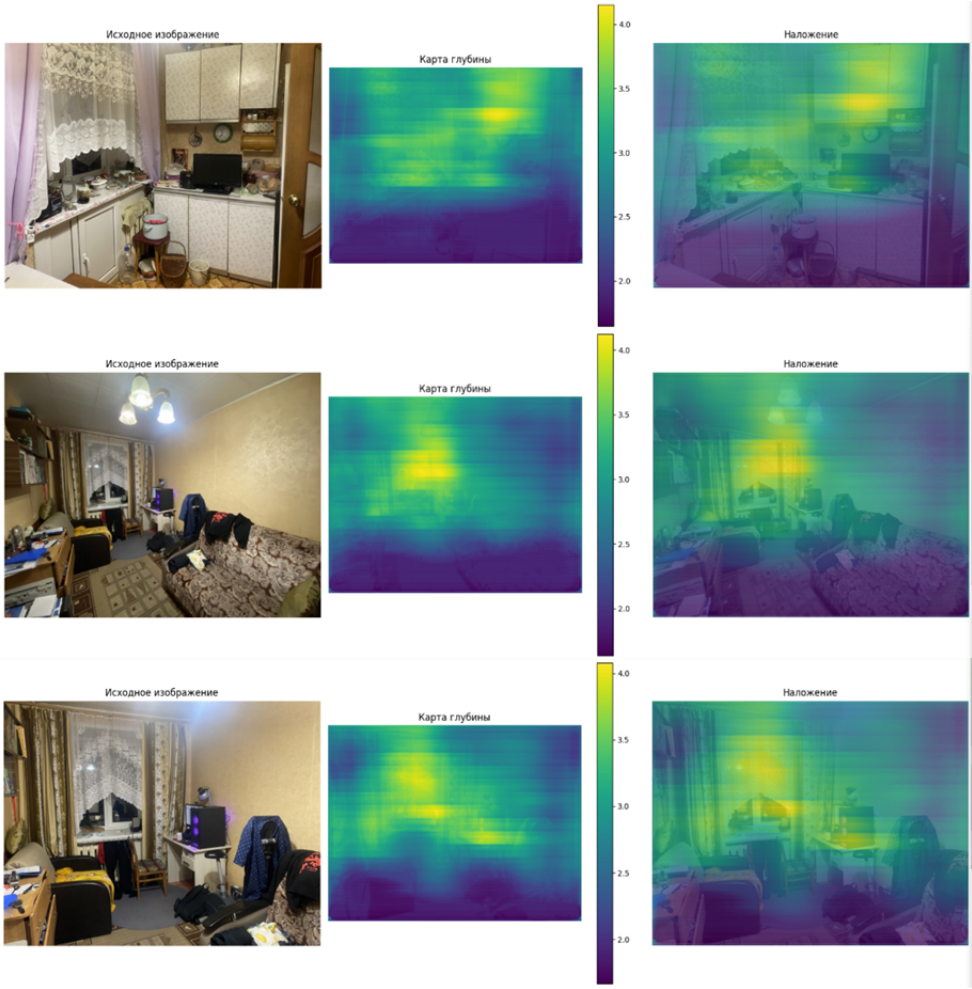


Рис. 4. Тестирование модели (MSE)

На тепловой карте светлые области соответствуют удаленным объектам, а темные — близким. В общем, модель демонстрирует удовлетворительное понимание динамики изменения глубины на изображении, однако точность ее работы оставляет желать лучшего. В дальнейшем планируется расширить набор данных посредством аугментации, а также исследовать другие типы сверточных архитектур, сравнивая их эффективность и вычислительную сложность.

Литература

[1] Ronneberger O., Fischer P., Brox T. *U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation*. URL: https://arxiv.org/abs/1505.04597 (дата обращения 08.11.2024).

[2] Silberman N., Kohli P., Hoiem D., Fergus R. *Indoor Segmentation and Support Inference from RGBD Images ECCV*. URL: https://cs.nyu.edu/~fergus/datasets/nyu_depth_v2.html (дата обращения 08.11.2024).

[3] *MSE в машинном обучении простыми словами.* URL: https://dzen.ru/a/YGSuWtWwHiE0Ixfo (дата обращения 08.11.2024).

[4] Kapronczay M. *Mean squared error (mse) vs. mean squared logarithmic error (msle): a guide*. URL: https://builtin.com/data-science/msle-vs-mse (дата обращения 08.11.2024).

Neural network implementation of monocameral depth estimation

Lysenko O.D. olegkeatzin@yandex.ru
Korlyakova M.O. mkorlyakova@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

Monocameral depth of the scene is a technique in which in-depth information about a scene is evaluated using images taken with a single camera. Unlike stereo vision, where two or more images from different angles are used to estimate depth, single-camera depth extracts distance information based on a single image. Multi-camera systems can work on any device with a single camera, making them available for a wide range of tasks, from smartphones to drones. The problems of determining the multi-chamber depth of the scene are described. A neural network model has been selected to estimate the depth of the scene. A U-Net model has been built and trained.

Keywords: *monocameral scene depth, convolutional neural network, U-Net, Depth estimation*

УДК 629.056

Сравнительный анализ методов навигации для автономных мобильных роботов

Корлякова Мария Олеговна mkorlyakova@yandex.ru
Воробьев Виктор Сергеевич v20030721@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены методы по автономной навигации мобильного робота, основанные на использовании трех ключевых поведений: одометрия, отслеживание цели и избегание препятствий. Проведены эксперименты в симуляторе Aria для предварительной проверки алгоритмов, а также проводены эксперименты с реальными роботами: Pioneer и Elegoo Smart Robot Car, Raicart, BeetleBot и Dpoom. Представлены детальные описания методов навигации, результаты экспериментальной проверки каждого метода на разных платформах. Проведен сравнительный анализ их эффективности.

Ключевые слова: *навигация, одометрия, отслеживание цели, избегание препятствий*

Развитие робототехники и стремление к созданию автономных систем, способных выполнять задачи в различных средах, приводит к постоянному поиску новых решений в области навигации. Автономная навигация мобильного робота — это сложная задача, требующая интеграции разнообразных алгоритмов, сенсоров и вычислительных мощностей. Решением данной задачи являются три ключевых поведения: одометрия, отслеживание цели и избегание препятствий [1].

Одометрия позволяет роботу определять свое положение, измеряя пройденное расстояние. Одометрия с энкодерами: Pioneer использует энкодеры для точного измерения пройденного пути, но этот метод чувствителен к проскальзыванию колес. Одометрия без энкодеров: Elegoo, Raicart, BeetleBot и DPoom используют альтернативные методы, такие как визуальная одометрия и данные с IMU, которые менее точны, но не требуют специальных датчиков.

Отслеживание цели основано на использовании визуальных алгоритмов для отслеживания целевой точки в кадре камеры робота. Отслеживание по цвету: Pioneer использует этот простой метод для слежения за цветными объектами. YOLO: Elegoo применяет нейронную сеть YOLOv8 для распознавания и отслеживания широкого спектра объектов. DPoom использует облегченную версию YOLO (tiny-YOLOv3) для распознавания лиц, что способствует социальному взаимодействию [2].

Избегание препятствий использует ультразвуковые сенсоры для обнаружения препятствий на пути робота. Ультразвуковые датчики: Elegoo использует один ультразвуковой датчик, Pioneer — кольцевой сонар. Также используют другие методы: LiDAR, компьютерное зрение, метод потенциальных

полей, алгоритм A*. BeetleBot использует слияние данных с нескольких сенсоров (RGB-D, LiDAR, и др.) для повышения надежности [3]. DPoom использует RGB-D камеру и алгоритм MORP для сегментации проходимой области и избегания препятствий [4]. Raicart использует Crop-LSTM для косвенного избегания препятствий путем выбора более «гладких» траекторий [5].

Raicart использует Crop-LSTM, метод на основе обучения для предсказания траектории, ориентации и «неровности» местности, что позволяет ему выбирать оптимальные маршруты.

Эффективная навигация требует согласованной работы всех компонентов. DPoom, например, комбинирует визуальную одометрию, алгоритм MORP и данные с tiny-YOLOv3 для навигации в присутствии людей.

Для оценки эффективности рассмотренных методов навигации рассмотрим результаты проведенных экспериментов как в симулированных [4], так и в реальных условиях [1].

Pioneer: эксперименты с роботом Pioneer, оснащенным энкодерами и кольцевым сонаром, были сосредоточены на точности одометрии и эффективности избегания препятствий в контролируемой лабораторной среде. Результаты показали высокую точность одометрии на ровных поверхностях, однако при проскальзывании колес наблюдалось накопление ошибок. Система избегания препятствий на основе сонара успешно предотвращала столкновения, но показала ограничения в узких проходах.

Elegoo: эксперименты с Elegoo Smart Robot Car, использующим визуальную одометрию, YOLOv8 для отслеживания целей и один ультразвуковой датчик для избегания препятствий, проводились в более сложной среде с различными объектами. Результаты подтвердили возможность использования YOLOv8 для надежного отслеживания целей, однако точность визуальной одометрии оказалась ниже, чем у Pioneer. Простота системы избегания препятствий на основе одного ультразвукового датчика ограничивала ее эффективность в сложных ситуациях.

Raicart: этот робот был протестирован в реальных условиях бездорожья с использованием Crop-LSTM для навигации. Результаты показали, что Raicart способен преодолевать неровный ландшафт и избегать препятствий, однако требуется дальнейшая работа по повышению робастности алгоритма к изменениям освещения и типа поверхности.

BeetleBot и *DPoom*: эти роботы были испытаны в симулированной среде Gazebo. BeetleBot, оснащенный различными сенсорами (RGB-D, LiDAR, и др.), продемонстрировал эффективность слияния данных для повышения надежности навигации. DPoom, ориентированный на социальное взаимодействие, успешно выполнял задачи навигации в присутствии виртуальных людей, демонстрируя потенциал для применения в социальных сценариях. Для подтверждения результатов симуляции DPoom также был протестирован в реальном вестибюле общежития, где он успешно навигировал в динамической среде с присутствием людей.

Сравнительная таблица нет ссылки в тексте

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки	Роботы
Одометрия с энкодерами	Измерение пройденного расстояния и поворота колес с помощью энкодеров	Высокая точность, простота	Накопление ошибок, проскальзывание	Pioneer
Одометрия без энкодеров	Оценка движения на основе анализа изображений, IMU и др.	Не требует специальных датчиков	Менее точная	Elegoo, Raicart, BeetleBot, DPoom
Визуальная одометрия	Определение движения на основе анализа последовательных кадров с камеры	Работает без энкодеров	Чувствительна к освещению, накапливает ошибки	Raicart, BeetleBot, DPoom
Crop-LSTM	Предсказание траектории на основе изображений	Учитывает локальные особенности, минимизирует тряску	Требует обучения, чувствителен к изменениям среды	Raicart
Отслеживание цели (цвет)	Определение и слежение за объектом определенного цвета	Простота, быстрая обработка	Чувствительность к освещению, ограниченная применимость	Pioneer
Отслеживание цели (YOLO/ tiny-YOLO)	Детектирование и слежение за объектом с помощью нейронной сети YOLO	Распознавание широкого спектра объектов, высокая точность	Высокая вычислительная сложность	Elegoo, DPoom
Избегание (сонар)	Обнаружение препятствий с помощью нескольких ультразвуковых датчиков	Точное определение расстояния	Стоимость, сложность установки	Pioneer

Окончание таблицы

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки	Роботы
Избегание (УЗ датчик)	Обнаружение препятствий с помощью одного ультразвукового датчика	Простота, низкая стоимость	Менее точное определение	Elegoo
Избегание (LiDAR)	Обнаружение препятствий с помощью лазерного сканера	Высокая точность, детальные карты	Высокая стоимость, энергопотребление	BeetleBot (в симуляции)
Избегание (компьютерное зрение/MORP)	Обнаружение препятствий на основе анализа изображений	Распознавание разных типов препятствий	Высокая вычислительная сложность, зависимость от освещения	Raicart, DPoom, BeetleBot
Избегание (слияние данных)	Комбинация данных с нескольких сенсоров для повышения надежности	Повышенная надежность, адаптивность	Сложность реализации и настройки	BeetleBot
Низкобюджетная платформа	Использование доступных компонентов	Доступность, широкое применение	Ограниченные возможности	DPoom
Социальное взаимодействие	Акцент на взаимодействие с людьми	Важность для сервисных роботов	Дополнительные требования к безопасности	DPoom

Проведенный анализ показал значительный прогресс в разработке автономных систем навигации для мобильных роботов. Выбор метода навигации зависит от конкретных требований задачи. Для высокой точности позиционирования предпочтительна одометрия с энкодерами. В условиях ограниченного бюджета или при отсутствии энкодеров можно использовать визуальную/инерциальную одометрию. Для слежения за объектами в сложных условиях предпочтительнее YOLOv8, а для простых сценариев достаточно цветового слежения. Аналогично кольцевой сонар обеспечивает более надежное избегание препятствий, но для простых задач подойдет и одиночный ультразвуковой датчик. Подходы на основе обучения, такие как Crop-

LSTM, и методы, ориентированные на социальное взаимодействие и низкобюджетные платформы, представляют собой перспективные направления для будущих исследований. Разрабатываемая система навигации для автономной мобильной платформы предполагает использование системы технического зрения, комплекта акселерометров, датчиков оценки дальности (ультразвуковых) и фиксации поворотов колес. Использование всех средств оценки среды и пройденного пути позволит формировать на основе методов vSLAM представление о текущей позиции и планировать дальнейший маршрут.

Литература

[1] Husan F. Vokhidov S.A. *Autonomous mobile robot navigation: tracking problem*. URL: https://arxiv.org/pdf/2407.06118v1.pdf (accessed November 03, 2024).

[2] Torres J. *How to run yolov8?* URL: https://yolov8.org/ (accessed November 04, 2024).

[3] Nguyen A., Quang D.T. *Autonomous navigation with mobile robots using deep learning and the robot operating system.* URL: https://arxiv.org/pdf/2012.02417v2.pdf (accessed November 05, 2024).

[4] Kim T., Lim S., Shin G., Sim G., Yun D. *An Open-Source Low-Cost Mobile Robot System with an RGB-D Camera and Efficient Real-Time Navigation Algorithm.* URL: https://arxiv.org/pdf/2103.03054v4.pdf (accessed November 06, 2024).

[5] Hyun Lee J., Choi J., Ryu S., Oh H., Choi S., Hwangbo J. *Learning vehicle dynamics from cropped image patches for robot navigation in unpaved outdoor terrains*. URL: https://arxiv.org/pdf/2309.02745v1.pdf (accessed November 06, 2024).

Comparative analysis of navigation methods for autonomous mobile robots

Korlyakova M.O. mkorlyakova@yandex.ru
Vorobev V.S. v20030721@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

Methods for autonomous navigation of a mobile robot based on the use of three key behaviors are considered: odometry, target tracking and obstacle avoidance. Experiments were conducted in the Aria simulator to pre-test the algorithms, as well as experiments with real robots: Pioneer and Elegoo Smart Robot Car, Raicart, BeetleBot and Dpoom. Detailed descriptions of navigation methods are presented, as well as the results of experimental testing of each method on different platforms. A comparative analysis of their effectiveness has been carried out.

Keywords: *navigation, odonometry, target tracking, obstracle avoidance*

УДК 004.896

Подход к генерации ответов с использованием RAG

Никитин Максим Вячеславович mnikitin1@yandex.ru
Корлякова Мария Олеговна mkorlyakova@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрен подход к генерации ответов с использованием Retrieval Augmented Generation (RAG), объединяющий извлечение релевантных документов из базы знаний и генерацию ответов на основе полученного контекста. RAG демонстрирует высокую точность ответов и меньшую зависимость от данных с аннотированными вопросами и ответами, что делает его перспективным направлением в сфере обработки естественного языка.

***Ключевые слова**: Retrieval Augmented Generation (RAG), генерация ответов, извлечение информации, языковые модели, естественный язык, искусственный интеллект*

Генерация ответов — это задача естественного языка, направленная на создание информативных и точных ответов на вопросы. Традиционные методы генерации ответов, основанные на обучении с учителем, требуют больших объемов данных с аннотированными вопросами и ответами [1]. В связи с этим, актуальность приобретает новый подход, известный как Retrieval Augmented Generation (RAG), который позволяет создавать более точные и информативные ответы с использованием внешнего контекста [2].

RAG: объединение извлечения и генерации. RAG — это архитектура, которая объединяет два ключевых этапа: извлечение (retrieval) и генерацию (generation).

1. Извлечение. На этом этапе система извлекает из базы знаний релевантные документы, которые могут быть использованы для ответа на заданный вопрос. Для этого применяются алгоритмы поиска по тексту, такие как TF-IDF, BERT, или другие модели машинного обучения, способные извлекать тексты, соответствующие контексту вопроса [3].

2. Генерация. На втором этапе извлеченные документы используются в качестве контекста для модели генерации текста. Эта модель обучена создавать информативный ответ, опираясь на предоставленный ей контекст. В качестве моделей генерации можно использовать BART, T5, или другие языковые модели [4].

Преимущества RAG:

– улучшенная точность: RAG позволяет моделям генерации текста обращаться к внешним данным, что делает отвечать более точными и информативными;

– меньшая зависимость от аннотированных данных: RAG требует меньше данных с аннотированными вопросами и ответами, так как он использует внешний контекст;

– возможность обработки сложных вопросов: RAG может обрабатывать вопросы, требующие глубокого понимания контекста и доступа к дополнительной информации [5].

Примеры применения:

– виртуальные помощники: RAG может использоваться для создания более интеллектуальных виртуальных помощников, способных отвечать на сложные вопросы;

– поиск информации: RAG может использоваться для поиска информации в больших базах данных и предоставления пользователям релевантной информации;

– образование: RAG может использоваться для создания интерактивных учебных систем, способных отвечать на вопросы студентов и предоставлять им контекстуальную информацию [8].

Вызовы и ограничения:

– качество базы знаний: точность ответов RAG напрямую зависит от качества и полноты базы знаний;

– скорость поиска: поиск релевантных документов может быть ресурсоемким, что может замедлить процесс получения ответа;

– непредсказуемость результатов: иногда модели RAG могут генерировать неверные или бессмысленные ответы, если база знаний неполна или алгоритм поиска не справляется с задачей.

В данной работе рассмотрена языковая модель Helsinki с добавлением к ней Retrieval Augmented Generation (RAG) и использованием библиотеки transformers (см. таблицу).

Сравнение LLM с использованием RAG и без

Вопрос	Ответ с RAG	Ответ без RAG
Какое самое высокое здание в мире?	Самое высокое здание в мире — это Бурдж-Халифа в Дубае, (ОАЭ). Оно достигает высоты 828 метров (2,717 футов)	Самое высокое здание в мире — это небоскреб, который находится в Дубае. Он очень высокий, но я не могу точно сказать, сколько метров

Как можно заметить, модель RAG смогла получить доступ к внешним данным и найти информацию о самом высоком здании в мире. Она смогла правильно извлечь необходимую информацию и сгенерировать точный ответ.

Модель без RAG, в свою очередь, не имела доступа к внешним данным и не могла найти конкретную информацию о самом высоком здании в мире. Она смогла только дать общий ответ, основанный на своих знаниях, которые были ограничены ее обучением.

Заключение. RAG представляет собой перспективный подход к генерации ответов. Он позволяет создавать более точные и информативные ответы

с использованием внешнего контекста. RAG имеет широкий спектр применений и будет играть важную роль в развитии систем искусственного интеллекта в будущем. Однако он не лишен недостатков, таких как зависимость от качества базы знаний, скорость поиска и непредсказуемость результатов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на решение этих проблем, чтобы RAG мог реализовать свой полный потенциал.

Литература

[1] Kenton J., Srinivasan K., Bordes A., Joulin A. *Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive. NLP Tasks*. URL: https://arxiv.org/abs/2005.11401 (accessed November 22, 2024).

[2] Lewis P., Perez E., Piktus D., Wang A. *Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive Text Summarization*. URL: https://arxiv.org/abs/2103.14000 (accessed November 22, 2024).

[3] Guu K., Lee K., Tung Z., Pasupat P., Chang M.W. *Retrieval-Augmented Generation for Question Answering.* URL: https://arxiv.org/abs/2004.09325 (accessed November 22, 2024).

[4] Izac C., Reichart R. *Improving Retrieval-Augmented Generation via Contrastive Learning*. URL: https://arxiv.org/abs/2103.14000 (accessed November 22, 2024).

[5] Khandelwal U., He X., Levy R. *Learning to Retrieve and Translate for Cross-Lingual Summarization*. URL: https://arxiv.org/abs/2004.04905 (accessed November 22, 2024).

[6] Kenton J., Srinivasan K., Bordes A., Joulin A. *Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks.* URL: https://arxiv.org/abs/2005.11401 (accessed November 22, 2024).

[7] Lewis P., Perez E., Piktus D., Wang A. *Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive Text Summarization*. URL: https://arxiv.org/abs/2005.11401 (accessed November 22, 2024).

[8] Izac C., Reichart R. *Improving Retrieval-Augmented Generation via Contrastive Learning.* URL: https://arxiv.org/abs/2103.14000 (accessed November 22, 2024).

Retrieval Augmented Generation (RAG): a new approach to answer generation

Nikitin M.V. mnikitin1@yandex.ru

Korlyakova M.O. mkorlyakova@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This paper explores a new approach to answer generation based on Retrieval Augmented Generation (RAG), combining the retrieval of relevant documents from a knowledge base and answer generation based on the obtained context. RAG demonstrates high accuracy in answers and a lower dependence on data with annotated questions and answers, making it a promising direction in the field of natural language processing.

Keywords: *Retrieval Augmented Generation (RAG), answer generation, information retrieval, language models, natural language, artificial intelligence*

УДК 004.896

Оценка семантического сходства текстов методами машинного обучения

Корлякова Мария Олеговна mkorlyakova@yandex.ru
Васенков Павел Андреевич pavelvasenkov@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены основные аспекты метода семантического поиска, проведен файнтюнинг модели RuBERT. Изложена концепция пуллинга для уменьшения размерности векторов. Был выбран оптимальный датасет и проведена подготовка данных. Также были выбраны и предложены метрики для анализа качества обучаемой модели. Результаты были представлены в виде таблиц, был проведен анализ, выявлены недостатки предобученной модели BERT при работе с ассиметричными данными. Написан пайплайн семантического анализа текстовой идентичности. Проведенные исследования могут быть полезны в сфере обработки естественного языка.

Ключевые слова: *обработка естественного языка, машинное обучение, семантический анализ, искусственный интеллект*

Оценка семантического текстового сходства (англ. *Semantic Textual Similarity*) информации широко применяется в сфере обработки естественного языка (англ. Natural Language Processing). В рамках поставленной задачи было необходимо провести анализ алгоритма для семантического анализа текстов, а также выполнить программную реализацию и провести тесты.

Семантический поиск — это метод поиска информации, который учитывает смысл и контекст запросов. В отличие от традиционных (лексических) методов, которые опираются на точные соответствия между словами в запросе и документами, семантический поиск использует технологии обработки естественного языка (NLP) и машинного обучения для понимания намерений пользователя и контекста запроса. Модели, разработанные для этой задачи, могут оценивать степень семантической близости между текстовой информацией [1].

Основная концепция данного метода заключается в представлении текстовой информации в виде многомерных векторов, что, в свою очередь, позволяет выявить семантические связи между словами. Вектор формируется как усреднение всех векторных представлений токенов с помощью масок внимания, что позволяет исключить токены, не являющиеся значимыми.

В качестве метрики сходства используем косинусное сходство (англ. cosine similarity) [2]

$$\text{similarity}(A,B) = \frac{\sum_{i=1}^{n} A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} A_i^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n} B_i^2}}$$

Косинусная близость измеряет угол между векторами, а не их длину, что во время работы оказалось полезно при анализе текстов разной длины.

Данная метрика отличается хорошей интерпретируемостью, поскольку значения варьируются от –1 до 1, где 1 — полная схожесть, 0 — отсутствие схожести, –1 — противоположенное направление вектора. Помимо этого, косинусная близость может быть менее чувствительна к шуму в данных по сравнению с другими метриками.

Для понижения размерности входного вектора был использован алгоритм среднего пулинга (англ. mean pooling) (рис. 1). Для проведения последующих исследований была выбрана дообученная модель трансформера [3] BERT — RuBERT [4], содержащая 180 млн параметров, 12 слоев и 768 скрытых слоев. Использование на новых данных позволило оценить смысловую идентичность текстов, модель продемонстрировала высокие результаты во время экспериментов (табл. 1). Однако при тесте на ассиметричных данных, модель показала неточные результаты (табл. 2) [5].

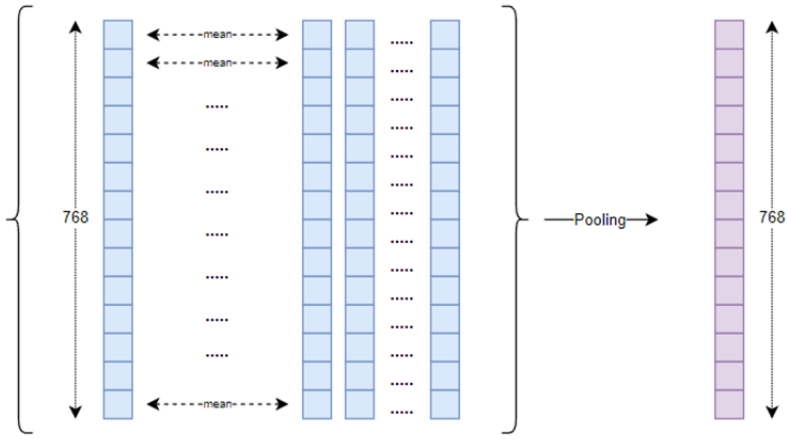


Рис. 1. Схема среднего пулинга

Таблица 1

Сравнительный анализ сходства с помощью предобученной модели

№	Текст 1	Текст 2	Вероятность сходства
1	Python — популярный язык программирования	Один из известных языков — это Python	0,896
2	Чтение — мое любимое занятие в свободное от работы время	В свободное время мне нравится читать книги	0,729
3	По выходным я часто смотрю фильмы и отдыхаю дома	Не ходите дети в Африку гулять	0,204
4	Я предпочитаю кофе утром, чтобы зарядиться энергией	Человек — самое разумное существо на планете	0,126

С целью повышения производительности модели было принято решение провести дообучение (файнтюнинг) модели на ассиметричных данных [5].

Таблица 2

Сравнительный анализ сходства с помощью файнтюненой модели

№	Текст 1	Текст 2	Вероятность сходства
1	Я люблю гулять по парку в солнечные дни	В ясную погоду, мне не нравится проводить время у экрана, я люблю проводить его на свежем воздухе, гуляя на природе и любуясь красотами окружающего мира	0,311
2	Мне нравится готовить русскую кухню	С самого детства готовка для меня — это не просто необходимость, а настоящее увлечение	0,214
3	Алексей часто слушает музыку	Музыка сопровождает Алексея на протяжении всего дня, создавая нужное настроение и настраивая на работу	0,267
4	Амурский тигр — редкое животное	Амурский тигр занесен в Красную книгу Российской Федерации, а также является подвидом, сохранившимся только на территории России	0,193

С целью повышения производительности модели было принято решение провести дообучение (файнтюнинг) модели на ассиметричных данных. Для этих целей, в качестве обучаемой архитектурой была выбрана SBERT, которая является би-энкодером (рис. 2). Данная модификация использует сиамские и триплетные сетевые структуры для получения семантически значимых вложений предложений, которые можно сравнивать с использованием косинусного сходства. Для этих целей была использована русскоязычная часть датасета *Microsoft Machine Reading Comprehension.* MS MARCO [6] — набор данных, предназначенный для глубокого обучения в задачах обработки и анализа естественного языка. Поскольку сборка содержит разнородные данные, полученные из разных источников, он идеально подходит для файнтюнинга [1]. Количество входных токенов в нашей задаче всегда соответствует количеству векторов. Результирующий тензор имеет размерность 1 на 768.

Обучение позволило сблизить семантически схожие вектора, а также отдалить различные вектора в гиперпространстве [7]. Для оценки качества обученной модели были использованы метрики качества ранжирования MRR, NDCG, а также MAP.

Mean Reciprocal Rank (MRR) — это статистический показатель, используемый для оценки процессов, которые генерируют список потенциальных ответов на набор запросов, отсортированных по вероятности их правильно-

сти. Метрика изменяется в диапазоне от 0 до 1, а также учитывает позицию элементов [2]:

$$MRR = \frac{1}{|Q|}\sum_{i=1}^{|Q|}\frac{1}{\text{rank}_i}.$$

Mean Average Precision (MAP) — это среднее значение средней точности для каждого запроса. MAP учитывает точность и порядок возвращаемых результатов, благодаря чему показала высокие результаты оценки в процессе экспериментов [2]:

$$MAP = \frac{\sum_{q=1}^{Q}\text{Ave}\,P(q)}{Q}.$$

Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG) — нормализованная версия DCG (Discounted Cumulative Gain). Данная метрика принимает значения от 0 до 1, а также наследует от DCG учет позиции элементов в списке [2]:

$$nDCG_p = \frac{DCG_p}{IDCG_p}.$$

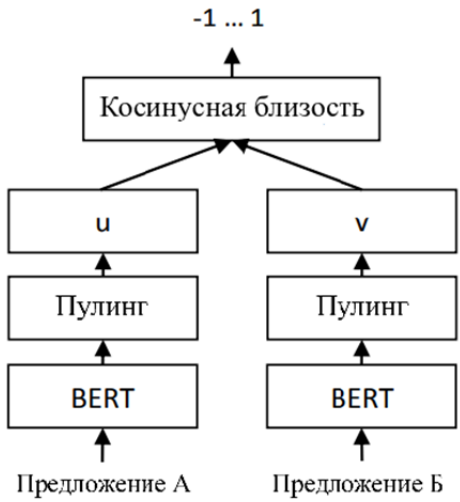


Рис. 2. Архитектура би-энкодера

В результате была обучена и была проведена валидация на 50 тысячах данных, после чего был разработан пайплайн (англ. pipeline) для решения задачи анализа семантического сходства текстов [7].

Таблица 3

Результат семантического анализа текста файнтюниной моделью

№	Текст 1	Текст 2	Вероятность сходства
1	Елена любит читать книги	Чтение книг — любимое занятие Елены, которое приносит ей радость и вдохновение	0,879
2	Он пошел в магазин	В один прекрасный день он решил отправиться в ближайший магазин, чтобы купить необходимые продукты	0,827
3	Дождь пошел	Внезапно небо затянулось тучами, и начался дождь, который наполнил улицы свежестью	0,695
4	Дорога к морю была долгой и утомительной	В году мы решили провести отпуск на море, но путь был нелегким, долгим и изнуряющим	0,783

Таким образом, был проведен анализ метода анализа семантического сходства текстов в процессе файнтюнинга модели RuBERT, рассмотрены и проанализированы алгоритмы и метрики для оценки качества данного процесса.

Литература

[1] *Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding*. URL: https://arxiv.org/pdf/1810.04805 (accessed November 10, 2024).

[2] Bishop C.M. *Pattern recognition and machine learning*. Springer Science+Business Media, 2006.

[3] *Transformers*. URL: https://huggingface.co/docs/transformers/main/en/index (accessed November 10, 2024).

[4] *DeepPavlov/rubert-base-cased*. URL: https://huggingface.co/DeepPavlov/rubert-base-cased (accessed November 10, 2024).

[5] *A Multilingual Version of the MS MARCO Passage Ranking Dataset*. URL: https://arxiv.org/pdf/2108.13897 (accessed November 10, 2024).

[6] *Unicamp-dl/mmarco*. URL: https://huggingface.co/datasets/unicamp-dl/mmarco (accessed November 10, 2024).

[7] *Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks*. URL: https://arxiv.org/pdf/1908.10084 (accessed November 10, 2024).

Evaluation of semantic similarity of texts using machine learning methods

Korlyakova M.O. mkorlyakova@yandex.ru
Vasenkov P.A. pavelvasenkov@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The main aspects of the semantic search method are considered, the RuBERT model is fine-tuned. The concept of pooling for reducing the dimensionality of vectors is presented. The optimal dataset was selected and the data was prepared. Metrics for analyzing the quality of the trained model were also selected and proposed. The results were presented in tables, an analysis was carried out, and the shortcomings of the pre-trained BERT model when working with asymmetric data were identified. A pipeline for semantic analysis of text identity was written. The conducted research can be useful in the field of natural language processing.

Keywords: *natural language processing, machine learning, semantic analysis, artificial intelligence*

УДК 004.93’1

Нейросетевая реализация задач SLAM

Щеглов Владислав Андреевич shcheglovvladislav@mail.ru
Корлякова Мария Олеговна mkorlyakova@yandex.ru
Не указана организация Щеглова, у Корляковой разные e-mail по тексту

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрено применение нейронных сетей для решения задач одновременной локализации и картографирования. Проведен анализ существующих подходов к решению SLAM. Представлен обзор нейросетевых архитектур, успешно применяемых для решения различных аспектов SLAM, таких как детектирование особых точек и извлечение признаков изображения. Показаны преимущества нейросетевых методов в сравнении с традиционными алгоритмами.

Ключевые слова: *SLAM, нейронные сети, визуальная одометрия, построение карт*

Одновременная локализация и картографирование (SLAM) представляет собой фундаментальный метод, применяемый в области робототехники и компьютерной навигации. Этот подход позволяет роботам и автономным системам создавать детализированные карты окружающей среды и одновременно определять свое местоположение на этих картах в реальном времени. В условиях постоянного развития технологий и повышения требований к точности и надежности навигации, SLAM становится ключевым инструментом для разработки автономных систем, способных эффективно ориентироваться в окружающем пространстве и выполнять задачи без постоянного вмешательства человека. Проблема (SLAM): данный алгоритм требует больших вычислительных мощностей для обработки данных с датчиков и определения местоположения робота на карте. Это может замедлить работу системы и ограничить ее применение в некоторых областях.

Различают несколько видов визуального SLAM:

– Feature-based SLAM — использует легко идентифицируемые элементы в среде и создают внутреннее представление о пространстве с учетом местоположения этих ориентиров. Исторически самый ранний и наиболее влиятельный SLAM алгоритм основан на расширенном фильтре Калмана (EKF — Extended Kalman Filter);

– Grid-based SLAM — при таком подходе среда разбивается на сетку точек определенного размера. Каждая точка может быть занята препятствием, не занята или не исследована;

– Graph-based SLAM — на основе графов или сетей также пытается создать карту с помощью графа, узлы которого соответствуют позициям робота в разные моменты времени, а ребра представляют собой пространственные ограничения, связывающие позы робота вместе.

В данной работе за основу берется первый вид — Feature-based SLAM.

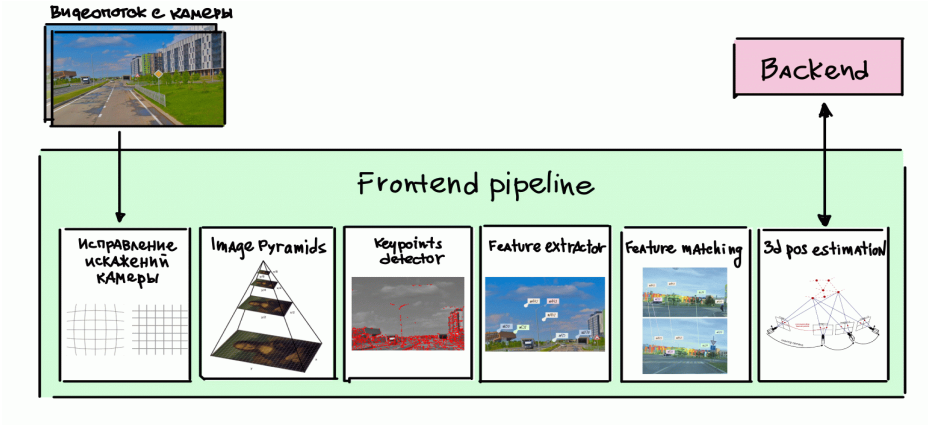


Рис. 1. Алгоритм Feature-based SLAM [1]

Feature-based SLAM имеет две части в своей реализации. Frontend и Backend. Frontend предполагает работу с кадрами полученными с видеокамеры — извлечение ключевых точек изображения, получение дескрипторов и сопоставление точек на кадрах. Backend позволяет отследить трансформацию положения камеры за все время. Для корректной и точной работы алгоритма необходимо учесть и компенсировать искажения оптической камеры. Чтобы справиться с сопоставлением точек на приближенных и отдаленных объектах используется пирамида изображений — этот подход масштабирует картинку в несколько размеров и повторно ищет те же самые точки и дескриптры (особый идентификатор точки).

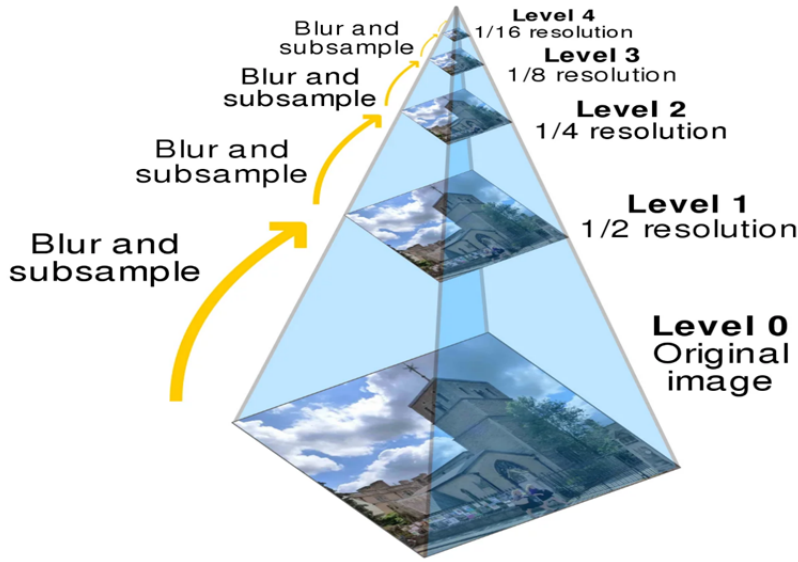


Рис. 2. Алгоритм пирамиды изображений [2]

Точки находятся благодаря алгоритму ORB [3]. В его основе лежит комбинация таких алгоритмов как детектор FAST (Features from Accelerate Segment Test) и дескриптор BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features)



Рис. 3. Пример работы алгоритма ORB

Проблемы алгоритмов класса vSLAM связаны с комбинаторным ростом числа сопоставлений особых точек и одновременным комбинаторным ростом времени на обработку и менее эффективным ростом точности каждого сопоставления кадров. Решением проблем этапа сопоставления может быть использование нейросетевых методов анализа сходства и применения методов вычислений дескрипторов особых точек на основе сверточных нейронных сетей [4]. С другой стороны, полное нейросетевое решение задачи SLAM не дает такой производительности, которую обеспечивает ее аналитический аналог. Кроме того, формирование полного нейросетевого vSLAM требует огромного набора данных. Таким образом, проведенный анализ методов сопоставления областей на основе нейросетевых моделей и классических детекторов/дескрипторов позволил оценить возможность интеграции подобной модели в рамках бортовой вычислительной системы. Дальнейшая работа будет направлена формирование vSLAMсистемы с элементами нейросетевого анализа изображений.

Литература

[1] *Sk0rpion. Визуальный SLAM: делаем HD-карты при помощи смартфона.* URL: https://habr.com/ru/companies/innopolis/articles/653929/ (дата обращения 10.11.2024).

[2] *Isha Bansal. ORB Feature Detection in Python.* URL: https://www.askpython.com/python/examples/orb-feature-detection (accessed November 08, 2024).

[3] *Unlingator. Детекторы и дескрипторы особых точек FAST, BRIEF, ORB*. URL: https://habr.com/ru/articles/414459/ (дата обращения 10.11.2024).

[4] Valeriy A.B. *ResNet-18: ищем динозавров или упражнения с векторами*. URL: https://habr.com/ru/articles/830836/ (дата обращения 10.11.2024).

Neural network implementation of SLAM tasks

Shcheglov V.A. shcheglovvladislav@mail.ru
Korlyakova M.O. mkorlyakova@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The application of neural networks to solve problems of simultaneous localization and mapping is considered. The analysis of existing approaches to solving SLAM is carried out. An overview of neural network architectures successfully used to solve various aspects of SLAM, such as detecting singular points and extracting image features, is presented. The advantages of neural network methods in comparison with traditional algorithms are shown.

Keywords: *SLAM, neural networks, visual odometry, mapping*

Секция 6. Экология и безопасность

УДК 628.381:631.438

Использование осадков сточных вод для снижения поступления радионуклидов в растения

Готвальд Елена Дмитриевна lena.gotvald@icloud.com
Тютюнькова Маргарита Викторовна tyutyunkova82@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Статья посвящена проблеме загрязнения окружающей среды радионуклидами, что в современных условиях становится все более актуальным. Исследована эффективность использования осадков сточных вод в качестве метода снижения поступления радионуклидов в растения. Охарактеризован состав осадков стоков и их влияние на связывание радиоактивных элементов в почве. Механизм действия осадков сточных вод демонстрирует, что их применение может уменьшить доступность радионуклидов для растений, способствуя более безопасному ведению сельского хозяйства.

Ключевые слова: *осадки сточных вод, радионуклиды, использование, растения*

Проблема загрязнения окружающей среды радионуклидами становится все более актуальной в современных условиях. Радиоактивные вещества могут негативно влиять не только на экологию, но и на здоровье человека [1]. В связи с этим, важным направлением является разработка методов снижения их концентрации в экосистемах, особенно в агрономии. Одним из таких методов является использование осадков сточных вод (ОСВ).

ОСВ содержат разнообразные органические и неорганические вещества, включая питательные элементы, гумусные вещества. Они являются ценным ресурсом в сельском хозяйстве, так как могут улучшать физико-химические свойства почвы и способствовать росту растений.

Радионуклиды, такие как Cs-137, Sr-90, Pu-239 и др., могут попадать в растения через корневую систему. Они накапливаются в листьях и плодах, что существенно увеличивает риски для здоровья человека при потреблении таких культур. Снижение поглощения радионуклидов растениями является важной задачей для обеспечения экологической безопасности [1].

Использование ОСВ для снижения поступления радионуклидов в растения имеет ряд преимуществ:

– эффективность: ОСВ могут эффективно снижать поступление радионуклидов в растения;

– экономичность: использование ОСВ является экономичным методом очистки окружающей среды от радионуклидов;

– улучшение плодородия почвы: ОСВ могут улучшать плодородие почвы и повышать урожайность сельскохозяйственных культур.

Однако существуют и недостатки:

– риск загрязнения: ОСВ могут содержать другие загрязнители, например тяжелые металлы, которые также могут представлять опасность для окружающей среды и здоровья человека;

– необходимость контроля: необходимо контролировать качество ОСВ перед их использованием для снижения поступления радионуклидов в растения [2].

Механизм действия ОСВ.

1. Увлажнение и улучшение структуры почвы [3]. Использование ОСВ может способствовать улучшению структуры почвы, что, в свою очередь, уменьшает подвижность радионуклидов. Водоросли и другие микроорганизмы, содержащиеся в осадках, могут связываться с радиоактивными частицами, снижая их доступность для растений.

2. Конкуренция с радионуклидами. Питательные элементы и гумусные вещества, содержащиеся в осадках, могут оказывать конкурирующее воздействие на корневую систему растений. Это может препятствовать усвоению радионуклидов, так как растения будут поглощать более доступные элементы, например K и Ca.

3. Биофильтрация. Микроорганизмы, находящиеся в осадках, могут участвовать в биофильтрации радионуклидов, связывая их и снижая их биодоступность.

Таким образом, использование осадков способствует фильтрации и очистке почвы от загрязнений.

Важно отметить, что эффективность использования ОСВ для снижения поступления радионуклидов в растения зависит от множества факторов, включая состав сточных вод, тип радионуклидов, условия окружающей среды и применяемые методы очистки. Поэтому рекомендуется проводить комплексные исследования и эксперименты перед применением данного метода на практике [3].

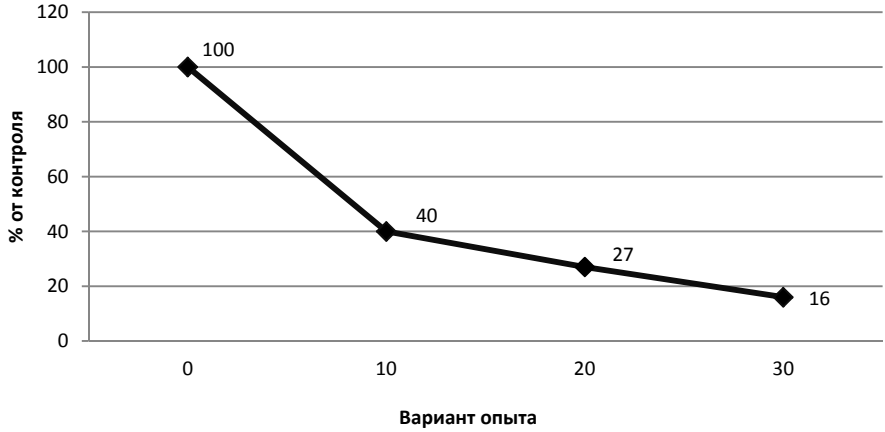
Одним из мероприятий по снижению миграции Cs-137 в растения является использование ОСВ с иловых площадок очистных сооружений канализации.

Объектами исследований явились ОСВ с иловых площадок г. Калуга, имеющие соответствующие сертификаты качества; дерново-подзолистые суглинистые почвы с удельной активностью 600–1200 Бк/кг (5–10 Ku/км^2) и сельскохозяйственные культуры — овес (сорт Скакун) и ячмень (сорт Носовский 9).

Схема опыта включала следующие варианты: без внесения ОСВ (контроль), ОСВ в дозе 10 т/га по сухому веществу (СВ), в дозе 20 т/га по СВ, в дозе 30 т/га по СВ.

ОСВ вносились осенью под вспашку. Повторность опыта трехкратная [4].

Размещение делянок одноярусное, систематическое. Площадь делянки 50 м^2. Учет урожая со всей делянки. Активность проб зерна определяли экспресс-методом по γ-излучению радиометрически. Результаты исследований представлены на рисунке [4].



Содержание радиоцезия в зерне овса и ячменя при применении осадков сточных вод (за 100 % принята удельная активность зерна в контрольном варианте без ОСВ)

Данные, представленные на рисунке, позволяют сделать вывод о наличии защитных противорадионуклидных функций у ОСВ при их почвенной утилизации в качестве удобрения зерновых культур. Содержание радиоцезия в зерне яровых культур в зависимости от дозы ОСВ может снижаться в 2,5–6,5 раза. Такой радиомелиоративный эффект ОСВ можно объяснить следующими факторами:

– за счет увеличения урожайности зерновых культур при внесении ОСВ в качестве удобрения и возникновения эффекта «разбавления» радиоцезия в большей биомассе [4];

– за счет повышения сорбционной емкости почвы по отношению к радиоцезию при внесении ОСВ как органического удобрения;

– за счет блокировки механизма поступления радиоцезия в корневую массу зерновых культур из-за сложного органоминерального полиэлементного состава ОСВ.

Таким образом, можно рекомендовать сертифицированные ОСВ в качестве удобрения зерновых культур с целью увеличения урожайности и снижения удельной активности продукции растениеводства [4].

Заключение. Использование ОСВ представляет собой перспективный метод снижения поступления радионуклидов в растения. Этот подход не только помогает решить проблему загрязнения, но и способствует улучшению качества почвы и повышению продуктивности сельского хозяйства. Однако для его широкого применения необходимы дальнейшие исследования, направленные на оценку долгосрочных последствий и безопасность использования осадков в агрономии. Таким образом, ОСВ могут стать ключевым элементом в стратегии устойчивого развития сельского хозяйства в условиях радиационных загрязнений.

Литература

[1] Ким Д., Геращенко Л.А. *Радиационная экология*. Братск, БрГУ, 2010, 213 с.

[2] Алексахин Р.М., Фесенко С.В., Санжарова Н.И., Спиридонов С.И., Воробьев Г.Т., Яковлева Н.А. О снижении содержания цезия-137 в продукции растениеводства, подвергшейся загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС. *Доклады РАСХН*, 1995, № 3, с. 20–21.

[3] Алексахин Р.М. *Проблемы радиоэкологии*. Москва, РАСХН-ГМУ ВНИИСХРАЭ, 2006, 880 с.

[4] Тютюнькова М.В., Леонова Ю.В., Малахова С.Д. Применение нетрадиционных удобрений для снижения накопления радиоцезия в сельскохозяйственной продукции. *Проблемы региональной экологии*, 2023, № 5, с. 27–31.

Using sewage sludge to reduce radionuclide intake by plants

Gotvald E.D. lena.gotvald@icloud.com
Tyutyunkova M.V. tyutyunkova82@mail.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The efficiency of sewage sludge utilisation for reduction of radionuclide intake to plants was investigated. The composition of sewage sludge and its effect on the binding of radioactive elements in soil were characterised. The mechanism of action of sewage sludge demonstrates that its use can reduce the availability of radionuclides to plants, contributing to safer agriculture.

Keywords: *sewage sludge, radionuclides, use, plants*

УДК 691.175.3

Анализ современного применения композитных материалов группы полиэфиреэфиркетон, а также технологий их нанесения в узлах трения

Анфилов Константин Львович kanfilov.@yandex.ru
Алакин Виктор Михайлович alakin.vm@bmstu.ru
Грабарев Андрей Васильевич andrei_grabarev@mail.ru
Зубарев Даниил Юрьевич zubarev.daniil.2001@gmail.com
Заверткин Евгений Александрович zavertkin8910@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены композитные материалы группы полиэфиреэфиркетоны. Актуальная работа отражает, на какие виды подразделяется рассматриваемый материал. Отражено, как изменение состава полимера влияет на его свойства. Рассмотрены такие модификаторы, как углеволокно и стекловолокно. Исследованы варианты применения ПЭЭК, в качестве антифрикционного материала в узлах на примере подшипников скольжения и качения. Исследованы зарубежная и отечественная технологии нанесения полиэфиреэфиркетона на металлическую подложку.

Ключевые слова: *полиэфиреэфиркетон, подшипник, углеволокно, стекловолокно*

Полиэфиреэфиркетоны (ПЭЭК) представляют собой химическое соединения, отличающиеся высокими прочностными свойствами. Внесение графита за счет диффузии кислорода повышает термостабильность. Применение углеволокна обеспечивает лучшее скольжение, что в рамках сухого трения приводит к более устойчивой эксплуатации. Данный компонент в зависимости от процентного содержания обеспечивает такие свойства, как высокая жесткость, химическая стойкость, стабильность размеров, радиационная устойчивость. Использование стекловолокна позволяет выдерживать длительные статические нагрузки при высоком термическом воздействии [1].

Одной из актуальных сфер промышленности использования ПЭЭК является машиностроение, в данном случае рассматривается в рамках нанесения материала на рабочие поверхности подшипников скольжения и качения. Так как подшипники в процессе работы сопрягаются с шейкой вала, то в следствии контакта может произойти отслаивание материала футеровки подшипника, усталостное истирание внутренней поверхности, а также заклинивание вала. Использование самосмазывающихся материалов способно улучшить их характеристики трения и износа, снизить сопротивление пусковому трению и обеспечить нормальную работу без использования смазочных материалов [2].

Так как полиэфиреэфиркетон характеризуется, как композит с одним из самых низких показателей износа вследствие воздействия трением, то от-

крывается широкая перспектива для применения рассматриваемого материала в качестве антифрикционного слоя, позволяющего за счёт собственной устойчивости к истиранию и мягкости по отношению к металлическим поверхностям, воздействующим на него, обеспечить по сравнению с другими материалами больший ресурс работы при одинаковых условиях. Для повышения параметра сопротивления к истиранию к исходному составу композитного материала добавляются специальные твердосмазочные наполнители, за счет которых использование дополнительных средств по снижению сил трения теряет актуальность. Примерами таких соединений является MoS_2, C_2F_4 и другие. Однако внесение вышеописанных наполнителей приводит к ухудшению механических свойств композита (предел прочности, модуль упругости и удлинение при разрыве). Для компенсации этого вносят армирующие элементы, такие углеродные волокна диаметром 7 микрометров или стекловолкна диаметром 6–9 микрометров.

В связи с ростом популярности композита разработаны различные методы для нанесения рассматриваемых материалов на детали машин.

Зарубежный метод нанесения покрытия из полукристаллических термопластов группы ПЭЭК на поверхность металлической подложки термическим распылением заключается в том, что на первом этапе на стальную пластину, применяя технологию электродугового напыления наносится подслой. В качестве подслойных материалов выбраны сплавы Cu с Ni либо бронзоникелевые сплавы. Обозначенные сплавы наносятся по принципу от мелкого зерна к крупному зерну. Последовательно наносятся слои мелкозернистой, среднезернистой и крупнозернистой фракции. Затем поверхность с нанесенным сплавом нагревают и методом горячего прессования наносят слой композита из ПЭЭК. На финальном этапе заготовку охлаждают и подвергают механической обработке шлифованием [3].

Обоснование применения медно-никелевых или бронзо-никелевых сплавов в качестве материала для изготовления промежуточного подслоя, заключается в том, что Ni, образуя многочисленные центры кристаллизации, способствует образованию мелкозернистой структуры бронзы (Cu) и снижению коэффициента ликвидации свинца, за счет чего повышаются антифрикционные свойства бронзы (Cu).

На данный момент разработан отечественный метод нанесения ПЭЭК на металлическую подложку. В актуальном случае подслой наносится в качестве мелкодисперсных частиц металла, используя технологию электродугового напыления. Такой способ позволяет, меняя силу тока и давление подачи воздуха, получать различную величину зерна. Начальный слой — мелкозернистой фракцией 0,05–0,1 мм обеспечивают более прочную адгезию стальной подложки и подслоя. В завершение осуществляют напыление слоев со среднезернистой (0,1–0,25 мм) и крупнозернистой (0,3–0,5 мм) фракцией, что обеспечивает прочную адгезию уже со слоем композита ПЭКК. Толщина трех слоев может составлять до 0,6 мм. В завершении на полученный подслой наносят слой ПЭЭК [4].

Таким образом можно сделать вывод, что применение самосмазывающихся материалов, а именно группы полиэфирэфиркетона, способно обеспечить высокие показатели износостойкости и безотказности работы в узлах трения. Дальнейшее совершенствование технологий нанесения рассматриваемого материала обеспечит более устойчивую адгезию между поверхностями композита и металлических изделий, что обеспечит надежность соединения между сопрягаемыми поверхностями.

Литература

[1] Бажева Р.Ч., Хараев А.М. Полэфиркетоны: синтез, свойства, применение (обзор). *Пластические массы*, 2018, № 7–8, с. 15–23.

[2] Шаов А.Х., Хараев А.М., Микитаев А.К., Карданов А.З., Хасбулатова З.С. Ароматические полиэфиркетоны и полиэфирэфиркетоны. *Пластические массы*, 1990, № 11, с. 14–18.

[3] Бажева Р.Ч., Бахов Р. Т., Казанчева Ф.К., Хараева А.М., Хараева Р.А. Ароматические полиэфиркетоны и полиэфирэфиркетоны как перспективные термостойкие конструкционные материалы. *Новые полимерные композиционные материалы. Всерос. науч-практ. конф.: сб. материалов.* Нальчик, КБГУ, 2005, с. 68–72.

[4] Покотило Н.И. *Способ нанесения антифрикционного материала на основе полиэфирэфиркетона на стальную подложку*. Патент № 2699609C1 РФ, 2018, бюл. № 25, 8 с.

Analysis of the modern application of composite materials of the polyesteresterketone group, as well as technologies for their application in friction units

Anfilov K.L. kanfilov.@yandex.ru
Alakin V.M. alakin.vm@bmstu.ru
Grabarev A.V. andrei_grabarev@mail.ru
Zubarev D.Y. zubarev.daniil.2001@gmail.com
Zavertkin E.Al. zavertkin8910@gmail.com

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

Composite materials of the polyesteresterketone group are considered. The actual work reflects the types of material under consideration. It reflects how the change in the composition of the polymer affects its properties. Modifiers such as carbon fiber and fiberglass are considered. The options for using PEEK as an antifriction material in assemblies are considered using the example of sliding and rolling bearings. Foreign and domestic technologies for applying polyesterephyrketone to a metal substrate have been studied.

Keywords: *polyesteresterketone, bearing, carbon fiber, fiberglass*

УДК 547.233: 547-304.2

Амины: польза и вред

Ильющенко Алина Александровна alina_ily1719@mail.ru
Анфилов Константин Львович kanfilov@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Исследованы органические соединения — амины, содержащие азот. Показана их значимость в биохимии, медицине и промышленности. Амины, являясь производными аминокислот, играют ключевую роль в синтезе белков, а также используются в фармацевтике для создания лекарств, включая антидепрессанты и препараты против рака. В промышленности они служат сырьем для производства красителей, пигментов и косметики. Также представлены негативные последствия аминов. Подчеркивается необходимость соблюдения технологий хранения и контроля качества для минимизации рисков, связанных с потреблением рыбной продукции, что важно как для производителей, так и для потребителей.

Ключевые слова: *амины, органические соединения, свойства аминов, аммиак, химические вещества, рыбная промышленность, биогенные амины*

Амины — это органические соединения, содержащие азот, часто полученные из аммиака. Их структура состоит из центрального атома азота, связанного с атомами водорода и другими органическими группами. Амины, производные аминокислот и важные органические соединения, содержат одну или несколько аминогрупп (-NH_2) в своей структуре. Эти вещества играют ключевую роль в различных биохимических процессах, являются компонентами многих природных и синтетических веществ [1].

Амины играют важную роль в жизнедеятельности организмов, однако их влияние может быть как положительным, так и отрицательным.

Рассмотрев свойства аминов, можно выделить их пользу.

1. *Биологическая роль*. Амины играют важную роль в биохимии живых организмов. Например, аминокислоты, состоящие из аминогруппы и карбоксильной группы, являются строительными блоками белков. Они участвуют в синтезе нейропередатчиков (таких, как дофамин и серотонин) и других важных молекул, необходимых для нормального функционирования организма.

2. *Применение в медицине*. Некоторые амины используют в фармацевтике. Например, антидепрессанты и антипсихотические препараты часто содержат аминогруппы в своей структуре. Амины также применяются для создания лекарств, эффективных против различных заболеваний, в том числе против рака и сердечно-сосудистых болезней.

3. *Промышленные применения* [2]. Амины служат сырьем для производства химических веществ, таких как пигменты, красители, биоциды и различные полимеры. Они также используются в производстве косметики, добавок

к пище и моющих средств. Благодаря своим свойствам, амины способны улучшать характеристики материалов, увеличивая их прочность и устойчивость к воздействию внешней среды.

Вредные свойства аминов [3].

1. *Влияние на окружающую среду*. Амины могут негативно влиять на экосистемы. Некоторые соединения, такие как диэтиламин и триэтиламин, могут быть токсичны для водных организмов. Они способны накапливаться в водоемах и почве, нарушая биологические процессы и экосистемы.

2. *Потенциальная канцерогенность*. Некоторые ароматические амины, используемые в промышленности, были связаны с повышенным риском развития рака. Например, амины, содержащиеся в табачном дыме или образующиеся при переработке угля, могут быть канцерогенны. Поэтому работники, занимающиеся производством или использованием таких соединений, подвержены дополнительным рискам.

Амины представляют собой класс соединений, что одновременно обладают значительными преимуществами и потенциальными рисками. Их полезные свойства в медицине и промышленности делают их незаменимыми, тогда как некоторый их вид — опасными для здоровья и окружающей среды.

Амины играют важную роль в пищевой промышленности, особенно в рыбной. Однако, как и в других отраслях, их влияние может быть как полезным, так и вредным [4].

Амины, такие как триптофан и гистидин, являются предшественниками биогенных аминов, таких как гистамин, серотонин и другие. Они могут вносить свой вклад во вкусовые качества рыбы и морепродуктов. На определенном этапе хранения рыбы гистамин может образовываться в результате расщепления белков, что придает продукту особый вкус.

Аминокислоты, из которых состоят белки рыбы, являются высококачественными источниками питательных веществ. Они важны для роста и развития, а также способствуют поддержанию здоровья. Рыба является одним из лучших источников омега-3 жирных кислот и аминокислот, что делает ее ценным продуктом для здоровья человека.

При неправильном хранении и обработке рыбы могут образовываться биогенные амины, такие как гистамин, тирамин. Эти соединения могут вызывать пищевые отравления. Особенно это актуально для рыбы, которая хранится слишком долго или неправильно, т. е. при несоответствующих температурах. Потребление таких продуктов может привести к гистаминовым отравлениям, характеризующимся аллергическими реакциями, тошнотой и головной болью [5].

Некоторые амины могут быть токсичными даже в небольших количествах. Например, чрезмерное потребление гистамина может привести к острым аллергическим реакциям. У людей с предрасположенностью к аллергиям и непереносимости определенных веществ риск отравления возрастает.

Исследование показало, что амины играют двустороннюю роль в рыбной промышленности: с одной стороны, они могут улучшать вкусовые характе-

ристики и питательную ценность продуктов, а с другой, представляют опасность для здоровья при неправильном хранении и обработке. Чтобы минимизировать риски, производители должны строго соблюдать технологии хранения и транспортировки, а также использовать эффективные методы контроля качества рыбы и морепродуктов. Понимание ролей аминов в этой области поможет как потребителям, так и производителям обеспечить безопасность и высокое качество рыбной продукции.

Литература

[1] Акимова Т.И., Дончак Л.Н., Багрина Н.П. *Органическая химия*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 164 с.

[2] Клопов М.И. *Физическая и коллоидная химия*. Санкт-Петербург, Лань, 2021, 72 с.

[3] Белобородов В.Л. *Органическая химия. Основной курс*. Москва, Дрофа, 2008, 2008, 639 с.

[4] Еремин В.В., Кузьменко Н.Е., Лунин В.В., Дроздов А.А. *Амины*. Москва, Дрофа, 2012, 152 с.

[5] Головин А.Н. *Контроль производства рыбной продукции*. Москва, Пищевая промышленность, 1984, 156 с.

Amines: benefits and harm

Ilyushenko A.A. alina_ily1719@mail.ru
Anfilov K.L. kanfilov@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article examines organic compounds — amines containing nitrogen. The work shows their importance in biochemistry, medicine and industry. Amines, being derivatives of amino acids, play a key role in protein synthesis and are also used in pharmaceuticals to create drugs, including antidepressants and anti-cancer drugs. In industry, they serve as raw materials for the production of dyes, pigments and cosmetics. The article also presents the negative effects of amines. The work emphasizes the need to comply with storage technologies and quality control to minimize the risks associated with the consumption of fish products, which is important for both producers and consumers.

Keywords: *amines, organic compounds, properties of amines, ammonia, chemicals, fishing industry, biogenic amines*

УДК 691.57:697.941

Рекуперация ЛВЖ из отходящих газов лакокрасочных производств

Никишкина А.А ***ФИО автора полностью*** n.nikishkina42@gmail.com
Анфилов Константин Львович kanfilov@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрена проблема загрязнения окружающей среды отходящими газами лакокрасочных производств, рассмотрено негативное влияние загрязненного воздуха на окружающую среду, а также проанализированы методы рекуперации летучих органических веществ. Цель работы — изучение проблемы загрязнения окружающей среды отходящими газами лакокрасочного производства и методов рекуперации летучих органических веществ, анализ процесса работы, преимуществ и недостатков основных методов рекуперации.

Ключевые слова: *загрязненный воздух, лакокрасочное производство, рекуперация, летучие органические вещества (ЛВЖ)*

Лакокрасочная промышленность является важной частью современного производства, обеспечивая защиту и декоративные свойства различных материалов. Однако процесс нанесения лакокрасочных материалов сопровождается образованием значительных объемов отходящих газов, содержащих летучие органические вещества (ЛВЖ). Эти вещества представляют собой серьезную экологическую опасность, поэтому рекуперация ЛВЖ из отходящих газов становится актуальной задачей для предприятий, стремящихся снизить негативное влияние на окружающую среду и повысить экономическую эффективность.

Процессы, связанные с нанесением красок и лаков, приводят к выделению ЛВЖ в атмосферу, что может вызывать загрязнение воздуха и негативно сказываться на здоровье человека. Эти вещества могут быть токсичными и канцерогенными, что требует от производителей внедрения технологий, направленных на их утилизацию и рекуперацию. Согласно исследованиям, до 80 % ЛВЖ может быть потеряно в процессе нанесения покрытий, что не только вредит экологии, но и приводит к значительным экономическим потерям [1].

Рекуперация ЛВЖ — это процесс улавливания и повторного использования летучих веществ жидкости, содержащихся в отходящих газах производств, таких как лакокрасочная и химическая промышленности. Этот метод направлен на извлечение ценных органических веществ из выбросов, которые в противном случае были бы выброшены в атмосферу. Процесс рекуперации не только снижает загрязнение воздуха, но и позволяет вернуть в производственный цикл вещества, что снижает затраты на сырье.

Рекуперация ЛВЖ из отходящих газов может быть осуществлена с использованием различных технологий, каждая из которых имеет свои особенности и преимущества.

Адсорбция — это процесс улавливания молекул ЛВЖ на поверхности твердых пористых материалов, называемых адсорбентами. Среди наиболее популярных адсорбентов — активированный уголь и цеолиты, которые эффективно удерживают молекулы ЛВЖ на своей поверхности. Отходящие газы, содержащие ЛВЖ, проходят через слой адсорбента. Молекулы ЛВЖ оседают на поверхности адсорбента, и очищенный воздух выводится наружу. Когда адсорбент насыщается, его регенерируют (нагревом или вакуумной обработкой), чтобы освободить ЛВЖ. Преимуществами метода адсорбции является высокая эффективность улавливания при низких концентрациях ЛВЖ и возможность повторного использования адсорбента после регенерации. К недостаткам процесса адсорбции можно отнести ограниченный срок службы адсорбентов из-за их постепенного загрязнения и потери эффективности, а также затраты на регенерацию и поддержание адсорбентов в рабочем состоянии [2].

Конденсация основана на снижении температуры отходящих газов до точки, при которой ЛВЖ переходят из газообразного состояния в жидкое. Это позволяет собрать ЛВЖ в концентрированном виде. Отходящие газы охлаждаются (посредством теплообменников или специальных холодильных установок) до температуры ниже температуры конденсации ЛВЖ. ЛВЖ оседают в виде жидкости и собираются для дальнейшего использования или переработки. Очищенные газы выводятся наружу или подвергаются дальнейшей очистке. Преимуществами метода конденсации является возможность получения концентрированных ЛВЖ, пригодных для повторного использования и высокая эффективность при обработке газов с высокой концентрацией ЛВЖ. Недостатками являются высокие энергетические затраты на охлаждение и неэффективность для газов с низкой концентрацией ЛВЖ, так как затраты на охлаждение становятся неоправданными.

Мембранная фильтрация — это метод, при котором ЛВЖ разделяются с помощью мембран, способных пропускать только определенные молекулы, удерживая другие. Отходящие газы подаются на мембрану, которая разделяет смесь на очищенный газ и газ, обогащенный ЛВЖ. ЛВЖ проходят через мембрану, после чего могут быть собраны для последующего использования. Мембраны можно комбинировать с другими методами, чтобы повысить эффективность процесса. Преимуществами метода мембранной фильтрации являются низкие эксплуатационные затраты, так как мембраны не требуют особого обслуживания и высокая селективность, что позволяет получать более чистые ЛВЖ. К недостаткам этого метода относится ограниченная эффективность для широкого спектра органических веществ [3].

Абсорбция подразумевает поглощение ЛВЖ жидкими поглотителями. Применяемые абсорбенты могут быть как водные растворы, так и органические жидкости, способные эффективно поглощать определенные ЛВЖ. Газовая смесь с ЛВЖ проходит через слой абсорбента. ЛВЖ растворяются в абсорбенте, а очищенные газы выводятся наружу. После насыщения абсорбент регенерируется или заменяется. Преимущества метода абсорбции: хорошая

эффективность для газов с высокой концентрацией ЛВЖ и возможность настройки состава абсорбента для улавливания конкретных ЛВЖ. К недостаткам метода относятся затраты на регенерацию или замену абсорбента и потенциальное образование жидких отходов, требующих дальнейшей обработки.

Криогенная рекуперация — метод, являющийся подтипом конденсации, но основанный на экстремально низких температурах (криогенных). Криогенная рекуперация позволяет максимально эффективно конденсировать и собирать ЛВЖ, даже при очень низких их концентрациях в отходящих газах. Газы охлаждаются до криогенных температур, при которых ЛВЖ переходит в жидкость или даже в твердое состояние. Собранные ЛВЖ можно либо использовать повторно, либо безопасно утилизировать. Преимуществами этого метода является максимальная эффективность для газов с низкими концентрациями ЛВЖ и возможность получения практически чистого ЛВЖ для дальнейшего использования. Недостатки: высокие энергетические затраты и необходимость применения специального оборудования для работы с криогенными температурами [4].

Рекуперация ЛВЖ из отходящих газов лакокрасочных производств представляет собой важное направление для повышения устойчивости и конкурентоспособности предприятий. Внедрение современных технологий позволит не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и повысить экономическую эффективность производства.

Литература

[1] Васюкова А.Т., Славянский А.А., Ярошева А.И. *Экология*. Санкт-Петербург, Лань, 2021, 180 с.

[2] Дмитренко В.П., Мессинева Е.М., Фетисов А.Г. *Управление экологической безопасностью в техносфере*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 428 с.

[3] Грушко М.П., Мелякина Э.И., Волкова И.В., Зайцев В.Ф. *Прикладная экология*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 268 с.

[4] Силкин А.А. *Методы очистки воздуха от газообразных примесей*. Нижний Новгород, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2019, 18 с.

Recovery of flammable liquids from waste gases of paint and varnish production

Nikishkina A.A. n.nikishkina42@gmail.com
Anfilov K.L. kanfilov@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The problem of environmental pollution by exhaust gases of paint and varnish production is considered, the negative impact of polluted air on the environment is considered, and methods of recovery of volatile organic substances are analyzed. The purpose of the report is to consider the problem of environmental pollution by exhaust gases of paint and varnish production and methods of recovery of volatile organic substances, analysis of the work process, advantages and disadvantages of the main methods of recovery.

Keywords: *polluted air, paint and varnish production, recovery, volatile organic substances (VOS)*

УДК 628.5

Обеспечение безопасной работы на печах кипящего слоя обжигового цеха

Никулина Светлана Николаевна voinsveta579@mail.ru
Васильев Артем Сергеевич artemm245@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены опасные факторы, возникающие в обжиговом цехе, и меры по их предотвращению. Представлены способы обеспечения безопасной работы на печах кипящего слоя. Были приведены необходимые требования для создания безопасных условий деятельности при взаимодействии с оборудованием в цеху обжига. В эти требования входят специальные технологические решения, правила поведения на рабочих местах и средства индивидуальной защиты рабочих. Данные сведения могут быть полезны в ознакомительных целях для тех, кто связан с процессами обжига на различных предприятиях и работает с печами кипящего слоя.

Ключевые слова: *обжиговый цех, печь кипящего слоя, персонал, пыли, газы*

Получение чистого металла без примесей является одним из важных направлений в металлургической промышленности. Одним из ключевых этапов в таком производстве будет осуществление обжига металлургических концентратов. Данная технологическая операция выполняется за счет специальных печей кипящего слоя. Такие печи используются для обжига, сушки, кальцинации и остальных процессов. Принцип их действия основан на равномерной подаче нагретого воздуха или газа из подины печи в результате которого засыпаемая шихта находится во взвешенном состоянии, в образовавшимся кипящем слое. При этом деятельность обжигового цеха сопровождается образование различных побочных продуктов и эффектов, способных оказывать негативное влияние на человека. Вдобавок технология обжига в печах кипящего слоя не полностью автоматизирована и требует присутствие рабочего персонала. Все это создает необходимость в обеспечении контроля за рабочей деятельностью [1].

Учитывая вышесказанное, целью данной темы будет предоставление актуальной информации об обеспечении безопасной работы на печах кипящего слоя обжигового цеха.

Задачами работы являются информирование об источниках вредных и опасных факторов в обжиговом цехе, способах их предотвращения, а также меры по обеспечению безопасности сотрудников при работе с печами кипящего слоя.

К основным отклонения условий труда от нормы относится [2]:

– высокая концентрация окислы серы в газах;
– большое количество пыли на площадках;
– высокая температура воздуха возле печи, циклонов и газоходов.

Источниками выделения пыли и газов являются: люки на циклонах, газоходах, котлах-утилизаторах; сливной порог для выгрузки огарка; щели на сварных швах; уплотнения термопар и т. д. При нехватке средств тяги и засорении газоходных отверстий возникают очень сложные по газу условия работы в области установки печей кипящего слоя. Для серьезных улучшений санитарных условий труда важно обращать внимание на конструкцию дозирующих и запорных устройств различного назначения и места их установки. Необходимо усиливать и аспирационные отсосы от мест выгрузки огарка и пыли.

Снижение теплового излучения от горячих поверхностей достигается усилением внутренней теплоизоляции и затем установкой стальных экранов, обеспечивающих комфортный доступ для обслуживания и осмотров соответствующих мест обжиговой печи [2].

Пыль обжигового цеха содержит [2]:

– ZnO — 0,65 мг/м^3 при ПДК = 1,5 мг/м^3;

– SO_2 — 4 мг/м^3 при ПДК = 10 мг/м^3;

– Pb — 0,07 мг/м^3 при ПДК = 0,15 мг/м^3.

На рабочих площадках, лестницах и полах, на поверхности циклонов, газоходов и другого строительного и технического оборудования необходимо организовывать плановую уборку пыли с помощью пневматических вакуумных систем. В некоторых случаях более оптимальна гидравлическая уборка полов и площадок. Этими методами достигаются не только благоприятные условия труда, но и уменьшаются механические потери цветных металлов [3].

Специфические условия работы происходят в дутьевых камерах под подиной печи кипящего слоя. Чаще всего работа связана с заменой и ревизией воздухораспределительных сопел. Допускать проведение таких работ без основательной прочистки подины недопустимо. Особенно опасны работы в дутьевых камерах при нахождении в печи горячего материала [3].

Ремонт или чистку поверхностей или газоходов охлаждения газов при краткосрочных горячих остановках печи необходимо выполнять после относительно долгой холостой продувки кипящего слоя для максимального удаления сернистых газов и уменьшения температуры в печи и газоходном тракте. Порядок действия и распределение обязанностей среди персонала при возникновении опасных ситуаций при любых работах регламентируется стандартами и инструкциями предприятий [3].

В обжиговом цехе завода существует несколько мест, потенциально опасных для сотрудников. К таким местам можно отнести [4]:

– мостовые краны в складах;

– вращающиеся части дымососов и воздуходувов в соответствующих отделениях цеха;

– конвейерные галереи со складов концентрата;

– латки выпуска огарка из обжиговых печей;

– нагретая наружная поверхность обжиговых печей.

В таких цехах используются следующие рабочие напряжения [4]:

– 6 кВ — для питания двигателей дымососов и воздуходувов, а также повышающего трансформатора электрофильтров;

– 36 В — для питания местного освещения и переносных электроинструментов;

– 220 В — для питания электрического освещения;

– 380 В — энергопотребления остального оборудования.

Цеховые сети напряжения меньше 1000 В трех-, четырехфазные с заземленной централью. Питающие кабели и провода положены либо в металлических заземленных трубах, либо в кабельных каналах, либо на недоступной высоте. Поражение рабочего персонала электрическим током возможно при пробое изоляции проводов, токопроводящих частей и кабелей электрооборудования. Сотрудники могут получить термические ожоги при прикосновении к нагретой наружной поверхности печи [4].

Аварийные ситуации в цехе происходят из-за нарушения технологического процесса обжига и, в первую очередь, при отводе обжиговых газов, что может привести к их массовому выбросу в помещение цеха, а также к возгоранию электрооборудования в нем. Регулирование технологического процесса происходит дистанционно в большинстве случаев. В результате этого технический персонал практически не подвергается воздействию теплового излучения, источником которого являются нагретые до 60–80 °С внешние поверхности печей кипящего слоя. Ремонтный персонал (механики, электрики) получает небольшое тепловое облучение, когда выполняет периодические осмотры и мелкий ремонт соответствующего оборудования в обжиговом цехе. В воздух рабочей зоны цеха поступает сернистый ангидрид SO_2 в количество 4 мг/м^3 при ПДК = 10 мг/м^3 [5].

Сильные источники вибрации и шума находятся в дымососном и воздуходувном отделениях обжигового цеха. Значение шума в этих местах достигает 110–115 дБ при допустимом уровне в 85 дБ. Вибрация по вибрационной скорости равна 0,45·10 м/с и не превышает допустимых норм благодаря тому, что воздуходувы и дымососы установлены на мощные виброгасящие фундаменты [5]. Также в цехе присутствует источник вибрации и шума, когда осуществляется периодическое встряхивание стояков. В остальных местах цеха уровень вибрации и шума не превышает допустимых значений.

Источники инфразвука, ультразвука, ионизирующих излучений и электромагнитных полей в цеху обжига отсутствуют.

Для уменьшения несчастных случаев в процессе производства транспортеры огорожены от смотровых садков объемными решетчатыми ограждениями. Вращающиеся элементы дымососов, воздуходувов и другого технологического оборудования закрыты сплошными металлическими кожухами. Для защиты рабочих от удара энергетическим потоком в цехе применяют следующие технические меры защиты [6]:

– небольшие напряжения, использующиеся для электропитания оборудования и местного освещения при проведении ремонтных работ;

– периодическая профилактика и контроль повреждений изоляции электрооборудования;

– предотвращение прикосновения к токоведущим частям за счет расположения кабелей и проводов в металлических трубах, кабельных каналах и на недопустимой высоте;

– заземление оборудования;

Персонал, связанный с электротехническим оборудованием, имеет в наличии следующие изолирующие защитные средства [6]:

1) основные:

– в установках с напряжением более 1000 В — диэлектрический штамп, указатели напряжения, диэлектрические подставки, оперативные и изолирующие клещи;

– в установках с напряжением до 1000 В — индикаторы напряжения, диэлектрические перчатки, инструмент с изолирующими рукоятками;

2) дополнительные:

– диэлектрические коврики, боты.

Так как управление техническим процессом происходит дистанционно и нахождение людей в главных помещениях ограниченно по времени, то какие-либо технические и организационные меры защиты от теплового излучения не предусмотрено. Нормализация микроклимата основных помещений обжигового цеха зимой и летом осуществляется за счет общеобменной вентиляции [7].

Продукты обжига (пыли и газы) могут поступать в воздух цеха только в виде незначительных утечек из технологического оборудования. Большая часть продуктов улавливается в газоходной системе цеха. Обжиговые газы направляются в сернокислотный цех завода, а пыли, уловленные в циклонах, стояках и электрофильтрах — в вельц-цехе. Сотрудники пользуются такими индивидуальными средствами защиты от газов и пыли, как респираторы. Удобный и наиболее часто используемый для этих целей респиратор «лепесток». Для защиты от шума применяются шумозащитные наушники [7].

Подводя итоги, можно сказать, что была рассмотрена вся необходимая информация о принципах обеспечения безопасности персонала на рабочих местах в обжиговом цехе. Проанализировав данные, можно сделать вывод, что систематические осмотры с занесением в специальные журналы состояния оборудования, технологии и конструкций являются главной профилактической работой по созданию безаварийной технологии обжига металлургических концентратов в печах кипящего слоя.

Литература

[1] Марченко Н.В., Вершинина Е.П., Гильдебрандт Э.М. *Подготовка и обжиг сульфидных цинковых концентратов*. Красноярск, Сиб. Федерал. ун-т., 2011, 118 с.

[2] Мунц В.А., Филипповский Н.Ф., Баскаков А.П. Топка с кипящим слоем как объект регулирования. *Теплоэнергетика*, 1998, № 6, с. 15–19.

[3] Мунц В.А., Ивакина С.А., Терентьев В.М. Газообразование при обжиге цинкового концентрата в кипящем слое. *Цветные металлы*, 2017, № 2, с. 40–45.

[4] Притыкин Д.П. *Механическое оборудование заводов цветной металлургии*. Москва, Металлургия, 1988, 392 с.

[5] Набойченко С.С. *Процессы и аппараты цветной металлургии*. Екатеринбург, Уральский Федерал. ун-т, 2013, 564 с.

[6] Старк С.Б. *Пылеулавливание и очистка газов в металлургии*. Москва, Металлургия, 1977, 320 с.

[7] Тимонин А.С. *Инженерно-экологический справочник*. Калуга, Изд-во Н. Бочкаревой, 2010, 211 с.

Ensuring safe operation in the fluidized bed furnaces of the roasting shop

Nikulina S.N. voinsveta579@mail.ru

Vasiliev A.S. artemm245@mail.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article considers hazardous factors arising in the roasting shop and measures to prevent them. Methods for ensuring safe operation in the fluidized bed furnaces are presented. The necessary requirements for creating safe working conditions when interacting with equipment in the roasting shop are given. These requirements include special technological solutions, rules of conduct in the workplace and personal protective equipment for workers. This information can be useful for informational purposes for those involved in roasting processes at various enterprises and working with fluidized bed furnaces.

***Keywords**: roasting shop, fluidized bed furnace, personnel, dust, gases*

УДК 504.06

Экологические аспекты при внедрении новых технологий остекления самолетов

Жукова Юлия Михайловна zjuliam@hotmail.com
Бурсина Екатерина Андреевна bursina.catu@yandex.ru
Жуков Янислав Дмитриевич zhukovyad@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены ключевые аспекты, связанные с внедрением новых технологий остекления самолетов. Производственный процесс остекления сопровождается выделением вредных веществ, которые могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду и здоровье работников. Для минимизации выбросов и соблюдения экологических норм на предприятиях применяются системы пылегазоочистки, которые позволяют эффективно улавливать и нейтрализовать загрязняющие вещества. Рассмотрение данных технологий помогает оценить их эффективность и вклад в повышение экологической безопасности в авиационной промышленности

Ключевые слова: *авиастроение, авиационное стекло, вредные вещества, загрязнение, системы пылегазоочистки*

В связи с развитием авиастроения и стремлением к повышению безопасности и комфорта полетов, остекление самолетов стало одной из ключевых областей инноваций в авиационной промышленности. Современные воздушные суда выполняют рейсы на больших высотах и в условиях экстремальных перепадов температуры и давления, что требует от конструкционных элементов исключительной прочности, устойчивости и долговечности. Прозрачные элементы (лобовые стекла кабины пилотов и иллюминаторы для пассажиров) должны не только выдерживать высокие нагрузки, но и обеспечивать отличную видимость и защиту от ультрафиолета, предотвращая при этом обледенение и запотевание [1].

Производство авиационного стекла — это высокотехнологичный процесс, включающий использование прочных и легких материалов (например, акрила и поликарбоната) и многослойного ламинирования для повышения прочности. Специальные покрытия защищают стекло от ультрафиолета и обледенения, а электрохромные технологии позволяют изменять прозрачность для улучшения видимости [2].

Процесс производства стекла состоит из нескольких стадий.

1. Формирование слоев и ламинирование. Создаются многослойные конструкции, где каждый слой имеет конкретные свойства (например, противоударный или светозащитный). Ламинирование объединяет слои повышая прочность и предотвращая разлет осколков при повреждении.

2. Нанесение защитных покрытий. На поверхность наносятся покрытия для защиты от ультрафиолета, антибликовые слои и электрообогрев для

предотвращения обледенения. Электрохромные покрытия, применяемые в некоторых моделях, позволяют изменять степень прозрачности под воздействием электрического тока.

3. Тестирование и контроль качества. Производство авиационного стекла связано с выбросами различных вредных веществ, которые могут оказывать влияние на окружающую среду и здоровье работников [2, 3]. Основные выбросы возникают на этапах плавки, ламинирования, нанесения покрытий и финишной обработки [3].

При плавлении и формировании стекла выбрасываются углекислый газ (CO_2), оксиды серы (SO_x), оксиды азота (NO_x) и летучие органические соединения (ЛОС). Эти вещества могут способствовать загрязнению воздуха.

4. Использование химикатов и растворителей. В процессе нанесения специальных покрытий и ламинатов применяются химические вещества, включая органические растворители и смолы. Это может приводить к выбросам летучих органических соединений (ЛОС), которые способствуют загрязнению воздуха.

5. Процессы обработки и резки. На этапе резки и шлифовки могут выделяться частицы пыли, содержащие кварц и другие вещества. Такие микрочастицы, если не улавливаются фильтрами, могут попадать в воздух и представлять опасность для дыхательной системы.

6. Электрохромные покрытия и ламинирование. При производстве многослойного и электрохромного стекла используются полимеры и покрытия, в составе которых могут быть вредные соединения. При термической обработке этих покрытий возможны выбросы токсичных соединений, таких как фенолы и формальдегид.

Для снижения выбросов вредных веществ необходимо применять системы пылегазоочистки. Прежде всего это газоуловители сухого и мокрого типа. При сухом способе используется система из нескольких гидроциклонов, а для мокрой — гидродинамический пылеуловитель. Конструкции этих установок могут быть различными: промышленные пылесосы, циклоны, скрубберы, рукавные фильтры и т. п. Эффективность таких установок варьируется от 95 до 99 %.

Электрофильтры — еще одна система очистка пыли от газов. Принцип работы основан на ионизации и последующем осаждении заряженных частиц. Степень очистки может варьироваться от 97 до 99 %.

Для утилизации образующихся паров кислот, фтористых соединений и других летучих веществ используют скрубберы и абсорберы [4].

Таким образом, эффективные системы фильтрации на производстве авиационного стекла играют важную роль в снижении экологического воздействия и защите окружающей среды. Эти установки улавливают и нейтрализуют вредные вещества, образующиеся в процессе плавки, обработки и нанесения покрытий, предотвращая загрязнение воздуха токсичными газами, микрочастицами и летучими органическими соединениями. Применение современных фильтров и замкнутых систем позволяет не только снизить выбросы вредных веществ, но и минимизировать углеродный след производства.

Литература

[1] *Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2013 2.A.3 Производство стекла*, 2013, 28 с.

[2] Широков Ю.А. *Экологическая безопасность на предприятии.* Санкт-Петербург, Лань, 2022, 360 с.

[3] ИТС 5–2015. *Производство стекла: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям*. Москва, Бюро НДТ, 2015.

[4] Чехов О.С., Назаров В.И., Калыгин В.Г. *Вопросы экологии в стекольном производстве.* Москва, Легпромбытиздат, 1990, 144 с.

Environmental aspects in the introduction of new aircraft glazing technologies

Zhukova J.M. zjuliam@hotmail.com
Bursina E.A. bursina.catu@yandex.ru
Zhukov Y.D. zhukovyad@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This paper examines the key aspects related to the introduction of new aircraft glazing technologies. The production process of glazing is accompanied by the release of harmful substances that can have a negative impact on the environment and the health of workers. To minimize emissions and comply with environmental standards, enterprises use dust and gas purification systems that effectively capture and neutralize pollutants. Consideration of these technologies helps to assess their effectiveness and contribution to improving environmental safety in the aviation industry

Keywords: *aircraft engineering, aviation glass, harmful substances, pollution, dust and gas cleaning systems*

УДК 504.06

Оценка возможного ущерба от воздействия климатических рисков региона

Жукова Юлия Михайловна zjuliam@bmstu.ru
Жуков Янислав Дмитриевич zhukovyad@student.bmstu.ru
Бурсина Екатерина Андреевна bursina.catu@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Работа посвящена оценке ущерба от климатических рисков на региональном уровне. В условиях изменения климата власти внедряют адаптационные меры для минимизации экономических и социальных потерь. Рассмотрены методики Министерства экономического развития РФ для определения климатически уязвимых объектов (КУО) и пороговых значений климатических параметров. Основное внимание уделено формированию перечня КУО и оценке ущерба на основе критических значений климатических показателей, а также предложению создания единой базы данных для мониторинга.

***Ключевые слова**: климатические риски, адаптация, устойчивость региона, КУО, оценка ущерба*

Влияние климатических рисков требует особого подхода к оценке ущерба. Региональные и федеральные органы разрабатывают рекомендации и планы адаптации для смягчения последствий климатических изменений. Адаптация включает два подхода: инкрементный (улучшение устойчивости существующих систем) и трансформационный (перенос объектов из зон риска) [1, 2].

Адаптация к изменяющимся климатическим условиям включает два ключевых подхода: инкрементный и трансформационный. Инкрементный подход направлен на сохранение текущих систем, предполагая минимальные изменения, такие как улучшение строительных норм для зданий в зонах риска. Трансформационный подход подразумевает кардинальные изменения, например перенос объектов из зон подтопления или создание новых пространств, устойчивых к климатическим рискам. Оба подхода находят применение в различных регионах страны в зависимости от специфики местных климатических угроз [3].

Министерство экономического развития разработало рекомендации по оценке ущерба от климатических воздействий. Ключевые элементы включают [4]:

– идентификацию климатических рисков;

– составление перечня КУО (например, здания и дороги в зонах подтопления);

– определение пороговых значений климатических параметров;

– оценку экономических потерь.

Уязвимые объекты варьируются по регионам. Например, в северных регионах уделяется внимание объектам на вечной мерзлоте, в южных — засухам. В Калужской области объектами КУО являются объекты, попадающие в зону подтопления (подтверждены воздействия на уровне 1 % обеспеченности (1 раз в 100 лет), на кадастровой карте установлены данные зоны. Данные зоны определены и нанесены на кадастровую карту (см. рисунок).



Зона подтопления с кадастровой карты г. Калуга

Примером уязвимых объектов являются здания, дороги и коммуникации, расположенные в зонах подтопления. Эти объекты подвержены значительным повреждениям в случае экстремальных погодных условий. Для минимизации ущерба применяются различные меры, от установки защитных сооружений до переноса объектов в более безопасные зоны. Особый акцент делается на критически важных объектах, таких как больницы, станции водоснабжения, энергостанции, функционирование которых жизненно важно для населения [4, 5].

Для повышения устойчивости к климатическим рискам регионы разрабатывают планы адаптации, включающие меры по повышению устойчивости инфраструктуры и совершенствованию механизмов страхования. Национальный план мероприятий по адаптации предусматривает завершение 17 мероприятий до 2025 г. Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата, утвержденный в 2023 г., предполагает реализацию

17 мероприятий на федеральном, отраслевом и региональном уровнях, которые должны быть завершены к 2025 г. [6–9].

В рамках госконтракта для Министерства природных ресурсов и экологии Калужской области по оценке возможного ущерба от воздействия климатических рисков региона был осуществлен запрос в ФГБУ ФКП Росреестра по перечиню объектов, попадающих под категорию уязвимых объектов для региона (зона подтопления). По результатам запроса был представлен перечень 28925 объектов, некоторые из объектов дублировались. Из перечня исключили все линейные объекты (сети водоснабжения, водоотведения, газопроводы и т. д.), а также частную жилую застройку и коммерческие объекты частной собственности, в итоге перечень сократился до 2245 объектов, дальнейшее ранжирование производилось по муниципалитетам, и был сделан запрос через системы по выпискам из ЕГРН о собственниках объектов. Только после уточнения собственников объектов был сделан запрос в муниципалитеты по стоимости и состоянии объектов на балансе муниципальных органов. В общем случаи осталось 48 объектов.

Наиболее актуальная проблема в процессе оценки ущерба от климатических рисков — это отсутствие единой базы данных по климатически уязвимым объектам (КУО). Отсутствие единой базы данных по КУО является актуальной проблемой, усложняющей процесс оценки ущерба. Создание такой базы данных позволит улучшить мониторинг и сократить временные затраты.

Комплексный подход к оценке ущерба от климатических рисков способствует минимизации последствий для экономики и повышению устойчивости регионов к изменяющимся климатическим условиям.

Литература

[1] *Адаптация к изменениям климата.* URL: https://dni-sibir-arctika.ru/wp-content/uploads/2023/12/Био-Адаптация-к-изменениям.pdf (дата обращения 10.11.2024).

[2] Булавинова М.П. *Концептуальные подходы в исследованиях адаптации к изменениям климата: обзор.* URL: https://example.com/adaptation-concept-review (дата обращения 10.11.2024).

[3] Липка О.Н., Романовская А.А., Семенов С.М. Прикладные аспекты адаптации к изменениям климата в России. *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2020, № 1, с. 65–90.

[4] *Об утверждении Методических рекомендаций по оценке возможного ущерба от воздействия климатических рисков, в том числе рекомендаций по формированию перечня климатически уязвимых объектов в отраслях экономики, в субъектах Российской Федерации и Методических рекомендаций по мониторингу и оценке эффективности и результативности мер по адаптации к изменениям климата*. Приказ Минэкономразвития России от 28.12. 2023 г. № 927. URL: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/prikaz_minekonomrazvitiya_rossii_ot_28_dekabrya_2023_g_927.html (дата обращения 10.11.2024).

[5] *Об утверждении классификатора объектов капитального строительства по их назначению и функционально-технологическим особенностям (для целей архитектурно-строительного проектирования и ведения единого государственного реестра заключений экспертизы проектной документации объектов капитального строительства).* Приказ

Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства российской федерации от 02.11.2022 г. № 928/пр. URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202302200011 (дата обращения 10.11.2024).

[6] *Об утверждении методических рекомендаций и показателей по вопросам адаптации к изменениям климата.* Приказ Министерства экономического развития РФ от 13.05.2021 № 267. URL: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/prikaz_minekonomrazvitiya_rossii_ot_13_maya_2021_g_267.html (дата обращения 10.11.2024).

[7] *Национальный план мероприятий по адаптации к изменениям климата на период до 2025 г.* URL: https://ecfs.msu.ru/news/utverzhden-naczionalnyij-plan-meropriyatij-po-adaptaczii-k-izmeneniyam-klimata-do-2025-goda (дата обращения 10.11.2024).

[8] *Об утверждении национального плана мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 г.* Распоряжение Правительства РФ от 11.03.2023 № 559-р. URL: http://government.ru/docs/all/146523/ (дата обращения 10.11.2024).

[9] *Об утверждении национального плана мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 г.* Приложение к распоряжению Правительства РФ от 11.03.2023 г. № 559-р. URL: http://static.government.ru/media/files/DzVPGlI7JgT7QYRoogphpW69KKQREGTB.pdf (дата обращения 10.11.2024).

Assessment of possible damage from the impact of climate risks in the region

Zhukova J.M. zjuliam@hotmail.com
Zhukov Y.D. zhukovyad@student.bmstu.ru
Bursina E.A. bursina.catu@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The work is devoted to the assessment of damage from climate risks at the regional level. In the context of climate change, the authorities are implementing adaptation measures to minimize economic and social losses. The methods of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation for determining climatically vulnerable facilities and threshold values of climatic parameters are considered. The main attention is paid to the formation of a list of environmental management systems and damage assessment based on critical values of climatic indicators, as well as the proposal to create a unified database for monitoring.

Keywords: *climate risks, adaptation, sustainability of the region, environmental management system, damage assessment*

Секция 7. Современные технологии в наземных транспортно-технологических системах. Прикладные проблемы механики

УДК 303.094.7

Построение имитационной модели трансмиссии

Бандура Никита Александрович bandurana@student.bmstu.ru
Сидоров Максим Владимирович sidorov.maxim.v@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрено построение имитационной модели трансмиссии автомобиля в среде MATLAB Simulink. Основное содержание исследования составляет описание модели трансмиссии, принцип действия модели и ее компонентов, а также определение крутящего момента на ведущей полуоси. Сделаны выводы, что приведенная модель трансмиссии при совместной работе с моделями других агрегатов автомобиля позволит на ранних этапах проектирования автомобиля определить его оптимальные параметры при движении в различных условиях.

Ключевые слова: *колесный автомобиль, имитационная модель, трансмиссия, Simulink.*

Трансмиссия автомобиля — это совокупность различных узлов и механизмов, передающих крутящий момент от двигателя к ведущим колесам и изменяющих его по величине и направлению.

Использование имитационной модели силового агрегата актуально тем, что позволяет уже на стадии проектирования обосновать его конструкцию и требуемые параметры, необходимые для достижения эксплуатационного назначения проектируемого автомобиля [1]. Блок трансмиссии представлен на рис. 1.

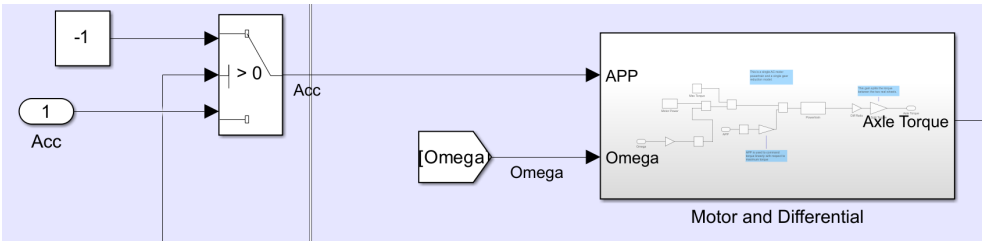


Рис. 1. Блок трансмиссии

Входными параметрами для данного блока являются угловая скорость колеса (Omega) и коэффициент изменения крутящего момента в зависимости от нажатия педали акселератора или педали тормоза (APP). Выходными параметрами модели являются: угловая скорость вращения полуоси, крутящий момент, приходящийся от двигателя, и крутящий момент на полуоси [2].

Для получения параметра APP в блоке контроллера, представленного на рис. 2, где входными параметрами являются позиция автомобиля в про-

странстве (Pose), скорость автомобиля в определенной точке (VelRef) и начальная скорость (VelFdbk).

Состав блока контроллера представлен на рис. 3.

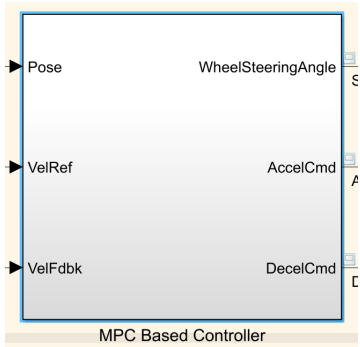


Рис. 2. Блок контроллера

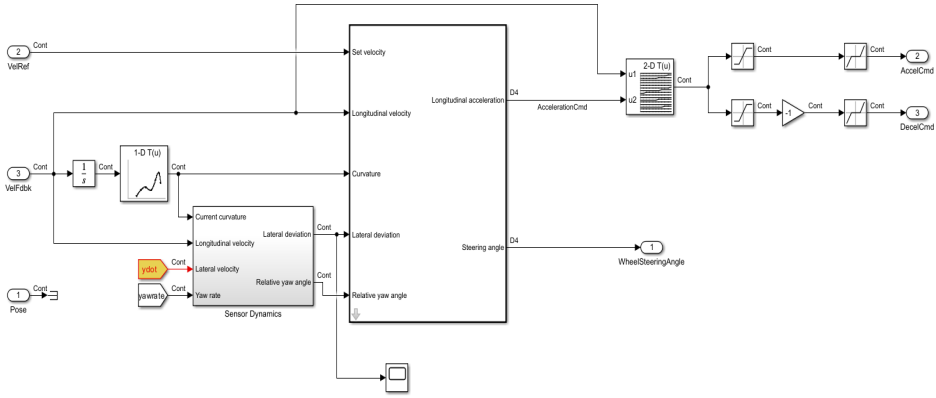


Рис. 3. Состав блока контроллера

Далее скорость автомобиля и начальная скорость поступают в блок Path Following Control System (система управления отслеживанием траектории), в котором заданы габаритные и скоростные параметры автомобиля. Из блока получаем отрицательные и положительные значения ускорения автомобиля, которые поступают в блок 2D Lookup Table, где они преобразуются в коэффициент изменения крутящего момента в зависимости от нажатия педали акселератора или педали тормоза. Из блока 2D Lookup Table значения коэффициента в два блока Saturation, которые представляют собой фильтры, для разделения на положительные и отрицательные значения коэффициента, соответствующие нажатию педали акселератора или тормоза.

Положительные значения коэффициент изменения крутящего момента поступают в блок Switch (Переключатель), который переключает выходящее значение между первым входом и третьим входом в зависимости от значения второго входа. В данном случае блок Switch переключает значение на –1 если нажата будет нажата педаль тормоза. Далее, если не нажата педаль тормоза, то положительные значения коэффициент изменения крутящего момента поступают в блок трансмиссии как параметр под названием APP.

Отрицательные значения коэффициента также проходят через блок Switch, у которого при нажатии педали тормоза выходной параметр переключается с –1 на коэффициент изменения крутящего момента, что дальше поступает в блок тормоза и колеса. Выходными параметрами этого блока являются силы, действующие на колеса, и угловая скорость колеса, которая используется в блоке трансмиссии как параметр под названием Omega.

Состав блока трансмиссии можно рассмотреть на рис. 4.

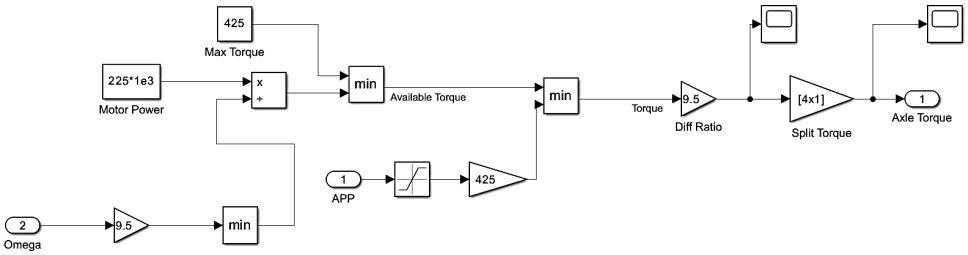


Рис. 4. Состав блок трансмиссии

С помощью блоков constant задаем параметры Motor Power (мощность двигателя) и Max Torque (максимальный крутящий момент) двигателя, проектируемого автомобиля.

Для определения крутящего момента сначала угловую скорость колеса (Omega) с помощью блока Gain переводится в число оборотов в минуту, а блок min выбирает минимальное значение. Далее с помощью блока Divide (деление) мощность двигателя делится на число оборотов, прошедшее через блок min для определения значения крутящего момента. Если рассчитанное значение крутящего момента больше Max Torque, то за крутящий момент принимается равный Max Torque, так как рассчитанное значение не может превышать допустимый предел.

Далее полученное значение крутящего момента сравнивается в блоке min со значением крутящего момента скорректированного с учетом коэффициента APP. Значение коэффициента APP зависит от режимов торможения и ускорения. Полученный суммарный крутящий момент с помощью матрицы, заложенной в следующем блоке gain распределяется на каждое из четырех колес [3].

Изменение разделенного крутящего момента показано на рис. 5.

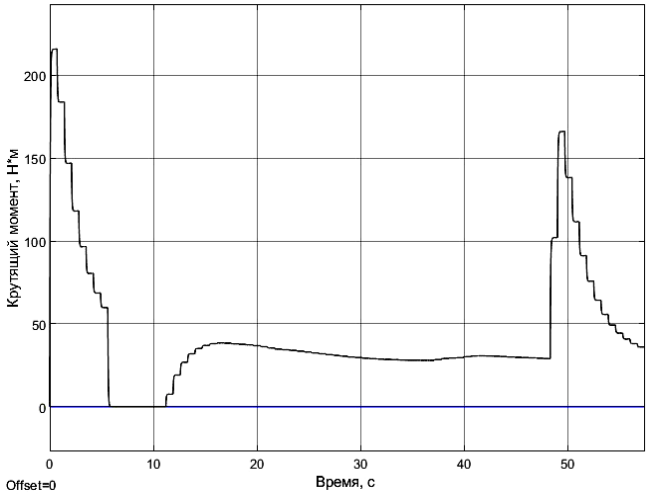


Рис. 5. Изменение крутящего момента на одном из двух ведущих колес

Благодаря разработанной модели трансмиссии, при совместной работе с моделями других агрегатов автомобиля возможно на ранних этапах проектирования автомобиля определить его оптимальные параметры при движении в различных условиях эксплуатации, что позволит изначально получить более удачную конструкцию и понизить количество реальных испытаний прототипа транспортного средства [4].

Литература

[1] Афанасьев Б.А., Белоусов Б.Н., Гладов Г.И. *Проектирование полноприводных колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.

[2] Смирнов Г.А. *Теория движения колесных машин*. Москва, Машиностроение, 1990, 352 с.

[3] Афанасьев Б.А. *Моделирование систем колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997, 30 с.

[4] Ларин В.В. *Теория движения полноприводных колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 391 с.

Building a simulation model of the transmission

Bandura N.A. bandurana@student.bmstu.ru
Sidorov M.V. sidorov.maxim.v@mail.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article considers the construction of a simulation model of a car transmission in the MatLab Simulink environment. The main content of the study is a description of the transmission model, the principle of operation of the model in general and its components in particular, as well as the determination of torque on the driving axle. It is concluded that the transmission model given in the article, when working together with models of other car units, will allow determining its optimal parameters at the early stages of car design when driving in various conditions.

Keywords: *wheeled car, simulation model, transmission, Simulink*

УДК 303.094.7

Визуализация процесса движения колесной машины в MATLAB/Simulink

Климович Артем Михайлович klimovicham@student.bmstu.ru
Сидоров Владимир Николаевич sidorov_vn@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Статья посвящена визуализации процесса движения колесной машины в среде MATLAB/Simulink. Приведен процесс подготовки данных, а также описание текста программы, содержащей координаты вершин поверхностей, образующих корпус автомобиля, колесо, опорную поверхность, а также переменную, содержащую координаты центра масс автомобиля в каждый момент времени для изображения траектории движения. Визуализация движения позволяет комплексно оценить параметры движения машины и проверить корректность используемых начальных условий.

Ключевые слова: *матрица, траектория, координаты, MATLAB/Simulink*

Программа, позволяющая визуализировать процесс движения колесной машины по результатам проведенных вычислительных экспериментов, написана на внутреннем языке программирования среды MATLAB.

Визуализация движения позволяет проверить корректность используемых начальных условий, например, определяющих геометрию автомобиля, комплексно оценить параметры движения машины.

На этапе подготовки значения параметров движения импортируются в рабочую область Workspace в виде матрицы с помощью блока «To Workspace». В блоке «To Workspace» хранятся следующие данные:

– координаты центра масс автомобиля в НСК (P_c2);

– матрица перехода из ПСК в НСК, преобразованная с помощью блока «Reshape» (в настройке блока в качестве параметра Output dimensionality (выходная размерность) выбрать 1-Darray) в матрицу с размерностью 1×9 для хранения;

– вектор координат точек центров колес в НСК (R_k2);

– вектор координат точек крепления подвесок к кузову в НСК;

– вектор координат точек крепления подвесок к колесу в НСК (формируется с учетом вертикальных перемещений колес z_k);

– углы поворота колес (alpha_k).

Первоначально в программе задаются переменные, содержащие координаты вершин поверхностей, образующих корпус автомобиля (A_vagp_0), колесо (A_kat_0), опорную поверхность (x_gr, y_gr, z_gr).

Координаты точек корпуса задаются относительно центра масс автомобиля в ПСК (рис. 1).

Колесо изображается многоугольником, координаты вершин которого задаются относительно центра колеса в МПСК. Приближенность данного многоугольника к окружности можно повысить, уменьшив шаг цикла, заполняющего матрицу A_kat_0 (рис. 2).

```
A_vagp_0{1} = [3; 0.85; -0.4]; %передняя нижняя левая точка кузова
A_vagp_0{2} = [-3.4; 0.85; -0.4]; %задняя нижняя левая точка кузова
A_vagp_0{3} = [-3.4; 0.85; 0.5]; %задняя верхняя левая точка кузова
A_vagp_0{4} = [1.4; 0.85; 0.5]; %задняя левая верхняя точка кабины
A_vagp_0{5} = [3; 0.85; 2]; %передняя верхняя левая точка кузова
A_vagp_0{6} = [3; -0.85; -0.4]; %передняя нижняя правая точка кузова
A_vagp_0{7} = [-3.4; -0.85; -0.4]; %задняя нижняя правая точка кузова
A_vagp_0{8} = [-3.4; -0.85; 0.5]; %задняя верхняя правая точка кузова
A_vagp_0{9} = [1.4; -0.85; 0.5]; %задняя правая верхняя точка кабины
A_vagp_0{10} = [3; -0.85; 2]; %передняя верхняя правая точка кузова
A_vagp_0{11} = [1.4; 0.85; 2]; %задняя верхняя левая точка кабины
A_vagp_0{12} = [1.4; -0.85; 2]; %задняя верхняя правая точка кабины
```

Рис. 1. Программный код, задающий координаты точек корпуса относительно центра масс автомобиля в ПСК

```
i = 1;
for alpha = 0:(pi/16):(2*pi-pi/16)
A_kat_0(i, 1:3) = [rk*cos(alpha) 0 rk*sin(alpha)];
i = i+1;
end
x_gr = [-1000 1000];
y_gr = [-1000 1000];
z_gr = [0 0; 0 0];
Далее необходимо создать графическое окно с помощью следующей функции:
set(gcf, 'DoubleBuffer', 'on');
Имитирующая опорное основание поверхность создается с помощью функции
«surf»:
surf(x_gr, y_gr, z_gr', 'FaceColor', [0.7 0.7 0.7]);
Значение [0.7 0.7 0.7] свойства «FaceColor» определяет цвет поверхности.
```

Рис. 2. Программный код, заполняющий матрицу A_kat_0

Присвоим значения отдельным переменным, соответствующим первому шагу моделирования, поэтому i = 1 (рис. 3).

Для отображения в графическом окне непосредственно автомобиля воспользуемся настройками отображения осей с указателем mult (рис. 4).

Поверхности, образующие колеса строятся той же функцией, что и кузов. В этом же цикле строятся линии, показывающие деформацию подвески колес (рис. 5).

Для изображения траектории движения автомобиля подготавливается переменная, содержащая координаты его центра масс в каждый момент времени, а также указатель функции, рисующей линию по данным координатам (рис. 6).

Создаются переменные, которые понадобятся в дальнейшем для организации внутреннего цикла: drawtime = 0; animtime = cputime.

```
i = 1;
P_vagp_2 = animdata_p(i, 1:3)'; % вектор координат ЦМ автомобиля
B_vagp = [animdata_p(i, 4:6)' animdata_p(i, 7:9)' animdata_p(i, 10:12)']; % матрица
перехода из неподвижной в подвижную СК
R_k_vagp_2 = animdata_p(i, 13:30)'; % матрица координат центров колес в НСК
R_tkp3 = animdata_p(i, 31:48)'; % матрица координат точек крепления подвесок к
колесам в НСК
R_tkp0 = animdata_p(i, 49:66)';% матрица координат точек крепления подвесок к
кузову в НСК
alpha_k = animdata_p(i, 67:72)'; % матрица углов поворота колес
for j = 1:6
B_k = B_vagp*[cos(alpha_k(j)) -sin(alpha_k(j)) 0;
sin(alpha_k(j)) cos(alpha_k(j)) 0; 0 0 1];
A_kp_x2{j} = B_k(1, 1)*A_kat_0(:, 1)+B_k(1, 2)*A_kat_0(:, 2)+B_k(1, 3)*A_kat_0(:,
3)+R_k_vagp_2(3*(j-1)+1);
A_kp_y2{j} = B_k(2, 1)*A_kat_0(:, 1)+B_k(2, 2)*A_kat_0(:, 2)+B_k(2, 3)*A_kat_0(:,
3)+R_k_vagp_2(3*(j-1)+2);
A_kp_z2{j} = B_k(3, 1)*A_kat_0(:, 1)+B_k(3, 2)*A_kat_0(:, 2)+B_k(3, 3)*A_kat_0(:,
3)+R_k_vagp_2(3*(j-1)+3);
end
% матрица координат точек кузова в НСК
```

Рис. 3. Присвоение значений отдельным переменным

set(mult, 'DataAspectRatio', [1 1 1],'CameraPosition', (P_vagp_2+[-10; -10; 10])', 'CameraTarget', P_vagp_2', 'CameraViewAngle', 50);

Кузов автомобиля строится при помощи функции «patch». Данная функция создает один или несколько заполненных многоугольников.

```
vagp = patch('Faces', [1 2 3 4 11 5; 6 7 8 9 12 10;
5 1 6 10 NaNNaN; 1 2 7 6 NaNNaN; 2 3 8 7 NaNNaN;
3 4 9 8 NaNNaN; 4 11 12 9 NaNNaN; 5 10 12 11 NaNNaN],
'Vertices', vert_vagp, 'EdgeColor', [0 0 0],
'FaceVertexCData', [0.7 0.7 0.7; 0.7 0.7 0.7; 0.7 0.7 0.7; 0.7 0.7 0.7; 0.7 0.7 0.7; 0.7 0.7 0.7;
0.7 0.7 0.7], 'FaceColor', [0 0.5 0], 'LineWidth', 0.5);
```

Рис. 4. Программный код с настройками отображения осей с указателем mult

```
for j = 1:6
kp{j} = patch(A_kp_x2{j}', A_kp_y2{j}', A_kp_z2{j}', [0.5 0.5 0.5]);
%отрисовка поверхностей, образующих колеса автомобиля
podv{j} = line([R_tkp3(3*(j-1)+1)
R_tkp0(3*(j-1)+1)], [R_tkp3(3*(j-1)+2)
R_tkp0(3*(j-1)+2)], [R_tkp3(3*(j-1)+3) R_tkp0(3*(j-1)+3)], 'Color', [0 0 1], 'LineWidth', 1);
%отрисовка линий, отображающих перемещение колес относительно корпуса
end
```

Рис. 5. Программный код с настройками отображения осей с указателем mult

```
vert_tr = animdata_p(:, 1:3);
tr = patch('Faces', [1], 'Vertices', vert_tr,
'EdgeColor', [1 0 0], 'LineWidth', 0.5);
fac_tr = [];
```

Рис. 6. Программный код для изображения траектории движения автомобиля

Команда cputime возвращает общее процессорное время (в секундах), используемое программой с момента ее начала.

Создается цикл forc с граничным значением счетчика равным количеству строк матрицы animdata_p. Так как для первого шага интегрирования значения всех параметров уже были записаны в переменные, то первое значение счетчика цикла — 2. В цикле используются ранее описанные функции построения поверхностей, определяющих корпус и колеса автомобиля (рис. 7).

Для замедления процесса изображения движения автомобиля вводится следующий цикл (рис. 8):

```
for i = 2 : size(animdata_p, 1)
P_vagp_2 = animdata_p(i, 1:3)';
B_vagp = [animdata_p(i, 4:6)' animdata_p(i, 7:9)' animdata_p(i, 10:12)'];
R_k_vagp_2 = animdata_p(i, 13:30)';
R_tkp3 = animdata_p(i, 31:48)';
R_tkp0 = animdata_p(i, 49:66)';
alpha_k = animdata_p(i, 67:72)';
vert_vagp = [(B_vagp*A_vagp_0{1}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{2}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{3}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{4}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{5}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{6}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{7}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{8}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{9}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{10}+P_vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{11}+P_ vagp_2)';
(B_vagp*A_vagp_0{12}+P_vagp_2)'];
for j = 1:6
B_k = B_vagp*[cos(alpha_k(j)) -sin(alpha_k(j)) 0;
sin(alpha_k(j)) cos(alpha_k(j)) 0; 0 0 1];
A_kp_x2{j} = B_k(1, 1)*A_kat_0(:, 1)+B_k(1, 2)*A_kat_0(:,
2)+B_k(1, 3)*A_kat_0(:,
3)+R_k_vagp_2(3*(j-1)+1); A_kp_y2{j} = B_k(2, 1)*A_kat_0(:, 1)+B_k(2,
2)*A_kat_0(:, 2)+B_k(2, 3)*A_kat_0(:,
3)+R_k_vagp_2(3*(j-1)+2); 284 A_kp_z2{j} = B_k(3, 1)*A_kat_0(:, 1)+B_k(3,
2)*A_kat_0(:, 2)+B_k(3, 3)*A_kat_0(:,
3)+R_k_vagp_2(3*(j-1)+3);
end
```

Рис. 7. Программный код для описания функций построения поверхностей, определения корпуса и колеса автомобиля

```
drawtime = cputime - drawtime;
tik = cputime; while (cputime - tik) > (1*0.035 - drawtime)
end
drawtime = cputime;
drawnow
end
animtime = cputime - animtime;
```

Рис. 8. Цикл для замедления процесса движения автомобиля

Таким образом, в среде MATLAB/Simulink возможно визуализировать процесс движения колесной машины. Для этого необходимо создать программу, в которой задаются переменные, содержащие координаты вершин поверхностей, образующих корпус автомобиля, колесо, опорную поверхность. Также необходимо подготовить переменную, содержащую координаты центра масс автомобиля в каждый момент времени. Возможность визуализации движения колесной машины позволяет проверить корректность используемых начальных условий, например, определяющих геометрию автомобиля и комплексно оценить параметры движения машины.

Литература

[1] Афанасьев Б.А., Белоусов Б.Н., Гладов Г.И. *Проектирование полноприводных колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.

[2] Смирнов Г.А. *Теория движения колесных машин*. Москва, Машиностроение, 1990, 352 с.

[3] Афанасьев Б.А. *Моделирование систем колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997, 30 с.

[4] Ларин В.В. *Теория движения полноприводных колесных машин.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 391 с.

Visualization of the process of movement of a wheeled vehicle in MATLAB/Simulink

Klimovich A.K. klimovicham@student.bmstu.ru

Sidorov V.N. sidorov_vn@bmstu.ru.

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article is devoted to visualization of the process of movement of a wheeled machine in the Matlab/Simulink environment. The study shows the process of data preparation, as well as a description of the text of the program containing the coordinates of the vertices of the surfaces forming the car body, wheel, support surface, as well as a variable containing the coordinates of the center of mass of the car at each time to image the trajectory of movement. Motion visualization allows you to comprehensively evaluate the parameters of the machine movement and check the correctness of the initial conditions used.

Keywords: *matrix, trajectory, coordinates, MATLAB/Simulink*

УДК 631.372

Математическая модель противобуксовочной системы автомобиля

Капитанов Роман Дмитриевич kapitanovrd@student.bmstu.ru
Сидоров Владимир Николаевич sidorov_vn@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрено создание математической модели противобуксовочной системы автомобиля в среде MATLAB. Основное содержание исследования составляет описание модели противобуксовочной системы, ее принцип действия и определение входных, выходных сигналов. В исследовании приведен анализ схем, а также построение и описание модели противобуксовочной системы. Сделаны выводы, что приведенная в статье модель при совместной работе с моделями других агрегатов автомобиля возможна как на ранних этапах проектирования автомобиля, так и на более детальных стадиях, для определения оптимальных параметров при движении автомобиля в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: *колесный автомобиль, конструкция автомобиля, противобуксовочная система автомобиля, системы безопасности автомобиля*

Противобуксовочная система (ПБС) — актуальная задача в проектировании и создании любого транспортного средства. Электрогидравлическая система автомобиля, предназначенная для предотвращения потери сцепления колес с дорогой посредством контроля за буксованием ведущих колес.

Противобуксовочная система, предназначенная для предотвращения пробуксовки ведущих колес и построенная на конструктивной основе АБС, предупреждает пробуксовку колес во всем диапазоне скоростей автомобиля [1]:

– при малых скоростях движения (от 0 до 80 км/ч) обеспечивает изменение крутящего момента за счет подтормаживания ведущих колес;

– при скорости выше 80 км/ч тормозные моменты на колесах регулируются за счет уменьшения передаваемого от двигателя крутящего момента.

На основании сигналов от датчиков угловой скорости колес блок управления ПБС определяет следующие характеристики:

– скорость движения КМ (на основании угловой скорости неведущих колес);

– характер движения КМ — прямолинейное или криволинейное (на основании сравнения угловых скоростей неведущих колес); =–

— проскальзывание ведущих колес (на основании разности угловых скоростей ведущих и неведущих колес).

В зависимости от текущего значения эксплуатационных характеристик производится управление тормозным давлением или управление крутящим моментом двигателя.

Для моделирования работы ПБС двухосной заднеприводной КМ перепишем систему уравнений в следующем виде [2]:

$$\begin{cases} J_k * \omega^*_{k1} = -M_1; \\ J_k * \omega^*_{k2} = \dfrac{M_{\text{сц}}}{2} * i_{\text{кп}} * i_{\text{гп}} - M_2 - (1-u_2) * k_2 * T; \\ J_k * \omega^*_{k3} = -M_3; \\ J_k * \omega^*_{k4} = \dfrac{M_{\text{сц}}}{2} * i_{\text{кп}} * i_{\text{гп}} - M_4 - (1-u_4) * k_4 * T; \\ \omega^*_{\text{кп}} = i_{\text{кп}} * i_{\text{гп}} * \dfrac{\omega^*_{k2} + \omega^*_{k4}}{2}; \\ J_{\text{д}} * \omega^*_{\text{дв}} = h_{dr} * h_{pbs} * M_{\text{дв}} - M_{\text{сц}}, \end{cases}$$

где u_2, u_4 — управляющие сигналы для второго и четвертого колеса соответственно; k_2, k_4 — коэффициенты коррекции, позволяющие учесть перераспределение тормозного момента при криволинейном движении; h_{pbs} — степень снижения потребляемой мощности силовой установки; T — максимальный тормозной момент, реализуемый колесным тормозным механизмом [3].

Управляющие сигналы u_2и u_4 будем вычислять следующим зависимостям:

$$\begin{cases} u_{2,4} = \dfrac{0{,}5 * (\omega_{k1} + \omega_{k3})}{\omega_{k2,4}}, \text{при } \omega_{k2,4} \neq 0;\ \omega_{k2,4} > 0{,}5 * (\omega_{k1} + \omega_{k3}); \\ u_{2,4} = 1, \text{при } \omega_{k2,4} \leq 0{,}5 * (\omega_{k1} + \omega_{k3}). \end{cases}$$

Коэффициенты коррекции k_2 и k_4 определим исходя из соображения, что тормозной момент на буксующих ведущих колесах при криволинейном движении перераспределен пропорционально значениям угловых скоростей колес неведущей оси:

$$k_2 = \frac{\omega_{k3}}{\omega_{k1}};\ k_4 = \frac{\omega_{k1}}{\omega_{k3}}.$$

Для расчета снижения крутящего момента от двигателя на ведущие колеса будем рассчитывать положение органа управления подачей топлива с учетом работы ПБС h_{pbs} следующим образом:

$$\begin{cases} h_{pbs} = u_2 * u_4, \text{при } v \geq 80 \dfrac{\text{км}}{\text{ч}}; \\ h_{pbs} = 1, \text{при } v < 80 \dfrac{\text{км}}{\text{ч}}, \end{cases}$$

где v — скорость движения автомобиля.

Для разработки программной реализации алгоритма работы ПБС воспользуемся программным блоком, представленным на рис. 1. Входные сигналы: w1, w3 — угловые скорости вращения первого и третьего колес, рад/с; w_sv — угловая скорость вращения ведущего колеса, рад/с.



Рис. 1. Общий вид блока MATLAB Function программной реализации алгоритма работы ПБС

Выходные сигналы: y — коэффициент уменьшения значения приводного момента, подводимого к ведущему колесу. Программный код, реализующий алгоритм работы ПБС для второго колеса приведен ниже (рис. 2).

```
function y = fcn(w_sv,w1,w3)
%#codegen
u=1;
k=w3/w1;
w=(w1+w3)/2;
if w_sv>0 && w_sv>w
    u=w/w_sv;
end
y = [u; k];
```

Рис. 2. Программный код, реализующий алгоритм работы ПБС для второго колеса

Рассмотрим доработку программного блока, описывающего работу трансмиссии заднеприводного автомобиля 4×2 [4]. Программный блок, описывающего работу трансмиссии заднеприводного автомобиля 4×2 представлен на рис. 3.

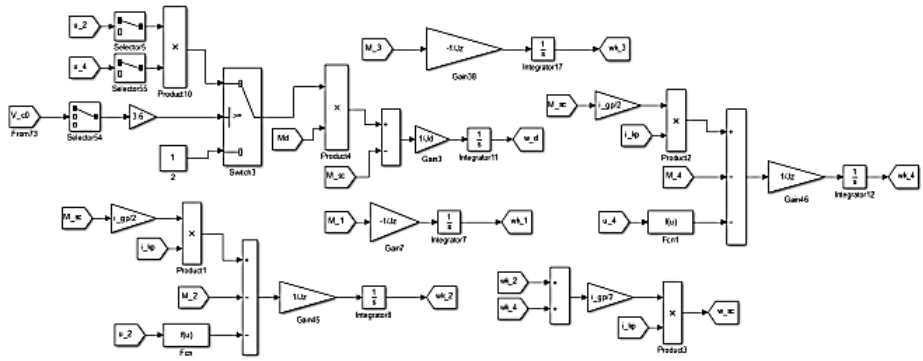


Рис. 3. Программный блок, описывающий работу трансмиссии заднеприводного автомобиля 4×2

Входные переменные: M1, …, M4 — моменты сопротивления на колесах КМ, Нм; i_kp — передаточное отношение в коробке передач; M_d — крутящий момент на коленчатом валу двигателя, Нм; M_sc — крутящий момент, развиваемый сцеплением Нм; u2, u4 — управляющие сигналы; V_c0 — скорость центра масс КМ, м/с. Выходные переменные: w_k1, …, w_k4 — угловые скорости вращения колес КМ, рад/с; w_ d — угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя, рад/с; w_ sc — угловая скорость вращения первичного вала коробки передач, рад/с.

Будем проводить исследование работы ПБС в режиме разгона на ровной опорной поверхности типа «сухой лед». Зададим значения коэффициентов сцепления при полном скольжении в файле исходных данных. Значения коэффициентов сцепления при полном скольжении приведены ниже на рис. 4.

```
mux_max=0.15; % коэффициент сцепления при полном
скольжении в направлении оси X
muy_max=0.15; % коэффициент сцепления при полном
скольжении в направлении оси Y
```

Рис. 4. Значения коэффициентов сцепления при полном скольжении

В качестве примера применения этого алгоритма работы ПБС рассмотрим разгон с места на опорном основании типа «сухой лед» заднеприводной двухосной КМ на льду при полностью нажатой педали подачи топлива. На рис. 5 показана скорость центра масс машины, на рис. 6 — угловые скорости колес, на рис. 7 — курсовой угол при разгоне без ПБС, на рис. 8–10 — курсовой угол при разгоне с ПБС.

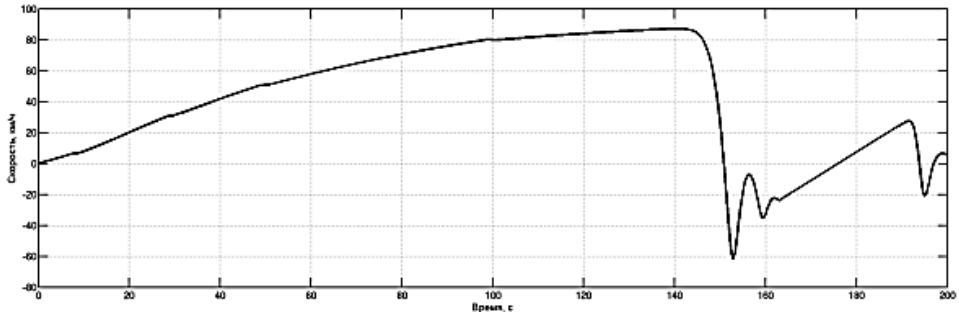


Рис. 5. Скорость центра масс машины при разгоне без ПБС

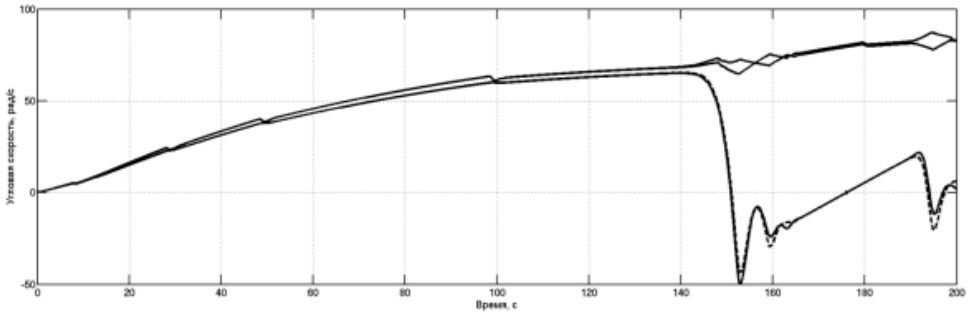


Рис. 6. Угловые скорости колес при разгоне без ПБС: сплошные линии — ведущие колеса, пунктирные линии — ведомые колеса

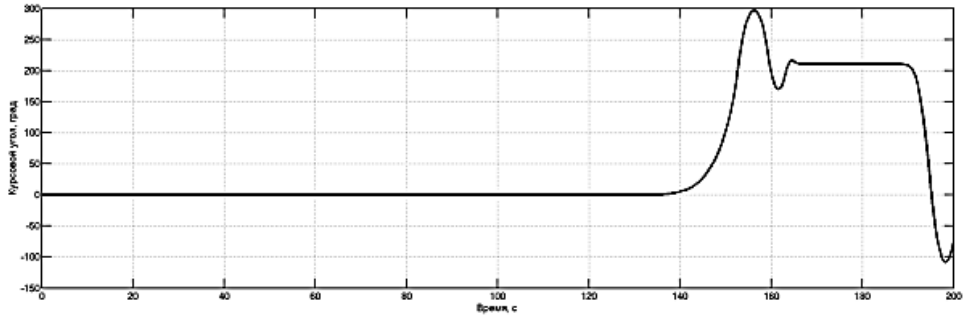


Рис. 7. Курсовой угол при разгоне без ПБС

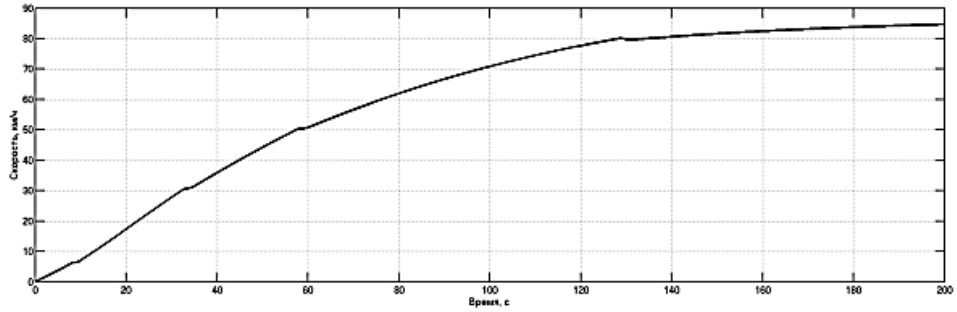


Рис. 8. Скорость центра масс машины при разгоне с ПБС

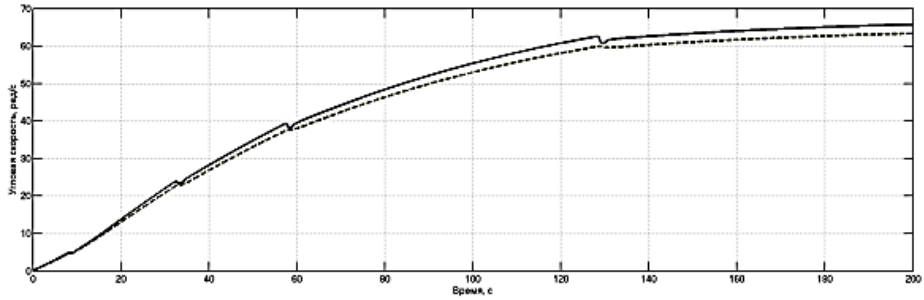


Рис. 9. Угловые скорости колес при разгоне с ПБС: сплошные линии — ведущие колеса, пунктирные линии — ведомые колеса

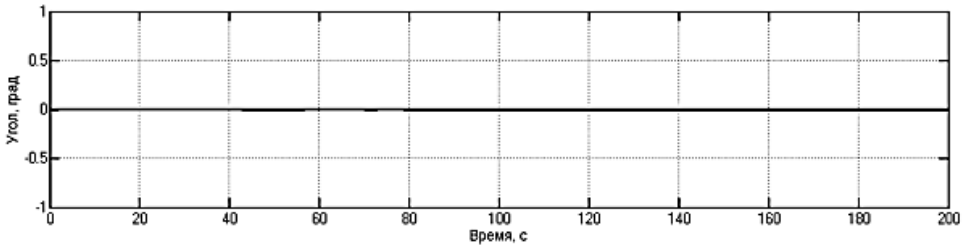


Рис. 10. Курсовой угол при разгоне с ПБС

На рисунках видно, что при разгоне на льду без ПБС заднеприводная КМ теряет курсовую устойчивость, угловые скорости колес существенно различаются. При работающей ПБС система автоматически ограничивает скорость движения, при этом курсовая устойчивость полностью сохраняется и угловые скорости колес практически одинаковы.

Литература

[1] Афанасьев Б.А., Белоусов Б.Н., Гладов Г.И. *Проектирование полноприводных колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.

[2] Смирнов Г.А. *Теория движения колесных машин*. Москва, Машиностроение, 1990, 352 с.

[3] Афанасьев Б.А. *Моделирование систем колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997, 30 с.

[4] Ларин В.В. *Теория движения полноприводных колесных машин.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 391 с.

Mathematical model of the traction control system (PBS) of the car

Kapitanov R.D. kapitanovrd@student.bmstu.ru
Sidorov V.N. sidorov_vn@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article considers the creation of a mathematical model of a vehicle traction control system in the Matlab environment. The main content of the study is a description of the traction control system model, its principle of operation and the definition of input and output signals. The study provides an analysis of the schemes, as well as the construction and description of the traction control system model. It is concluded that the model given in the article, when working together with models of other car units, is possible both at the early stages of car design and at more detailed stages to determine the optimal parameters when driving a car in various operating conditions.

Keywords: *wheeled vehicle, vehicle design, vehicle traction control system, vehicle safety systems*

УДК 303.094.7

Программная реализация математической модели криволинейного движения транспортного средства в среде MATLAB/Simulink

Бобров Федор Александрович bobrovfa@student.bmstu.ru
Сидоров Владимир Николаевич sidorov_vn@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Статья посвящена описанию процесса визуализации и моделирования криволинейной траектории движения транспортного средства по идеальному опорному основанию в среде MATLAB/Simulink. Описаны методы и принципы построения двумерной траектории в программной среде. Приведен процесс подготовки данных, описание программного кода и расширений для программы. Представлен общий алгоритм моделирования траекторий. Визуализация траектории движения автомобиля позволяет комплексно оценить параметры движения машины и проверить корректность используемых начальных условий.

Ключевые слова: *траектория, моделирование, MATLAB, Simulink, движение транспортного средства*

Моделирование движения транспортных средств по различным траекториям — актуальная задача в проектировании автомобиля. Такой тип моделирования позволяет спрогнозировать поведение автомобиля при заданных условиях, что повышает безопасность автомобиля. Также данный способ позволяет собирать данные и меняя начальные параметры изучать их изменение.

Для реализации математической модели криволинейного движения транспортного средства по ровному недеформируемому опорному основанию с визуализацией в среде MATLAB/Simulink помимо набора блоков — решателей, необходимо задать исходные данные задачи, подключить дополнительные подпрограммы MATLAB, а также связать выходные данные полученные с каждой секции блоков с компонентами вывода результатов для дальнейшего их получения в 2D. Исходными данными являются подрессоренная масса машины, моменты инерции корпуса относительно поперечной, продольной, вертикальных осей; масса колеса; радиус колеса; момент инерции колеса относительно оси вращения; максимальный прогиб шины; передаточное число главной передачи; колея колес; момент инерции вращения частей двигателя, приведенных к коленчатому валу; продольная и поперечная координаты передней и задней осей относительно центра масс корпуса; координаты крепления осей колес к корпусу; статическая нагрузка на подвески колес задней и передней осей; жесткость шины; прогиб шины; упругая сила шин передней и задней осей; скорость прогиба шины; демпфирующая сила шины; коэффициент сопротивления качению; коэффициент аппроксимации; коэффициент сцепления при полном скольжении по осям OX и OY; коэффи-

циент обтекаемости КМ; плотность воздуха; ускорение свободного падения; коэффициент формы проекции КМ; ширина и высота лобовой части КМ; начальная скорость движения; углы дифферента, крена, курса [1].

Для того чтобы получить при запуске программы визуализацию в 2D- и 3D-представлении, необходимо, в первую очередь, создать прототип автомобильной дороги в прикладной подпрограмме MATLAB Driving scenario designer. Для добавления участка автодороги необходимо нажать на значок Add road и после этого координатами задать опорные точки нашей трассы. Трасса задается в виде набора точек, расположенных про линии траектории движения автомобиля. После этого нам необходимо добавить прототип движущегося автомобиля, для этого нажимаем на Add actor и на автодороге появится фантом колесной машины (рис. 1). Далее программа позволит изменять параметры фантома.

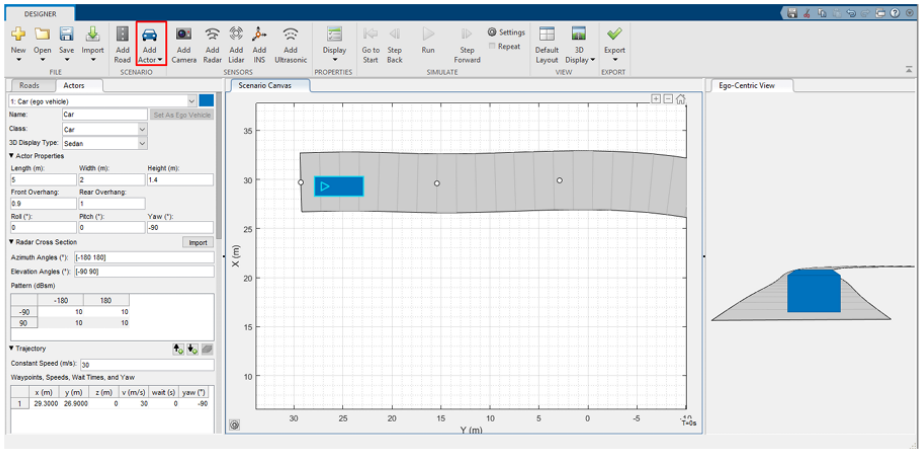


Рис. 1. Фантом автомобиля в Driving scenario designer

Далее необходимо задать траекторию движения нашего автомобиля по спроектированной дороге, для этого нам понадобится графа Trajectory [2]. После задания траектории движения, на дороге синим цветом будет отображаться номинальная траектория движения фантома (рис. 2).

Создав в Driving scenario designer модель нашей трассы, далее необходимо точками отметить номинальную траекторию движения нашего транспортного средства [3]. Таким образом, траектория движения автомобиля по асфальтированной дороге представлена на рис. 3.

При сохранении созданного сценария движения колесной машины, формируется файл в формате Excel, куда вносятся координаты спроектированной траектории. Поскольку автомобиль при его движении по криволинейной траектории не может двигаться с постоянной скоростью, программа предлагает оптимальные величины движения колесной машины для каждой точки траек-

тории, т. е. в каждый момент времени скорость автомобиля будет изменяться в зависимости от дорожной ситуации [4]. Таким образом, получаем файл Excel с прописанными точками траектории, для 39 каждой из которых прописана скорость в м/с.

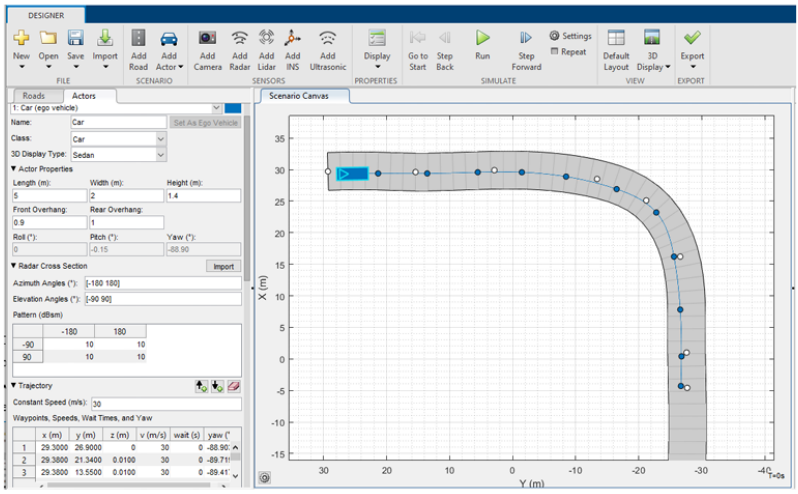


Рис. 2. Траектория движения в Driving scenario designer

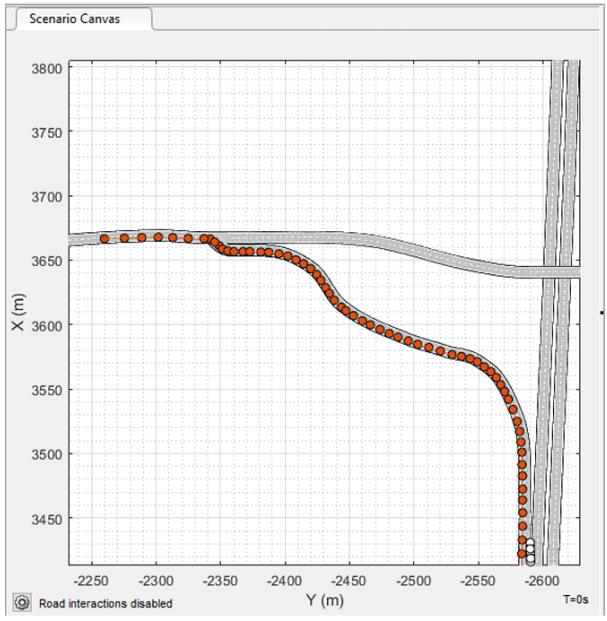


Рис. 3. Траектория движения автомобиля по асфальтированной дороге

Использование данного метода проектирования движения транспортного средства позволяет на этапе его разработки оценить характеристики во время эксплуатации, изучить поведение транспортного средства в экстремальных условиях. Такой подход увеличивает безопасность проектируемых транспортных средств, а также позволяет быстро их модернизировать.

Литература

[1] Афанасьев Б.А., Белоусов Б.Н., Гладов Г.И. *Проектирование полноприводных колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008, 432 с.

[2] Полковникова Н.А. *Научные и инженерные расчеты в среде MATLAB*. Москва, Изд-во «МОРКНИГА», 2019, 143 с.

[3] *Документация MATLAB*. URL: https://docs.exponenta.ru/documentation-center.html (дата обращения 20.11.2024).

[4] Силаев Г.В. *Конструкция автомобилей и тракторов*. Москва, Юрайт, 2019, 404 с.

Software implementation of a mathematical model of curvilinear motion of a vehicle MATLAB/Simulink environment

Bobrov F.A. bobrovfa@student.bmstu.ru

Sidorov V.N. sidorov_vn@bmstu.ru.

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article describes the process of visualization and modeling of the curved trajectory of a vehicle along an ideal support base in the MATLAB/Simulink environment. The methods and principles of constructing a two-dimensional trajectory in a software environment are described. The process of data preparation, description of the program code and extensions for the program are given. A general algorithm for modeling trajectories is presented. Visualization of the trajectory of the car allows you to comprehensively assess the parameters of the car's movement and check the correctness of the initial conditions used.

Keywords: *trajectory, modeling, MATLAB, Simulink, vehicle movement*

УДК 629.113

Электрический мини-трактор коммунального назначения

Козлов Владислав Александрович vladislav-kozlov-2000@mail.ru
Бурков Эдуард Рафаилович burkov@kaluga.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Статья посвящена изучению конструкции и принципа работы электрического мини-трактора коммунального назначения. Рассмотрены конструкция и принцип действия предложенного машинного агрегата. Результаты научного исследования позволяют сделать вывод о высокой энергоэффективности, экологичности и экономичности электрического мини-трактора, что может быть полезно для ориентации коммунальных служб на использование оборудования на электротяге, а также дальнейшей реализации данного проекта и запуск его в производство.

Ключевые слова: *трактор, мини-трактор, электричество, электромотор, редуктор, экологичность, экономичность, трансмиссия, конструкция*

В настоящее время существует огромное количество техники различного функционала и применения, работающих на двигателях внутреннего сгорания. В том числе и оборудование, машины коммунальных служб, которые встречается нам каждый день при уборке снега, подметании улиц или же при покосе травы.

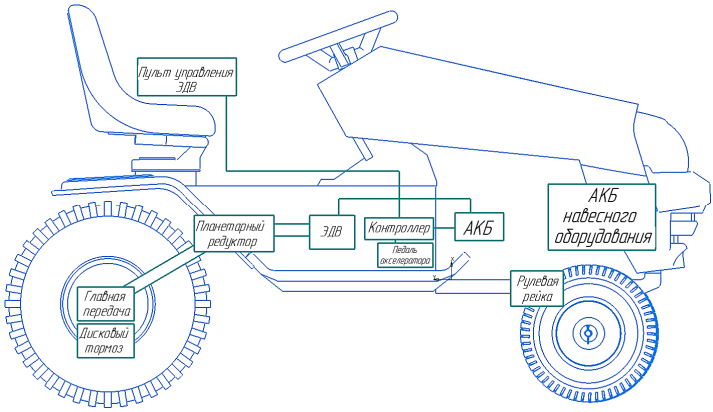
Коммунальные службы имеют колоссальное количество различных задач, требующих простых, экономичных и эффективных решений. Переход на использование оборудования на электротяге значительно уменьшило бы внутренние расходы организаций как на горюче-смазочные материалы, так и на технические ремонты и обслуживание [1].

В силу чего, с целью интенсификации развития тракторостроения, была предложена разработка электрического мини-трактора коммунального назначения. Который, в свою очередь, обладал бы всеми необходимыми тяговыми характеристиками и техническими возможностями, не уступая при этом своим бензиновым и дизельным аналогам.

Концепция разработки заключалась в следующем: создать компактный, электрический мини-трактор с возможностью подключения широкого спектра навесного оборудования, начиная от роторной щетки для уборки улиц и заканчивая роторно-фрезерным снегоуборщиком для скоростной уборки снега.

Разрабатываемый электрический мини-трактор позволит не только избавить организации от лишних расходов на горючее, но и сократить время и средства на обслуживание и ремонт. Помимо денежной составляющей, основным преимуществом является отсутствие коробки переключения передач, что значительно увеличивает комфорт и плавность управления, а также не требует от оператора высокой квалификации и навыков управления трак-

торами. Электрический мини-трактор коммунального назначения представлен на рисунке.



Электрический мини-трактор коммунального назначения

Как говорилось ранее, основной движущей силой в данном тракторе является электродвигатель (ЭДВ). В нашем случае используется BLDC мотор (бесколлекторный синхронный двигатель постоянного тока на постоянных магнитах), к слову, Tesla Model-3 работает на таких же типах моторов. Немало важными преимуществами таких моторов являются: высокий КПД, в момент страгивания мотор выдает 200 % мощности, компактность. Для правильной работы мотора от источника постоянного тока используется контроллер с векторным сигналом (осуществляется управление моментом на валу двигателя), именно такой тип контроллера позволит обеспечить максимальный крутящий момент при страгивании трактора. Контроллер в нашей конструкции выполняет 2 основные функции: обрабатывает сигнал, идущий от пульта управления и сигнал от педали акселератора. Пульт управления имеет три режима работы: прямое вращение, реверс, торможение. В зависимости от нажатой клавиши на пульте управления (прямое вращение или реверс), контроллер подает напряжение на одну из обмоток, заставляя вал электродвигателя вращаться в прямом или обратном направлениях, или же в случае нажатия клавиши «торможение» подает напряжение на две обмотки, вынуждая вал уравновеситься и принудительно остановиться. Педаль акселератора, как и в случае с двигателями внутреннего сгорания, осуществляет управление крутящим моментом, обеспечивая плавное нарастание мощности. После формирования сигнала на блоке педали акселератора, он передается на контроллер, который обеспечивает заданное вращение вала электродвигателя [2].

Большим преимуществом применения электродвигателя в паре с контроллером и электронной педалью акселератора является отсутствие в конструкции коробки переключения передач, так как всю ее функцию выполняет контроллер, и, в зависимости от угла поворота педали акселератора, подает

на электродвигатель необходимое напряжение, тем самым, изменяя скорость движения трактора.

Несмотря на отсутствие коробки переключения передач, конструкция предусматривает наличие элементов трансмиссии таких как планетарный редуктор и главная передача. Редуктор планетарного типа был выбран из соображения компактности конструкции при обеспечении высокого передаточного отношения. Для увеличения передаточного отношения было принято решение конструктивно совместить два редуктора вместе, что позволило увеличить крутящий момент на выходе из редуктора в 8 раз.

Крутящий момент на выходе из электродвигателя через вал-шестерню передается на планетарный редуктор. Далее через карданный вал на главную передачу, где происходит увеличение крутящего момента в 4 раза. В нашем случае главную пару образуют ведущая гипоидная вал-шестерня и ведомое гипоидное колесо. На заключительном этапе, после прохождения дифференциала, вращение распределяется на левый и правый шарнир равных угловых скоростей и передается на колеса [3].

Торможение мини-трактора будет осуществляться дисковыми тормозными механизмами, установленными на заднем мосту. Данный тип тормозной системы позволит снизить металлоемкость, громоздкость конструкции и увеличить эффективность торможения [4].

Рулевое управление будет осуществляться механизмом «рейка-шестерня». Такой тип механизма позволит в дальнейшем рассмотреть концепцию установки сервопривода рулевого рейки в рамках проекта беспилотного мини-трактора коммунального назначения.

Применение в коммунальных службах электрических мини-тракторов обеспечит следующие преимущества, такие как безопасность, экологичность, экономичность, простота конструкции и ремонтопригодность, удобство и комфорт в эксплуатации.

Разработка и производство электрических мини-тракторов является перспективным направлением в области тракторостроения. В силу активной электрификации наземного транспорта во всем мире, электрические тракторы вскоре станут отличными кандидатами для замены традиционных дизельных моделей.

Литература

[1] Волков В.С. *Основы расчета систем автомобилей, обеспечивающих безопасность движения*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 144 с.

[2] Шарипов В.М. *Тракторы. Конструкция*. Москва, Машиностроение, 2012, 790 с.

[3] Плахов С.А. *Конструкция наземных транспортно-технологических средств. Курсовой проект.* Калуга, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 20 с.

[4] Плахов С.А., Дмитриева Т. Д. Стабилизация движения энергетических колесных модулей. *Современные автомобильные материалы и технологии» (САМИТ-2021). XIII Междунар. науч.-техн. конф.: сб. ст.* Курск, Юго-Западный государственный университет, 2021, с. 242–245.

Electric mini tractor for utility use

Kozlov V.A. vladislav-kozlov-2000@mail.ru
Burkov E.R. burkov@kaluga.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article is devoted to the study of the design and principle of operation of an electric mini-tractor for municipal purposes. The paper considers the design and principle of operation of the proposed machine unit. The results of the scientific research allow us to conclude that the electric mini-tractor is highly energy efficient, environmentally friendly and economical, which can be useful for the orientation of utilities to use electric-powered equipment, as well as the further implementation of this project and its launch into production.

Keywords: *tractor, mini-tractor, electricity, electric motor, gearbox, environmental friendliness, efficiency, transmission, design*

УДК 629.113

Имитационное моделирование криволинейного движения автомобиля в среде MATLAB

Козлов Владислав Александрович vladislav-kozlov-2000@mail.ru
Шутов Андрей Александрович andruwka04@yandex.ru
Сидоров Владимир Николаевич sidorov-kaluga@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Исследована математическая модель криволинейного движения колесной машины с использованием встроенной подпрограммы MATLAB Driving Scenario Designer. В процессе моделирования скорость автомобиля варьируется в зависимости от дорожной ситуации, что дает возможность получить оптимальные значения для каждой точки траектории. Особое внимание уделяется анализу влияния скорости на динамические характеристики автомобиля. Продемонстрировано, как изменение скорости влияет на управляемость и безопасность движения колесной машины по криволинейной траектории. Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации управления автомобилем в различных дорожных условиях.

Ключевые слова: *моделирование, траектория, безопасность, динамика, оптимизация, автомобиль, модель, управляемость, нагрузка*

Современные автомобильные технологии требуют постоянного совершенствования моделей и методов анализа динамики транспортных средств. Криволинейное движение колесной машины представляет собой важный аспект, который влияет на безопасность и управляемость автомобиля. В данной работе исследована математическая модель криволинейного движения, используя программное обеспечение MATLAB, в частности, встроенную подпрограмму Driving Scenario Designer.

При исследовании математической модели криволинейного движения колесной машины построены траектории движения колесной машины в пространстве *XOY* в неподвижной системе координат. Для задания сценария движения автомобиля мы использовали встроенную подпрограмму MATLAB Driving scenario designer [1]. В ней можно построить траекторию движения автомобиля любой сложности. Для проведения нашего моделирования мы задались идеальной асфальтированной дорогой длиной в 500 м. Время движения автомобиля по трассе составит 20 с. В среднем автомобиль будет двигаться со скоростью 90 км/ч. Для анализа изменения основных параметров автомобиля зададимся двумя отрезками: прямолинейный (для разгона автомобиля) и криволинейный участок, включающий в себя множество поворотов. Разбив трассу таким образом, нам удалось отследить изменение многих параметров при движении автомобиля по прямолинейной и криволинейной траектории и сравнить полученные результаты.

Создав в Driving scenario designer модель нашей трассы, далее необходимо точками отметить номинальную траекторию движения транспортного средства. Таким образом, траектория движения автомобиля по асфальтированной дороге представлена на рис. 1.

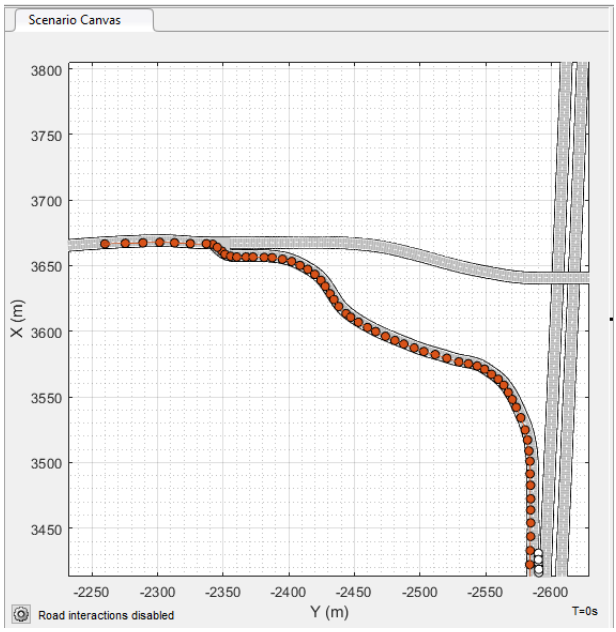


Рис. 1. Траектория движения автомобиля

Далее при сохранении созданного сценария движения колесной машины, формируется файл в формате Excel, куда вносятся координаты спроектированной траектории. Поскольку автомобиль при его движении по криволинейной траектории не может двигаться с постоянной скоростью, программа предлагает оптимальные величины движения колесной машины для каждой точки траектории. Таким образом, получаем файл Excel с прописанными точками траектории, для каждой из которых прописана скорость в м/с. Для загрузки траектории движения в рабочее поле Work Space необходимо прописать код формата m для открытия файла. После реализации данного кода, все данные о траектории подгружаются в рабочее поле Work Space и готовы для переноса в среду Simulink [2].

Для переноса массива данных в среду Simulink, необходимо создать в рабочем поле блок Lockup Table (n-D). В данный блок подгружаются три параметра, которые задавали ранее: значения x и y для определения координаты точки и значение v для задания скорости движения каждой точки траектории [3].

После переноса массива данных в данный блок, получаем доступ к таблице путем нажатия Edit table and breakpoints, где в любой момент можем изменять значение скорости в каждой точки траектории для улучшения управляемости модели.

Для получения данных о кривизне нашей траектории необходимо воспользоваться тем же блоком, исключив при этом значение скорости в каждой точки. Таким образом получим график кривизны траектории, представленный на рис. 2.

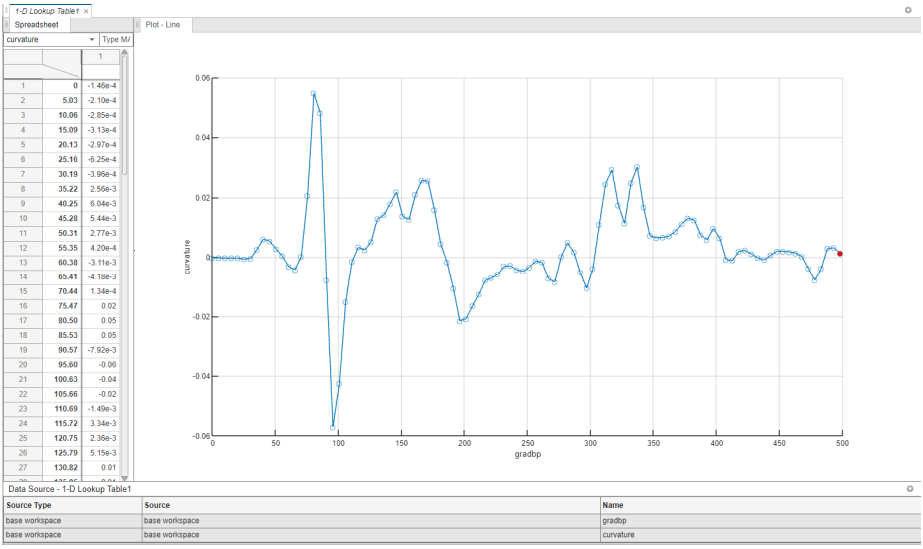


Рис. 2. График кривизны траектории

При моделировании изменения действительной траектории движения колесной машины, варьируемым параметром была выбрана скорость движения автомобиля. От нее зависят такие параметры как реакции, действующие в пятне контакта шины с опорным основанием в подвижной системе координат, необходимое давление в главном тормозном цилиндре, угловые скорости колес, крутящие моменты на полуосях автомобиля [4]. Данное исследование направлено на углубленное понимание динамических характеристик колесной машины при криволинейном движении и может служить основой для дальнейшей оптимизации управления автомобилем в различных дорожных условиях.

Литература

[1] Плахов С.А., Дмитриева Т. Д. Стабилизация движения энергетических колесных модулей. *Современные автомобильные материалы и технологии» (САМИТ-2021). XIII Междунар. науч.-техн. конф.: сб. ст.* Курск, Юго-Западный государственный университет, 2021, с. 242–245.

[2] Сидорова А.В., Степин П.И., Сидоров В.Н. Имитационное моделирование колебаний центра масс колесной машины с помощью программы Simulink. *Инженерный вестник Дона*, 2020, № 4, с. 2–12.

[3] Жилейкин М.М. Математические модели систем транспортных средств: методические указания. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 100 с.

[4] Полковникова Н.А. *Научные и инженерные расчеты в среде MATLAB.* Москва, Изд-во «МОРКНИГА», 2019, 143 с.

Simulation of curved motion of a car in the Matlab environment

Kozlov V.A. vladislav-kozlov-2000@mail.ru
Shutov A.A. andruwka04@yandex.ru
Sidorov V.N. sidorov-kaluga@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

In this paper, a mathematical model of the curvilinear motion of a wheeled vehicle is investigated using the built-in Matlab subroutine "Driving Scenario Designer". During the simulation, the speed of the car varies depending on the traffic situation, which makes it possible to obtain optimal values for each point of the trajectory. Special attention is paid to the analysis of the influence of speed on the dynamic characteristics of the car. The work demonstrates how a change in speed affects the controllability and safety of a wheeled vehicle along a curved trajectory. The simulation results can be used to optimize driving in various road conditions.

Keywords: *modeling, trajectory, safety, dynamics, optimization, car, model, handling, load*

УДК 629.113

К вопросу определения динамических характеристик автомобиля

Козлов Владислав Александрович vladislav-kozlov-2000@mail.ru
Фомин Вадим Игоревич fominvi@student.bmstu.ru
Сидоров Владимир Николаевич sidorov-kaluga@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Исследована математическая модель криволинейного движения колесной машины в среде MATLAB. Рассмотрены ключевые параметры, влияющие на движение автомобиля по криволинейной траектории при изменении скорости. Основное внимание уделено боковому отклонению, углу рыскания, поперечной и продольной скорости автомобиля. Результаты показали, что увеличение скорости приводит к значительным изменениям в динамике автомобиля, что может увеличить риск потери контроля и аварийных ситуаций. Полученные данные подчеркивают необходимость дальнейшего изучения динамических характеристик транспортных средств для улучшения систем управления и повышения безопасности дорожного движения. Результаты моделирования могут быть использованы для оптимизации управления автомобилем в различных дорожных условиях.

Ключевые слова: *моделирование, траектория, безопасность, динамика, оптимизация, автомобиль, модель, управляемость, нагрузка*

Современные автомобили становятся все более сложными и высокотехнологичными, что требует глубокого понимания их динамических характеристик в различных условиях движения. Особенно важным является анализ поведения автомобиля при движении по криволинейной траектории, где скорость и маневренность играют критическую роль в обеспечении безопасности [1]. Для проведения анализа будем сравнивать величины, представленные на рис. 1.

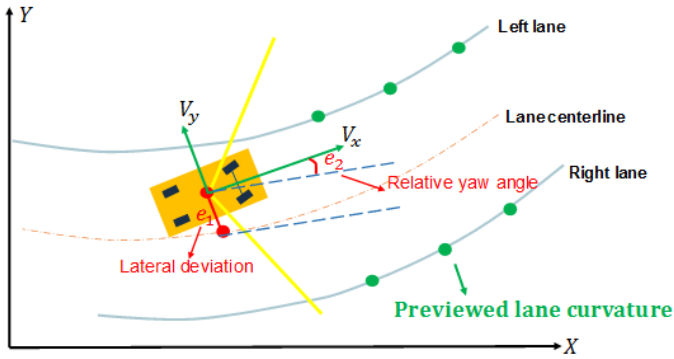


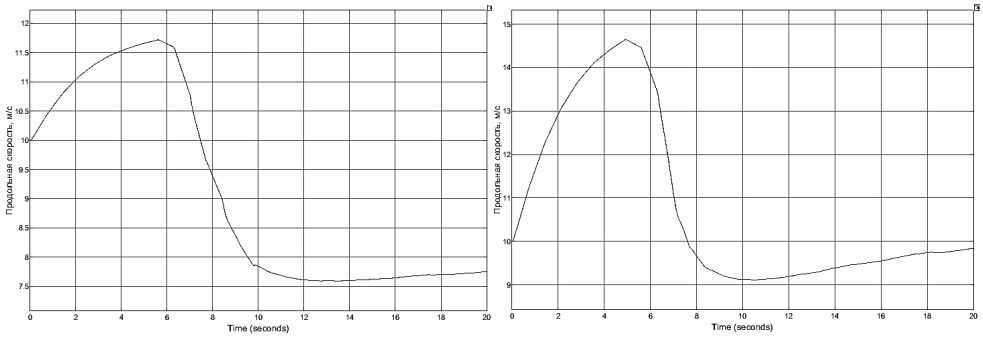
Рис. 1. Основные динамические характеристики при движении автомобиля по криволинейной траектории

Основными параметрами для анализа движения автомобиля по криволинейной траектории при изменении скорости движения являются: e_1 — *Lateral deviation (Боковое отклонение)*, величина, характеризующая линейное отклонение автомобиля от номинальной траектории движения, e_2 — *Relative yaw angle (Угол рыскания)*, данный параметр определяет величину отклонения автомобиля от его продольного положения, V_y — поперечная скорость автомобиля, V_x — продольная скорость автомобиля [2].

Проведем исследование изменения продольной скорости V_x при изменении скорости движения транспортного средства. Графики продольной скорости представлены на рис. 2.

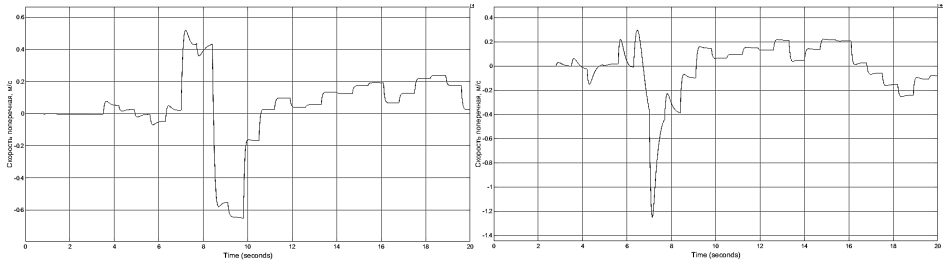
При номинальном режиме движения автомобиль достиг максимальной скорости, которая составила 11,7 м/с за 5,6 с. В случае увеличения скорости в 1,5 раза, колесная машина достигла максимальной продольной скорости, которая составила 14,8 м/с за 4,4 с. Можно сделать вывод, что автомобиль быстро набирал скорость, соответственно быстрее приближался к повороту и, как следствие, быстрее тормозил и сбавлял скорость.

Проведем исследование изменения поперечной скорости V_y при изменении скорости движения транспортного средства [3]. Графики поперечной скорости на рис. 3.



а *б*

Рис. 2. Продольная скорость колесной машины:
а — при номинальной скорости; *б* — при увеличении скорости в 1,5 раза

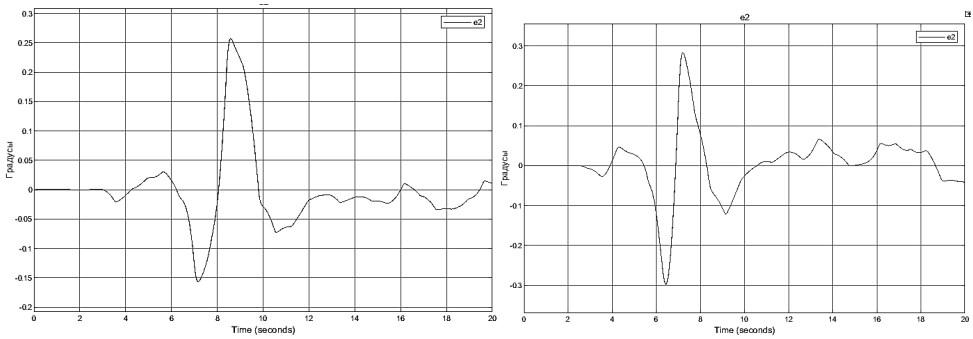


а *б*

Рис. 3. Поперечная скорость колесной машины:
а — при номинальной скорости; *б* — при увеличении скорости в 1,5 раза

При номинальном режиме движения поперечная скорость автомобиля находится в пределах 0,6 м/с. В случае увеличения скорости в 1,5 раза, наблюдается резкое увеличение поперечной скорости автомобиля до 1,25 м/с. Можно сделать вывод, что во втором случае автомобиль резко изменяет свое текущее поперечное расположение и в случае дальнейшего увеличения скорости велика вероятность заноса автомобиля.

Далее проведем исследование изменения угла рыскания e_2 при изменении скорости движения транспортного средства. Графики изменения угла рыскания при номинальной и увеличенной скорости движения колесной машины представлены на рис. 4.



а *б*

Рис. 4. Изменение угла рыскания колесной машины:
а — при номинальной скорости; *б* — при увеличении скорости в 1,5 раза

При номинальном режиме движения максимальный угол рыскания автомобиля достигает отметки в 2,5 градуса. Данный факт говорит о плавности изменения траектории автомобиля за счет оптимальной скорости движения. В случае увеличения скорости в 1,5 раза, наблюдается резкое увеличение угла рыскания до 3 градусов, что говорит о быстром маневрировании автомобилем из-за большой скорости. В данном случае имеет место появление раскачивания автомобиля и вероятность потери его устойчивости.

Результаты подчеркивают важность соблюдения оптимальных режимов движения для обеспечения безопасности на дороге [4]. Исследование открывает новые перспективы для разработки более эффективных систем управления автомобилем, которые смогут адаптироваться к изменяющимся дорожным условиям и повышать уровень безопасности водителей и пассажиров.

Литература

[1] Жилейкин М.М. *Математические модели систем транспортных средств: методические указания.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 100 с.

[2] Плахов С.А., Дмитриева Т. Д. Стабилизация движения энергетических колесных модулей. *Современные автомобильные материалы и технологии» (САМИТ-2021). XIII Междунар. науч.-техн. конф.: сб. ст.* Курск, Юго-Западный государственный университет, 2021, с. 242–245.

[3] Полковникова Н.А. *Научные и инженерные расчеты в среде MATLAB*. Москва, Изд-во «МОРКНИГА», 2019, 143 с.

[4] Сидорова А.В., Степин П.И., Сидоров В.Н. Имитационное моделирование колебаний центра масс колесной машины с помощью программы Simulink. *Инженерный вестник Дона*, 2020, № 4, с. 1–12.

On the issue of determining the dynamic characteristics of the car

Kozlov V.A. vladislav-kozlov-2000@mail.ru
Fomin V.I. fominvi@student.bmstu.ru
Sidorov V.N. sidorov-kaluga@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

In this paper, a mathematical model of the curvilinear motion of a wheeled machine in the Matlab environment is investigated. This article discusses the key parameters that affect the movement of a car along a curved trajectory when changing speed. The main attention is paid to the lateral deviation, yaw angle, transverse and longitudinal speed of the car. The results show that an increase in speed leads to significant changes in the dynamics of the car, which can increase the risk of loss of control and accidents. The data obtained underline the need for further study of the dynamic characteristics of vehicles in order to improve control systems and improve road safety. The simulation results can be used to optimize driving in various road conditions.

Keywords: *modeling, trajectory, safety, dynamics, optimization, car, model, handling, load*

УДК 631.3-1/9

Особенности и преимущества тракторомобилей: аналитический анализ конструкции

Фомин Вадим Игоревич fvi19km207@student.bmstu.ru
Булычев Всеволод Валерьевич vs.bulychev@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены особенности и требования к конструкции, которые применяются на стадии разработки проекта. Основное внимание уделено анализу актуальности и востребованности тракторомобилей, с целью улучшения под конкретные задачи потребителя. Представлены современные тенденции в области тракторостроения, включая использование умных решений для повышения эффективности и экологичности машин. Показаны главные преимущества и недостатки, и их влияние на работу, безопасности и адаптивности.

Ключевые слова: *особенность конструкции, требования, преимущества и недостатки, инновация тракторомобиля*

Тракторомобили — это гибридные транспортные средства, сочетающие в себе особенности трактора и автомобиля. Они находят применение в разных сферах деятельности, таких, где требуется повышенная проходимость и универсальность [1].

В сфере сельского хозяйства применяются для обработки почвы, посева, уборки урожая, транспортировки грузов и других задач. Благодаря своей многофункциональности и возможности быстро менять навесное оборудование, они становятся незаменимыми помощниками фермеров.

В сфере промышленности используются для перевозки грузов, выполнения погрузочно-разгрузочных работ, а также для других промышленных задач. Их мощность и проходимость позволяют справляться с тяжелыми нагрузками и работать в сложных условиях.

Коммунальным службам помогают убирать улицы, вывозить мусор, расчищать снег и выполнять другие коммунальные задачи. Они оснащены различным навесным оборудованием, которое позволяет им эффективно выполнять свою работу.

В строительстве используются для транспортировки материалов, оборудования и рабочих на строительные площадки. Их проходимость и грузоподъемность делают их незаменимыми в этой отрасли.

В частных хозяйствах могут использоваться для различных целей, таких как обработка земли, перевозка грузов, уборка территории и т. д. Они помогают владельцам хозяйств выполнять различные задачи и повышать эффективность работы [2].

Требования к конструкции тракторомобиля включают:

– должны быть легкими и компактными, чтобы легко передвигаться по узким дорогам и работать на небольших участках земли;

– должны быть способны выполнять различные задачи, такие как пахота, уборка урожая, перевозка грузов;

– тракторомобили должны потреблять меньше топлива и быть экономически выгодными в использовании. Конструкция должна обеспечивать безопасность оператора и пассажиров, а также комфорт во время работы;

– тракторомобили являются эффективным и универсальным решением для выполнения различных задач в сельском хозяйстве и других отраслях, где требуется компактная и многофункциональная техника.

Особенности конструкции тракторомобилей [3]. Такие машины имеют универсальную конструкцию, которая позволяет им выполнять различные задачи. Это достигается за счет модульной системы, которая позволяет быстро менять навесное оборудование, например ковши, вилы, прицепы и т. д. Оборудуются полным приводом и большими колесами, что обеспечивает им хорошую проходимость на различных типах местности. Это делает их идеальными для использования в условиях бездорожья или на сельскохозяйственных угодьях. Обычно оснащены мощными двигателями, которые позволяют им справляться с тяжелыми нагрузками. Это особенно важно при работе с грузами или при использовании навесного оборудования. Несмотря на то, что тракторомобили предназначены для работы в сложных условиях, они также могут быть оборудованы комфортабельными кабинами с кондиционером, звукоизоляцией и другими удобствами для водителя. Тракторомобили соответствуют определенным стандартам безопасности, особенно если они используются на дорогах общего пользования. Они должны иметь соответствующие фары, стоп-сигналы и другие световые приборы, а также системы безопасности, такие как ABS (антиблокировочная система) и ESP (система курсовой устойчивости). Тракторомобили могут быть снабжены экономичными двигателями, с различным типом топлива, например биотопливо и природный газ, что снижает расходы на топливо. Конструкция тракторомобиля должна быть надежной и долговечной, чтобы выдерживать интенсивную эксплуатацию в тяжелых условиях. Для этого используются качественные материалы и компоненты, а также проводятся регулярные проверки и техническое обслуживание. Могут быть адаптированы под конкретные потребности пользователя. Например, можно установить дополнительные гидравлические системы для управления навесным оборудованием или добавить системы автоматического управления для повышения эффективности работы.

Тракторомобили можно классифицировать по различным критериям, например:

– по назначению: сельскохозяйственные (для обработки почвы, посева, уборки урожая и т. д.); промышленные (для перевозки грузов, выполнения погрузочно-разгрузочных работ и т. п.); коммунальные (для уборки улиц, вывоза мусора и т. д.);

– по типу привода: с задним, передним, полным приводом;

– по мощности двигателя: маломощные (до 50 л. с.); средней мощности (от 50 до 100 л. с.); мощные (более 100 л. с.);

– по конструкции кабины: открытые; закрытые; полузакрытые.

Инновация тракторомобилей заключается в их способности адаптироваться к различным условиям работы и выполнять разнообразные задачи. Это позволяет сократить расходы на приобретение и обслуживание нескольких специализированных транспортных средств [4].

Тракторомобили актуальны и востребованы в сферах, где требуется повышенная проходимость и многофункциональность. Они особенно полезны в сельском хозяйстве, строительстве и коммунальных службах.

В условиях сложной местности или при работе с различными грузами тракторомобили могут стать незаменимыми помощниками.

Главные преимущества тракторомобилей:

– совмещают функции трактора и автомобиля, что делает их более гибкими в использовании. Они могут выполнять различные задачи — от перевозки грузов до обработки почвы;

– одно транспортное средство заменяет два, что позволяет сократить расходы на приобретение и обслуживание техники.

Недостаки:

– стоят дороже обычных автомобилей из-за своей многофункциональности, мощности и проходимости;

– более сложная конструкция требует более сложного и дорогостоящего технического обслуживания;

– большие размеры и вес тракторомобиля могут затруднить его использование в некоторых условиях, например в узких улицах или на небольших фермах.

Развитие тракторомобилей может привести к созданию более эффективных и универсальных транспортных средств, которые смогут выполнять различные задачи. Однако для этого необходимо решить ряд проблем, связанных с безопасностью, экологичностью и экономичностью этих транспортных средств.

Литература

[1] Гребнев В.П., Ворохобин А.В. Эффективность оборудования колесных тракторов тяговодогружающим устройством. *Тракторы и сельхозмашины*, 2009, № 8, с. 9–11.

[2] Гуревич А.М., Болотов А.К., Судницын В.И. *Конструкция тракторов и автомобилей*. Москва, Агропромиздат, 2012, с. 27–29.

[3] Зангиев А.А, Шпилько А.В., Левшин А.Г. *Эксплуатация машинно-тракторного парка*. Москва, Колос, 2015, 264 с.

[4] Халанский В.М., Горбачев И.В. *Сельскохозяйственные машины*. Москва, Колос, 2019, с. 39–53.

Features and advantages of tractor vehicles: analytical design analysis

Fomin V.I. fvi19km207@student.bmstu.ru
Bulychev V.V. vs.bulychev@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article discusses the features and design requirements that are applied at the stage of project development. The main attention is paid to the analysis of the relevance and demand for tractor vehicles, in order to improve them for specific consumer tasks. Modern trends in tractor construction are presented, including the use of smart solutions to improve the efficiency and environmental friendliness of machines. The main advantages and disadvantages are shown, and their impact on the operation, safety and adaptability of the tractor vehicle.

Keywords: *tractor vehicle, design feature, requirements, advantages and disadvantages, tractor vehicle innovation*

УДК 629.114

Причины и последствия буксования трактора, а также методы расчета и предотвращения данного явления

Фомин Вадим Игоревич fvi19km207@student.bmstu.ru
Козлов Владислав Александрович kva19km090@student.bmstu.ru
Шутов Андрей Александрович shaa19km222@student.bmstu.ru
Сидоров Владимир Николаевич sidorov-kaluga@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены причины и последствия буксования трактора, а также методы расчета и предотвращения этого явления. Буксование представляет собой серьезную проблему, которая может привести к снижению производительности. Показаны основные причины буксования. Также представлены негативные последствия буксования для работы трактора и возможные пути решения проблемы. Статья предоставляет ценную информацию о причинах и последствиях буксования тракторов, а также методах его расчета и предотвращения.

Ключевые слова: *буксование трактора, причины и последствия буксования, тяговое усилие, сопротивление грунта, расход топлива*

В современном сельском хозяйстве тракторы являются одними из наиболее важных и широко используемых машин. Они выполняют множество функций, включая обработку почвы, посев, сбор урожая и транспортировку грузов. Однако одной из основных проблем, с которыми сталкиваются операторы тракторов, является буксование. Рассмотрим причины и последствия этого явления, а также методы его расчета и предотвращения [1].

Причины буксования трактора. Буксование — это процесс, при котором колеса трактора теряют сцепление с поверхностью земли и начинают проскальзывать. Это может происходить по нескольким причинам:

– недостаточное сцепление колес с грунтом. Если поверхность земли слишком мягкая или скользкая, колеса могут потерять сцепление и начать буксовать;

– перегрузка трактора. Если трактор перегружен, он может испытывать трудности с преодолением сопротивления грунта, что может привести к буксованию;

– неправильная регулировка сцепления. Неправильно отрегулированное сцепление может привести к тому, что трактор будет буксовать при попытке тронуться с места;

– износ шин. Изношенные шины могут иметь меньшее сцепление с грунтом, что увеличивает риск буксования.

Последствия буксования. Буксование может иметь ряд негативных последствий:

– снижение производительности. Буксование снижает скорость движения трактора и, следовательно, уменьшает его производительность. Увеличение

расхода топлива. Буксование требует больше энергии для преодоления сопротивления грунта, что приводит к увеличению расхода топлива. Повреждение шин. Постоянное буксование может привести к износу шин и их повреждению.

– ухудшение управляемости. Буксование может затруднить управление трактором, особенно на скользкой поверхности.

Методы расчета буксования. Для расчета буксования необходимо знать следующие параметры [2]:

– коэффициент сцепления колес с грунтом. Этот параметр зависит от типа грунта и состояния поверхности земли;

– тяговое усилие трактора. Это сила, которую трактор может приложить к земле для перемещения груза;

– сопротивление грунта. Это сила, которая препятствует движению трактора.

Расчет кривой буксования. Формулы для расчета буксования трактора МТЗ 2021 тяговой концепции выглядит следующим образом [3].

Зависимость буксования от коэффициента использования веса трактора с учетом типа движителя и почвенного фона:

$$\delta = f(\varphi_{кр}). \tag{1}$$

Для расчетов аппроксимируем зависимость и выражение, которое допускает обращение в явном виде, где $a = 11$, $b = 0{,}8$ соответственно:

$$\delta_{\varphi} = \frac{a\varphi_{кр}}{b - \varphi_{кр}}; \tag{2}$$

$$\varphi_{кр} = \frac{P_{кр}}{G_{тр}}; \quad P_{кр} = \sum_{k=1}^{K} P_{кk} - \sum_{k=1}^{J} P_{fk}; \quad P_{кk} = \frac{M_{кk} i_{трk} \eta_{трk}}{r_{кk}}. \tag{3}$$

Расчет проводился в среде Microsoft Excel (см. таблицу и рисунок).

Если значение буксования превышает 15–20 %, это указывает на то, что трактор испытывает трудности с перемещением груза и может буксовать.

Методы предотвращения буксования. Существует несколько методов предотвращения буксования [4]:

– использование шин с глубоким протектором. Такие шины обеспечивают лучшее сцепление с грунтом и снижают риск буксования;

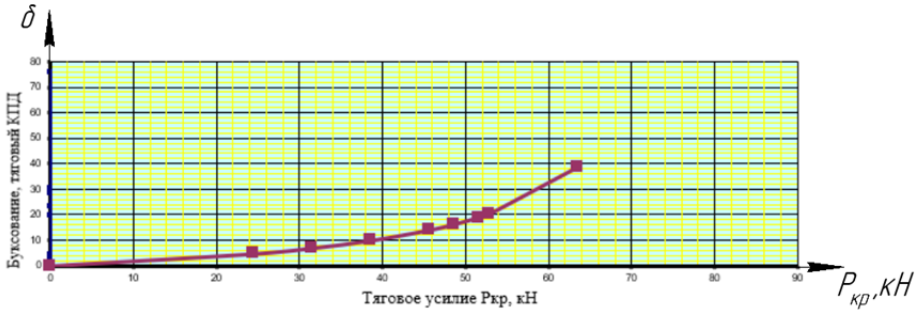
– распределение нагрузки на все колеса. Равномерное распределение нагрузки на все колеса помогает предотвратить перегрузку колес и буксование;

– регулировка сцепления. Правильная регулировка сцепления обеспечивает плавное трогание с места и предотвращает буксование;

– снижение скорости движения. Снижение скорости движения позволяет уменьшить нагрузку на колеса и снизить риск буксования.

Буксование трактора тяговой концепции

Точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-я передача,									
$M_к$, Нм	180,66	454,00	539,13	624,25	709,38	744,85	780,31	794,50	923,00
Ркр,кН	0	29,25	37,22	45,20	53,17	56,49	59,81	61,14	73,17
jкр	0	0,2867	0,3649	0,4430	0,5211	0,5537	0,5862	0,5993	0,7172
d	0	6,145	9,223	13,650	20,556	24,727	30,169	32,839	95,300
2-я передача,									
$M_к$, Нм	203,54	454,00	539,13	624,25	709,38	744,85	780,31	794,50	923,00
Ркр,кН	0	24,47	31,55	38,62	45,70	48,65	51,60	52,77	63,46
jкр	0	0,2399	0,3092	0,3786	0,4479	0,4768	0,5057	0,5173	0,6220
d	0	4,711	6,931	9,881	13,995	16,229	18,903	20,126	38,428
3-я передача,									
$M_к$, Нм	229,33	454,00	539,13	624,25	709,38	744,85	780,31	794,50	923,00
Ркр,кН	0	20,23	26,51	32,79	39,07	41,69	44,30	45,35	54,83
jкр	0	0,1983	0,2598	0,3214	0,3829	0,4086	0,4342	0,4445	0,5374
d	0	3,625	5,291	7,387	10,100	11,483	13,060	13,754	22,513
4-я передача,									
$M_к$, Нм	258,38	454,00	539,13	624,25	709,38	744,85	780,31	794,50	923,00
Ркр,кН	0	23,45	28,52	33,59	38,66	40,77	42,88	43,72	51,37
jкр	0	0,2299	0,2796	0,3292	0,3789	0,3996	0,4203	0,4286	0,5035
d	0	4,436	5,909	7,692	9,897	10,977	12,175	12,691	18,683
5-я передача,									
$M_к$, Нм	291,11	454,00	539,13	624,25	709,38	744,85	780,31	794,50	923,00
Ркр,кН	0	20,42	24,91	29,41	33,91	35,78	37,66	38,41	45,19
jкр	0	0,2001	0,2442	0,2883	0,3324	0,3507	0,3691	0,3764	0,4430
d	0	3,669	4,833	6,197	7,818	8,587	9,422	9,776	13,649
6-я передача,									
$M_к$, Нм	327,98	454,00	539,13	624,25	709,38	744,85	780,31	794,50	923,00
Ркр,кН	0	17,72	21,71	25,70	29,69	31,36	33,02	33,69	39,71
jкр	0	0,1737	0,2128	0,2519	0,2911	0,3074	0,3237	0,3302	0,3892
d	0	3,050	3,986	5,056	6,291	6,863	7,474	7,731	10,424
7-я передача,									
$M_к$, Нм	369,53	454,00	539,13	624,25	709,38	744,85	780,31	794,50	923,00
Ркр,кН	0	15,33	18,87	22,41	25,95	27,43	28,91	29,50	34,85
jкр	0	0,1502	0,1849	0,2197	0,2544	0,2689	0,2833	0,2891	0,3415
d	0	2,543	3,308	4,164	5,129	5,568	6,032	6,225	8,195



Зависимость буксования от тягового усилия на крюке

Тема буксования тракторов актуальна, поскольку напрямую влияет на эффективность работы в сельском хозяйстве и других отраслях, где используются тракторы. Буксование может привести к снижению производительности, увеличению расхода топлива и износу шин, что, в свою очередь, увеличивает затраты на эксплуатацию техники и может негативно сказаться на качестве выполняемых работ. Понимание причин и последствий буксования, а также умение правильно рассчитывать и предотвращать это явление, позволяет операторам тракторов и механикам оптимизировать работу техники, снизить риски простоев и повысить общую эффективность производственных процессов.

Литература

[1] Колобов Г.Г., Парфенов А.П. *Тяговые характеристики тракторов*. Москва, Машиностроение, 2017, 153 с.

[2] Кутьков Г.М. *Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства*. Москва, Колос, 2019, 504 с.

[3] Парфенов А.П. О номинальном тяговом усилии сельскохозяйственного трактора. *Тракторы и сельхозмашины*, 2015, № 2, 26 с.

[4] Халанский В.М., Горбачев И.В. *Сельскохозяйственные машины*. Москва, Колос, 2019, с. 39–53.

The causes and consequences of tractor slipping, as well as methods for calculating and preventing this phenomenon

Fomin V.I. fvi19km207@student.bmstu.ru
Kozlov V.A. kva19km090@student.bmstu.ru
Shutov A.Al. shaa19km222@student.bmstu.ru
Sidorov V.N. sidorov-kaluga@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article discusses in detail the causes and consequences of tractor slipping, as well as methods for calculating and preventing this phenomenon. Slipping is a serious problem that can lead to a decrease in performance. The main causes of stalling are shown. The article also presents the negative consequences of slipping for tractor operation and possible solutions to the problem. The article provides valuable information about the causes and consequences of tractor skidding, as well as methods of its calculation and prevention.

***Keywords**: tractor slipping, causes and consequences of slipping, traction, soil resistance, fuel consumption*

УДК 624.072.331

Шарнирно-сочлененная рама для виноградного трактора: эффективность и перспективы применения

Фомин Вадим Игоревич fvi19km207@student.bmstu.ru
Плахов Сергей Александрович sa.plahov@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Описано влияние шарнирно-сочлененной рамы на работу виноградного трактора. Проведен анализ значимости этой технологии в современном сельском хозяйстве и ее роль в повышении эффективности работы на виноградниках. Представлены перспективы дальнейшего развития. Подчеркивается, что шарнирно-сочлененные рамы становятся все более актуальными для обработки виноградных плантаций. Показано и рассказано, что развитие идет в направлении улучшения их конструкции, повышения прочности и надежности, а также снижения веса.

Ключевые слова: *шарнирно-сочлененная рама, виноградный трактор, маневренность, управляемость, конструкция, эффективность*

В современном сельском хозяйстве, где эффективность и производительность играют ключевую роль, шарнирно-сочлененные рамы для тракторов становятся все более актуальными. Они представляют собой инновационное решение, которое позволяет повысить маневренность и управляемость тракторов, что особенно важно в условиях ограниченного пространства на виноградниках [1].

Шарнирно-сочлененные рамы находят широкое применение в различных отраслях сельского хозяйства, включая виноградарство. Их использование позволяет значительно улучшить качество обработки почвы, уменьшить количество манипуляций при развороте, за счет уменьшенного радиуса поворота, а также внесения удобрений и ухода за растениями, что способствует повышению урожайности и качества продукции.

Развитие шарнирно-сочлененных рам для тракторов идет в направлении улучшения их конструкции, повышения прочности и надежности, а также снижения веса. Это позволяет создавать более эффективные и удобные в использовании тракторы, которые могут работать в самых сложных условиях. Главные преимущества шарнирно-сочлененной рамы для виноградного трактора [2]:

– шарнирно-сочлененные рамы обеспечивают высокую маневренность тракторов, что позволяет им легко перемещаться по узким проходам между рядами виноградных лоз;

– благодаря своей конструкции тракторы с шарнирно-сочлененными рамами обладают улучшенной управляемостью, что снижает риск повреждения растений и повышает точность работы;

– использование тракторов с шарнирно-сочлененными рамами позволяет снизить нагрузку на почву, что способствует сохранению ее структуры и плодородия;

– тракторы с такими рамами могут использоваться для выполнения различных задач, таких как обработка почвы, внесение удобрений, опрыскивание и сбор урожая;

– конструкция шарнирно-сочлененных рам обеспечивает легкий доступ к основным компонентам трактора, что упрощает его обслуживание и ремонт;

– современные материалы и технологии производства позволяют создавать прочные и долговечные шарнирно-сочлененные рамы, которые способны выдерживать интенсивные нагрузки;

– применение тракторов с такими рамами может привести к снижению затрат на обработку почвы и уход за растениями благодаря повышению производительности и уменьшению расхода топлива;

– снижение нагрузки на почву и использование более эффективных технологий обработки земли способствуют сохранению окружающей среды и снижению негативного воздействия на экосистему.

Несмотря на все преимущества, у тракторов с шарнирно-сочлененными рамами есть некоторые недостатки [3]:

– более сложная конструкция может затруднить ремонт и обслуживание тракторов для некоторых пользователей;

– производство тракторов с шарнирными рамами требует использования более дорогих материалов и компонентов, что может увеличить их стоимость;

– некоторые модели тракторов с шарнирными рамами могут быть тяжелее обычных, что может повлиять на их маневренность в определенных условиях.

Конструкция шарнирно-сочлененной рамы включает в себя две основные части, соединенные между собой шарниром. Это позволяет раме изгибаться в двух плоскостях, обеспечивая высокую маневренность и управляемость трактора [4].

Применение предлагаемого способа поворота шарнирно-сочлененных машин, по сравнению с существующими, позволяет суммировать положительные свойства как способа поворота путем складывания секций машины, так и способа поворота по бортовой схеме, что повышает маневренность машины и снизить затраты мощности на ее поворот.

В качестве разработки прототипа шарнирно-сочлененной рамы для виноградника использовалась рама Газель Next, и была адаптирована под размеры трактора (рис. 1).

Проведен прочностной анализ отдельных элементов рамы для возделывания винограда при критических нагрузках (рис. 2).

Таким образом, развитие и внедрение шарнирно-сочлененной рамы для виноградных тракторов представляется перспективным направлением, которое может принести значительные преимущества фермерам и способствовать устойчивому развитию сельского хозяйства.

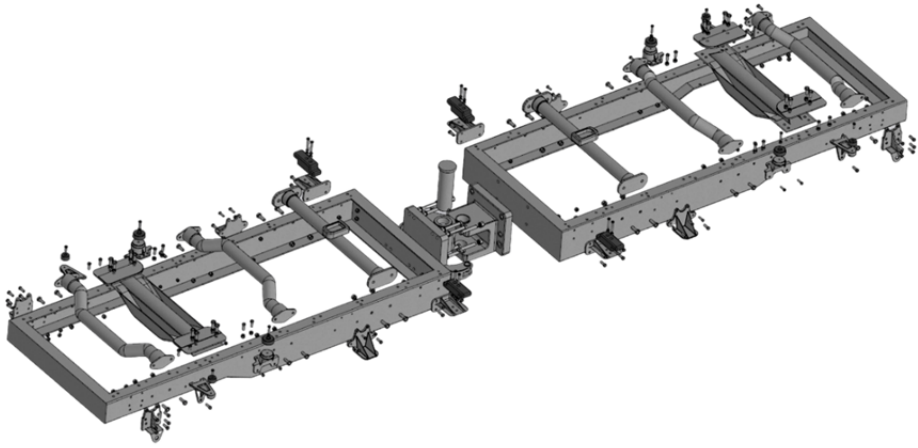


Рис. 1. Разнесенный вид прототипа шарнирно-сочлененной рамы виноградного трактора

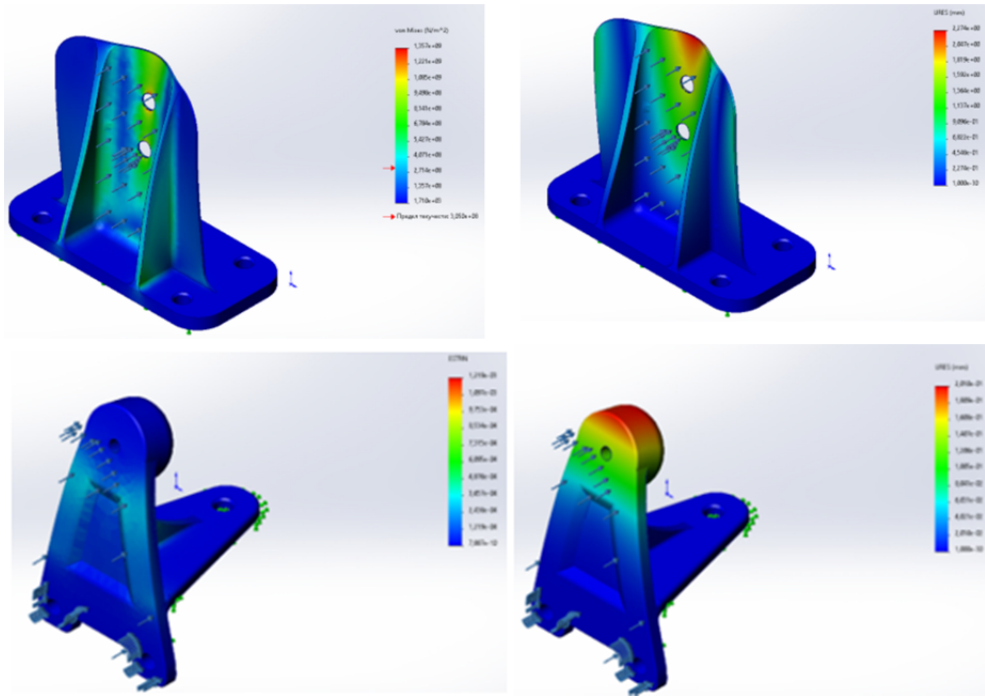


Рис. 2. Эпюра напряжений и деформаций кронштейна шарнирно-сочлененной рамы

Литература

[1] Гребнев В.П., Ворохобин А.В. Эффективность оборудования колесных тракторов тягово-догружающим устройством. *Тракторы и сельхозмашины*, 2009, № 8, с. 24–27.

[2] Боклан В.М. Поворот тягача с шарнирной рамой. *Тракторы и сельхозмашины*, 2013, № 1, 96 с. — в этом номере нет такой статьи

[3] Зангиев А.А, Шпилько А.В., Левшин А.Г. *Эксплуатация машинно-тракторного парка*. Москва, Колос, 2015, 264 с.

[4] Плахов С.А. *Конструкция наземных транспортно-технологических средств.* Калуга, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 25 с.

Articulated frame for grape tractor: efficiency and application prospects

Fomin V.I. fvi19km207@student.bmstu.ru

Plakhov S.A. sa.plahov@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article examines in detail how the articulated frame affects the operation of a grape tractor. The analysis of the importance of this technology in modern agriculture and its role in improving the efficiency of work in vineyards is carried out. The prospects for further development are presented. The article emphasizes that articulated frames are becoming more and more relevant for the processing of grape plantations. It is shown and told that development is moving towards improving their design, increasing strength and reliability, as well as reducing weight.

Keywords: *articulated frame, grape tractor, maneuverability, controllability, design, efficiency*

УДК 629.1.03

Самоходная платформа

Плахов Сергей Александрович sa.plahov@yandex.ru
Зубов Матвей Валерьевич zubov191@mail.ru
Кузовков Дмитрий Русланович kuzovkov.dmitry2016@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Представлены основные этапы проектирования модульной самоходной платформы с ботовым приводом для перевозки грузов в неблагоприятных погодных условиях. Проведен аналитический обзор существующего аналога для сельскохозяйственного назначения. Предложен выбор рациональной компоновочной схемы. Разработаны и представлены 3D-модели модульный бортовой привод, движитель с изменяемым пятном контакта, несущая система. Сделаны выводы об актуальности разработки и применении самоходных платформ в различных отраслях.

Ключевые слова: *самоходная платформа, бортовой привод, модульность, движитель с изменяемым пятном контакта*

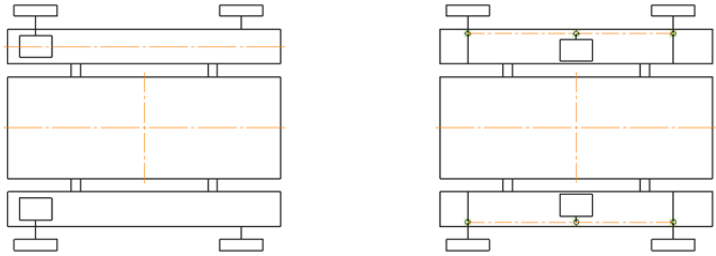
Разработка самоходных платформ для доставки грузов и выполнения различных технологических операций, в том числе в стесненных и неблагоприятных условиях является весьма актуальной задачей как для сельскохозяйственного, так и промышленного производства [1].

На сегодняшний день самоходные платформы с бортовым приводом находят значительное применение в различных отраслях сельского хозяйства. Они способны доставлять различные грузы в неблагоприятных погодных условиях (дождь, снег), выполнять технологические и другие операции с обеспечением потребления незначительного энергетического ресурса.

Самоходная платформа для доставки грузов обладает некоторыми особенностями в сравнении с другими аналогичными агрегатами, применяемыми в других отраслях, что обуславливает особенности ее конструкции.

Способы передвижения такой техники достаточно различны. Основной частью платформы является ходовая часть различной конструкции. Ходовая часть представляет собой узлы и механизмы, обеспечивающие передачу крутящего момента к движителям [2].

Компоновочная схема определяется путем расположения ведущих движителей, бортового привода и груза. На рис. 1 представлены компоновки переднеприводной и полноприводной платформы с расположением привода движителей спереди и посередине. Самыми главными недостатками переднеприводной колесной формулы являются ограничения по силе тяги из-за возможности потери управления и более активный износ шин (рис. 1). Поэтому для сельскохозяйственного назначения компоновка *б* имеет значительные преимущества перед компоновкой *а* за счет полноприводной колесной формулы и исключает вышеперечисленные недостатки.



а *б*

Рис. 1. Компоновочные схемы

Автор патента [3] предлагает использовать переднеприводную рамную платформу с ведомыми колесами рояльного типа. Главными недостатками такой конструкции являются:

– переднеприводная колесная формула, которая не обеспечивает высокую проходимость платформы;

– рамную несущую систему исключающую модульность и повышающую массу агрегата.

Преимуществом данной платформы, по сравнению с аналогом, является модульность и полноприводная колесная формула.

Были разработаны специальные колесные движители с изменяемым пятном контакта в зависимости от нагрузки, позволяющие увеличить сцепление при повороте с бортовым приводом а также минимизировать полную и частичную потерю проходимости. За счет установки нескольких пар колесных движителей уменьшается давление на опорную поверхность, уменьшается высота колеи и повышается проходимость платформы (рис. 2).

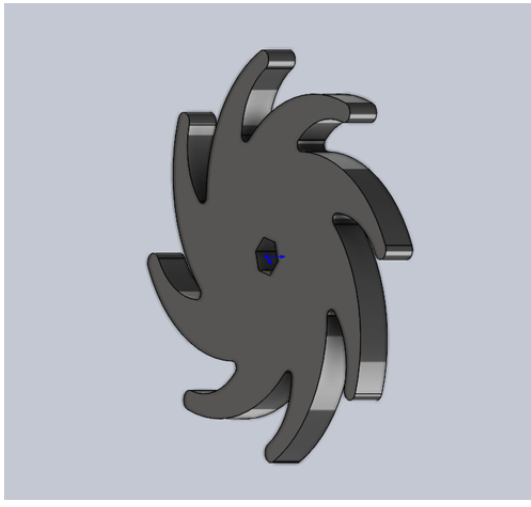


Рис. 2. Специальный движитель с изменяемым пятном контакта

Для облегчения транспортировки и сборки, а также изменения габаритов платформы (для более тяжелого груза) был спроектирован модуль с бортовым приводом (рис. 3), который упрощает конструкцию и позволяет равномерно распределить нагрузку на обе оси, а также использовать несущую систему любых размеров. Данный модуль имеет одинаковую колею как для передних, так и для задних колес и включает в себя электродвигатель и цепную передачу [4].

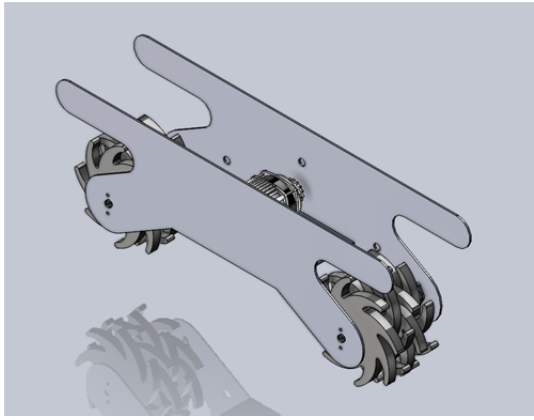


Рис. 3. Модуль

В качестве несущей системы для платформы была разработана универсальная рама (рис. 4). Предлагаемая конструкция имеет минимальную массу, что очень важно при проектировании, но достаточную жесткость. Удалось получить достаточный объем для расположения груза. Главным преимуществом рамы является возможность крепления различных кронштейнов или профилей для присоединения необходимого оборудования в зависимости от назначения платформы [5].

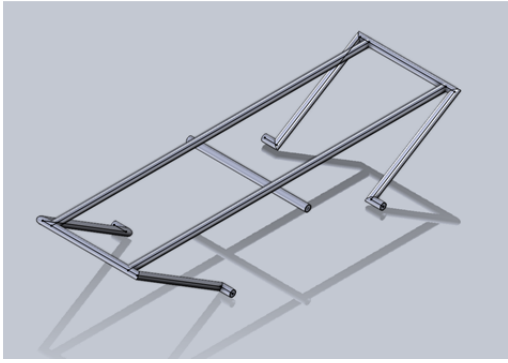


Рис. 4. Рама

Анализ существующих компоновок позволил обозначить преимущества и недостатки различных конструкции. Разрабатываемая платформа имеет специальные колесные движители с изменяемым пятном контакта, которые обеспечивают достаточно малое давление на грунт и повышают проходимость. Бортовой модуль позволяет изменять габариты самоходного агрегата, путем добавления колесных движителей при необходимости, универсальной раме, которая обладает не значительной массой и достаточной жесткостью, что также способствует повышению ее универсальности.

Литература

[1] Черненко А.Б., Черников Н.С., Багинский Н.А., Сысоев М.И. Особенности применения роботизированных платформ в сельском хозяйстве. *Проблемы современной науки и образования*, 2020, № 8 (153), с. 18–23.

[2] Космачев П.В. Анализ конструктивных схем движителей транспортных средств робототехнических комплексов для выполнения антитеррористических операций. *Актуальные проблемы защиты и безопасности. IX Всерос. науч.-практ. конф.: сб. тр.* Санкт-Петербург, НПО Специальных материалов, 2006, т. 5, с. 607–615.

[3] Зотов М.В. *Роботизированная модульная тележка*. Патент № 2023103135 РФ, 2023, бюл. № 22, 10 с.

[4] Афанасьев Б.А., Белоусов Б.Н., Гладов Г.И. *Проектирование полноприводных колесных машин.* Москва. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008, т. 1, 496 с.

[5] Алямовский А.А. *SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации.* Москва, ДМК Пресс, 2015, 562 с.

Self-propelled platform

Plakhov S.A. sa.plahov@yandex.ru
Zubov M.V. zubov191@mail.ru
Kuzovkov D.R. kuzovkov.dmitry2016@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This article presents the main stages of designing a modular self-propelled platform with an on-board drive for transporting goods in adverse weather conditions. An analytical review of the existing analogue for agricultural purposes has been carried out. The choice of a rational layout scheme is proposed. 3D-models of a modular on-board drive, a mover with a variable contact spot, and a carrier system have been developed and presented. Conclusions are drawn about the relevance of the development and application of self-propelled platforms in various industries.

Keywords: *self-propelled platform, on-board drive, modularity, mover with variable contact spot*

УДК 632.4.024/.28

Мобильное малогабаритное транспортное средство

Пономарев Алексей Иванович apon@bmstu.ru
Жилин Юрий Витальевич jilinyv@student.bmstu.ru
Касымов Никита Дмитриевич kasyymovnd@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Статья посвящена изучению технических характеристик, истории создания модели экспериментального легкового малогабаритного автомобиля НАМИ-2339. Представлен общий вид мобильного малогабаритного транспортного средства, основные узлы в компоновке, общий вид одного из представленных узлов, технические характеристики, история создания, ход проектирования и кинематическая схема. Сделаны выводы об актуальности, пригодности и соответствию данного транспортного средства для реализации заявленных ему задач.

Ключевые слова: *проектирование, создание, грузоподъемность, силовой агрегат, трансмиссия, главная передача*

НАМИ-2339 — это мобильное малогабаритное транспортное средство (ММТС), разработанное НИИ автомобильного транспорта (НАМИ) в России. Модель (рис. 1) представляет собой современное воплощение концепции, которая была заложена в предыдущих версиях. Его создание стало частью более широкой программы по модернизации и развитию отечественного автомобилестроения [1].

В начале 2000-х годов российский автопром нуждался в обновлении модельного ряда, так как многие автомобили, производившиеся в советский период, устарели и не соответствовали современным требованиям потребителей. НАМИ был нацелен на разработку легкового автомобиля, который сочетал бы в себе современные технологии, комфорт и безопасность. Это должно было помочь вернуть интерес к российским автомобилям как на внутреннем, так и на внешнем рынках [2]. Работа над НАМИ-2339 началась с проектирования кузова и шасси, что позволяло улучшить характеристики автомобиля.

НАМИ был нацелен на разработку легкового автомобиля, который сочетал бы в себе современные технологии, комфорт и безопасность. Это должно было помочь вернуть интерес к российским автомобилям как на внутреннем, так и на внешнем рынках [2].

Работа над НАМИ-2339 началась с проектирования кузова и шасси, что позволяло улучшить характеристики автомобиля. В процессе разработки использовались современные технологии и материалы, что обеспечивало конкурентоспособность автомобиля. Это включало системы безопасности, такие как подушки безопасности и ABS.

Создание прототипа включало несколько этапов тестирования и доработки, что позволило выявить недостатки и улучшить конструкцию.



Рис. 1. НАМИ-2339 на базе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

НАМИ-2339 был представлен на различных автомобильных выставках, где получил положительные отзывы за современный дизайн и технические характеристики [3]. Несмотря на успешные испытания и положительные отзывы, модель не была запущена в массовое производство. Основными причинами стали экономические трудности в стране и конкуренция с иностранными производителями.

Двухместная НАМИ-2339 имеет грузоподъемность 600 и примерно такое же тяговое усилие. В качестве силового агрегата использован ДВС ВАЗ-21082 (бензиновый, рядный, 4-цилиндровый, объемом: 1,3 литра (1294 см³), мощностью около 70 л. с., максимальный крутящий момент 100 Н·м при 3000 об/мин.), трансмиссия представлена коробкой передач от ВАЗ 2108 (рис. 2), но увеличенным до шести количеством передач переднего хода. Двигатель установлен посередине базы продольно и для уменьшения высоты наклонен на 54° вправо.

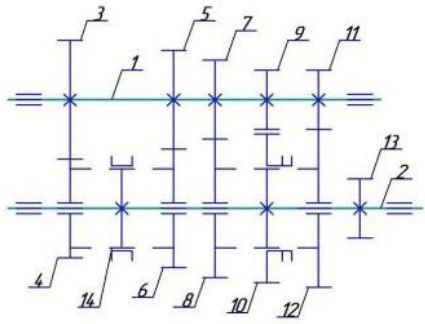


Рис. 2. Кинематическая схема двухвальной КП 2108:

1 — первичный вал; *2* — вторичный вал: *3*, *4* — шестерни 4-ой передачи; *5*, *6* — шестерни 3-й передачи; *7*, *8* — шестерни 2-ой передачи; *9* — ведущая шестерня заднего хода; *10* — синхронизатор 1-ой и 2-ой передачи; *11*, *12* — шестерни 1-ой передачи; *13* — ведущая шестерня главной передачи; *14* — синхронизатор 3-й и 4-й передачи

В коробке передач предусмотрен вал привода гидронасоса для питания навесного оборудования. Главная передача превратилась в одноступенчатую раздаточную коробку с блокировкой дифференциала, а развернутые продольно приводы колес — в приводные валы переднего и заднего мостов. В качестве последних использованы портальные мосты с бортовыми редукторами от армейской модификации УАЗ-3151. Тем самым достигается большое максимальное передаточное число трансмиссии (около 80 в зависимости от подбора шестерен), что обеспечивает высокий запас тяги — трогаться можно с третьей передачи [1].

Небольшие размеры ММТС заставили отказаться от длинных рессор в подвеске. Учитывая громадное тяговое усилие, а значит, большой реактивный момент от колес, применили достаточно редкое решение — два продольных рычага, унифицированные с уазовскими, и А-образный рычаг, прикрепленный сверху к картеру моста (рис. 3).



Рис. 3. Задняя подвеска НАМИ-2339

Упругие элементы — модернизированные пружинно-амортизаторные стойки ВАЗ-2108. И подвески, и силовой агрегат, и трансмиссия плотно упакованы в пространственную трубчатую раму. Сверху установлена каркасно-панельная кабина; под ее сиденьями — силовой агрегат, сзади — небольшой кузов, который можно откинуть для частичного доступа к мотору [4].

Хотя НАМИ-2339 не стал серийной моделью, его разработка послужила важным этапом в истории российского автомобилестроения [1].

Таким образом, НАМИ-2339 представляет собой интересный пример попытки создать современный российский автомобиль универсального назначения.

Литература

[1] *Тракторомобили.* URL: http://bookchamber.ru/isbn.html (дата обращения 22.09.2024).

[2] *Нами. Опытные образцы.* URL: http://saoirse-2010.livejournal/isbn.html (дата обращения 22.09.2024).

[3] *Типаж мобильных малогабаритных транспортных средств. «Железный конь» борозды не испортит.* URL: http://jelezniy-kon-borozdy-ne-isportit/isbn.html (дата обращения 22.09.2024).

[4] *НАМИ-2339.* URL: http://gruzovikpress/isbn.html (дата обращения 22.09.2024).

Small-sized mobile vehicle

Ponomarev A.I. apon@bmstu.ru
Zhilin Y.V. jilinyv@student.bmstu.ru
Kasymov N.D. kasyymovnd@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article is devoted to the study of technical characteristics, history of creation of the model of experimental small-sized passenger car NAMI-2339. The general view of the mobile small-sized vehicle, the main units in the layout, the general view of one of the presented units, technical characteristics, history of creation, design process and kinematic diagram are presented. Conclusions are made on the relevance, suitability and compliance of this vehicle for the implementation of the tasks declared to it.

Keywords: *design, creation, load capacity, powertrain, transmission, main gear*

УДК 62-238.9

Альтернатива Loctite при фиксации болтовых соединений

Сорокина Ирина Игоревна[1] irina.sorokina@bmstu.ru
Желтиков Андрей Андреевич[2] jeltikov_aa@ktz.power-m.ru
Зимин Александр Валентинович[2] zimin_av@ktz.power-m.ru
Гаврилова Елена Николаевна[2] gavrilova_en@ktz.power-m.ru

[1] *КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

[2] *ПАО «Калужский турбинный завод», Калуга, Россия*

Рассмотрена возможность замены резьбовых фиксаторов ТМ Loctite (Локтайт) для организации герметичных стыков и стопорения резьбовых элементов конструкций. Приводятся доступные альтернативные варианты с описанием особенностей их применения. Представлены результаты экспертной оценки с указанием значимых эксплуатационных показателей аналогов. Описывается план проведения эксперимента для верификации прочностных характеристик предложенных адгезивов, с целью использования полученных результатов в условиях ПАО «КТЗ».

***Ключевые слова**: резьбовые фиксаторы, адгезивы, Loctice, болтовые соединения*

Специфика работы изделий, выпускаемых ПАО «Калужский турбинный завод» (ПАО «КТЗ»), такова, что они нуждаются в организации значительного объема плотных соединений, герметичных стыков, зафиксированных резьбовых соединений. До апреля 2022 г. на предприятии использовали резьбовые фиксаторы, клеи и герметики (адгезивы) Loctite, производства Henkel, который сегодня не работает на территории РФ [1], поэтому актуальным для предприятия является их замена.

Герметизация болтовых соединений на предприятии проводилась резьбовыми фиксаторами Loctite 243, Loctite 577, которые заменяют стопорящие элементы, что облегчает вес конструкции; обеспечивают необходимую прочность фиксирования крепежных резьб; предотвращают ослабление крепежа, особенно при воздействии вибрационных и ударных нагрузок; работают при значительном перепаде температур; предохраняют резьбу от коррозии; используются в качестве герметиков. Замена стопорящим элементам, таким как гровер, требуется в связи с тем, что класс точности резьб стал выше, применяются оптимальные моменты затяжки и болты с увеличенной опорной поверхностью.

Для решения поставленной задачи первоочередным являлся поиск аналогов Loctite, которые по эксплуатационным и техническим характеристикам максимально соответствуют используемым ранее и доступны на территории России. В качестве возможной альтернативы рассматриваются адгезивы российского производства: Еврогерм, Анакрол, Анатерм, Fontonit и ряд доступных сейчас и хорошо себя зарекомендовавших адгезивов зарубежного произ-

водства: LOXEAL, Италия, поставщик в России — ООО «Техноком», Москва; WEICONLOCK, Германия, официальный дистрибьютор в России — ООО «Комплексное оснащение», Набережные Челны; MD MEGABOND, США, официальный дистрибьютор в России — ООО «Подшипник-Маркет», Санкт-Петербург.

Кроме необходимости обеспечения технических свойств испытателями Центра исследований и испытаний (ЦИСИС) ПАО «КТЗ» отмечено особо, что при замене хорошо зарекомендовавших себя клеев и герметиков важно дополнительно учитывать эксплуатационные характеристики, такие как цвет, консистенция, текучесть, равномерность распределения, легкость нанесения состава. При этом выбор значимых параметров фиксаторов основывался на использовании метода экспертной оценки [2, 3].

Было привлечено пять экспертов, компетентных в решении рассматриваемого вопроса. На первом этапе они оценили весомость критериев по заданной пятибалльной шкале, где 1 балл — самый незначимый, а 5 баллов — наиболее значимый критерии. После чего проводилась оценка соответствия рассматриваемых аналогов критерию также по пятибалльной шкале, где 1 балл — полностью не соответствует критерию, 5 баллов — полностью соответствует. На основе обработки экспертных оценок в качестве значимых факторов выбраны цвет и консистенция. В связи с чем при создании экспериментальной базы исследования, эти эксплуатационные характеристики отмечались особо, результаты сведены в таблицу.

У выбранных производителей по эксплуатационным характеристикам, заявленным в каталогах, были отобраны образцы продукции, соответствующие условиям применения и характеристикам Loctite. При этом у производителя моменты отвинчивания и страгивания приведены, как правило, для фиксации гайки М10 на болте Ст.3. Очевидно, что с увеличением диаметра соединения они будут возрастать. Учитывая, что на предприятии применяется значительное количество болтов больших диаметров, для рекомендации к использованию того или иного адгезива необходимо провести дополнительные испытания. Предложен план проведения эксперимента: вид образцов; объем испытаний; вид испытаний [4] — на скручивание, предполагается определять момент «страгивания».

Подготовка образцов проведена следующим образом: для каждого аналога взяты по 3 образца — болт и гайка М24, предварительно очищенные и обезжиренные. Болт закреплялся в тисках, затем на резьбу наносился фиксатор, гайка накручивалась вручную. Образцы выдерживались до полного отверждения и высыхания фиксаторов. В качестве метода контроля выбран наиболее распространенный — при помощи динамометрического ключа, имеющего точность в пределах ±5 %. Согласно РД 37.00М31-89 «Затяжка резьбовых соединений Нормы затяжки и технические требования», момент «страгивания» измеряется непосредственно в начале вращения гайки в направлении затягивания.

База исследования — нет ссылки в тексте

Назначение	Адгезив Loctite	Аналог	Эксплуатационные характеристики
Фиксация герметизации резьбовых соединений, требующих легкого демонтажа при помощи ручного инструмента	Loctite 243: консистенция — гель, цвет — голубой	LOXEAL 55-03	Синий, довольно жидкий, в процессе нанесения капает, стекает
		Еврогерм 243	Синий, более густой, чем LOXEAL 55-03, собирается на резьбе
		Анакерол-2032	
		WEICONLOCK AN 302-77	Синий, сопоставим по консистенции с Еврогерм 243, равномерно распределяется по резьбе
		Фортонит 1146	
		MD-SS 585-243	
		Анатерм-114	
Фиксация и герметизации металлических резьбовых в том числе. трубных соединений	Loctite 577: консистенция — гель, цвет — желтый	Анатерм 505	Оранжевый, очень густой, нанесение затруднено, гелеобразный
		LOXEAL 58-11	Бежевый, средне-вязкой консистенции, хорошая намокаемость
		Еврогерм 518	Синий, гелеобразный
		Анакерол-2033	Желтый, гелеобразный, наносится как гель, засыхает хорошо
		WEICONLOCK AN 305-77	Желтый, гель, легкость нанесения
		Фортонит 1343	Желто-оранжевый, гель

В настоявшее время ведется обработка результатов эксперимента и подготовка рекомендаций по использованию аналогов резьбовых фиксаторов Loctite в условиях ПАО «КТЗ».

Литература

[1] *Henkel решил уйти из России*. URL: interfax.ru/business/835684 (дата обращения 10.10.2024).

[2] Азгальдов Г.Г., Костин А.В., Садоводов В.В. *Квалиметрия для всех*. Москва, ИД ИнформЗнание, 2012, 165 с.

[3] Федюкин В.К. *Основы квалиметрии. Управление качеством продукции*. Москва, Филин, 2004, 296 с.

[4] Иоселевич Г.Б., Строганов Г.Б., Шарловский Ю.В. *Затяжка и стопорение резьбовых соединений*. Москва, Машиностроение, 1985, 224 с.

An alternative to Loctite when fixing bolted connections

Sorokina I.I.[1] irina.sorokina@bmstu.ru
Zheltikov A.A.[2] jeltikov_aa@ktz.power-m.ru
Zimin A.V.[2] zimin_av@ktz.power-m.ru
Gavrilova E.N.[2] gavrilova_en@ktz.power-m.r

[1] *BMSTU (KB), Kaluga, Russia*

[2] *PJS Company Kaluga Turbine Plant, Kaluga, Russia*

The possibility of replacing TM Loctite threaded lockers for the organization of sealed joints and locking of threaded structural elements is being considered. The available alternative options are given with a description of the features of their application. The results of the expert assessment are presented, indicating the significant performance indicators of analogues. A plan for conducting an experiment to verify the strength characteristics of the proposed adhesives is described, in order to use the results obtained in the conditions of Public Joint Stock Company "Kaluga Turbine Plant".

Keywords: *threaded clamps, adhesives, Loctite, bolted connections*

УДК 629.326

Повышение устойчивости мотоцикла при низких скоростях движения

Тевс Георгий Петрович tevsgp@student.bmstu.ru
Терехов Егор Александрович terekhovea@student.bmstu.ru
Булычев Всеволод Валериевич vs.bulychev@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Проведен анализ конструкций мотоциклов и систем управления, позволяющих повысить устойчивость при малых скоростях движения, проанализированы их преимущества, недостатки и особенности применения. Показано, что перспективным способом повышения устойчивости движения при малых скоростях является система управления положением центра масс мотоцикла. Предложена конструкция рулевого механизма, позволяющая в автоматическом режиме смещать переднее колесо в сторону наклона мотоцикла и, тем самым, противодействовать опрокидывающему моменту за счет смещения положения центра масс мотоцикла в противоположную сторону.

Ключевые слова: *мотоцикл, устойчивость движения, центра масс, рулевая колонка*

Мотоцикл является одноколейным транспортным средством, имеет только две точки опоры и высоким центром масс. Все это приводит к его низкой устойчивости при низких скоростях движения, так как любое малое отклонение от вертикального положения создает опрокидывающий момент. Для предотвращения опрокидывания мотоцикла водитель должен смещать центр масс мотоцикла наклоном туловища и поворотом руля. В последнем случае реализуется движение «змейкой» по криволинейной траектории. Такой способ поддержания равновесия требует высокой подготовки водителя и сопряжен с опасностью опрокидывания мотоцикла из-за человеческого фактора [1].

Для решения задачи повышения устойчивости при низких скоростях движения в настоящее время предложен ряд подходов. Так, в транспортном средстве [2] предусмотрено два дополнительных боковых колеса, которые могут выдвигаться посредством нажатия связанных с ними педалей. Такого плана технические решения усложняют управление мотоциклом и снижают его маневренность. Известен способ повышения устойчивости мотоциклов при движении на малых скоростях за счет применения гироскопов. Например, в патенте [3] описан мотоцикл, в котором при движении на первой скорости включается гироскопическое устройство помощи водителю для создания корректирующего момента. При разгоне транспортного средства и превышении пороговой скорости гироскопическое устройство помощи водителю отключается и переводится в нерабочее состояние.

Известен также способ повышения устойчивости мотоциклов при движении на малых скоростях, реализованный в технологии Moto Riding Assist [4],

который основан на автоматической работе рулем для поддержания равновесия. На скоростях менее 4,8 км/ч система Riding Assist дистанционно разрывает связь между рулем и передней вилкой, после чего управление за передним колесом передается бортовому компьютеру. Система управления постоянно (около 1000 раз в секунду) получает информацию от датчиков о угле наклона, после чего вносит коррективы по смещению центра масс с помощью угла поворота переднего колеса, сохраняя равновесие. Таким образом, данное техническое решение повышает устойчивость мотоцикла при движении на малых скоростях посредством автоматического смещения центра масс мотоцикла за счет подруливания на основании показаний датчика наклона. Особенностью рассмотренного способа повышения устойчивости мотоцикла является его криволинейное движение «змейкой», вызываемое поворотами переднего колеса. Особенностью данного способа управления мотоциклом является движение «змейкой», что может затруднять обеспечение устойчивости мотоцикла при движении в стесненных условиях. В изобретении [5] задача повышения устойчивости предлагается достичь за счет поперечного перемещения центра масс двухколейного транспортного средства с помощью скользящей оси. Для этого на задней оси расположено колесо, имеющее возможность вращения на оси и скольжения по оси посредством соединения с, например винтовым электромеханическим механизмом. Контроль равновесия предлагается осуществлять электронным следящим устройством. Недостатком данного технического решения является усложнение конструкции узла крепления ведущего колеса и как, следствие, снижение его надежности.

Устранение данного недостатка предлагается нами достичь за счет применения новой конструкции рулевого механизма (рис. 1).

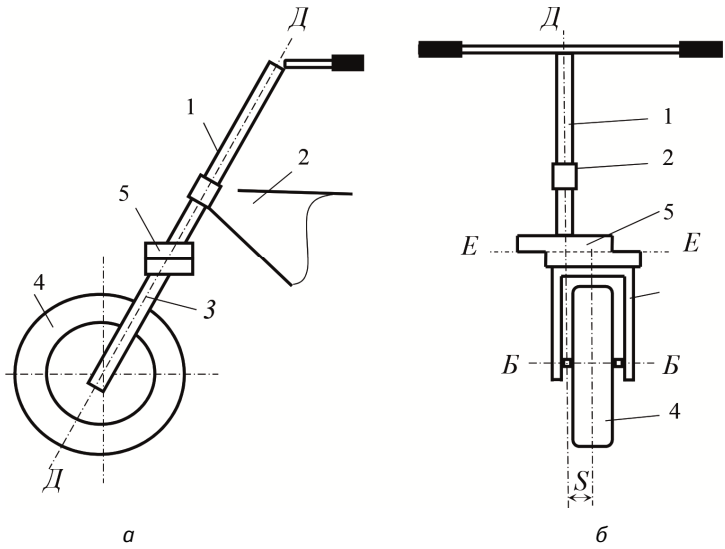


Рис. 1. Предлагаемый рулевой механизм:
а — вид сбоку; *б* — вид спереди

Рулевой механизм состоит из рулевой колонки *1*, соединенной с рамой мотоцикла *2* с возможностью ее поворота вокруг своей оси *Д–Д*, и передней вилки *3* с установленным на ней передним колесом *4*, при этом рулевая колонка *1* и передняя вилка *3* соединены между собой электромеханическим модулем линейных перемещений *5*, запитываемым от электросистемы мотоцикла (на рис. не показана) и расположенным параллельно оси вращения *Б-Б* переднего колеса *4*.

Рулевой механизм работает следующим образом. При включении электромеханического модуля линейных перемещений *5* происходит смещение передней вилки *3* относительно оси *Д–Д* рулевой колонки *1* вдоль оси вращения *Б–Б* переднего колеса *4* на некоторую величину *S* в сторону, определяемую системой управления на основе датчика наклона, установленного на корпуса механизма. При отсутствии поворота рулевой колонки *1* нахождение переднего и заднего колес мотоцикла в параллельных плоскостях обеспечивает прямолинейное движение при автоматическом смещении центра масс мотоцикла. Управляемый поворот мотоцикла осуществляют за счет поворота рулевой колонки *1*, что может быть выполнено водителем при любом смещении передней вилки *3* относительно рулевой колонки *1*. При превышении скорости движения 5 км/час переднее колесо *4* посредством системы управления автоматически плавно перемещается вдоль оси его вращения и устанавливается в одной плоскости с задним колесом. Для успешного практического применения предложенного устройства планируется проведение математического моделирования динамики движения мотоцикла и разработка алгоритма функционирования системы управления перемещения переднего колеса.

Литература

[1] Варламова Е.С., Гаевский В.В., Князев И.М. Пути повышения устойчивости мотоцикла. *Вестник СибАДИ*, 2013, № 6 (34), с. 12–15.

[2] Смагин М.Н., Козак Л.С., Смагин И.Н., Галлямов Р.Н. *Двухколесное транспортное средство, оснащенное боковыми выдвижными колесами.* Патент № 71957 U1 РФ, 2008, бюл. № 9, 12 с.

[3] *Gyroscopic rider assist device.* URL: https://patents.justia.com/patent/11577793 (дата обращения 29.07.2024).

[4] *Honda создала мотоцикл, который не падает.* URL: https://www.drive2.ru/b/463256410570883527/#:~:text=На%20скоростях%20менее%204.8%20км%2Fч%2C,поворота%20переднего%20колеса%2C%20сохраняя%20равновесие (дата обращения 29.07.2024).

[5] Мнушкин И.А. *Способ извлечения нефти, конденсата и высокомолекулярных соединений.* Патент № 2613984 C1 РФ, 2017, бюл. № 9, 12 с.

Improving the stability of the motorcycle at low speeds

Tevs G.P. tevsgp@student.bmstu.ru
Terekhov E.A. terekhovea@student.bmstu.ru
Bulychev V.V. vs.bulychev@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The analysis of motorcycle designs and control systems has been carried out, which make it possible to increase the stability of the motorcycle at low speeds. The design of the steering mechanism is proposed, which allows automatically shifting the front wheel towards the tilt of the motorcycle and, thereby, counteracting the tipping moment by controlling the position of the center of mass of the motorcycle.

Keywords: *motorcycle, stability of movement, center of mass, steering column*

УДК 629.33

Расчет рулевого наконечника автомобиля в КОМПАС-3D

Плахов Сергей Александрович sa.plahov@yandex.ru
Голубина Светлана Александровна golubinasa@bmstu.ru
Шапкин Ярослав Дмитриевич ariksapkin@gmail.com
Шапкина Анастасия Валерьевна sapkinaa519@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Представлено исследование напряженно-деформированного состояния рулевого наконечника автомобиля во встроенном модуле АРМ FEM программы КОМПАС-3D с использованием метода конечных элементов. Рассмотрены случаи нагружения рулевого наконечника в процессе прямолинейного движения, а также при повороте автомобиля. Показаны эпюры нагружения модели. Сделаны выводы о наиболее опасных участках напряжения шарового пальца. Приведены заключения о прочности шарового пальца и корпуса, а также об устойчивости автомобиля в процессе движения и поворота.

Ключевые слова: *модель рулевого наконечника автомобиля, КОМПАС-3D, статический расчет на прочность, устойчивость автомобиля, МКЭ*

Рулевой наконечник автомобиля — это элемент, подвергающийся постоянной знакопеременной нагрузке за счет передачи усилия от рулевой тяги на колеса, также знакопеременной нагрузке подвержен шарнир, соединяющий поворотную цапфу с рулевой рейкой. Выполнен из нескольких деталей, включая корпус, крышку корпуса и палец шаровой, соединяющий поворотную цапфу с рулевой рейкой, детали выполнены из высоколегированной стали марки 38ХМ [1]. При деформации рулевого наконечника нарушается геометрия рулевого управления, что приводит к снижению курсовой устойчивости автомобиля [2]. Для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) и используется семейство систем автоматизированного проектирования, универсальная система автоматизированного проектирования — КОМПАС-3D. Определим НДС рулевой тяги автомобиля во встроенном модуле АРМ FEM программы КОМПАС-3D (рис. 1) [3]. Для создания анализа МКЭ, следует построить 3D-модель в несколько упрощенном виде без отображения резьбы, некоторых скруглений и элементов, обладающих клиновидностью, для более точного разбиения модели на конечные элементы. В целях производительности расчета приведена половина модели рулевого наконечника. Модель для анализа включает в себя: корпус, крышку корпуса, палец шаровой (рис. 2).

Следующий шаг — запуск пакета расчета АРМ FEM. Для анализа необходимо задать контактные поверхности. Примем, что поверхности корпуса и крышки корпуса находятся в неподвижном контакте (связаны), поверхности шарового пальца и крышки корпуса задаются как сферическое шарнирное соединение. В следующем шаге анализа задаем материал «Простая Угле-

родистая Сталь», приступаем к разбиению модели на конечные элементы, выбираем тип сетки — 4-узловые тетраэдры. В качестве размера конечных элементов выбираем тело и задаем длины элементов 5 мм. Для более точного анализа рекомендуется выполнить расчет 10-узловыми тетраэдрами [3]. Чем выше порядок разбиения, тем дольше будет проводиться расчет модели. После создания сетки конечных элементов, задаются граничные условия. В случае, когда проводиться расчет отдельной детали сборки задаются удаленные граничные условия. Они позволяют смоделировать закрепления детали в необходимом узле конструкции. В данном случае граничные условия заданы на резьбовую часть шарового пальца, а также на резьбовую часть корпуса. Запускается расчет на сжатие шарового пальца, с приложением силы вдоль оси шарового пальца. Статический расчет на прочность представлен на рис. 3.

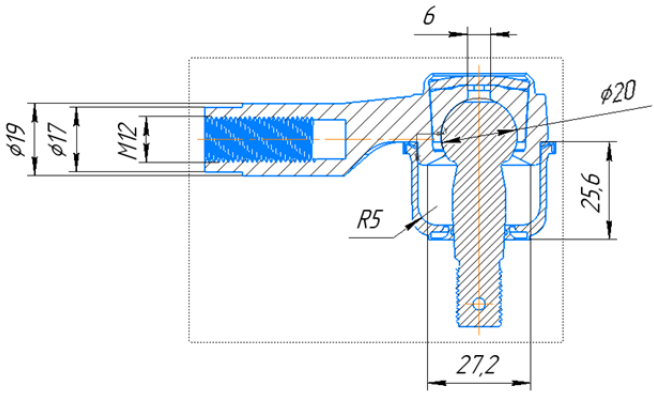


Рис. 1. Чертеж рулевого наконечника автомобиля

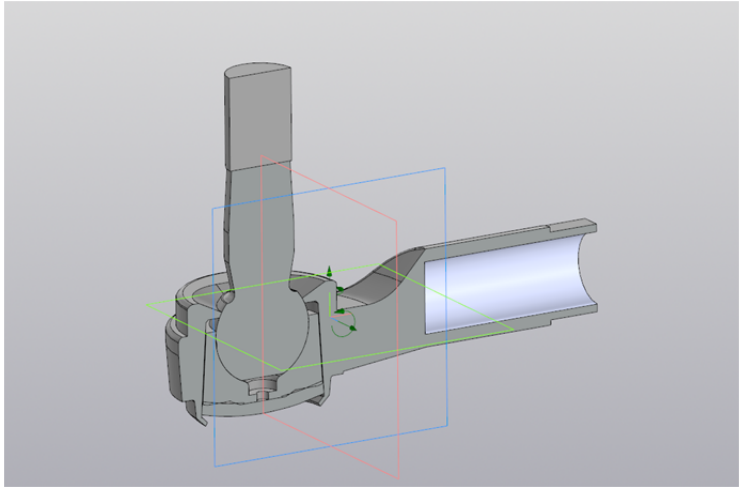


Рис. 2. Модель для анализа МКЭ

Из рис. 3. можно сделать вывод, что максимальная концентрация напряжений образуется в местах перехода цилиндрической поверхности в сферическую (шейка шарового пальца), корпус не является концентратором напряжений (согласно эпюре напряжений в минимальном значении). Исходя из полученных данных, деталь не претерпевает значительной деформации. Переходим к расчету на сжатие со стороны рулевой тяги автомобиля.

Следующий расчет производиться на сжатие со стороны рулевой тяги в процессе поворота автомобиля, смоделируем граничные условия (близкие к усилию поворота цапфы автомобиля), знакопеременная нагрузка направлена вдоль оси корпуса. Результаты расчета на сжатие со стороны нагружения от рулевой тяги представлены на рис. 4.

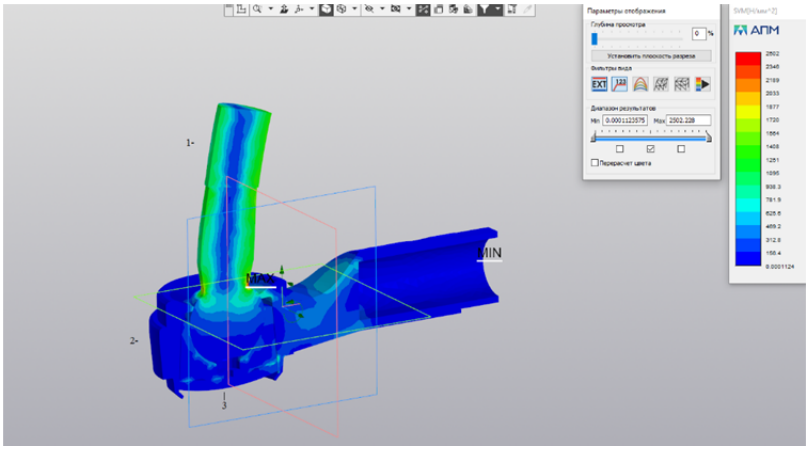


Рис. 3. Статический расчет на прочность (сжатие шарового пальца от реакции поворотной цапфы), вывод данных эквивалентного напряжения:
1 — резьбовая часть шарового пальца; *2* — корпус; *3* — крышка корпуса

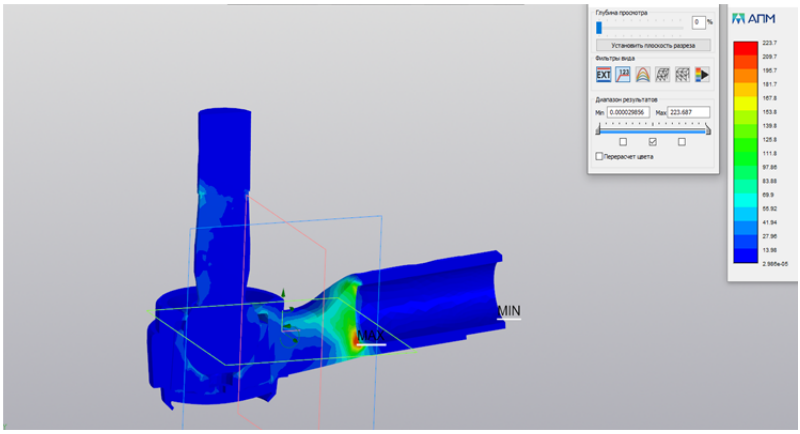


Рис. 4. Расчет на сжатие корпуса со стороны рулевой тяги

Из рис. 4. видно, что максимальные напряжения образуются на конце закрепления рулевой тяги, наблюдается незначительная концентрация напряжений на резьбовой части шарового пальца. Согласно методикам, приведенным в работе [4], важным элементом является шаровый палец. Оба расчета показали, что при различных типах нагружений, при полной массе автомобиля 1,2 т и расчетной нагрузке вдоль оси шарового пальца 10000 Н и нагрузке вдоль оси корпуса 8000 Н, не наблюдается значительная деформация шарового пальца в области шейки.

Литература

[1] Йорнсен Р. *Шасси автомобиля. Рулевое управление.* Москва, Машиностроение, 1987, 227 с.

[2] Рязанцев В.И. *Методы расчета и проектирования систем активного управления схождением колес автомобиля.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, 105 с.

[3] Огороднов С.М., Орлов Л.Н., Кравец В.Н. *Конструкция автомобилей и тракторов.* Вологда, Инфра-Инженерия, 2019, 284 с.

[4] Лысов М.И. *Рулевые управления автомобилей.* Москва, Машиностроение, 1972, 344 с.

Calculation of the steering tip of the car in KOMPAS-3D

Plakhov S.A. sa.plahov@yandex.ru
Golubina S.A. golubinasa@bmstu.ru
Shapkin Y.D. ariksapkin@gmail.com
Shapkina A.V. sapkinaa519@gmail.com

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article presents a study of the stress-strain state of the steering tip of a car in the built-in APM FEM module of the COMPASS-3D program using the finite element method. The cases of loading the steering tip in the process of rectilinear motion, as well as when turning the car, are considered. The loading diagrams of the model are shown. Conclusions are drawn about the most dangerous stress areas of the ball pin. Conclusions are given on the strength of the ball pin and the body, as well as on the stability of the car during movement and turning.

Keywords: *car steering tip model, KOMPAS-3D, static strength calculation*

УДК 623.437.42

Разработка конструкции беспилотного транспортного средства с возможностью дистанционного управления

Шутов Андрей Александрович shaa19km222@student.bmstu.ru
Козлов Владислав Александрович kva19km090@student.bmstu.ru
Фомин Вадим Игоревич fvi19km207@student.bmstu.ru
Бурков Эдуард Рафаилович burkov@kaluga.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Статья посвящена изучению вопроса разработки конструкции беспилотного транспортного средства. В научной работе рассматриваются возможные варианты конструкции и варианты оснащения транспортного средства электронными устройствами управления. Результаты научного исследования позволяют сделать вывод об эффективности разрабатываемого транспортного средства, способах его использования в различных отраслях производства и других технических системах.

Ключевые слова: *транспортное средство, элементы управления, электронный, беспилотный, многофункциональный, техническая система*

В настоящее время выросло число ситуаций, при которых вредные факторы и другие различные особенности производства могут нанести ущерб как здоровью отдельного человека или группы лиц, так и локальной экосистеме в целом. В связи с этим резко возникла необходимость в создании технических устройств, которые могли бы осуществлять деятельность операторов без их непосредственного участия или же при условии контроля осуществляемых процессов на безопасном удалении от опасного объекта [1].

Основная цель данной работы: исследовать метод аварийной (при успешных результатах — штатной) эксплуатации транспортного средства, осуществляемой по известному и определенному маршруту в незначительно отличающихся условиях по состоянию внешней среды, с соблюдением требования отсутствия дорогостоящего оборудования производства недружественных стран.

Примером подобных ситуаций может служить осуществление разгрузочно-погрузочной деятельности на складе особо токсичных химических элементов, предприятие, специализирующееся на производстве бытовой химии, предприятия с высокой шумностью в рабочих помещениях, не исключая возникновение внештатных ситуаций, представляющих угрозу здоровью сотрудникам предприятия (возгорание одного из цехов, разгерметизация контейнера с химикатами и выход ядовитых паров в атмосферу) [2].

Наиболее эффективным и перспективным вариантом решения данной проблемы может стать создание беспилотного или дистанционно-управляемого транспортного средства, оснащенного специальными устройствами для

выполнения необходимых задач (устройства захвата, грузоподъемные механизмы и др.).

Предлагаемый вариант конструкции — аналог мини-тракторов погрузчиков, в конструкцию которого интегрируются четыре электромотора, модуль управления колесами с возможностью дистанционного управления, который предусматривает управление как отдельным колесом, так и управление одним бортом, одной осью или же всеми колесами транспортного средства одновременно [3].

Существует несколько вариантов дистанционного управления беспилотными движущимися средствами. Наиболее применяемый — радиоканал. В случае плохой радиообстановки (естественной или искусственно созданной) или использования средств РЭБ устройство становится неуправляемым. Проводные системы (включая оптоволокно) имеют свои недостатки — утяжеление и усложнение конструкции, возможность запутывания и зацепления кабеля, необходимость сматывания в нестационарных (мобильных) системах.

Инфракрасные приемо-передающие системы (ИК) будут эффективны только на малых расстояниях, без физических преград распространения сигнала (включая непрозрачность атмосферы).

Для работы автономных систем управления необходима система навигации или ориентиры (метки, репперные объекты).

Во всех высокоточных приложениях с использованием сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) используется принцип относительных измерений. Это означает, что с высокой точностью определяется не абсолютное положение каждого отдельного ГНСС приемника, а приращения координат (векторы) между парами приемников. При этом если какой-то из приемников находится на пункте с известными координатами, то можно точно определить относительно него координаты остальных приемников в этой же системе координат.

В качестве примера системы управления и навигации можно привести систему Topnet Live — Russia компании ООО «Геостройизыскания».

При всех преимуществах система «АЗИМУТ» имеет ограниченную зону покрытия, высокую стоимость (от 350 000 рублей за контроллер производства КНР), абонентскую плату.

В качестве колесных моторов предлагается использование Коллекторные микродвигатели Assun Motor (Китай) — микродвигатели постоянного тока без сердечника, которые производятся в строгом соответствии со стандартами, в т. ч. CE. В коллекторных двигателях Assun Motor применяется самонесущая обмотка ротора, имеющая сотовую структуру. Использование данной фирменной технологии позволяет значительно снизить массу и инерцию ротора, при этом полностью сохранив его конструктивную жесткость.

Для управления бортовыми устройствами транспортных средств, записи показаний датчиков, осуществления слежения за транспортом и получения данных в режиме онлайн (при наличии GSM-модуля и возможности приемопередачи), записи данных телеметрии на встроенный накопитель для после-

дующего анализа предлагается использовать аналогичные микроконтроллерам Raspberry Pi Pico продукты производства КНР. В случае успеха разработки предполагается портирование проекта на следующее поколение независимой архитектуры ESP32.



Типовая функциональная схема основных подсистем автоматической системы управления БТС — нет ссылки

На первом этапе проекта отрабатывается процедура калибровки воздействия на колесные моторы с целью определения коэффициентов сцепления и реактивности в конкретной ситуационной обстановке.

На втором этапе создается процедура аварийного автономного возврата модели к точке старта путем задания обратной последовательности импульсного воздействия на колесные моторы.

На третьем этапе изучается возможность применения данной методики для программированного перемещения в заданную точку и ограничения по ее использованию на практике [4].

Литература

[1] Антти С. *Беспилотники: автомобили, дроны, мультикоптеры*. Москва, ДМК Пресс, 2018, 120 с.

[2] Волков В.С. *Основы расчета систем автомобилей, обеспечивающих безопасность движения.* Санкт-Петербург, Лань, 2022, 144 с.

[3] Москаленко М.А., Друзь И.Б., Москаленко А.Д. *Устройство и оборудование транспортных средств.* Санкт-Петербург, Лань, 2022, 240 с.

[4] Шаошань Л. *Разработка беспилотных транспортных средств*. Москва, ДМК Пресс, 2021, 246 с.

Development of unmanned vehicle design with remote control capability

Shutov A.A. shaa19km222@student.bmstu.ru
Kozlov V.A. kva19km090@student.bmstu.ru
Fomin V.I. fvi19km207@student.bmstu.ru
Burkov E.R. burkov@kaluga.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article is devoted to the study of the issue of unmanned vehicle design development. The scientific work considers possible design variants and options for equipping the vehicle with electronic control devices. The results of scientific research allow us to draw a conclusion about the effectiveness of the developed vehicle, ways of its use in various branches of production and other technical systems.

Keywords: *vehicle, control elements, electronic, unmanned, multifunctional, technical system*

УДК 621.43

Анализ новой технологии шести тактного двигателя Porsche

Григорьев Степан Дмитриевич poisonedmushroomst@rambler.ru
Булычев Всеволод Валериевич vvbul@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Представлен анализ нового патента компании Porsche, а именно анализ новой технологии шести тактного двигателя. Компания Porsche подала в 2024 г. патент на создание нового двигателя. Современное автомобиле строение активно переходит на электрические силовые установки, однако Porsche планирует продолжать развитие ДВС. Описаны плюсы и минусы новой технологии и оценена возможность ее дальнейшего развития.

Ключевые слова: *Porsche, двигатель, шесть тактов, новые технологии*

Компания Porsche всегда славилась своими достижениями в области разработки двигателей. Так, в 1939 г. основатель компании Порше, Фердинанд, создал первый автомобиль с оппозитным двигателем, а именно Porsche 64, который также устанавливался в первые Volkswagen «Жук» (Volkswagen Käfer). С тех лет прошло уже более 80 лет, но Porsche не останавливается на достигнутом прогрессе. Так, 22 октября 2024 г. компания Porsche предоставила новый патент [1] на шести тактный двигатель внутреннего сгорания.

Рассмотрим более детально технологию шести тактного двигателя. Такой двигатель был представлен еще в далеком 1883 г. инженером Сэмюэлом Гриффином [2], известным производителем паровых и газовых двигателей. Однако его разработки не нашли широкого применения в связи с их большими габаритами. Его компания обанкротилась в 1923 г., а патент использовался компанией Dick, Kerr & Co в сфере электроэнергии [4]. Шеститактный двигатель был также изобретен в 1989 г. Роджером Баджулазом из компании Bajulaz S.A. Шеститактный двигатель Bajulaz по конструкции похож на обычный двигатель внутреннего сгорания [3], но в головку блока цилиндров были внесены изменения с двумя дополнительными камерами фиксированной емкости: камерой сгорания и камерой предварительного нагрева воздуха над каждым цилиндром. В камеру сгорания поступает заряд нагретого воздуха из цилиндра; при впрыске топлива начинается изохорное (горение в постоянном объеме) горение, что увеличивает тепловую эффективность по сравнению с горением в цилиндре. Достигнутое высокое давление затем сбрасывается в цилиндр для обеспечения такта мощности или расширения. Между тем, во второй камере, которая закрывает камеру сгорания, воздух, содержащийся в ней, нагревается до высокой степени за счет тепла, проходящего через стенку цилиндра. Затем этот нагретый и сжатый воздух используется для обеспечения дополнительного хода поршня. Однако в связи с дороговизной проекта данный двигатель не пошел в массы.

Изучим подробнее патент Porsche и разберемся в его особенностях. Патент [1], поданный 22 октября 2024 г., представляет собой 13 страниц, на которых описан принцип работы нового шеститактного двигателя. Особенностью данной технологии является совмещение четырехтактного и двухтактного двигателей. К коленчатому валу 42 присоединяется шестерня эксцентрик 40. Это позволяет двигателю в определенный момент опуститься ниже нижней мертвой точки (НМТ), что открывает отверстия 11 в цилиндре для дополнительного впрыска и последующего сжатия с рабочим ходом. Так появляются дополнительные такты работы, позволяющие сжечь остатки топлива и добавить еще один рабочий цикл. Таким образом, рабочий ход будет происходить не за 4 такта в цилиндре, а за 3 такта, что фактически удвоит мощность и снизит загрязнение. На рис. 1 представлена принципиальная схема такого двигателя внутреннего сгорания (ДВС), а на рис. 2 представлен график зависимости пройденного пути поршня от угла поворота коленчатого вала. НМТ — нижняя мертвая точка, ВМТ — верхняя мертвая точка.

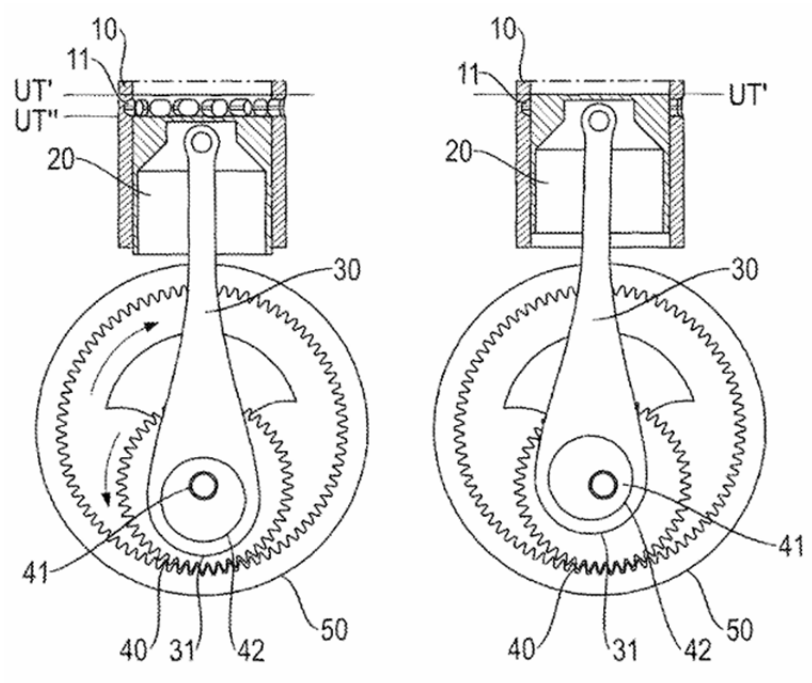


Рис. 1. Принципиальная схема шести тактного двигателя Porsche

На рис. 2 можно увидеть, что двигатель Porsche с шестью тактами имеет 2 НМТ и 2 ВМТ [5]. Таким образом, получаем данный цикл: Впуск (intake) — Сжатие (compression) — Рабочий ход (Power) — Сжатие2 (compression) — Рабочий ход2 (Power) — Выпуск (exhaust).

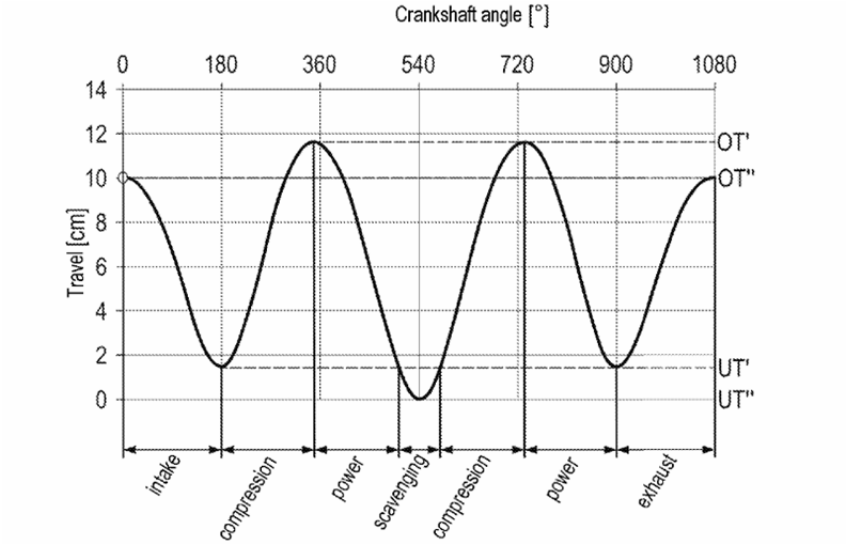


Рис. 2. График зависимости пройденного пути поршня от угла поворота коленчатого вала

Так как это только патент до конца не понятно как Porsche реализуют данную технологию, но можно однозначно выделить ряд преимуществ:

– экономия топлива: так как двигатель будет вырабатывать мощность за 3 такта, а не за 4, потребуется впрыскивать меньше топлива, что сможет существенно снизить потребление топлива;

– более плавная работа двигателя: поршни будут толкать коленчатый вал раз в 3 цикла, а не в 4. Так в 6-ти цилиндровом двигателе будет больше перекрытие между тактами, что снизит вибрацию двигателя;

– возможность создания наиболее стабильного трехцилиндрового двигателя: двигатели с шестью тактами будут подходить для двигателей с количеством цилиндров кратным трем. Так, трехцилиндровый двигатель с 4 тактами будет иметь недостаточное перекрытие тактами, а именно 60 градусов поворота коленчатого вала, где не происходит «ничего». При шести тактах будет достаточное перекрытие, и двигатель будет работать стабильно;

– сгорание остатков топлива после первого цикла рабочего хода (экологичность): на 5 этапе 1 цикла происходит вторичное сгорание остатков топлива, так как выпуска отработавших газов не происходит, что приведет к уменьшению выхлопных газов [5];

– увеличение мощности при равном количестве цилиндров: так как рабочий ход происходит не раз в 4 цикла, а раз в 3 цикла, то поршень производит фактически в 2 раза больше полезной работы.

Однако такая конструкция имеет и ряд недостатков:

– дороговизна производства: сложная конструкция шести тактного двигателя приводит к усложнению конструкции;

– сложность ремонта: сложная конструкция шести тактного двигателя приводит к увеличению количества трущихся механических деталей, из-за чего чаще будет происходить ремонт;

– сложность охлаждения: двигатель будет более сильно нагреваться в связи с более частым рабочим циклом.

В заключение, компания Porsche представила инновационную технологию, которая не сравнима с прошлыми патентами. Старые патенты основаны на работе нагретого воздуха, в то время как новый двигатель Porsche основан на работе сгорания топлива как в 1 этапе цикла, так и во втором. Хоть Porsche частично переходят на электрическую энергию в своих новых моделях, они пытаются сохранить ДВС. Глава инженерного отдела Porsche заявил: «Porsche 911 — последняя модель, которая перейдет на электрический мотор». Таким образом, Porsche пытаются развить ДВС, так как это проверенная опытом и надежная конструкция, которая при новых изменениях получит второе дыхание и сможет развиваться дальше на одном уровне с электродвигателями. Таким образом, компания Porsche доказывает, что эпоха ДВС не закончена и будет дальше развивать технологию производства ДВС.

Литература

[1] *Способ создания двухтактного двигателя внутреннего сгорания*. URL: https://patentcenter.uspto.gov/applications/18585308/ifw/docs?application= (дата обращения 11.11.2024).

[2] Андрусенко О.Е., Андрусенко С.Е., Барышников С.О., Матвеев Ю.И. *История создания двигателя внутреннего сгорания. Поиск универсального двигателя.* Санкт-Петербург, Лань, 2024, 308 с.

[3] Прокопенко Н.И. *Экспериментальные исследования двигателей внутреннего сгорания.* Санкт-Петербург, Лань, 2010, 592 с.

[4] *Диагностический сканер Vgate vLinker.* URL: FD+https://www.drive2.ru/b/686968269038433515/?ysclid=m37srii7d026982219 (дата обращения 11.11.2024).

[5] *Porsche's New Six-Stroke Engine Explained.* URL: https://www.thetruthaboutcars.com/cars/news-blog/porsche-s-new-six-stroke-engine-explained-44509603 (дата обращения 11.11.2024).

Analysis of the new Porsche six-stroke engine technology

Grigorev S.D. poisonedmushroomst@rambler.ru

Bulychev V.V. vvbul@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article is an analysis of a new Porsche patent, namely, an analysis of a new six-stroke engine technology. In 2024, Porsche filed a patent for the creation of a new engine, which will be discussed in the article. The modern car structure is actively switching to electric power plants, but Porsche plans to continue the development of the internal combustion engine. So the article talks about the pros and cons of the new technology and assesses the possibility of its further development.

Keywords: *Porsche, engine, six cycles, new technologies*

Секция 8. Защита информации

УДК 004.451.9

Сравнительный анализ обеспечения информационной безопасности в операционных системах Windows и Linux

Илюхин Илья Юрьевич ilya.ilyukhin12@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Приведен сравнительный анализ обеспечения информационной безопасности в операционных системах. В связи процессом импортозамещением и на основе анализа популярности операционных систем, основное внимание уделяется Windows и Linux. В качестве сравнительных компонентов рассматриваются: модели безопасности обеих операционных систем, процесс идентификации пользователя в системах, списки контроля доступа и модуль аудита безопасности. Предоставлена статистика атак за период 2022–2024 гг., отображающая рост инцидентов как в системе Linux, так и в системах семейства Windows.

Ключевые слова: *операционная система, обеспечение безопасности, Windows, Linux, список контроля доступа, аудит безопасности*

Статья посвящена сравнению обеспечения защищенности в ОС Windows и Linux. В ней описаны основные элементы выбранных операционных систем.

Под операционной системой или ОС понимают комплекс программ, который необходим для взаимодействия ресурсов компьютера как между собой, так и с пользователем. Прежде всего ОС является интерфейсом для связи аппаратных средств компьютера с установленными на нем приложениями. В состав любой операционной системы входят следующие пять компонентов:

– ядро — основа ОС, контролирующая функционирование приложений и внутренних элементов компьютера, таких как процессор, видеокарта, материнская плата и т. д.;

– модуль команд — элемент, взаимодействующий с пользовательскими командами и гарантирующий их выполнение;

– набор драйверов — совокупность программного обеспечения для правильной работы компьютерных комплектующих и операционной системы;

– GUI — это графический пользовательский интерфейс операционной системы, который отображается пользователю во время работы с компьютером и помогает ему взаимодействовать с ПО.

Среди наиболее популярных операционных систем являются Windows и Linux. Windows — это семейство ОС для персональных компьютеров, разработанное компанией Microsoft. Существует множество версий Windows, каждая из которых имеет свои особенности и функции, покрывающая различные нужды пользователей.

Linux является названием для UNIX-подобных систем, которые функционируют на основе одноименного ядра. В сравнении с Windows, Linux не

имеет единой комплектации, она поставляется в различных наборах дистрибутивов. Каждый отдельный дистрибутив предоставляет ряд решений для различных пользовательских задач.

В связи с ростом количества атак на вышеперечисленные операционные системы, задачи связанные с обеспечением безопасности личных данных и конфиденциальной информации становятся приоритетными для каждого пользователя и предприятия. Только в период с января 2022 по апрель 2024 г. число атак на UNIX-подобные системы выросло в 85 раз, в то время как на ОС семейства Windows это число возросло в 3,8 раза, что связано с резким переходом на отечественные Linux системы [1]. На рис. 1 представлена статистика объектов атак злоумышленников за периоды 2022, 2023 и первый квартал 2024 г. [2].

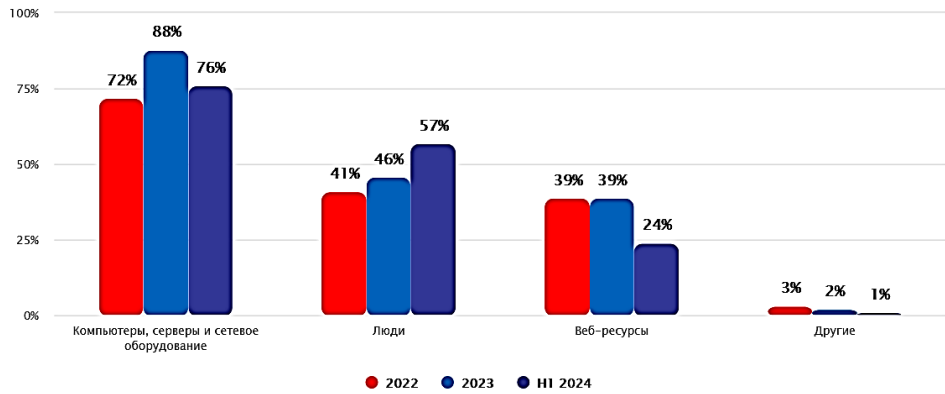


Рис. 1. Статистика объектов атак злоумышленников

Учитывая доминирующее положение Windows и Linux на рынке, для пользователей выбор будет производиться из этих ОС. В связи с этим, актуальной задачей является проведение сравнительного анализа ОС Windows и Linux в сфере обеспечения информационной безопасности.

Для сравнения средств обеспечения защищенности необходимо изучить модель безопасности каждой из представленных ОС.

Модель безопасности. Модель безопасности Windows — это совокупность процессов пользователя и режима ядра, которые контролируют компоненты безопасности ОС. Базовая модель безопасности ОС Windows изображена на рис. 2.

Монитор безопасности — основной элемент модели, выполняющий проверку защищенности и разрешение субъектов на работу с объектами. Также компонент обеспечивает работу с правами пользователей.

Подсистема проверки подлинности локальной системы безопасности. Данный процесс запускает LSASS.exe, который производит проверку подлинности пользователей и обновляет журнал событий сообщениями аудита безопасности. Необходимые настройки и параметры для корректной работы под-

системы находятся в базе данных LSASS, которая хранится в реестре. Также в эту БД входят данные о том, кто может проводить проверку подлинности попыток входа в систему, и какие пользователи имеют доступ к системе.

Администратор учетных данных в системе защиты — это служба, отвечающая за управление базой данных, содержащей имена пользователей и определяет группы на машине.

База данных SAM. Включает в себя информацию о локальных пользователях, описывая их группы, пароли и другие необходимые компоненты. Данная БД не хранит данные о пользователях на контроллерах домена, за исключением учетной записи администратора. Эта база данных хранится в ветке реестре HKLM/SAM.

Пакеты аутентификации содержат DLL файлы, которые включены в процесс LSASS. Данные DLL файлы реализуют политику проверки подлинности, т. е. выполняют аутентификацию пользователей через проверку соответствует ли введенное имя пользователя и пароль, и возвращает процессу LSASS в случае успешной проверки информацию, уточняющую пользовательские привилегии.

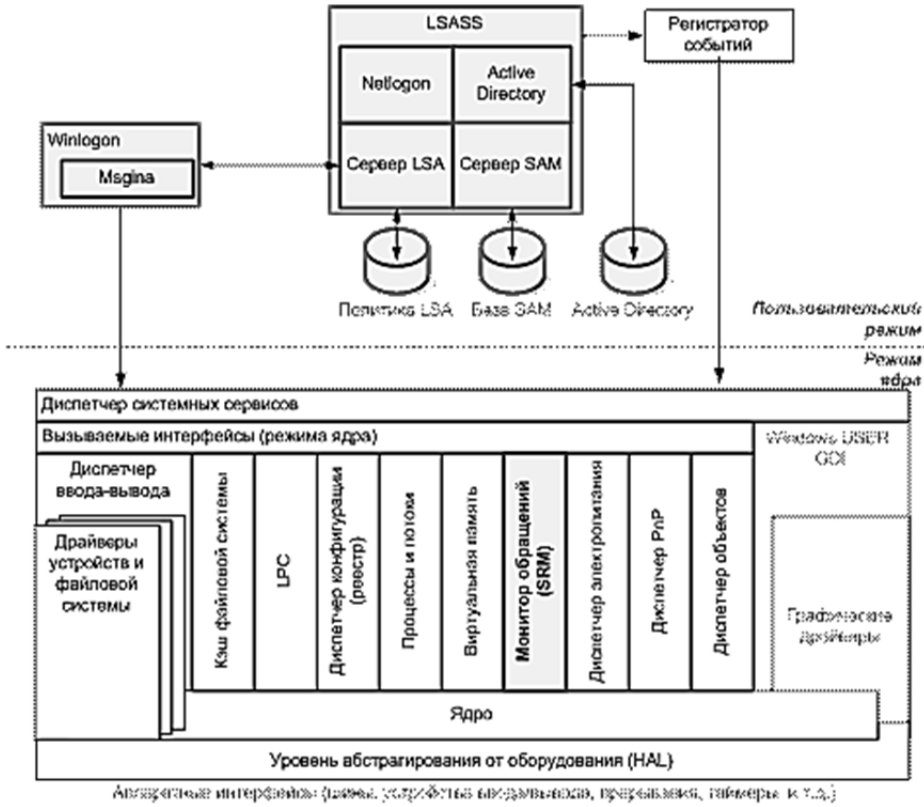


Рис. 2. Модель безопасности Windows

Пользовательский интерфейс входа в систему. Процесс, который отображается перед запуском самой ОС. Он показывает пользователям графический интерфейс, который предоставляет пользователю возможность удобной и понятной авторизации.

Драйвер устройства безопасности ядра. Библиотека функций режима ядра, которые используются для обмена данными с LSASS другими компонентами безопасности режима ядра.

В отличие от Windows, ОС Linux модель безопасности имеет другое представление. Она является совокупностью процессов и служб, организующих защищенную среду для ядра. В ее состав входят такие компоненты, как:

– **подключаемые модули аутентификации** — это набор разделяемых библиотек, используемых для динамической проверки подлинности пользователя в приложениях или в системе. Набор объединяет несколько модулей низкоуровневой аутентификации в высокоуровневый API, который обеспечивает поддержку динамической аутентификации приложений. Схема и настройки аутентификации указываются администратором в директории /etc/pam либо в файле /etc/conf;

– **управление учетными записями пользователей** является фундаментальным аспектом Linux, который включает в себя создание, изменение и удаление учетных записей пользователей, а также управление привилегиями пользователей и правами доступа;

– **компонент управления паролями** — это модуль, позволяющий взаимодействовать с пользовательскими паролями, т. е. создавать новый пароль, редактировать его и сбрасывать;

– **компонент управления сеансами** — модуль, взаимодействующий с сеансами входа в сеть. Компонент регулирует запуск и завершение пользовательского сеанса и делает необходимые записи в журнал инициализированных сеансов.

Рассмотрев вышеперечисленные компоненты модели безопасности каждой из операционных систем, можно сделать вывод, что ОС имеют различные компоненты, но схожий принцип разделения системы безопасности на отдельные модули делает обе ОС стабильнее и проще.

Идентификация. Вторым компонентом сравнительного анализа является идентификация, под которой понимается процесс проверки личности пользователя в системе. Рассматривая идентификацию в рамках ОС Windows, необходимо знать, что идентификатором здесь является значение непостоянной длины, которое определяет пользователя системы безопасности и хранится в HKLM\Security.

Идентификатор или SID — Security Identifier всегда начинается на букву S и представлен в следующем формате [3]:

S-1-5-21-7623811015-3361044348-030300820-1013

SID имеет следующую структуру:

– строка SID;

– версия спецификации SID;

– идентификатор прав доступа — показывает, кто создал эту сторону;

– идентификатор домена;

– относительный идентификатор RID — указывает на то, сколько SID уже есть в системе.

В Linux распознавание пользователя осуществляется по имени пользователя во время авторизации, далее имя пользователя сопоставляется с идентификационным номером (UID), которое либо автоматически, либо при помощи администратора присваивается пользователю. Данная пара имя_пользователя: UID находится в файле /etc/passwd [4]. Также любая группа сопоставляется со своим GID — Group Identificator.

Несмотря на то, что идентификаторы имеют разное представление в системе и хранятся они в разных местах, сам процесс распознавания пользователя одинаков.

Список контроля доступа. Третьим компонентом для сравнительного анализа будет рассматриваться список контроля доступа или же СКД. Под СКД понимают совокупность правил, контролирующих, возможность субъекта, будь то пользователь или система, получить разрешение на взаимодействие с необходимыми ресурсами и проверяющих, каким уровнем обладает это разрешение.

В структуре СКД систем Microsoft Windows, можно выделить два типа СКД: DACL и SACL. Основной частью каждой СКД являются записи управления доступом — ACE, хранящие в себе информацию о наличии разрешения у субъекта на работу с выбранным объектом. ACE состоит из четырех параметров:

– SID, который определяет доверенное лицо;

– маска доступа, определяющая какой доступ есть у доверенного лица;

– флаг, обозначающий тип ACE;

– битовые флаги, может ли дочерний объект наследовать ACE от первичного.

В DACL, дискреционном СКД, выделяется 4 типа записей управления доступом: есть доступ, доступ отсутствует, объект разрешен, объект запрещен. Первые два типа определяют имеет ли субъект возможность взаимодействовать с объектом или нет, два других же определяют может ли объект существовать или не может.

SACL, системный СКД, содержит в себе 2 типа ACE: записи системного аудита и записи объекта системного аудита. В данном случае ACE определяют выполняемые операции субъектами над объектами и проверяют, могут ли данные субъекты пользоваться выбранными операциями. Любая попытка выполнения операции, успешная или, наоборот, неудачная, записывается в журнал аудита.

В современных дистрибутивах Linux хоть и присутствует СКД, контроль доступа, в основном, обеспечивается через файловую систему. Это связано с тем, что настройка СКД проблематична и несет за собой ряд проблем, таких как низкая производительность файловой системы и некорректная работа

с программами, не поддерживающими СКД. Также следует отметить, что СКД становятся тяжело управляемыми из-за большого количества записей.

Говоря о контроле доступа через файловую систему необходимо знать, что он собой представляет. Данный контроль означает, что при работе с файлами и директориями файловая система использует определенные атрибуты. Они регулируют уровень и возможность взаимодействия пользователя и группы с необходимыми ресурсами. К таким атрибутам можно отнести имя файла, биты доступа, идентификатор пользователя и идентификатор группы, изображенные на рис. 3.

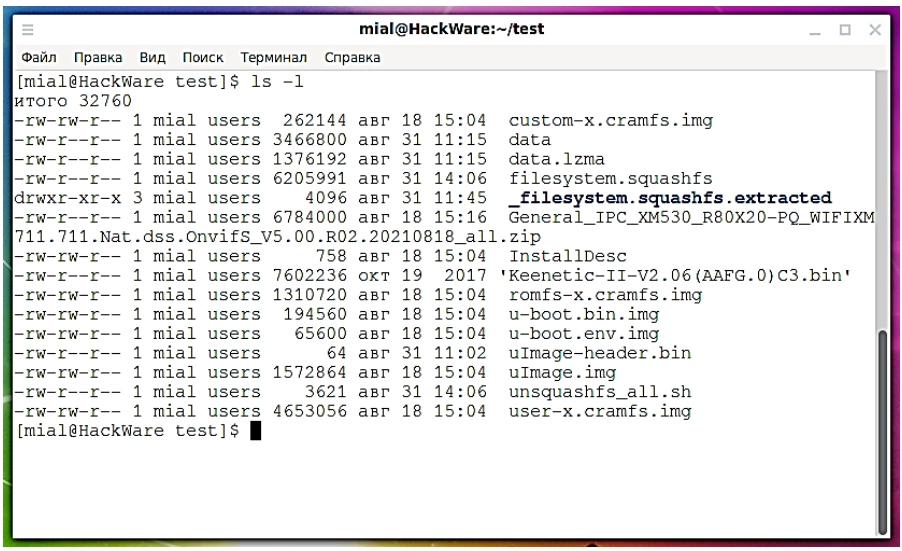


Рис. 3. Атрибуты файлов

Нельзя не упомянуть СКД в Linux, хотя он и редко используется. В данной ОС выделяется два типа СКД: DAC, означающий, что пользователь сам выбирает у кого есть разрешение на работу с выбранным объектом, и MAC, где разрешения определяются в политике доступа.

В обеих ОС реализован процесс предоставления доступа для работы с ресурсами. Если в Windows это реализовано через полноценные СКД, то Linux определяет привилегии через атрибуты файлов, однако в редких случаях тоже используется СКД.

Аудит безопасности. Четвертым элементом обеспечения ИБ является аудит. Аудит — это процесс, определения состояния системы после проверки безопасности. Отчеты проведенного аудита показывают какой пользователь, когда и при каких условиях обращался к определенным ресурсам.

Аудит в ОС Windows может проводится двумя способами: вручную и автоматизировав этот процесс. Ручной аудит подразумевает сканирование си-

стемы без автоматизированных команд, обычный опрос персонала и проверка физического доступа к системе [5]. Иной подход позволяет выполнять вышеперечисленные действия при помощи подходящих программ, таких как локальная политика безопасности, интерфейс которой изображен на рис. 4.

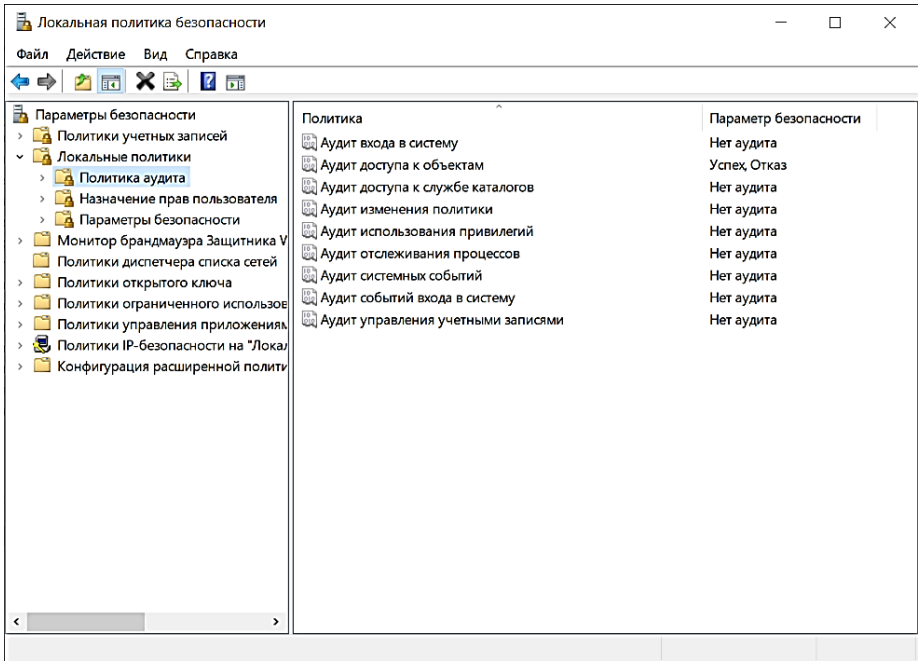


Рис. 4. Интерфейс локальной политики безопасности

В Windows аудит безопасности можно провести на следующих событиях:

– вход в учетную запись, проверка входа и выхода пользователя системы;

– доступ к объекту, т. е. анализ наличия разрешения у субъекта на взаимодействие с объектом;

– изменение политики аудита, т. е. анализ любых изменений в политиках аудита;

– учетные записи, т. е. проверка изменения данных учетных записей.

В Linux аудит состоит из компонентов, один из который находится в ядре — kauditd, второй в пользовательском пространстве — auditd (рис. 5) [6].

Процесс аудита безопасности выполняется следующим образом. Пользовательские приложения отправляют вызов syscall в компонент ядра Kauditd. В ядре осуществляется проверка, какому из модулей соответствует приложение пользовательского пространства, к которым относятся:

– User — события, связанные с пользователем;

– Task — события, связанные с системными процессами;

– Exclude — события, которые не относятся к аудиту;

– Filesystem — события, связанные с изменениями в файловой системе;
– Exit — события завершения процессов.

Далее через протокол взаимодействия между пользователем и ядром — netlink, информация о событиях передается в фоновый процесс Auditd, который записывает зафиксированные действия в журнал событий аудита.

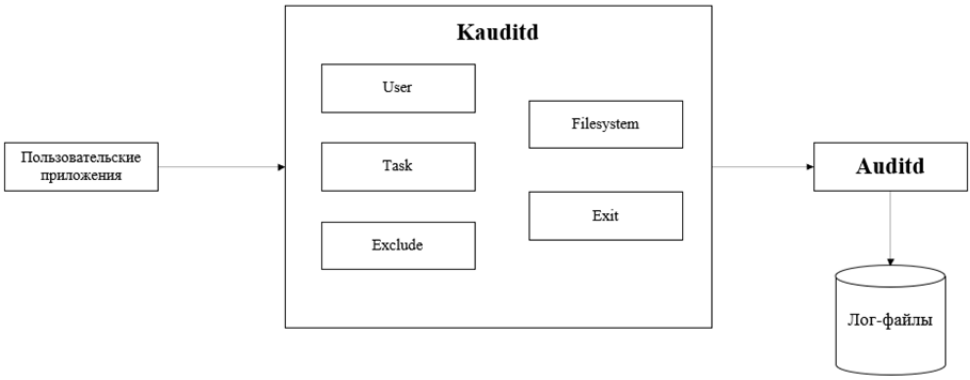


Рис. 5. Система аудита в ОС Linux

Следует отметить, что основным отличием в аудите безопасности данных ОС является то, что любое событие в Linux проходит через аудит в пространстве ядра, в отличие от ОС семейства Windows.

Заключение. В ходе проведенного анализа были рассмотрены основные компоненты обеспечения информационной безопасности в ОС Windows и Linux. Обе ОС имеют схожие механизмы обеспечения безопасности, однако методы реализации отличаются. Принципиальным отличием является то, что Windows включается свои средства в работу ядра, в то время как Linux использует пользовательские процессы. При этом каждая из операционных систем адекватно защищает данные, но выбор ОС зависит от конкретных задач пользователя или предприятия.

Литература

[1] *Число атак на российские Linux выросло в 85 раз.* URL: https://www.cnews.ru/news/top/2024-08-30_populyarnost_novyh_rossijskih (дата обращения 31.10.2024).

[2] *Киберугрозы в государственном секторе.* URL: https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/kiberugrozy-v-gosudarstvennom-sektore/#id1 (дата обращения 01.11.2024).

[3] *Идентификаторы безопасности SID.* URL: https://sysadminium.ru/kak_ustroen_windows-sid/ (дата обращения 04.11.2024).

[4] *Идентификация и аутентификация пользователей при работе подсистемы разграничения доступа в ОС Linux*. URL: https://www.okbsapr.ru/library/publications/kanner_2012_3/?ysclid=m2wcoekupg933727777 (дата обращения 04.11.2024).

[5] *What is Security Audit for Windows?* URL: https://www.geeksforgeeks.org/what-is-security-audit-for-windows/ (дата обращения 02.11.2024).

[6] *Основы аудита. Настраиваем журналирование важных событий в Linux.* URL: https://xakep.ru/2021/09/16/linux-audit/ (дата обращения 02.11.2024).

Comparative analysis of information security in Windows and Linux operating systems

Ilyukhin I.Y. ilya.ilyukhin12@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This work provides a comparative analysis of information security in operating systems. Due to the import substitution process and based on the analysis of the popularity of operating systems, the focus is on Windows and Linux. The following comparative components are considered: security models of both operating systems, the process of user identification in systems, access control lists and the security audit module. Attack statistics for the period 2022–2024 are presented, reflecting the growth of incidents in both Linux and Windows systems.

Keywords: *operating system, security, Windows, Linux, access control list, security audit*

УДК 004.056

Практические варианты использования машинного обучения для обеспечения безопасности информационных систем

Дронова Виктория Сергеевна dronova.vica7@gmail.com
Мазин Анатолий Викторович mazin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Информационная безопасность становится критически важной из-за увеличения количества кибератак и сложности методов взлома. Традиционные, основанные на статических правилах, методы часто неэффективны против современных угроз, которые требуют динамических решений. Рассмотрено применение методов машинного обучения для анализа и прогнозирования отклоняющегося от нормы состояния системы. Сделаны выводы, что машинное обучение способно выявлять шаблоны и аномалии, а также представляет собой перспективную технологию для защиты данных и инфраструктуры, предлагая ключевые подходы к обнаружению угроз.

Ключевые слова: *информационная безопасность, машинное обучение, выявление аномалий, ARMA, ARIMA*

Машинное обучение в области информационной безопасности разделяется на две ключевые задачи: распознавание образов и обнаружение аномалий.

Задача обнаружения аномалий фокусируется на выявлении отклонений от установленных норм. Этот метод применяется для выявления атипичного поведения, которое может указывать на потенциальные угрозы, такие как подозрительная активность в сети. Для решения таких задач используются данные, представляющие собой образцы регулярных действий, с которыми затем сравниваются новые данные. Отклонения, выявленные в процессе анализа, могут служить индикаторами вредоносной активности или нарушений безопасности [1].

Модели временных рядов, такие как ARMA и ARIMA, часто применяются для прогнозирования и обнаружения аномалий в данных, и позволяют выявлять нештатные ситуации, такие как резкое увеличение нагрузки на процессор. Модель ARMA включает три ключевых параметра: порядок авторегрессии (AR), порядок разности для обеспечения стационарности ряда и порядок скользящего среднего (MA). Эти параметры позволяют анализировать зависимости между значениями ряда и предсказывать его будущие значения. Отклонения прогноза от реальных данных могут указывать на аномалии, что позволяет своевременно реагировать на потенциальные угрозы. Если ряд нестационарен, используется модель ARIMA, которая дополнительно включает порядок дифференцирования, преобразующий данные в стационарные для лучшего прогнозирования [2].

Алгоритм машинного обучения работает следующим образом: он принимает на вход тренировочный набор данных и на основе этого набора выдает модель. Модель — это алгоритм, который, принимая новые данные в том же формате, что и обучающие данные, выдает прогноз или решение.

В данном исследовании использовалась модель ARIMA для анализа загрузки процессора, где была обнаружена повторяющаяся структура с пиками каждые 2,5 часа. Модель ARIMA с параметрами AR = 11, MA = 11 и $d = 0$, а также ARIMAX с аналогичными параметрами применялись для прогнозирования и определения аномалий [3].

Для более точного прогноза было построено 100 последних точек наблюдений, а также доверительный интервал, указывающий вероятность использования процессора в разные моменты времени. В результате применения ARIMA модель выдала прогноз, максимально близкий к реальным данным (рис. 1). При обнаружении значительных отклонений от прогноза система может классифицировать их как аномалии и инициировать предупреждения [4].

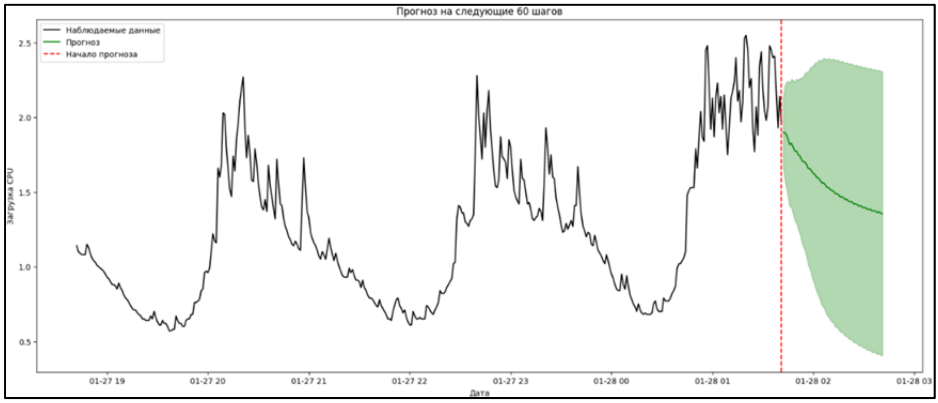


Рис. 1. Прогнозирование использования CPU в доверительном интервале для первого набора данных

Для выявления аномалий с помощью прогнозирования реальные данные сравниваются с периодически обновляемыми динамическими прогнозами. Система может предсказывать значения на 60 минут вперед каждые 30 минут, обучая новую модель ARIMA на данных, собранных за предыдущие 24 часа. В результате тестирования на первом наборе данных, ожидаемый диапазон соответствует реальному поведению процессора в заданном временном интервале, потому такой метод пошагового (инкрементального) обучения подходит практически для всех алгоритмов, так как он позволяет приблизить их к динамическому (потоковому) режиму работы несмотря на то, что изначально они разрабатывались для пакетной (статической) обработки данных.

При прогнозировании с использованием модели ARIMAX, тренированной на другом наборе данных, наблюдался другой итоговый прогноз (рис. 2).

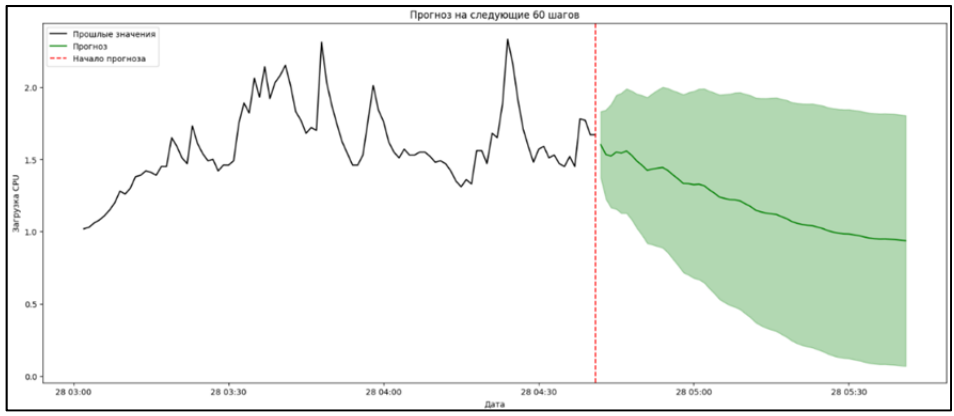


Рис. 2. Прогноз с помощью модели ARIMAX за пределами выборки для второго набора данных

При использовании модели ARIMAX, была обнаружена аномалия, которая возникает после фазы обучения модели. В исходном наборе данных на прогнозируемом участке наблюдался резкий спад, чего не учел доверительный интервал прогноза (рис. 2). Так как резкое падение наблюдаемых значений происходит в области низкой достоверности прогноза, система сгенерирует оповещение о наличии аномалии. Для этого должны быть заданы специальные пороговые условия, определяющие, насколько сильно прогнозируемые значения отличаются от фактических наблюдений, чтобы инициировать сигнал о возможной аномалии [5]. Таким образом, применение машинного обучения для обнаружения аномалий является перспективным направлением, позволяет увеличить качество мониторинга различных информационных систем и повысить их устойчивость к атакам. Такие методы можно применят для анализа состояния компонентов в DLP системах.

Литература

[1] Лачихин А.В., Лачихина А.Б. Подходы к обучению в мультиагентных системах. *Вопросы радиоэлектроники*, 2016, № 2, с. 10–12.

[2] Мэрфи К.П. *Вероятностное машинное обучение. Введение*. Москва, ДМК Пресс, 2022, 940 с.

[3] Баланов А.Н. *Машинное обучение и искусственный интеллект*. Санкт-Петербург, Лань, 2024, 172 с.

[4] Калинин М.О., Штеренберг С.И. Анализ информационной безопасности предприятия на основе мониторинга информационных ресурсов с использо-ванием машинного обучения. *Интеллектуальные технологии на транспорте.* 2018, № 3 (15), с. 47–54.

[5] Ангапов В.Д., Бобров А.В., Тимонин В.А., Вишняков А.С. Использование технологий машинного обучения в защите информационных систем. *Наука, техника и образование*, 2023, № 4 (92), с. 20–26.

Practical options for using machine learning to ensure the security of information systems

Dronova V.S. dronova.vica7@gmail.com
Mazin A.V. mazin@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

Information security is becoming critically important due to the increase in cyber attacks and the complexity of hacking methods. Traditional methods based on static rules are often ineffective against modern threats that require dynamic solutions. Machine learning, capable of detecting patterns and anomalies, is a promising technology for protecting data and infrastructure, offering key approaches to threat detection.

Keywords: *information security, machine learning, anomaly detection, ARMA, ARIMA*

УДК 004.056.5 ФИО полностью

Психологические аспекты безопасности в сети: выбор паролей

Геворгян Э.А. gevorgyaneaa1@student.bmstu.ru
Потапов А.В. potapov@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

В работе рассмотрены психологические аспекты выбора паролей для учетных записей. Нежелание придумать сложный пароль, и проблема его запоминания приводит к тому, что злоумышленникам становится проще взламывать пароли и добраться до конфиденциальной информации. Цель работы — доложить об опасности выбора простых паролей из-за ассоциативного выбора слов или символов. Описаны методы выбора безопасных паролей и ее защищенности. Проведен социальный эксперимент, приведена статистика использования простых паролей и сделан вывод об осведомленности людей о незащищенности паролей.

Ключевые слова: *пароль, социальная инженерия, психология выбора, угроза, опасность, незащищенность, учетная запись, взлом, безопасность, конфиденциальность*

В стремительно развивающемся мире цифровых технологий важно обращать внимание не только на программные и аппаратные средства защиты информации, но и на социально-психологические аспекты. В настоящее время термин «Социальная инженерия» обретает особую значимость в сфере IT и информационной безопасности. Это искусство психологического манипулирования, которое злоумышленники используют для добычи конфиденциальной информации.

При создании аккаунтов в разных сервисах пользователи часто раскрывают свои данные: день рождения, родной город, страну проживания, учебные заведения и прочее. Разделы об интересах, любимых цитатах, мировоззрении и социальном статусе хранят информацию, которая может облегчить взлом. Публикация фотографий с геолокацией, именами домашних питомцев или местами работы создает дополнительные риски, если пароли содержат схожие ассоциации. Хакеры могут прибегать к «словарным атакам», пользоваться информацией о местонахождении для кибератаки в моменты, когда жертва отвлечена. Повторное использование паролей или одних и тех же ассоциаций для разных учетных записей лишь усугубляет эту угрозу, так как открывает доступ ко всем аккаунтам. Под угрозой могут оказаться не только личные аккаунты, но и рабочие, если не соблюдать основные правила создания надежного пароля. По исследованиям компании Trustwave более 5 % всех паролей в своей символике содержат набор password или различные его вариации, для бизнес- и коммерческих аккаунтов такая ошибка может оказаться колоссальной [1, 2].

Надежный пароль характеризуется тяжестью взлома, чем дольше происходит подбор пароля, тем он сложнее. Если не пользоваться современными

методиками создания паролей, то вероятно, что мошенники смогут подобрать их буквально за несколько часов.

Критерии надежного пароля:

– более 10–15 символов;

– отсутствие простых и известных последовательностей, например “12345” / ”11111” или “qwerty”/ “password”;

– разнообразный состав символов (строчные/заглавные буквы, алфавиты разных языков, цифры и знаки).

Для лучшей надежности можно прибегнуть к помощи генераторов паролей. С помощью менеджера паролей нет необходимости запоминать последовательность, следовательно проблема запоминания тоже решена [3, 4].

В связи острой проблемой взлома паролей и неосведомленности граждан был проведен социальный эксперимент на тему: выбор паролей, в котором приняли участие 120 человек, отражающий знания о паролях и методы выбора.

Вопросы, на которые отвечали участники:

Как часто вы используете ассоциации (имена, названия, числа) при создании логинов и паролей для онлайн-сервисов?

Какими типами ассоциаций вы чаще всего пользуетесь?

Как бы вы оценили уровень безопасности использования ассоциаций для создания паролей? (Шкала от 1 до 5, где 1 — «очень небезопасно», 5 — «очень»).

Сталкивались ли вы с ситуацией, когда ваш пароль, созданный с использованием ассоциаций, был взломан?

Как вы обычно создаете пароли, если не используете ассоциации?

Изменяете ли вы свои пароли регулярно?

Используете ли вы одинаковые пароли для разных онлайн-сервисов?

Работаете/учитесь ли Вы в сфере IT?

Алан Браун в своей работе «Генерация и запоминание паролей» раскрывает результаты исследования, в котором выясняется, что имена являются наиболее распространенной информацией, используемой для паролей, а даты являются вторым по распространенности типом информации [5].

По результатам проведенного опроса в были сделаны выводы. Практически 70 % участников ответили, что иногда или часто используют ассоциации. На первом месте использование имен и на втором — ключевые даты. Исследование подтвердило эксперимент Алана Брауна.

Пароли, созданные с помощью ассоциаций, безопасны на «5» и «4» баллов по мнению 60 % опрошенных. Пароли стоит обновлять периодически. Многие IT-компании в политике безопасности указывают, что изменение паролей раз в единицу времени — обязательная процедура, рабочие аккаунты могут оказаться под угрозой, если не соблюдать политику паролей, установленной предприятием. Необходимо использовать разные пароли для разных сервисов, чтобы злоумышленники не смогли получить доступ ко всем аккаунтам.

В работе была подсчитана корреляция частоты использования ассоциаций в паролях в зависимости, работает/учится ли участник опроса в сфере ИТ. Корреляция = 0,3, она положительна, следовательно при повышении одного значения частоты вырастают и другие значения.



Рис. 1. Частота пользования ассоциациями



Рис. 2. Часто используемые ассоциации



Рис. 3. Оценка безопасности пароля с ассоциацией



Рис. 4. Частота взлома паролей с использованием ассоциаций



Рис. 5. Использование альтернатив создания

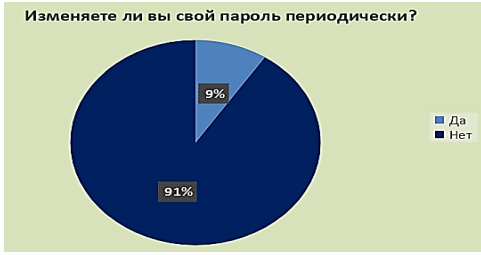


Рис. 6. Периодические изменения пароля



Рис. 7. Использование одинаковых паролей для различных сервисов

Литература

[1] Шаньгин В.Ф. *Информационная безопасность компьютерных систем и сетей*. Москва, Издательский Дом ФОРУМ, 2024.

[2] *Информационная безопасность. Противоречия психологии паролей.* URL: https://www.infosecurity-magazine.com/news/the-contradictions-of-password-psychology/ (дата обращения 01.11.2024).

[3] Nelson D., Vu K.-P.L. Effectiveness of image-based mnemonic techniques for enhancing the memorability and security of user-generated passwords. *Computers in Human Behavior*, 2010, iss. 4, pp. 705–715. https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.01.007

[4] Остоич П.П., Филипс Дж.Г. Запоминание альтернативных систем паролей. *International Journal of Pattern Recognition & Artificial Intelligence*, 2009, с. 987–1004. — Эта статья на англ языке, нужно указать оригинальные данные

[5] Браун А.С. *Генерация и запоминание паролей. Прикладная когнитивная психология*, 2004. — вопрос как в п. 4, данных в интернете не найти

Psychological aspects of online security: choosing passwords

Gevorgyan E.A. gevorgyaneaa1@student.bmstu.ru
Potapov A.V. potapov@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article considers the psychological aspects of choosing passwords for accounts. The reluctance to come up with a complex password and the problem of remembering it leads to the fact that it becomes easier for attackers to crack passwords and get confidential information. The purpose of the work is to report on the danger of choosing simple passwords due to the associative choice of words or symbols. The methods of choosing secure passwords and its security are described. A social experiment was conducted, statistics on the use of simple passwords were provided and a conclusion was made about people's awareness of password insecurity

Keywords: *password, social engineering, psychology of choice, threat, danger, insecurity, account, hacking, security, confidentiality*

УДК 004.056.53

Изучение уровня стойкости пароля для подтверждения авторизуемой личности

Носов Георгий Дмитриевич ngd21ki185@student.bmstu.ru
Сосулев Лев Геннадьевич slg21ki234@student.bmstu.ru
Ильичев Владимир Юрьевич ilyichev.vyu@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В настоящее время производительность компьютеров возрастает, но при этом главным механизмом аутентификации все еще является защита с использованием паролей, поэтому необходимо повышать их стойкость. Показана уязвимость слабого требования к парольной комбинации (CWE-521), а также рассмотрены последствия использования слабых паролей для безопасности систем и предложены рекомендации по повышению уровня защиты. В данной статье ставится цель повышения осведомленности о важности строгих политик безопасности паролей в разработке программного обеспечения.

Ключевые слова: *стойкость защиты, слабый пароль, аутентификация, информационная безопасность*

CWE-521 (слабое требование к паролю) — уязвимость, связанная с недостаточно строгими требованиями к паролям пользователей. Эта уязвимость проявляется в том, что система допускает использование слабых или легко поддающихся атакам паролей, что увеличивает риск несанкционированного доступа к информации или системе [1].

Цель работы — исследование устойчивости паролей для проверки подлинности пользователей.

Основные характеристики уязвимости CWE-521 включают:

– пароли низкой сложности: система позволяет пользователям устанавливать пароли, которые легко угадать или подобрать с помощью атак словаря или перебора;

– отсутствие требований к длине и составу пароля: система не накладывает минимальных требований к длине или сложности пароля, что делает его уязвимым к различным видам атак;

– отсутствие механизмов защиты от часто используемых паролей: система не проверяет новые пароли на принадлежность к списку распространенных или скомпрометированных, что делает их уязвимыми к атакам;

– отсутствие требований к периодической смене пароля: система не требует периодической смены пароля, что может привести к длительному использованию одного и того же слабого пароля.

Эта уязвимость может дать возможность злоумышленнику угадать пароли пользователей и получить несанкционированный доступ к системе, поэтому необходимо рассмотреть модель атак для создания сценариев атак на кон-

кретную систему [2]. Следующие шаблоны атак могут быть использованы для взлома системы, содержащую конфиденциальную информацию в открытом виде в соответствии с классификацией CAPEC (перечисление и классификация общих шаблонов атак) [3]:

– CAPEC-16: атака паролей на основе словаря;

– CAPEC-49: подбор пароля;

– CAPEC-55: взлом паролей с помощью радужных таблиц;

– CAPEC-70: перебор обычных или стандартных имен пользователей и паролей;

– CAPEC-112: грубая сила (brutforce);

Методами предотвращения уязвимости CWE-521 в современных компьютерных системах являются [4]:

– внедрение безопасного жизненного цикл разработки с экспертами по безопасности приложений для оценки и разработки механизмов управления, связанных с безопасностью и конфиденциальностью;

– создание и использование библиотеки безопасных шаблонов проектирования или предварительно подготовленных компонентов;

– применение моделирования угроз для критических аспектов аутентификации, контроля доступа, и логики бизнес-процессов;

– интеграция языка безопасности и механизмов управления в пользовательские сценарии;

– внедрение проверки подлинности на всех уровнях приложения (от интерфейса до логики сервера);

– разработка модульных и интеграционных тестов для подтверждения устойчивости к модели угроз всех критических потоков. Создание сценариев использования и небезопасного использования для каждого уровня приложения;

– разделение системного и сетевого уровня в соответствии с требованиями по защите и уязвимостям;

– ограничение потребления ресурсов для пользователей или служб.

Применим полученные знания для создания макета взаимодействия банковского приложения с сервером.

Для мобильности работы тестировщика на проникновение клиентскую часть банковского приложения удобно реализовать в виде приложения на операционной системе Android, написанном на языке Java, с использованием библиотеки Android и библиотеки PasscodeView [5] (рис. 1). При этом все конфиденциальные данные хранятся на сервере.

Приложение при входе требует секретный код от пользователя длиной 4 символа, валидация которого происходит на сервере и в зависимости от ответа сервера приложение переходит к следующему экрану после аутентификации.

Для проверки секретного кода пользователя был написан HTTP-сервер на языке python с помощью фреймворка для создания сетевого сервера — FLASK. Данный сервер слушает все подключения к своему IP-адресу на порту 25565 и обрабатывает POST-запрос к конечной точке /send_pin. Клиент должен отправить json с ключом pin_code и значением секретного кода. При

удачной валидации сервер отправляет код 200 и json с ключом flag и с значением секретных данных, переданных сервером (рис. 2).

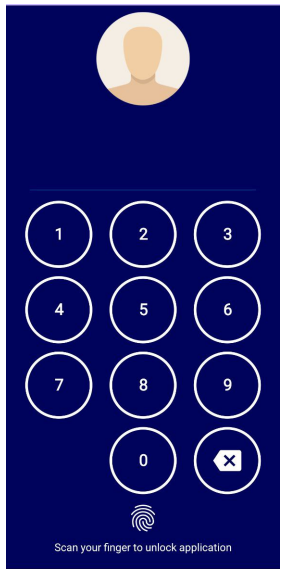


Рис. 1. Внешний вид клиента банковского приложения на Android

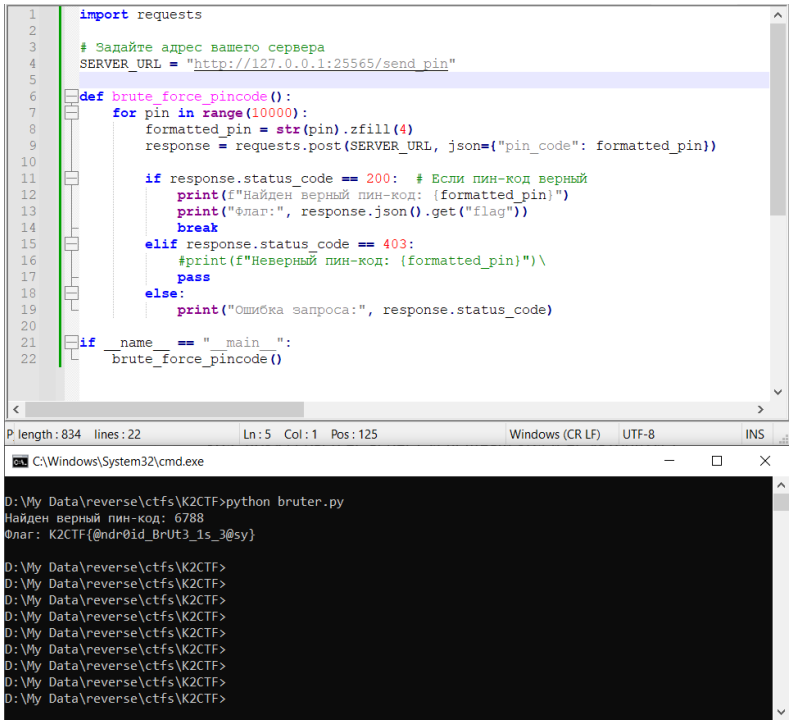
```
Hypertext Transfer Protocol
  POST /send_pin HTTP/1.1\r\n
    [Expert Info (Chat/Sequence): POST /send_pin HTTP/1.1\r\n]
    Request Method: POST
    Request URI: /send_pin
    Request Version: HTTP/1.1
  Content-Type: application/json; charset=utf-8\r\n
  Content-Length: 19\r\n
  Host: 192.168.43.54:25565\r\n
  Connection: Keep-Alive\r\n
  Accept-Encoding: gzip\r\n
  User-Agent: okhttp/4.12.0\r\n
  \r\n
  [Full request URI: http://192.168.43.54:25565/send_pin]
  [HTTP request 1/1]
  [Response in frame: 6358]
  File Data: 19 bytes
JavaScript Object Notation: application/json
  Object
    Member: pin_code
        [Path with value: /pin_code:6788]
        [Member with value: pin_code:6788]
        String value: 6788
        Key: pin_code
        [Path: /pin_code]
```

Рис. 2. HTTP запрос клиента к серверу в программе Wireshark

Таким образом, в случае отправки верного секретного ключа, произойдет авторизация и сервер отправит конфиденциальные данные (рис. 3).



Рис. 3. Окно после аутентификации в клиентском приложении



```python
import requests

# Задайте адрес вашего сервера
SERVER_URL = "http://127.0.0.1:25565/send_pin"

def brute_force_pincode():
    for pin in range(10000):
        formatted_pin = str(pin).zfill(4)
        response = requests.post(SERVER_URL, json={"pin_code": formatted_pin})

        if response.status_code == 200:  # Если пин-код верный
            print(f"Найден верный пин-код: {formatted_pin}")
            print("Флаг:", response.json().get("flag"))
            break
        elif response.status_code == 403:
            #print(f"Неверный пин-код: {formatted_pin}")\
            pass
        else:
            print("Ошибка запроса:", response.status_code)

if __name__ == "__main__":
    brute_force_pincode()
```

```
P length : 834  lines : 22   Ln : 5  Col : 1  Pos : 125   Windows (CR LF)   UTF-8   INS
C:\Windows\System32\cmd.exe
D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>python bruter.py
Найден верный пин-код: 6788
Флаг: K2CTF{@ndr0id_BrUt3_1s_3@sy}

D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>
D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>
D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>
D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>
D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>
D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>
D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>
D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>
D:\My Data\reverse\ctfs\K2CTF>
```

Рис. 4. Скрипт для перебора секретного кода и результат его работы

Так как секретный код ограничен длиной в 4 символа, то его возможно перебрать методом грубой силы за приемлемое время. Для эксплуатации данной уязвимости был написан скрипт для перебора секретного кода, который подключается к серверу и при получении кода ошибки отправляет новый секретный код, пока сервер не вернет успешный код и не произойдет авторизация (рис. 4).

В результате проведенного исследования был создан программный продукт для исследования устойчивости паролей для проверки подлинности пользователей, согласно пункту 522 общего перечня недостатков безопасности (CWE-522).

Литература

[1] *MITRE Corporation. CWE-521 Weak Password Requirements.* URL: https://cwe.mitre.org/data/definitions/521.html (accessed November 10, 2024).

[2] *ImmuniWeb. Weak Password Requirements Vulnerability*. URL: https://www.immuniweb.com/vulnerability/weak-password-requirements.html (accessed November 11, 2024).

[3] *MITRE Corporation. CAPEC — Common Attack Pattern Enumeration and Classification*. URL: https://capec.mitre.org/data/index.html (accessed November 6, 2024).

[4] *OWASP Foundation. A04:2021 Insecure Design*. URL: https://owasp.org/Top10/A04_2021-Insecure_Design (дата обращения 26.03.2023).

[5] *Keval Patel. PasscodeView. Open-source project*. URL: https://github.com/kevalpatel2106/PasscodeView (accessed November 2, 2024).

The research of the password strength level to confirm the authorized person's identity

Nosov G.D. ngd21ki185@student.bmstu.ru
Sosulev L.G. slg21ki234@student.bmstu.ru
Ilyichev V.Y. ilyichev.vyu@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Currently, computer capabilities are being improved, and the main authentication mechanism is still a password, so it is necessary to increase the strength of the memorized secrets. This research demonstrates the vulnerability of weak password requirements (CWE-521) and discusses the consequences of using weak passwords for system security, along with recommendations for improving the level of protection. This article aims to raise awareness about the importance of strict password security policies in software development.

Keywords*: weak password requirements, authentication, information security*

УДК 004.056.53

Исследование уязвимостей серверов, использующих SQL-запросы путем SQL-инъекций

Сосулев Лев Геннадьевич slg21ki234@student.bmstu.ru
Носов Георгий Дмитриевич ngd21ki185@student.bmstu.ru
Ильичев Владимир Юрьевич ilyichev.vyu@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В современном мире, где базы данных играют ключевую роль в функционировании веб-приложений, SQL-инъекции остаются одной из наиболее распространенных и опасных угроз безопасности. Рассмотрена уязвимость, связанную с недостаточной фильтрацией пользовательского ввода (CWE-89), а также последствия успешных атак, которые могут привести к компрометации данных, потере конфиденциальности и финансовым убыткам. Исследование направлено на выявление основных причин уязвимостей, анализ существующих методов защиты и разработку практических рекомендаций по предотвращению SQL-инъекций в программном обеспечении. Цель статьи — повысить осведомленность разработчиков и организаций о значимости безопасного программирования и важности внедрения эффективных мер контроля ввода данных.

Ключевые слова: *SQL-инъекции, аутентификация, авторизация, информационная безопасность*

Что такое SQL-инъекция. SQL-инъекция [1] — это вид атаки, при которой злоумышленник внедряет SQL-запросы через входные данные от пользователя в приложение. Если атака успешна, она позволяет получить доступ к конфиденциальной информации из базы данных, изменять данные (добавлять, обновлять или удалять записи), выполнять административные команды в базе данных (например, выключать СУБД), восстанавливать содержимое файлов, которые доступны СУБД, и, в некоторых случаях, даже выполнять команды операционной системы. SQL-инъекции являются одной из форм атак внедрения, при которых SQL-команды вводятся в пользовательские данные для манипуляции заранее заданными SQL-командами.

Модель угрозы SQL-уязвимости можно описать следующим образом:

– атаки с использованием SQL-инъекций позволяют злоумышленникам подделывать идентификационные данные, изменять существующую информацию, создавать проблемы с невозможностью подтверждения действий (например, отмена транзакций или изменение балансов), полностью раскрывать все данные системы, уничтожать их или делать недоступными, а также получать права администратора сервера базы данных;

– SQL-инъекции особенно распространены в приложениях на PHP [2] и ASP [3], так как они часто используют старые функциональные интерфейсы. В случае J2EE [4] и ASP.NET приложений такие уязвимости встречаются

реже, поскольку их программные интерфейсы позволяют лучше защититься от инъекций;

– степень тяжести SQL-инъекций зависит от уровня навыков и изобретательности атакующего, а также от глубины защиты системы, например ограничения привилегий соединений с сервером базы данных и других мер. В целом, SQL-инъекция — это угроза высокой степени риска.

Цель работы —создание средств для изучения механизма обнаружения SQL уязвимостей путем SQL-инъекции. На данный момент существует множество способов обнаружения SQL уязвимостей:

– тестирование с использованием стека запросов. Метод стека запросов предполагает добавление нового SQL-запроса после завершения текущего. Разработчики и тестировщики должны проверять, чтобы приложение не поддерживало стековые запросы (по возможности). Например, следует избегать использования многоэтапных запросов, которые позволяют выполнять стековые запросы;

– тестирование на основе ошибок. Этот метод использует SQL-ошибки, отображаемые пользователям. Злоумышленник вызывает ошибку и извлекает информацию из сообщения об ошибке, включая имена таблиц и другую служебную информацию, что облегчает компрометацию базы данных;

– тестирование на основе булевых условий. Метод булевых условий заключается в добавлении условий в запросы, где проверяется истинность или ложность результата. Таким образом злоумышленники могут получать данные о структуре базы данных через несколько условных запросов. Тестировщики могут использовать данный метод для выявления уязвимостей на основе булевых инъекций;

– тестирование Out-of-Band (слепая эксплуатация) [5]. Методы Out-of-Band применимы для слепых SQL-инъекций, когда атакующий не имеет доступа к результату запроса. Этот метод использует функции системы управления базами данных (СУБД) для выполнения внешних соединений и передачи результатов запросов на сервер атакующего;

– тестирование с использованием задержки по времени. Метод задержки по времени полезен для слепых SQL-инъекций. Он заключается в отправке запросов с инъекцией и измерении времени отклика сервера. Если ответ задерживается, это означает, что результат условного запроса верен.

Созданная авторами программа для обучения выявления SQL-уязвимостей состоит из следующих модулей:

– реляционная база данных, в которой хранится информация о пользователях приложения формата «Логин; Пароль»;

– сервер для связи приложения и базы данных, написанный на Flask — фреймворк для создания веб-приложений на языке программирования Python;

– Android приложение (клиент) для проведения тестирования базы данных на наличие SQL-уязвимости, написанное на Android Studio IDE.

Эксплуатация SQL уязвимости с помощью созданных средств состоит из следующих этапов.

Допустим, существует 2 пользователя — admin и user. Пароль пользователя user известен — user. Нужно узнать пароль admin — это будет ответом.

Попробуем произвести вход в систему (рис. 2).

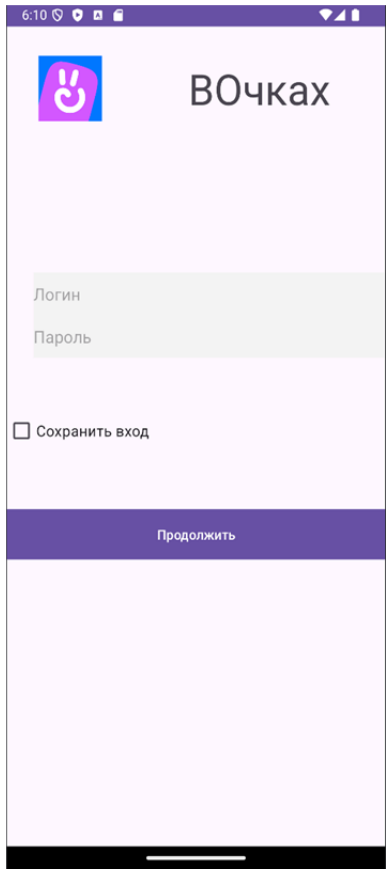


Рис. 1. Android приложение

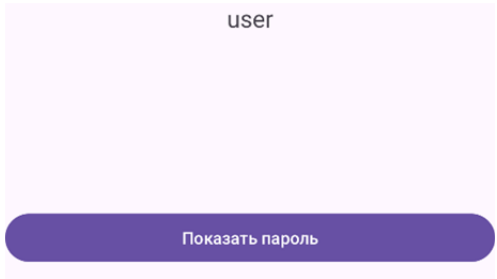


Рис. 2. Android приложение после входа в систему за пользователя user

После входа в систему появляется кнопка «Показать пароль», нажав на которую высвечивается текст с паролем пользователя, под которым выполнен вход в систему. Можно сделать вывод, что если войти от пользователя admin, то получится узнать его пароль.

Приложение протестировано на наличие SQL-уязвимости на основе булевых условий. Вместо пароля пользователя admin, в соответствующее поле программы вписывается условие: anything' OR '1'='1”.

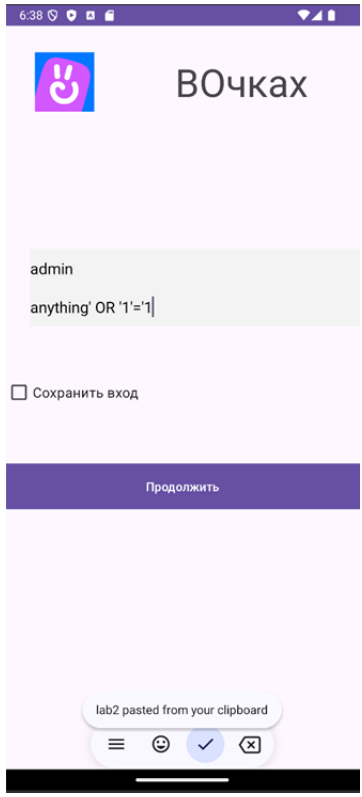


Рис. 3. Попытка входа в качестве пользователя admin

Данная конструкция обеспечит вход в аккаунт пользователя admin, если на сервере содержится булева SQL-уязвимость. В ответ на запрос к базе, она возвращает значение. Если это значение не нулевое, то внутри базы данных существует пользователь с такой учетной записью, тогда пользователю разрешено войти в систему, в противном случае доступ запрещен.

Проверяя пароль с конструкцией “anything' OR '1'='1”, база данных считает, что пароль существует, так как возвращаемое значение от запроса пароля всегда равно 1. Таким образом, можно войти в систему с любым паролем, если введенное имя пользователя присутствует в базе.

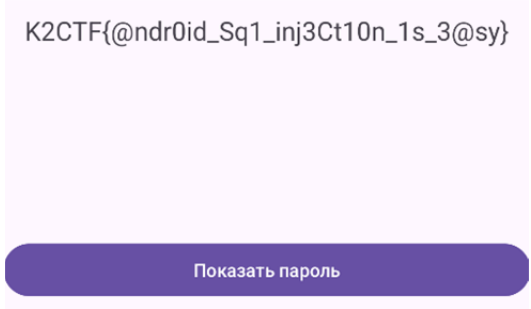


Рис. 4. Пароль пользователя admin

Вход в систему оказался успешным, это означает, что на сервере присутствует булева SQL-уязвимость. Нажав на кнопку «Показать пароль», высвечивается текст с паролем пользователя admin — “K2CTF{@ndr0id_Sq1_inj3Ct10n_1s_3@sy}”.

Таким образом, в ходе описанного исследования, созданы средства для изучения механизма обнаружения SQL-уязвимостей путем SQL-инъекции. В ходе проведения тестирования android приложения на наличие SQL-уязвимостей, был получен пароль пользователя, что свидетельствует об успешном обнаружении уязвимости.

Литература

[1] Кошкарева Ю.И., Колесникова К.И. SQL-инъекции. *Молодежный научно-технический вестник*, 2015, № 10, 32 с.

[2] Сорин Д.Б. PHP: the best web-programming language. *Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики*, 2006, № 27, с. 113–121.

[3] Игнатов Ю.Ю. Технология ASP.Net в веб-проектах организаций. *Математические методы в технике и технологиях*, 2014, № 4 (63), с. 59–63.

[4] Князев М.В. Абстрактные компоненты в проектировании информационных систем на базе платформы j2ee. *Алгоритмы, методы и системы обработки данных*, 2003, № 8, с. 105–115.

[5] Мунтьянов Д.Н., Додонов М.В. Особенности SQL-инъекций в системе управления базой данных oracle. *Молодежный научный форум: технические и математические науки*, 2017, № 5 (45), с. 63–67.

Research on vulnerabilities of servers using SQL queries through SQL injections

Sosulev L.G. slg21ki234@student.bmstu.ru
Nosov G.D. ngd21ki185@student.bmstu.ru
Ilyichev V.Y. ilyichev.vyu@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

In the modern world, where databases play a crucial role in the functioning of web applications, SQL injections remain one of the most common and dangerous security threats. This article examines the vulnerability associated with insufficient user input filtering (CWE-89), as well as the consequences of successful attacks that can lead to data compromise, loss of confidentiality, and financial losses. The research aims to identify the main causes of vulnerabilities, analyze existing protection methods, and develop practical recommendations to prevent SQL injections in software. The article's goal is to raise awareness among developers and organizations about the importance of secure programming and the significance of implementing effective data input control measures.

Keywords: *SQL injections, authentication, authorization, information security*

УДК 004.056

Анализ функционала реагирования на инциденты в системах предотвращения утечек данных

Романов Вадим Николаевич roma.vadick@yandex.ru
Мазин Анатолий Викторович mazin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Приведен анализ функционала реагирования на инциденты в системах предотвращения утечки данных (DLP), которые играют важную роль в защите конфиденциальной информации в современных информационных технологиях. Представлены ключевые функции DLP-систем, включая мониторинг, блокировку и анализ данных, а также методы реагирования на инциденты, такие как обнаружение, уведомление и корректирующие действия. Проанализирована работа DLP-системы на предприятии за один месяц, сделаны соответствующие выводы об эффективности ее работы.

Ключевые слова: *утечка данных, мониторинг, инцидент, блокировка доступа, уведомление о нарушении, конфиденциальность*

В современном мире информационные технологии становятся неотъемлемой частью бизнеса, а утечка конфиденциальной информации может иметь серьезные последствия. В этой связи ключевую роль играют системы предотвращения утечки данных (DLP — Data Loss Prevention). DLP-системы представляют собой программные средства, предназначенные для защиты организаций от несанкционированного доступа к чувствительной информации и ее утечки. Они создают защищенный цифровой «периметр» для анализа и контроля потока данных, как исходящего, так и входящего, что позволяет предотвращать утечки информации [1].

Виды и состав функций DLP. Системы DLP могут функционировать на различных уровнях, включая:

– сетевой уровень: контроль интернет-коммуникаций, включая электронную почту и веб-трафик. DLP-системы могут ограничивать доступ к определенным сайтам или блокировать передачу конфиденциальной информации по сети;

– уровень устройств: мониторинг и ограничение переноса данных на внешние накопители (USB-устройства, внешние жесткие диски) и принтеры. Это предотвращает несанкционированное копирование или печать чувствительной информации;

– уровень приложений: защита данных, обрабатываемых в прикладных системах, путем ограничения функционала программного обеспечения, например, блокировки возможности копирования или сохранения конфиденциальных данных [2].

Функции, на которые распространяется работа DLP, включают, но не ограничиваются:

– мониторинг и анализ данных: отслеживание движения данных внутри и вне сети для выявления признаков утечки;

– блокировка передачи данных: автоматическая остановка передачи конфиденциальной информации по электронной почте, в веб-приложениях, мессенджерах и т. д.;

– ограничение доступа к интернету: фильтрация и блокировка несанкционированного доступа к небезопасным или сомнительным ресурсам;

– контроль доступа к приложениям: настройка политик безопасности, которые запрещают или ограничивают использование определенных программ и функций;

– защита информации на уровне устройств: ограничение использования USB-устройств, принтеров и других периферийных устройств, чтобы предотвратить несанкционированное копирование данных [3].

Реагирование на инциденты DLP-систем. DLP-системы могут реагировать на инциденты с использованием различных подходов, которые обеспечивают многоуровневую защиту конфиденциальной информации. Рассмотрим основные типы реакций:

– *обнаружение*. Этот этап включает использование технологий анализа трафика и поведения пользователей для выявления потенциальных инцидентов. DLP-системы применяют адаптивные алгоритмы, которые постоянно «учатся» на основе предыдущих угроз, что позволяет обеспечить более точное обнаружение аномалий в поведении [2];

– *уведомление*. После обнаружения инцидента система автоматически информирует ответственных сотрудников о возникших угрозах. Уведомления могут быть отправлены через различные каналы (например, электронная почта, мессенджеры) и содержат информацию о характере инцидента [3];

– *блокировка*. Если система определяет, что происходит попытка несанкционированного доступа или утечки данных, она может немедленно заблокировать передачи или доступ к конфиденциальной информации. Это может быть реализовано как на уровне сетевого трафика, так и на уровне дисковых устройств;

– *эскалация*. В случае, если инцидент требует более глубокого анализа или вмешательства со стороны, DLP-система может передать информацию на более высокий уровень управления или специализированным группам. Это позволяет организовать более детальное расследование и оценку последствий инцидента [4];

– *анализ*. После инцидента команда по кибербезопасности проводит систематическое изучение ситуации для выявления причин, масштабов и возможных последствий утечки данных. Анализ может включать изучение лога инцидентов и выявление уязвимостей, которые могли быть использованы злоумышленниками [5];

– *журналирование*. Ведение записей обо всех обнаруженных инцидентах и предпринимаемых мерах является важной частью работы DLP-систем. Эти данные могут использоваться для последующего аудита и анализа, а также для разработки более эффективных процедур реагирования на потенциальные угрозы [3];

– *корректирующие действия*. После завершения анализа инцидента организация может внедрять корректирующие меры, направленные на устранение последствий и предотвращение повторного возникновения аналогичных ситуаций. Это может включать обновление процедур, использование новых технологий и обучение сотрудников;

– *обучение*. Основываясь на результатах анализа инцидента, рекомендуется проводить обучение сотрудников для повышения их осведомленности о безопасности и рисках. Это может помочь снизить вероятность человеческих ошибок и улучшить общую защиту данных в организации [5].

Статистика работы DLP-системы. Для более глубокого понимания эффективности работы системы предотвращения утечек данных (DLP) необходимо проанализировать статистику ее работы на некотором предприятии за прошедший месяц. Этот анализ позволит выявить основные направления работы системы, ее надежность в предотвращении инцидентов и уровень реагирования на различные угрозы. В приведенной ниже таблице представлены собранные данные о типах инцидентов, с которыми столкнулась DLP-система, а также мерах реагирования на них (см. таблицу).

Статистика работы DLP-системы за 1 месяц

Тип инцидента	Количество	Мера реагирования
Отправка документа по электронной почте	272	Уведомление отправителя и дальнейший анализ
Попытка доступа к запрещенным веб-сайтам	86	Блокировка доступа и логирование события
Копирование данных на сетевой ресурс	113	Логирование события
Попытка сканирования документов, содержащих конфиденциальные данные	2	Блокировка сканирования и анализ инцидента
Неправильное использование служебных документов	4	Уведомление и повторное обучение сотрудников
Необоснованная попытка доступа к системам с конфиденциальной информацией	17	Блокировка доступа и дальнейший анализ

По результатам анализа статистики DLP-системы за месяц было зафиксировано 494 инцидента. Основная часть из них связана с передачей доку-

ментации по электронной почте — это 272 случая, что составило более половины всех инцидентов. В таких случаях сработали меры уведомления отправителя и инициирование дальнейшего анализа.

На втором месте — случаи попыток доступа к запрещенным веб-сайтам, которые составляют 86 инцидентов. Все они были заблокированы, а события задокументированы, что подтверждает активное использование механизма блокировки DLP-системы.

Результаты также показывают значительное количество попыток копирования данных на сетевые ресурсы — 113 инцидентов, к которым была применена мера логирования, что позволяет сохранить информацию для последующего анализа, но требует более активных мер для предотвращения возможных утечек информации в будущем.

Таким образом, результаты подчеркивают важность использования DLP-систем не только для блокировки инцидентов, но и для активного мониторинга и анализа поведения пользователей. Повышение осведомленности сотрудников об использовании служебных документов также необходимо, учитывая 4 инцидента неправильного использования, что указывает на необходимость регулярного обучения. Эти данные могут служить основой для корректировки политики безопасности и обеспечения более высокой защитой конфиденциальной информации в организации.

Литература

[1] Рябова Г. *Автоматизация мониторинга и расследования инцидентов в DLP-системе.* URL: https://www.securitylab.ru/analytics/475554.php (дата обращения 17.10.2024).

[2] Коржов В. *DLP на пути к расследованию инцидентов*. URL: https://www.osp.ru/os/2014/08/13043489 (дата обращения 17.10.2024).

[3] *DLP: как работа системы предотвращает утечку информации*. URL: https://it2bsns.ru/articles/dlp-kak-rabota-sistemy-predotvrashhaet-utechku-informaczii/ (дата обращения 20.10.2024).

[4] Бирюков А. *Как уберечься от инсайда.* URL: https://bit.samag.ru/archive/article/1076 (дата обращения 21.10.2024).

[5] Степанов И. *Сравнительный обзор средств предотвращения утечек данных (DLP)*. URL: https://safe-surf.ru/specialists/article/5233/609990/ (дата обращения 21.10.2024).

Analysis of incident response functionality in data leak prevention systems

Romanov V.N. roma.vadick@yandex.ru
Mazin A.V. mazin@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article examines the analysis of the incident response functionality in data leakage prevention (DLP) systems, which play an important role in protecting confidential information in modern information technologies. The key functions of DLP systems are presented, including monitoring, blocking and data analysis, as well as incident response methods such as detection, notification and corrective actions. The work of the DLP system at the enterprise for one month was analyzed, and appropriate conclusions were drawn about the effectiveness of its work.

Keywords: *data leakage, monitoring, incident, access blocking, violation notification, confidentiality*

Секция 9. Динамика, прочность и надежность подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования

УДК 621.86

Модернизация канатно-блочной системы мульдозавалочного крана

Витчук Павел Владимирович vitchuk@bmstu.ru
Сорокина Ирина Игоревна irina.sorokina@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрена возможность усовершенствования механизма главного подъема мульдозавалочного крана на основе модернизации его канатно-блочной системы. Проведен анализ существующих схем запасовки канатов механизмов главного подъема мульдозавалочных кранов, определены углы девиации канатов по разным схемам, выявлены недостатки существующих схем запасовки. Предложена схема компоновки катаноблочной системы, лишенная указанных недостатков, для которой приведены расчетные значения углов девиации, соответствующие нормативной документации.

Ключевые слова: *мульдозавалочный кран, канатно-блочная система, девиация канатов, схема запасовки*

Мульдозавалочный кран предназначен для механизации процесса завалки шихты и производства ремонтных работ в печах литейных цехов. По конструктивному исполнению относится к мостовым двухбалочным кранам, передвигающимся по крановым путям, установленным на колоннах вдоль фронта мартеновских печей [1]. Разгрузка мульды (с нем. mulde — корыто, лоток для загрузки шихтовых материалов в мартеновскую печь) производится поворотом ее вместе с хоботом на 180°, для чего на хоботе со стороны кабины устанавливают механизм поворота хобота, содержащий червячный редуктор или комбинацию редуктора и открытой передачи. В процессе разгрузки мульды кран также осуществляет дополнительные качательные движения с целью полного ее освобождения от шихты. Мульда с шихтой, хобот, механизмы поворота и качания хобота размещены на колонне. Подъем и опускание колонны осуществляется механизмом главного подъема.

В рамках проводимого исследования внимание уделено модернизации канатно-блочной системы (КБС) механизма главного подъема по критерию девиации (явлению отклонения направления канатов от оси барабана или ручья блока) грузового каната с целью повышения его долговечности. При этом использована следующая рекомендация: отклонение направления канатов от оси барабана или ручья блока при нормальной эксплуатации механизма не должны превышать для механизмов групп режима соответственно М4-М6 — 3,5º; М7 и М8 — 2,5º. В предельных случаях, значения углов могут быть увеличены на 1º, что, однако, отрицательно скажется на долговечности, как каната, так и блоков [2]. В качестве объекта для модернизации был выбрана КБС механизма главного подъема мульдовалочного крана с параметрами, представленными в таблице (ГОСТ 12614–79).

Исходные данные

Грузоподъемность, т	Завалочной тележки	3,2
	Вспомогательной тележки	20
Высота подъема, м	Колонны завалочной тележки, не более	1,2
	Крюка вспомогательной тележки	18
Группа классификации	Механизма подъема	М8

В подобных кранах распространены две компоновочные схемы КБС механизма главного подъема: на подвесе без применения рабочих и отводных блоков, так называемое прямое подвешивание [3]; с применением рабочих и уравнительных блоков [1].

На основании имеющихся данных об устройстве КБС мульдозавалочного крана были построены кинематические схемы известных вариантов компоновочных схем КБС, что позволило составить расчетные схемы для каждого из рассматриваемых случаев. Для каждой из компоновочных схем был рассчитан угол девиации согласно [4]. Получено, что для повышения долговечности системы необходимо свести к минимуму угол отклонения набегающей на барабан ветви грузового каната от ее идеального направления.

В КБС механизма главного подъема, выполненной по компоновочной схеме с прямым подвесом, для крана с параметрами по таблице: угол девиации на барабане составил 0,056 рад = 3,72°; на отклоняющем блоке — 0,016 рад = 0,92°; в крайнем верхнем положении (на максимальной высоте подъема) —0,042 рад = 2,4°; в точке возвращения каната на барабан (нижнее положение) — 0,074 рад = 4,24° [4, 5]. Отметим также, что такая конструкция подразумевает применение барабанов со сдвоенной навивкой, в связи с чем девиация канатов между симметричными точками системы одинакова.

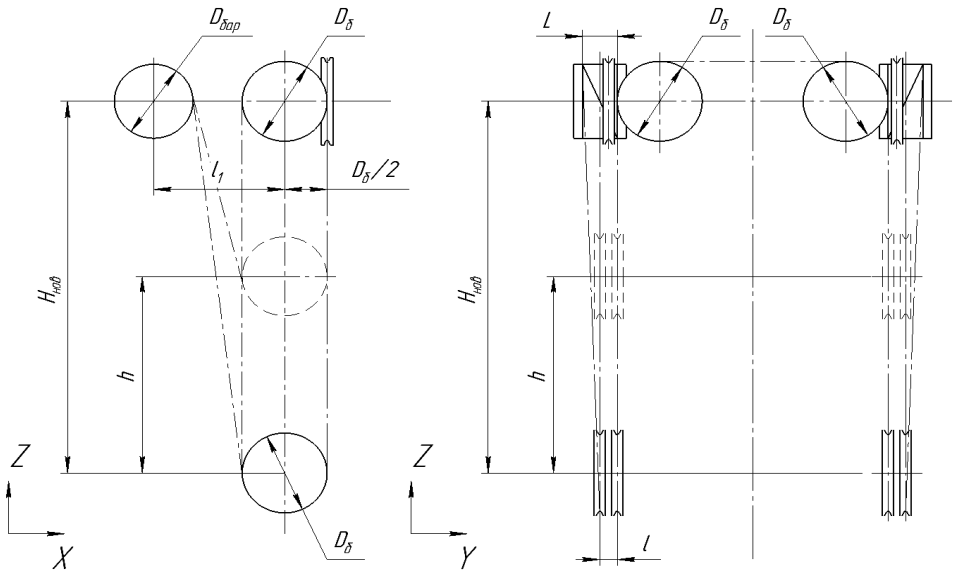
Анализ представленных данных показывает, что наибольшей девиации канат подвергается на блоках траверсы колонны в обоих положениях и на уравнительном блоке в верхнем положении колонны. Девиация каната на блоках траверсы и уравнительном блоке превышает критические значения углов, согласно [2].

В КБС механизма главного подъема, выполненной с применением рабочих и уравнительных блоков, для крана с параметрами по таблице: угол девиации на барабане механизма главного подъема в крайнем нижнем положении — 0,053 рад = 3,04°; для отклоняющего блока — 0,011 рад = 0,63°; для блоков, расположенных на одной оси, чрез которые канат проходит вертикально, девиацией можно пренебречь; тоже касается блочной обоймы с блоками выставленными вдоль одной прямой, для которых канат проходит горизонтально; в крайнем верхнем положении (на максимальной высоте подъема) угол девиации 0,062 рад = 3,55°; для отклоняющих блоков — 0,029 рад = 1,66° и 0,059 рад = 3,38° [4, 5].

Наибольшей девиации канат подвергается на уравнительном блоке в верхнем положении и на блоках траверсы колонны в обоих положениях ко-

лонны. Девиация каната на крайних блоках траверсы и уравнительном блоке превышает критические значения углов по [2].

Очевидно, что рассмотренные компоновочные схемы КБС требуют модернизации. В связи с чем при проектировании механизма главного подъема в качестве прототипа выбираем схему с применением рабочих блоков, поскольку углы девиации каната в данной системе получились значительно меньше. Для минимизации углов девиации до значений, ниже пороговых по [2] для выбранного прототипа КБС необходимо увеличить расстояние H и размещать канатные блоки подвески траверсы на оси симметрии барабанов, рабочие блоки поместить между двумя блоками подвески траверсы, а ручей уравнительного блока разместить на одной вертикальной оси с блоком траверсы, ближнем к колонне (см. рисунок).



Модернизированная полиспастная система

Наибольший угол девиации достигается при верхнем положении колонны, при этом за пороговое значение в рамках проводимого исследования принимался угол девиации 2,4°, исходя из которого определялась минимально необходимая высота, обеспечивающая необходимый угол девиации в верхнем положении колонны. Размещение рабочих блоков между блоками подвески позволит уменьшить девиацию до 0,028 рад = 1,6°, а размещение уравнительных блоков указанным способом теоретически позволит снизить девиацию канатов до нуля.

Литература

[1] Богинский К.С., Зотов Ф.С., Николаевский Г.М. *Мостовые и металлургические краны*. Москва, Машиностроение, 1970, 70 с.

[2] РД 24.090.120–07. *Проектирование и расчет транспортно-технологических грузоподъемных кранов для обслуживания предприятий металлургической промышленности. Справочное руководство.* URL: docs.cntd.ru›document/1200093894 (дата обращения 08.11.2024).

[3] Зерцалов А.И. *Краны с жестким подвесом груза.* Москва, Машиностроение, 1979, 190 с.

[4] Ивашков Н.И. *Влияние девиации и кручения канатов на работу крановых канатных систем*. Дис. … канд. техн. наук. Москва, 1988, 237 с.

[5] Глушков М.А. *Стальные подъемные канаты*. Киев, Техника, 1966, 327 с.

Modernization of the rope-block system of the mulde-loading crane

Sorokina I.I. irina.sorokina@bmstu.ru
Vitchuk P.V. vitchuk@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The possibility of improving the mechanism of the main lifting of a mulde-loading crane based on the modernization of its rope-block system is considered. The analysis of the existing schemes of rope hoarding of the mechanisms of the main lifting of mulde-loading cranes is carried out, the angles of deviation of ropes according to different schemes are determined, the disadvantages of existing schemes of hoarding are revealed. The layout scheme of the rolling block system is proposed, devoid of these disadvantages, for which the calculated values of the deviation angles corresponding to the regulatory documentation are given.

Keywords: *mulde-loading crane, rope-block system, rope deviation, stock scheme*

УДК 629.782

Опыт применения некоторых традиционных критериев работоспособности к современным зубчатым редукторам

Леонтьев Михаил Юрьевич[1] newell-kaluga@mail.ru
Смоловик Андрей Евгеньевич[2] asmolovik@bmstu.ru
Михайлов Николай Юрьевич[1] mihailovnicky@mail.ru

[1] *ПАО «Калужский турбинный завод», Калуга, Россия*

[2] *КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

Продолжен анализ опыта практического применения описанной ранее методики экспресс-оценки работоспособности цилиндрических зубчатых передач. Показано, что эта методика достаточно хорошо согласуется с данными по рабочим параметрам выборки из 12 современных редукторов от ведущих отечественных и зарубежных производителей. Для полноценного внедрения она нуждается в дальнейшей отработке с привлечением более представительной статистики. Также показано, что эта методика может служить инструментом для выявления ошибок проектирования и применяться, в том числе в учебных целях.

Ключевые слова: *зубчатые редукторы, критерии работоспособности, контактные нагрузки, суммарные деформации*

Ранее в работе [1] была выполнена апробация методики экспресс-оценки работоспособности цилиндрических редукторов, основанная на выявленных более полувека назад [2] ограничениях по условным контактным нагрузкам и деформациям зубчатых колес. По ее результатам предположено, что данная методика и сегодня может быть полезна при новом проектировании, для оценки нагрузочной способности редукторов и решения других задач.

Показано, что в дополнение к перечисленному, рассматриваемая методика с успехом позволяет решать и еще одну задачу — выявлять ошибки проектирования.

В качестве первого критерия для оценки работоспособности зубчатых зацеплений цилиндрических редукторов в работе [1] был рассмотрен так называемый «коэффициент контактной прочности» [2]:

$$k_{\text{р}} = \frac{q}{d} \cdot \frac{i+1}{i}, \qquad (1)$$

где $q = \frac{P}{2b}$; — линейная нагрузка от передаваемого *окружного* усилия P; $2b$ — полная ширина активной части шевронного зубчатого зацепления; d — делительный диаметр шестерни; i — передаточное отношение зубчатой пары.

Для зубьев, упрочненных азотированием, допускаемые значения данного коэффициента, по данным работы [2], должны удовлетворять условию:

$$k_p \leq 2{,}16 \text{ МПа}. \qquad (2)$$

В качестве второго критерия работоспособности, который по данным работы [2], характеризует надежность эксплуатации редуктора, в методике [1] использована суммарная деформация его ведущей шестерни (колеса, имеющего меньший диаметр, и обладающего заведомо меньшей жесткостью):

$$\Delta_{\sum} = \delta_2 + y_{\text{из}} \leq 20 \quad \text{мкм} \tag{3}$$

где $\delta_2 = \frac{4q}{\pi G(1-m^4)} \cdot \left(\frac{b}{d}\right)^2$; $y_{\text{из}} = 0{,}4244 \cdot \frac{q}{E(1-m^4)} \cdot \left[\frac{2b}{d}\right]^4 \cdot A$ — крутильная деформация и деформация изгиба шестерни в ее среднем по длине сечении; m — отношение диаметра внутренней расточки к делительному диаметру (для пустотелой шестерни); E и G — модули упругости и сдвига материала шестерни;

$A = \left[1 + 4\frac{c}{2b} + 6\left(\frac{c}{2b}\right)^2\left[3\left(\frac{b}{l}\right)^2\right] - 2\left(\frac{b}{l}\right)^4\right] + 1{,}5\frac{a}{b}\left[1 + 2\frac{c}{2b}\right]$ — параметр, учитывающий геометрические соотношения элементов l, b и c расчетной схемы, рис. 1.

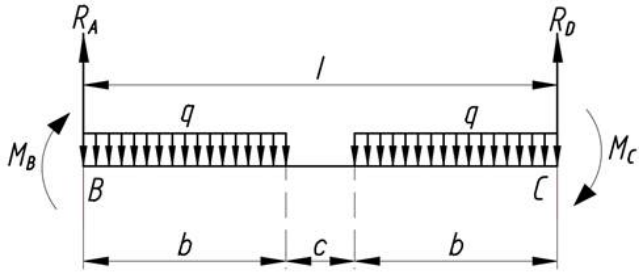


Рис. 1. Расчетная схема для оценки прогиба шестерни [2]

Согласно [2] для азотированных зубчатых колес допустимые значения суммарной деформации (3) шестерни должны удовлетворять условию:

$$\Delta_{\sum} = \delta_2 + y_{\text{из}} \leq 20 \quad \text{мкм.} \tag{4}$$

Не отвлекаясь на критический анализ приведенных зависимостей и их теоретических основ, продолжим оценку их практической полезности в современных условиях (тот факт, что долгие годы они позволяли проектировать и производить работоспособные и надежные редукторы [2], не является гарантией их применимости сегодня).

В работе [1] была исследована выборка из 12 редукторов отечественных и зарубежных компаний, производящих турбинные редукторы и редукторы общепромышленных серий, в число которых вошли АО «Силовые Машины», ОАО «Кировский Завод», ПАО «Калужский турбинный завод», VAKOMA, FLENDER-GRAFFENSTADEN, RENK-MAAG и некоторые другие. Диапазоны передаваемых мощностей и линейных нагрузок у редукторов этой выборки составили, соответственно N = 600–85 000 кВт и $q \approx$ 50–800 кН/м (рис. 2).

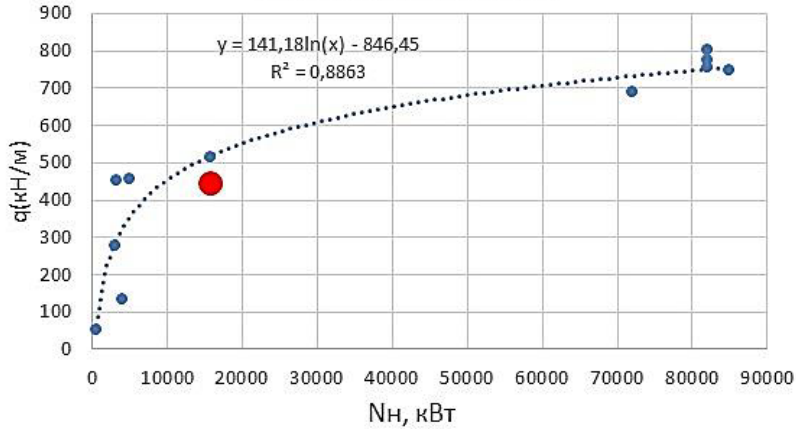


Рис. 2. Передаваемые нагрузки и мощности исследованных редукторов

Полученные результаты представлены на рис. 3, 4.

На рис. 3 выполнено сопоставление расчетных значений коэффициента контактной прочности (1) и его рекомендованного предельного значения (2). Из рисунка видно, что у половины редукторов исследуемой выборки этот показатель оказался выше ограничения, установленного 50 лет назад [2].

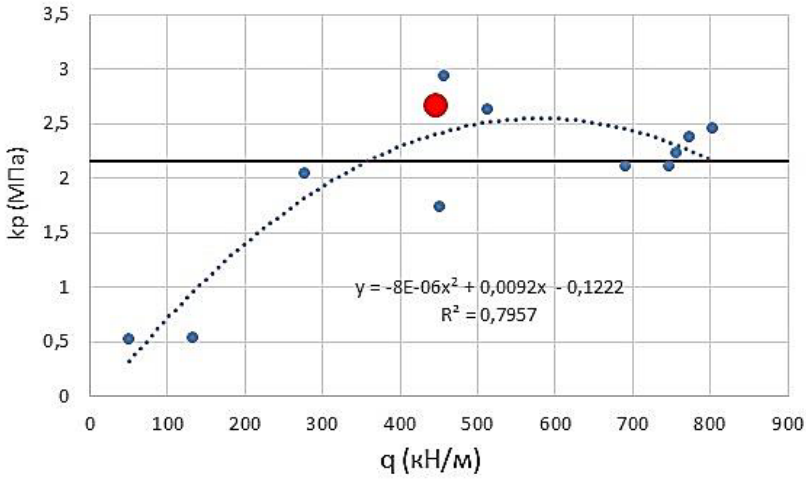


Рис. 3. Коэффициенты контактной прочности зубьев

На рис. 4 аналогичное сопоставление произведено для расчетных значений суммарной деформации (3) ведущих шестерен этих же редукторов. Из рисунка следует, что за единственным исключением во всех рассмотренных случаях данный параметр не вышел за пределы ограничения (4), заданного в работе [2].

Анализ этого исключения, выпадающего, к тому же на рис. 4 из общей тенденции, показал, что этим исключением стал проект импортозамещающего аналога зубчатого зацепления известной зарубежной фирмы. На момент включения данных об этом проекте в информационные материалы одного из отечественных производителей (откуда они и попали в выборку), этот проект еще не был завершен.

Уже после первой публикации результатов выяснилось, что попавшие в открытый доступ и использованные нами данные содержали ошибку, которую производитель позднее исправил. Таким образом, получилось, что примененная методика [1] эту ошибку выявила. Этот случай показал еще одну возможную область полезного применения этой методики — поиск ошибок проектирования.

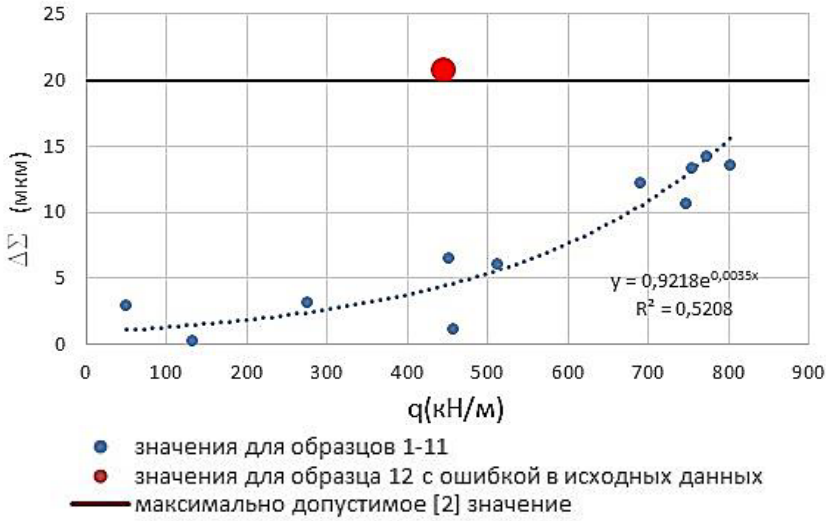


Рис. 4. Суммарная деформация ведущих шестерен

Заключение. Предельное значение коэффициента контактной прочности $k_p \approx 2{,}16$ МПа, рекомендованное в литературе для применения к упрочненным зубьям, сегодня потеряло актуальность и нуждается в пересмотре в сторону повышения, что требуют привлечения более представительной статистики. Методика оценки работоспособности редукторов по критерию условной суммарной деформации шестерни и заданное в литературе предельное значение этого параметра Δ_Σ =20 мкм подтверждается актуальной статистикой и может использоваться для выявления ошибок проектирования. Рассмотренные подходы к оценке конструкции и нагруженности редукторов могут быть полезны при проектировании, для экспресс-оценки применимости имеющихся в наличии зубчатых передач на более напряженных режимах, для выявления ошибок в документации, в учебных целях.

Литература

[1] Леонтьев М.Ю., Смоловик А.Е., Михайлов Н.Ю. Актуализация методики экспресс-оценки работоспособности цилиндрических зубчатых редукторов. *Интерстроймех-2024: сб. ст.* Самара, СамГТУ, 2024, с. 66–70.

[2] Моисеев А.А., Розенберг А.Н. *Расчет прочности судовых паровых и газовых турбозубчатых агрегатов.* Ленинград, Судостроение, 1970, 432 с.

Experience in applying some traditional operability criteria to modern gearboxes

Leontev M.Y.[1] newell-kaluga@mail.ru
Smolovik A.E.[2] asmolovik@bmstu.ru
Mikhailov N.Y.[1] mihailovnicky@mail.ru

[1] *BMSTU (KB), Kaluga, Russia*

[2] *PJS Company Kaluga Turbine Plant, Kaluga, Russia*

The analysis of the practical application experience of the previously described method of express-assessment of the operability of cylindrical gears is continued. It is shown that this method is in good agreement with the data on the operating parameters of a sample of 12 modern gearboxes from leading domestic and foreign manufacturers. For full implementation, it requires further development with the involvement of more representative statistics. It is also shown that this method can serve as a tool for identifying design errors and be used, among other things, for educational purposes

Keywords: *gearboxes, operability criteria, contact loads, total deformation*

Секция 11. Химия и технология

УДК 541.49

Получение углеводных фаз при деструкции гетероядерных Pt - Pd карбонильных кластеров

Герасимова Наталия Сергеевна sng-2009@mail.ru
Илюхина Ирина Владиславовна ilykhinaira8@mail.ru
Илюхин Данила Владиславович iluhind098@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрено разложение соединений общего состава $[Pt(CO)_2]_x$, проходящее самопроизвольно и в результате которого при $t \geq 120$ °C образуются аллотропные модификаций углерода: графит, алмаз, фуллерены и углеродные нанотрубки. Особое внимание уделено полученным алмазным зернам, размером до 1 мм, а также полученным нитевидными кристаллам алмаза длиной до 2 см и диаметром до 30 мкм. Изложены результаты исследования свойств алмаза как полупроводника. Показана возможность каталитического синтеза алмазов. Представлены основные физические свойства алмазов, легированных бором. Описаны перспективы применения алмаза в микроэлектроники.

Ключевые слова: *углеродные фазы, алмаз, распад, полупроводник, ширина запрещенной зоны*

Алмаз как полупроводник обладает наивысшей теплопроводностью. Устройства на его основе могут работать при значительно более высоких напряжениях и токах, эффективно рассеивая тепло без снижения электрической производительности, что делает этот материал весьма перспективным для производства изделий электронной техники. Высокая твердость и стойкость к агрессивным средам, идеальная кристаллическая структура, высокая теплопроводность и специфические электрофизические параметры являются предпосылками для широкого использования этого материала практически во всех отраслях [1, 2].

Известно, что дихлородикарбонилплатины разлагается с образованием тетрахлоротрикарбонилдиплатины и оксида углерода (II). Реакция (1) протекает при нагревании до температуры не более 210 °C.

$$2[Pt(CO)_2Cl_2] \xrightarrow{t} [Pt_2(CO)_3Cl_4] + CO \quad (1)$$

На воздухе процесс (1) сопровождается большим выделением тепла. Это происходит в результате окисления CO до CO_2. В результате термического разложения были обнаружены аллотропные фазы углерода, которые могли образоваться при разложении молекул CO, согласно хорошо известной реакции:

$$2CO \rightarrow C + CO_2 \quad (2)$$

Реакция (2) давно известна и хорошо изучена. Молекулы CO в газовой фазе при $t < 400$ °C с точки зрения термодинамики неустойчивые и должны

практически отсутствовать. Рассчитав энергию Гиббса для реакции (2), получим –120,2 кДж, если это получится графит и –117,3 кДж, если алмаз. С точки зрения кинетики протекание реакции (2) затруднено, из-за большой энергии химической связи С-О, но в присутствии катализаторов, например *d*-металлов VIII группы реакция распада СО протекает, и получаем аллотропные модификации углерода, в частности алмаз.

Проделав рентгеноспектральный анализ, было обнаружено, что часть молекул СО имеет длинные углерод-кислород связи, что способствует их разложению по реакции (2).

Известно, что металлы-катализаторы обладают способностью образовывать карбонильные соединения. В монографии [3] показано, что в процессе синтеза алмазов в качестве промежуточного продукта существенную роль играет моноксид углерода, как продукт, содержащий углерод. Такова же, по-видимому, роль молекул СО при образовании алмазов в земных недрах.

В обзорной статье [4] рассматривается каталитический синтез алмазов из различных углеродсодержащих веществ, в том числе из СО, проходящий при нормальных и пониженных давлениях. Исследования полученных образцов углеродных фаз с помощью спектров катодолюминесценции, комбинационного рассеяния, рентгенофазового анализа, а также ряда физико-химических испытаний доказали, что были получены алмазы. Изменяя состав углеродных соединений и моделируя условия их разложения, можно добиться увеличения выхода той или иной фазы аллотропной модификации углерода.

Полученные алмазы были бесцветные, оранжевые, черные. Зерна были различного размера (от десятков нм до 1 мм) (рис. 1), а также были получены нитевидные кристаллы различной длины (от десятков мкм до 2 см) (рис. 2) [5]. Нитевидные кристаллы обладают уникальными свойствами: совершенным строением, способностью сохранять упругость при высоких температурах, а самое главное — высокой прочностью.

Алмаз известен как самый твердый и прозрачный материал. Уникальные характеристики алмаза определяют его области применения. Известно, что при легировании алмаза бором, мышьяком, фосфором и другими элементами, он становится полупроводником [6].

Алмаз — широкозонный полупроводник, ширина запрещенной зоны равна 5,47 эВ (это делает этот материал уникальным с точки зрения частотных характеристик), высокая подвижность носителей (2000 и 1500 $см^3/(В·с)$ для электронов и дырок соответственно), также имеет высокое электрическое пробивное напряжение при комнатной температуре. Напряженность поля лавинного пробоя $E > 10^9$ В/м, дрейфовая скорость электронов $\nu > 2 \cdot 10^5$ м/с, теплопроводность алмаза около 2200 Вт/(м·К), прочность алмаза равна 2,0 $МПа·м^{1/2}$. Все это предполагает применение алмаза в мощных радарных системах и датчиках альфа-частиц, ультрафиолетового и рентгеновского излучения и протонов, но, несмотря на его положительные свойства, широкое внедрение алмаза в электронную технику замедляется из-за высокой стоимости производства.



Рис. 1. Полученный алмаз

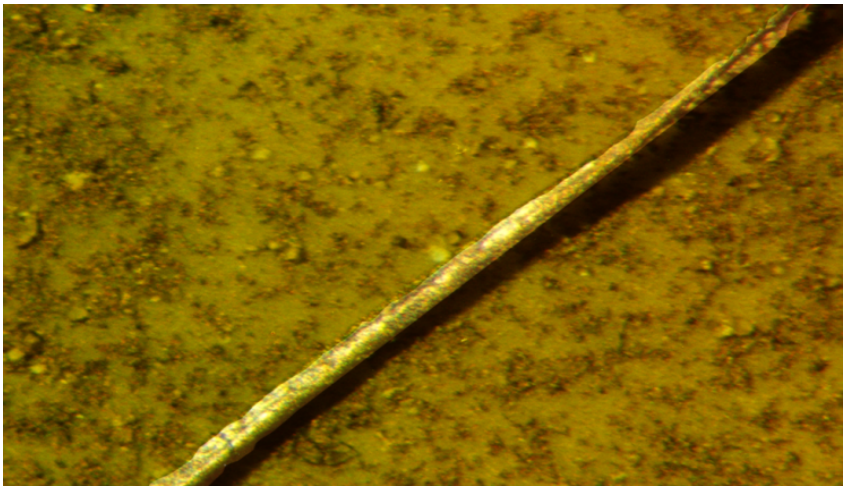


Рис. 2. Полученный нитеобразный алмаз

Алмаз обладает таким набором свойств, которые совершенно недоступны для традиционных полупроводников. Если брать физические свойства алмаза, то самым ценным будет его высокая теплопроводность. Алмаз может сам себе быть радиатором, а это дорогого стоит. Алмазный чип выдержит такой поток плотности мощности, который выведет из строя любой другой чип. Подобное качество крайне востребовано в зарядках электромобилей, мощность которых неуклонно растет, в возобновляемой энергетике, в космосе, авиации и много где еще.

Изменяя молекулярную структуру металла, легируя металл, можно менять ширину запрещенной зоны. При уменьшении ширины запрещенной зоны до нуля, можно добиться высокой проводимости, но при этом лучше не нарушить кристаллическую решетку алмаза, чтобы он сохранил свои полезные качества. Добавление примесей также способствует усложнению конструкции, увеличивает вероятность возникновения дефектов. В результате, добавляя те или иные примеси, можно сделать алмаз полупроводником с прямым или непрямым переходом.

Например, алмазы, легированные бором, проводят электричество и становятся сверхпроводниками. По сравнению с углеродом, у бора на один электрон меньше, что позволяет ему принимать электроны, т. е. бор имеет электронную «дыру» в материале, которая увеличивает способность проводить ток. Из-за своих уникальных свойств, таких как химическая инертность и биологическая совместимость — алмаз, легированный бором, потенциально может применяться в тех областях, где другие материалы не могут быть использованы, например для медицинской визуализации, высокочувствительных биочипов или молекулярных датчиков.

Таким образом, моделируя процесс получения алмаза из дихлородикарбонилплатины и легируя его бором, можно сделать алмаз полупроводником с прямым или непрямым переходом. Способность управлять электропроводностью материала в реальном времени позволяет использовать алмаз в многокомпонентных материалах вместо нескольких веществ одновременно возможно, это поможет ученым в разработке квантовых микрочипов.

Литература

[1] Федосеев И.В., Герасимова Н.С., Логинова А.Ю. Синтез и некоторые свойства гетероядерных карбонильных кластеров платины и палладия. *Журнал неорганической химии*, 2010, т. 55, № 2, с. 191–194.

[2] Fumagally A., Martinengo S., Chini P. *J. Chem. Comm.*, 1978, no. 5, pp. 195–198. Название статьи?

[3] Дигонский В.В., Дигонский С.В. *Закономерности образования алмаза*. Санкт-Петербург, Недра, 1992, 223 с.

[4] Руденко А.П., Кунакова И.И., Скворцова В.А. Химический синтез алмаза. Аспекты общей теории. *Успехи химии*, 1993, т. 62, № 2, с. 99–117.

[5] Федосеев И.В. *Способ синтеза алмазов*. Патент № 2093462 РФ, 1997, бюл. № 22, 3 с.

[6] Дерягин Б.В., Федосеев Д.В. Эпитаксиальный синтез алмаза в метастабильной области. *Успехи химии*, 1970, № 9, с. 1661–1671.

Obtaining carbohydrate phases during the destruction of heteronuclear Pt - Pd carbonyl clusters

Gerasimova N.S. sng-2009@mail.ru
Ilyukhina I.V. ilykhinaira8@mail.ru
Ilyukhin D.V. iluhind098@gmail.com

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The decomposition compounds of the general composition $[Pt(CO)_2]_x$, which occurs spontaneously and results in the formation of allotropic carbon modifications at $t \geq 120$ °C: graphite, diamond, fullerenes, and carbon nanotubes. Special attention is paid to the obtained diamond grains up to 1 mm in size, as well as to the obtained filamentous diamond crystals up to 2 cm long and up to 30 microns in diameter. The results of studying the properties of diamond as a semiconductor are presented. The possibility of catalytic synthesis of diamonds is shown. The basic physical properties of boron-doped diamonds are presented. The prospects of diamond application in microelectronics are described.

Keywords: *carbon phases, diamond, decay, semiconductor, band gap*

УДК 66.012

Использование гидрокарбонильного процесса в технологии переработки медных руд Удоканского месторождения

Герасимова Наталия Сергеевна sng-2009@mail.ru
Илюхина Ирина Владиславовна ilykhinaira8@mail.ru
Илюхин Данила Владиславович iluhind098@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрен процесс получения чистой меди из многокомпонентных растворов с использованием одного дешевого реагента — генераторного газа в мягких условиях и за короткое время — менее 10 часов. Предложена технологическая схема этого процесса. Рассмотрены преимущества и недостатки метода получения чистой меди. Установлено, что скорость восстановления Cu (II) до Cu (I) может достигать 1 % · мин$^{-1}$. Процесс можно проводить с использованием технологических газов, содержащих CO: воздушного генераторного, водяного, конвертированного метана. Получаемый хлорид меди (I) характеризуется высокой чистотой. Показано влияние температуры на степень восстановления меди.

Ключевые слова: *медь, монооксид углерода, гидрокарбонилирование, восстановление, хлоридный раствор, катализатор, хлорид палладия*

Россия является одним из крупных производителей меди в мире. В Удоканском месторождении сосредоточена пятая часть запасов меди России. Для переработки меди в большинстве своем применяют технологическую структуру, основанную на следующей последовательности операций:

– выщелачивание меди из руд, концентратов и др. промпродуктов;

– экстракционная очистка раствора с получением электролита сульфата меди (II);

– электролиз раствора сульфата меди (II) с нерастворимым анодом и получение катодной меди.

Но эта технология имеет свои недостатки:

– необходимо постоянно очищать большие объемы исходного раствора и обработанного электролита, применяя экстракцию;

– ограничение концентрации серной кислоты при выщелачивании;

– при электролизе с нерастворимыми анодами происходит большой удельный расход электроэнергии [1].

Поэтому необходимо новое технологическое решение при производстве меди. Одно из таких технологических решений было предложено известной фирмой Oufotec. Оно основывается на химическом восстановлении меди. Предложена сложная многоступенчатая технология выделения чистого хлорида меди (I) из многокомпонентного раствора, полученного при выщелачивании медного концентратора хлоридными растворами.

Она заключается в следующем:

$$2CuCl + 2NaOH = Cu_2O + 2NaCl + H_2O$$

При t = 800 °С оксид меди (I) взаимодействует с H_2:

$$Cu_2O + H_2 = 2Cu + H_2O$$

В результате полученный медный порошок предлагается перерабатывать.

Такая технология производства меди выглядит как правильная, но ее технологическая реализация нецелесообразна из-за сложности выделения чистого хлорида (I) из исходного раствора [2].

Возможен более дешевый процесс выделения чистого хлорида меди (I) из многокомпонентных растворов, полученных при выщелачивании медных руд и промпродуктов. Он протекает при взаимодействии сульфатно-хлоридного раствора и генераторного газа при атмосферном давлении и t >20 °С за счет химической реакции:

$$2CuSO_4 + HCl + CO + H_2O = 2CuCl^- + CO_2 + 2H_2SO_4 \quad (1)$$

Моделируя механизм реакции (1), с точки зрения термодинамики и кинетики, пришли к выводу, что в зависимости от температуры и парциального давления CO скорость восстановления составляет ≈ 1 % мин$^{-1}$, и позволяет выделить из раствора ~ 98% меди в форме хлорида меди (II)**.** Процесс восстановления меди (II) до меди (I) является автокаталитическим, где катализатором выступает карбонильный комплекс $CuCOCl$ или его анионная форма $CuCOCl_2^-$ [3].

Чистую медь можно получить путем переработки чистой соли хлорида меди (II) с использованием следующих процессов:

$$2CuCl + H_2O \xrightarrow{t} Cu_2O + 2HCl \quad (2)$$

$$2Cu_2O + CO \xrightarrow{t} 2Cu + CO_2 \quad (3)$$

Процессы (2) и (3) можно объединить в один:

$$2CuCl + H_2O + CO \xrightarrow{t} 2Cu + CO_2 + 2HCl \quad (4)$$

Таким образом, одновременно с получением чистой меди происходит регенерация хлористого водорода, необходимого для приготовления сульфатно-хлоридного раствора [4]. Предлагаемая технологическая схема переработки руд Удоканского месторождения приведена на рис. 1.

Для получения 1 т меди в представленном технологическом процессе необходимо:

Расход CO, м^3 352,76
Расход HCl (в обороте), т 0,575
Регенерация серной кислоты, т 1,543
Расход углерода, т 0,190

Проведенные исследования показывают, что под действием карбонильных комплексов меди (I), образующихся за счет каталитического действия

хлорокомплекса палладия (II), происходит восстановление меди (II) до меди (I) при действии CO на содержащие Cu(II) растворы при атмосферном давлении, в дальнейшем процесс восстановления протекает в автокаталитическом режиме.

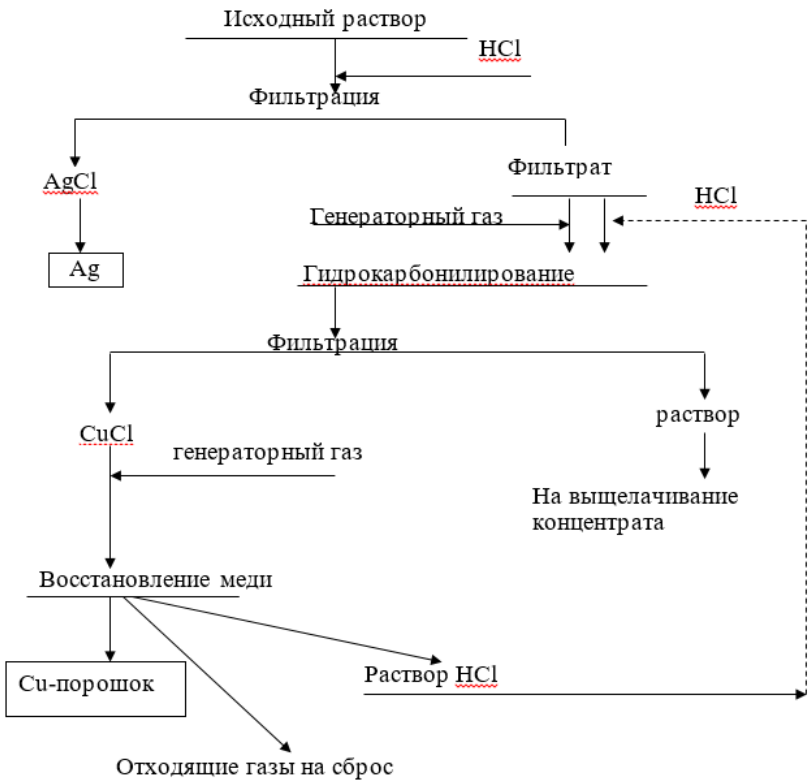


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема получения меди с использованием генераторного газа

При наличии в растворе ионов серебра в него вводят дозированное количество $CaCl_2$, что приводит к осаждению AgCl и некоторого количества $CaSO_4$ в соответствии с реакцией:

$$2Ag^+ + SO_4^{2-} + Ca^{2+} + 2Cl = AgCl\downarrow + CaSO_4\downarrow \quad (5)$$

Выделяющийся при реакции (3) порошок меди является оборотным продуктом для осаждения CuCl по реакции (2). Регенерация отработанного электролита осуществляется по реакции (3). Длительность процесса хлоридной технологии от начала переработки исходного многокомпонентного сульфатного раствора до начала компании электролиза с нерастворимым анодом электролита $CuSO_4$ значительно меньше [5].

Реакция (1) подтверждена в следующих экспериментах.

1. Исходный раствор 0,1 л состава, М: 1М $CuCl_2$ +0,5 М CuCl обрабатывали CO при комнатной температуре в течение 180 мин. Была достигнута максимальная степень восстановления Cu(II) → Cu(I) 98 %. Осадок CuCl отделили и в фильтрат внесли 65 мг порошка меди при перемешивании. Через 30 мин. анализ раствора на содержание ионов Cu^{+2} (иодометрия) показал их отсутствие.

2. В другом эксперименте использовали раствор $CuSO_4$ с концентрацией 1 моль/л. В 100 мл этого раствора внесли 0,1 моля $CaCl_2$, что вызвало реакции: $CuSO_4 + CaCl_2 = CaSO_4 \downarrow + Cu^{2+} + 2Cl^-$.

Результаты эксперимента показаны в таблице.

Влияние температуры на степень восстановления Cu (II) → Cu (I)

Температура, °C	20	30	40	50	60
Степень восстановления Cu (II) → Cu (I), %	24	54	85	97	96
Выделения CuCl в осадок, %	5	20	88	98	97
Средняя скорость восстановления, %·мин	0,13	0,30	0,42	0,54	0,53

Новая хлоридная технология выделения меди из сульфатных растворов тяжелых цветных металлов в форме чистой соли CuCl с последующей переработкой ее на оксид меди (I) — Cu_2O щелочным гидролизом имеет очевидное экономическое преимущество.

Литература

[1] Спицын В.И., Федосеев И.В., Пономарев А.А., Елесин А.И. Кинетика и механизм каталитического восстановления Cu (II) окисью углерода в присутствии хлорида Pd (II). *Журнал неорганической химии*, 1978, т. 26, вып. 2, с. 454–456.

[2] Фасман Ф.Б., Марков В.Д., Сокольский Д.В. Каталитическое восстановление неорганических соединений окисью углерода в жидкой фазе. *Журнал прикладной химии*, 1965, т. 38, № 4, с. 791–800.

[3] Федосеев И.В. Гидрокарбонильный процесс обезмеживания растворов. *Цветные металлы*, 2005, № 8, с. 22–25.

[4] Федосеев И.В., Максимов В.В. Селективное выделение меди при гидрокарбонилировании сульфатмно-хлоридных растворов цветных металлов. *Цветные металлы*, 2010, № 12, с. 39–40.

[5] Федосеев И.В. Гидрокарбонильные процессы в технологии платиновых металлов. *Цветные металлы*, 2006, № 8, с. 76–82.

The use of the hydrocarbonyl process in the technology of processing copper ores of the udokan deposit

Gerasimova N.S. sng-2009@mail.ru
Ilyukhina I.V. ilykhinaira8@mail.ru
Ilyukhin D.V. iluhind098@gmail.com

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The process of obtaining pure copper from multicomponent solutions using one cheap reagent, generator gas, under mild conditions and in a short time — less than 10 hours, is considered. A technological scheme of this process is proposed. The advantages and disadvantages of the method of obtaining pure copper are considered. It was found that the rate of reduction of Cu(II) to Cu(I) can reach 1 % • min^{-1}. The process can be carried out using process gases containing CO: air generator, water, converted methane. The resulting copper (I) chloride is characterized by high purity. The effect of temperature on the degree of copper reduction is shown.

Keywords: *copper, carbon monoxide, hydrocarbonylation, reduction, chloride solution, catalyst, palladium chloride*

УДК 620.17

Испытание образцов на разрывной машине Р-5

Шаталов Валерий Константинович vkshatalov@yandex.ru
Головачева Юлия Геннадиевна ulia230670@gmail.com

КФ МГТУ им Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрена возможность проведения механических испытаний образцов на растяжение при отсутствии электроэнергии на испытательной машине Р5 с использованием домкрата. Изготавливаемые электромеханические машины на заводе «Точприбор» оснащены рычажно-маятниковым силоизмерителем определяя усилие воздействия на образец. Предлагается для нагружения на образец использовать реверсор из комплекта машины. При этом роль активного захвата выполняет захват реверсора, а скорость его перемещения задается с помощью домкрата, установленного между неподвижной траверсой и плитой реверсора.

Ключевые слова: *испытание, захват, плита, растяжение, реверсор*

При освоении курса учебно-технологический практикум (УТП), в разделе «обработка давлением», студенты изучают механические свойства металлов и сплавов. Познают, что такое деформация, напряжение, упругость, пластичность, выполняя практическую работу на машине для проведения испытаний на растяжение и сжатие. Для этой цели используется разрывная машина Р-5 завода «Точприбор», г. Иваново.

Машины разрывные Р-5 оснащены рычажно-маятниковым силоизмерителем со сменными грузами. Исполнение машин — электромеханические двухколонные вертикальные, силосоздающий модуль и пульт оператора объединены на одном основании. Особенности машин в универсальности к материалам образцов испытания, плавной регулировки скорости и малых габаритных размерах. Не требует установки на специальный фундамент, устанавливается на виброопоры. Машина разрывная, испытательная, с предельной нагрузкой 5 т.с. по ГОСТ 7855–74 [1], предназначена для статических испытаний на растяжение и сжатие образцов металлов и сплавов по ГОСТ 1497–84. На занятиях студенты проводят испытания образцов, как при комнатной, так и при высокой температуре 800 °С. Для этого на одной стойке установлена муфельная печь. Печь при необходимости отводят или устанавливают в рабочую позицию поворотом на стойке.

Форма и размеры головок и переходных частей цилиндрических и плоских образцов определяются способом крепления образцов в захватах испытательной машины. Способ крепления должен предупреждать проскальзывание образцов в захватах, смятие опорных поверхностей, деформацию головок и разрушение образца в местах перехода от рабочей части к головкам и в головках.

Образцы изготавливают на токарно-винторезных станках. При изготовлении образцов принимают меры (охлаждение, соответствующие режимы обра-

ботки), исключающие возможность изменения свойств металла при нагреве или наклепе, возникающих в результате механической обработки. Глубина резания при последнем проходе не должна превышать 0,3 мм.

В разрывных машинах применены механические клиновые захваты, обеспечивающие надежное крепление образцов и простоту в эксплуатации. Студенты проводят испытания на образцах диаметром $\phi 5$ мм, с резьбовой головкой. При испытании образца с резьбовой головкой на растяжение его установка в захватах машины осуществляется с помощью специального резьбового приспособления. Резьбовые образцы ввинчивают в цилиндрические оправки, которые затем вводят в специальное приспособление. Приспособления являются быстросменными и устанавливаются в верхний и нижний захват, закрепляя их стопорными штифтами.

Разрывные и универсальные испытательные машины должны соответствовать требованиям ГОСТ 28840.2.2 — машины для испытания на растяжение [2], сжатие и изгиб. Штангенциркули должны соответствовать требованиям ГОСТ 166. Микрометры должны соответствовать требованиям ГОСТ 6507.

Для определения временного сопротивления $\sigma_в$ образец подвергают растяжению под действием плавно возрастающего усилия до разрушения. Наибольшее усилие, предшествующее разрушению образца, принимается за усилие P_{max}, соответствующее временному сопротивлению. При определении временного сопротивления $\sigma_в$ скорость деформирования должна быть не более 0,5 от начальной расчетной длины образца 5ϕ, выраженной в мм/мин. Временное сопротивление ($\sigma_в$), Н/мм^2 (кгс/мм^2), вычисляют по формуле

$$\sigma_в = \frac{P_{max}}{S},$$

где S — площадь поперечного сечения образца, мм^2.

Скорость нагружения образца должна быть установлена в области упругости и поддерживаться по возможности постоянной.

Для проведения испытаний образцов на данной машине, необходимо ее подключение к электрической сети [3]. Однако в связи с переездом лаборатории в новый построенный корпус не оказалось трехфазной электроэнергии. Было принято решение нагружать образец, используя входящее в комплект разрывной машины Р-5 реверсор — приспособление для испытания на сжатие, состоящее из двух плит связанных четырьмя тягами. Одна плита данного тягового приспособления крепится в верхнем захвате стопорным штифтом. При этом нижняя часть приспособления в виде плиты устанавливается посредством четырех тяг под перемещаемой траверсой. Внизу траверсы имеется плита для деформирования образцов на сжатие. Таким образом, между плитами траверсы и реверсора устанавливается образец. При нажатии на пульте управления кнопки «вниз», траверса перемещается вниз, давит на образец, образец давит на плиту приспособления, плита тянет тяги, которые через верхнюю плиту тянут верхний захват и задается нагрузка на образец. Величина нагрузки определяется на циферблате контролируемыми стрелками.

В выполняемой работе испытания проводили на растяжение при отсутствии электроэнергии. Для этого приобрели гидравлический домкрат бутылочного типа [4]. Образец ввинчивали в оправки и по обычной схеме устанавливали в верхний захват. Нижнюю оправку соединяли через переходник с верхней плитой реверсора. Между нижней плитой реверсора и деформирующей плитой траверсы размещали домкрат с усилием 10 т (рисунок). Приводили домкрат в рабочее состояние: при неподвижной траверсе шток домкрата давит на плиты и перемещает приспособление вниз, соответственно, выполняя роль активного захвата тянет нижнюю оправку с образцом вниз. Происходит нагрузка на образец, величина которой определяется на циферблате. Воздействуя на домкрат, задавая плавную скорость перемещения стрелки по шкале циферблата, достигаем усилие, разрушающее образец $P_{мах}$.



Испытание образца на растяжение с помощью домкрата

После испытания вывинчивали разрушенные части образца из оправок и проводили измерения. В результате испытания определяли следующие характеристики механических свойств: временное сопротивление; относительное удлинение после разрыва; относительное сужение поперечного сечения после разрыва.

Заключение. Для определения механических свойств сплавов при проведении лабораторных работ, возможно применение домкрата задающего разрушающее усилие образца через реверсор.

Литература

[1] ГОСТ 7855–74. *Машины разрывные универсальные для статических испытаний металлов*. Москва, Изд-во стандартов, 1990, 8 с.

[2] ГОСТ 28840.2.2. *Машины для испытания на растяжение, сжатие и изгиб*. Москва, Изд-во стандартов, 1993, 8 с.

[3] *Техническое описание разрывной машины Р5. Точприбор*. Иваново, 1992, 25 с.

[4] Старостин К.В. Виды домкратов и их назначение. *Молодой ученый*, 2016, № 30 (134), с. 442–445. URL: https://moluch.ru/archive/134/37703/ (дата обращения 23.10.2024).

Testing of samples on the R-5 bursting machine

Shatalov V.K. vkshatalov@yandex.ru

Golovacheva Y.G. ulia230670@gmail.com

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The possibility of conducting mechanical tensile tests of samples in the absence of electricity on the P5 testing machine using a jack is being considered. The electromechanical machines manufactured at the Tochpribor plant are equipped with a lever-pendulum force meter determining the impact force on the sample. It is proposed to use a reverser from the machine kit to load the sample. In this case, the role of the active gripper is performed by the gripper of the reverser, and the speed of its movement is set using a jack installed between the fixed traverse and the reverser plate.

Keywords: *testing, gripping, plate, stretching, reverser*

Секция 12. Информационные технологии. Электронно-вычислительные системы и комплексы

УДК 004.42

Разработка архитектуры аналитического модуля информационной системы, взаимодействующей со СКУД

Хромов Александр Евгеньевич khromovae@student.bmstu.ru
Вершинин Евгений Владимирович vershinin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Проведена разработка архитектуры аналитического модуля информационной системы, взаимодействующей со СКУД. Произведен анализ исходных данных СКУД и анализ возможности выборки этих данных. Спроектированы изменения модели базы данных, и предложено использование новых данных для принятия решения при пересмотре доступа сотрудника.

***Ключевые слова**: аналитика, анализ, аналитический модуль, информационная система, СКУД, база данных*

Введение. Во многих информационных системах так или иначе фигурирует аналитика данных, которые собираются, хранятся или обрабатываются в системе. Аналитика может производится на различных уровнях системы, начиная от анализа использования ОЗУ сервером, заканчивая анализом взаимодействия пользователя с интерфейсом системы.

В ходе проектирования и реализации информационной системы при взаимодействии со СКУД предприятия не была предусмотрена полноценная аналитика данных СКУД о посещении сотрудниками помещений. В ходе тестирования и дальнейшего использования системы было предложено добавить отображение дополнительной аналитической информации о частоте посещения сотрудниками помещений с целью принятия решения о пересмотре данного доступа (например, сотрудник может не посещать помещение в течении нескольких месяцев, вследствии чего доступ к данному помещению у него следует отключить). Следует отметить, что данная аналитика должна лишь предоставлять дополнительную информацию пользователям, а не инициировать автоматическое отключение доступа (хотя и такой вариант реализации возможен в будущем).

В данной работе проводится разработка архитектуры аналитического модуля информационной системы [1], взаимодействующей со СКУД. Будет произведен анализ исходных данных СКУД о посещениях, возможности выборки этих данных, их обработки, и хранения для дальнейшего использования в пользовательском интерфейсе системы.

Исходные данные системы СКУД. СКУД Siemens SiPass Integrated имеет журнал взаимодействия владельцев карт доступа с настроенными считывателями в системе. И API и web-интерфейс данного СКУД не имеет возможности для выгрузки необходимых данных, поэтому необходим прямой доступ к базе данных СКУД (для чтения). Еще одна особенность данного СКУД — проприе-

тарная архивация таблиц с журналами. В ходе наблюдений выяснено, что с определенной периодичностью (раз в сутки), таблицы, содержащие оперативные данные журнала очищаются и архивируются [2] в отдельные файлы, вследствие чего, по средствам взаимодействия с базой данных не будет возможности получения исторических данных журнала (например, за прошлый месяц), так как они будут уже удалены из базы данных.

Таким образом, появляется необходимость периодической выборки журнала СКУД из базы данных (как минимум 2 раза в сутки) и хранения получившейся копии данных о доступе к помещениям в локальной базе данных.

Минимально необходимые поля журнала СКУД, необходимые для идентификации посещения сотрудником помещения:

– card_no — номер карты доступа (пропуска) сотрудника;

– point_name — уникальное имя точки доступа в помещение;

– message — сообщение журнала (необходимо для идентификации успешного использования пропуска);

– date_occured — дата события;

– time_occured — время события.

Модель базы данных. На основе имеющихся данных СКУД и разработанной ранее базы данных для проектируемой информационной системы — самым оптимальным способом решения задачи будет создание одной дополнительной таблицы, связывающей данные о сотрудниках (об активных картах доступа) с данными о точке доступа. Таблица будет состоять из трех колонок:

– card_id — идентификатор карты доступа сотрудника и внешний ключ [3] на таблицу “card”, в которой имеется информация о доступах сотрудников (в информационной системе и в системе СКУД данные идентификаторы карт доступа поддерживаются в соответствии);

– sipass_node_id — идентификатор считывателя СКУД и внешний ключ на таблицу “sipass_node”, в которой хранится информация о точках доступа СКУД;

– timestamp — временная метка, обозначающая время срабатывания считывателя на карту доступа сотрудника

Уникальный ключ [4] будет составным из всех обозначенных полей.

Итоговая модель новой таблицы базы данных “sipass_visit_log” приведена на рис. 1 (серым цветом обозначены часть изначальной модели базы данных системы для контекста). Данная модель базы данных будет содержать исторические данные посещения сотрудником помещений, и может в дальнейшем использоваться в аналитических целях.

Еще одно изменение существующей модели базы данных предлагается выполнить с целью применения полученных данных о посещении сотрудниками помещений во время пересмотра доступа. Таблица “review_data” содержит информацию о итоге пересмотра доступа в зону для сотрудника, именно к этой таблице планируется добавить необходимые колонки, отображающие

релевантную аналитическую информацию о посещении зоны доступа сотрудником. Значения данных колонок будут вычислены при создании пересмотра доступа.

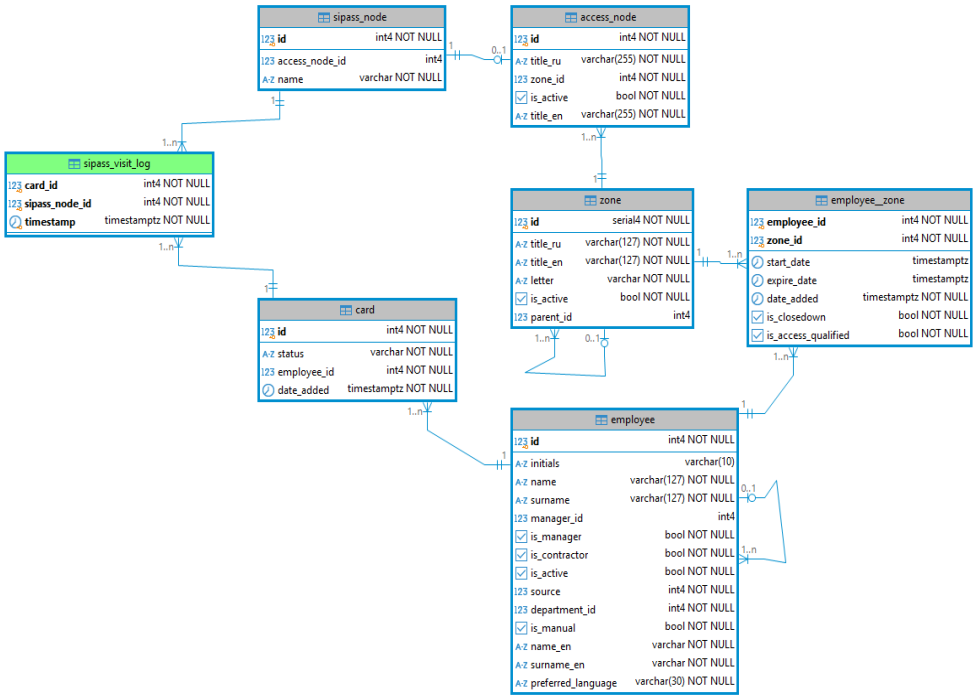


Рис. 1. Модель новой таблицы “sipass_visit_log” в контексте модели базы данных информационной системы

Предлагаемый набор колонок, отображающий полноценный набор необходимых данных для принятия решения об актуальности доступа сотрудника:

– avg_visits_last_week — среднее количество посещений любой точки доступа в пересматриваемой зоне за последнюю неделю (число с плавающей запятой);

– avg_visits_last_month — среднее количество посещений любой точки доступа в пересматриваемой зоне за последний месяц (число с плавающей запятой);

– latest_visit_timestamp — крайнее время посещения зоны (может быть NULL, если зона ни разу не посещалась за время наблюдений)

Итоговая модель измененной таблицы базы данных “review_data” приведена на рис. 2 (серым цветом обозначены часть изначальной модели базы данных системы для контекста; красным контуром выделены добавленные колонки таблицы).

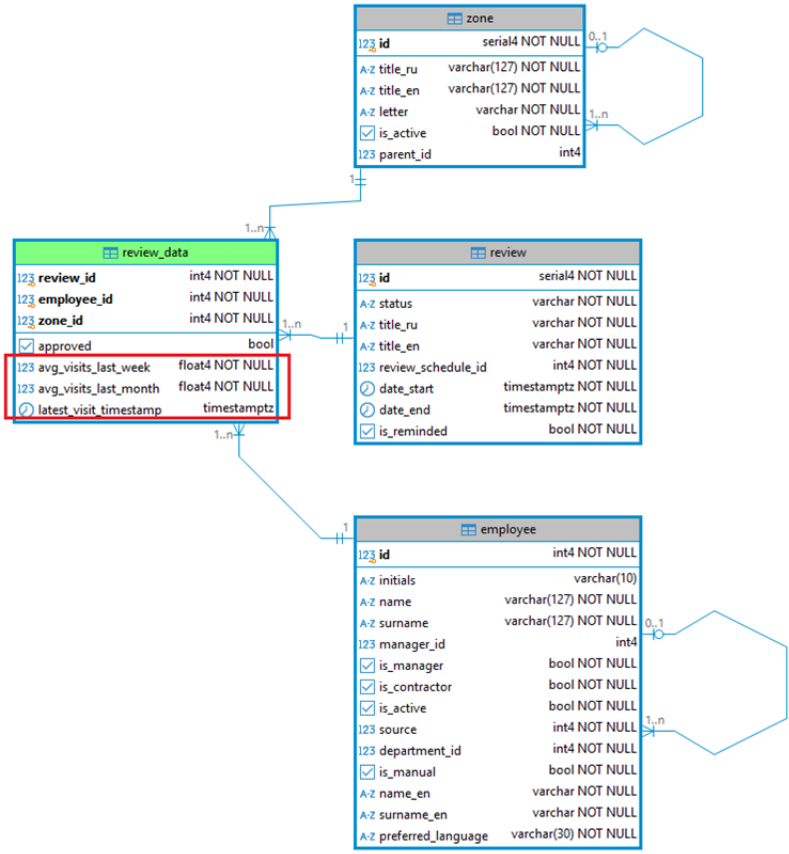


Рис. 2. Модель измененной таблицы “review_data” в контексте модели базы данных информационной системы

Заключение. В ходе анализа была выбрана архитектура аналитического модуля информационной системы, взаимодействующей со СКУД. Был произведен анализ исходных данных СКУД и анализ возможности выборки этих данных. Были спроектированы изменения модели базы данных и предложено использование новых данных для принятия решения при пересмотре доступа сотрудника.

Литература

[1] Пальмов С.В., Крюкова А.А. Разработка аналитического модуля для CRM-системы средствами Python. *Перспективы науки*, 2022, № 9 (156), с. 10–14.

[2] *SiPass integrated Product Release Notes*. URL: https://sid.siemens.com/v/u/A6V13528028 (дата обращения 23.10.2024).

[3] *PostgreSQL. | Внешние ключи*. URL: https://metanit.com/sql/postgresql/2.5.php (дата обращения 23.10.2024).

[4] Белоус В.В., Брешенков А.В. Метод назначения первичных ключей в информации табличного вида. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2009, № 12. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13020166_76247231.pdf (дата обращения 23.10.2024).

Development of the architecture of the analytical module of the information system interacting with the enterprise's acs

Khromov A.E. khromovae@student.bmstu.ru
Vershinin E.V. vershinin@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

In this paper an architecture of the analytical module of the information system interacting with ACS is developed. The initial data of ACS and the analysis of the possibility of sampling of these data are analyzed. The changes of the database model are designed, and the use of new data for decision making when revising the employee's access is proposed.

***Keywords**: analytics, analysis, analytical module, information system, ACS, database*

УДК 004.4

От традиционных методов к цифровым инновациям: автоматизация проектирования электросетей

Задоркин Сергей Михайлович zadorkin0101@mail.ru
Борсук Наталья Александровна borsuk.65@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Исследована возрастающая необходимость в цифровизации данных, обусловленная ее способностью ускорять бизнес-процессы. Представлены ключевые преимущества цифровизации, включая удобство хранения и обработки информации в электронном формате, что обеспечивает доступ к данным и способствует оптимизации бизнес-процессов. Представлен обзор на веб-приложение и обсуждаются возможности по автоматизации проектирования объектов электроэнергетики. Также представлены рекомендации по дальнейшим направлениям его развития.

Ключевые слова: *цифровизация, автоматизация, цифровой двойник, веб-приложение*

Цифровизация представляет собой ключевой элемент современных преобразований в различных отраслях, включая энергетику. Она включает в себя переход от традиционных методов управления и проектирования к использованию цифровых технологий, что позволяет значительно повысить эффективность и качество процессов [1].

Одним из самых значительных достижений в этой области является концепция цифрового двойника. Цифровой двойник представляет собой виртуальную модель физического объекта или системы, которая позволяет в реальном времени отслеживать, анализировать и оптимизировать различные параметры [2]. В контексте электроэнергетики цифровые двойники могут моделировать распределительные сети, трансформаторные подстанции и другие компоненты инфраструктуры.

Переход от традиционных методов проектирования электросетей, основанных на бумажной документации, к цифровым технологиям и специализированным приложениям является решающим этапом в развитии энергетической инфраструктуры. Современная необходимость эффективного управления и обновления электросетей становится все более актуальной, и цифровая трансформация открывает новые горизонты для оптимизации проектирования, мониторинга и обслуживания систем. Проанализирована важность этого перехода, преимущества цифровизации в области электросетей и значимость разработки специализированных приложений для усовершенствования проектных процессов в данной критически важной области.

Ранее основным способом хранения критически значимых документов и чертежей служили бумажные носители, а составление схем и технической документации часто требовало вручную труда.

В ходе работы необходимо было производить вычисления и проверять их вручную, поскольку ошибки или недостаточный уровень квалификации сотрудников могли значительно замедлить уже долгий процесс, требующий высокой концентрации и точности. После завершения всех расчетов и их утверждения необходимо было подбирать комплектующие, соответствующие условиям, полученным в результате проведенных расчетов. Этот подход потреблял много времени, что значительно удлиняло процесс проектирования объектов электроэнергетики.

В г. Калуга функционирует компания, специализирующаяся на разработке цифрового двойника электросетей. Это актуализирует необходимость создания специализированного веб-приложения, которое может существенно трансформировать подход к проектированию объектов в области электроэнергетики. В связи с тем, что приложение необходимо разрабатывать в формате конструктора с динамическим интерфейсом, оптимальным выбором станет создание одностраничного приложения (SPA). Основное преимущество SPA заключается в отсутствии заметных переходов между страницами, что обеспечивает более комфортный и плавный пользовательский опыт [3]. Для реализации данного веб-приложения использовалась библиотека React, которая поддерживает компонентный подход и виртуальный DOM. React обеспечивает высокую производительность и возможность повторного использования кода, что значительно упрощает процесс разработки [4]. Рабочая область проекта представлена на рис. 1.

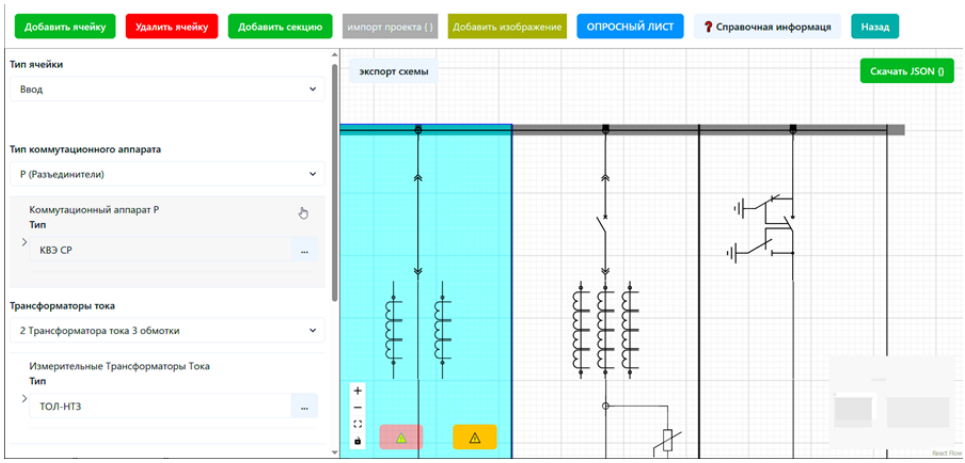


Рис. 1. Рабочая область проекта

В рабочей области предусмотрено размещение элементов, формирующих схему объекта электросети. Пользователь имеет возможность выбирать характеристики каждого элемента схемы и вводить необходимые данные. Для более удобного хранения и работы с проектами в системе имеется возмож-

ность экспорта и импорта проекта. Данные возможности представлены на рис. 2 и 3.

При нажатии на кнопку с надписью «Скачать JSON {}» формируется JSON-файл проекта и автоматически скачивается на компьютер. Данный файл может отдать на хранение, также можно использовать скачанный файл как шаблон для новых проектов, чтобы не строить похожие схемы заново. Импорт проекта представлен на рис. 3.

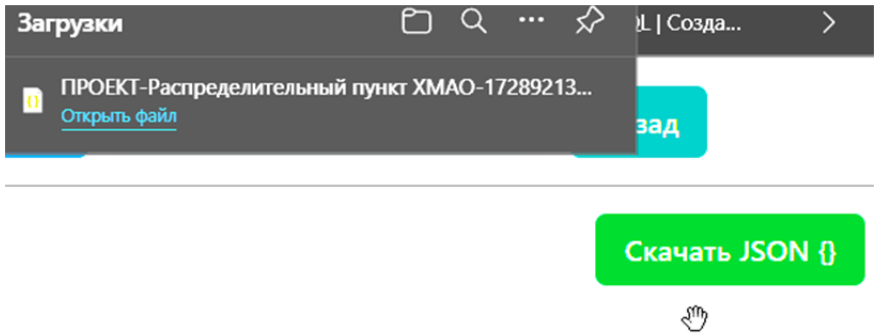


Рис. 2. Экспорт проекта

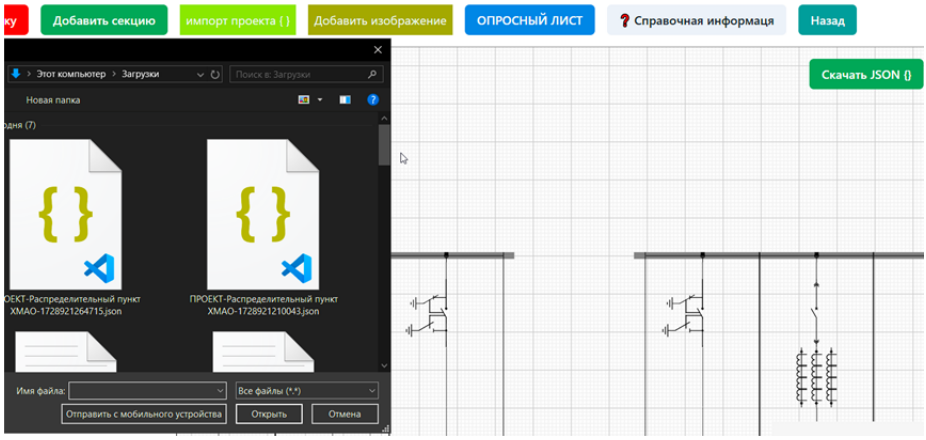


Рис. 3. Импорт проекта

Для импорта проекта нужно нажать на кнопку «импорт проекта { }». После этого откроется диалоговое окно операционной системы для выбора файлов. При успешном импорте в новом проекте будет присутствовать полноценная копия старого проекта. В последствии новый проект можно редактировать.

Данная система может экспортировать документы. Экспортированная схема проекта представлена на рис. 4.

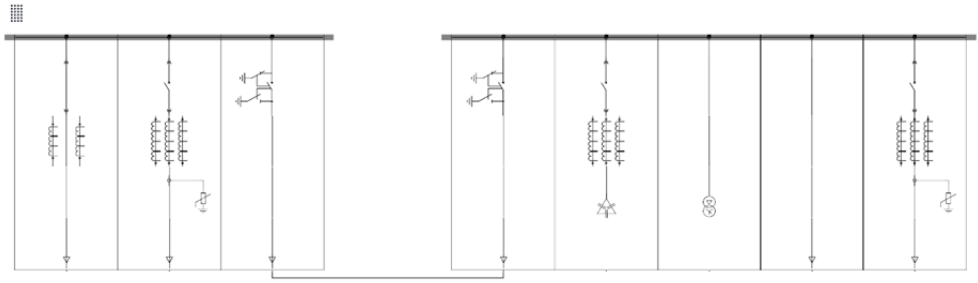


Рис. 4. Экспортированная схема проекта

Для экспорта схемы нужно нажать на кнопку «экспорт схемы». После этого система сформирует схему и начнется загрузка схемы в формате PDF. Кроме схемы, из системы можно экспортировать опросный лист. Опросный лист — документ, с подробными характеристиками требуемого оборудования [5]. Впоследствии опросный лист направляется заводу-изготовителю. Фрагмент опросного листа представлен на рис. 5.

Номинальное напряжение главных цепей, кВ	6					
Номинальное ток сборных шин	630					
Ток термической стойкости, кА	20,00					
Род и напряжение оперативного тока	220 АС					
Схема соединения главных цепей						
Номер шкафа по проекту		1	2	3	4	
Назначение шкафа		Ввод	СВ (Секционный выключатель)	СР (Секционный разъединитель)	Отходящая линия	УКРМ (ком реа мо
Выключатель		СР (Секционный разъединитель) КВЭ СР 1000 А	ВН (Выключатели нагрузки) ВНА-ТЕ Л(п,п)-10-400-23ПУ2-10	---	ВВ (Вакуумные выключатели) Sion 12кВ, 31,5kA, 2500A	ВВ (В выкл Evoli 12
Измерительные трансформаторы тока	Коэфф. трансформации	800/5	---	---	?	1
	Количество	2	---	---	3	
	Класс точности	0.5S/10P	---	---	?	0.2S/0

Рис. 5. Фрагмент опросного листа

Данная система автоматически генерирует опросный лист, исходя из ранее заполненных атрибутов, после чего файл скачивается на компьютер.

В перспективе будут реализованы следующие направления:

– расширение библиотеки графических элементов, что позволит создавать объекты электроэнергетики различных классов напряжений;

– добавление и расширение модуля самопроверок;

– улучшение модуля расчетов для выбора комплектующих объектов электроэнергетики;

– расчет всего объекта в разных режимах.

Таким образом, в статье обосновывается необходимость цифровизации в сфере электросетей и электроэнергетики, а также настоятельный переход от бумажных носителей к электронным форматам. Данный переход предоставляет ряд значительных преимуществ, включая ускорение выполнения работ, более точное прогнозирование и повышение качества продукции на рынке.

Литература

[1] Алексеев А.А. Цифровизация производства. *Academy*, 2019, № 1, с. 32–33. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_36727576_24680154.pdf (дата обращения 20.10.2024).

[2] Сосфенов Д.А. Цифровой двойник как инструмент оптимизации производственных процессов. *Инновации и инвестиции*, 2023, № 5, с. 149–153.

[3] Газизуллин Н.И., Плещинская И.Е. Разработка клиентской части веб-приложения с использованием технологий SPA. *Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet»*, 2020, № 8, с. 104–110.

[4] Мамбетов Р.А. Построение пользовательских интерфейсов веб-приложений с помощью библиотеки react. *Экономика и социум*, 2019, № № 5 (60), с. 906–909.

[5] Хасанов Р.Х. Методика оценки конкурентоспособности предприятия. *Современная конкуренция*, 2009, № 4, с. 99–109.

From traditional methods to digital innovations: automation of power grid design

Zadorkin S.M. zadorkin0101@mail.ru

Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

This article explores the increasing need for data digitalization due to its ability to accelerate business processes. The key advantages of digitalization are presented, including the convenience of storing and processing information in electronic format, which provides access to data and helps optimize business processes. An overview of the web application is presented and the possibilities for automating the design of electric power facilities are discussed. Recommendations on further directions of its development are also presented.

Keywords: *digitalization, automation, digital twin, web-application*

УДК 004.4

Пути повышения качества обучения электротехнике с помощью информационных технологий

Задоркин Сергей Михайлович zadorkin0101@mail.ru
Борсук Наталья Александровна borsuk.65@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрена необходимость внедрения комплексных информационных систем в образовательные процессы. Проведен сравнительный анализ существующих решений, обладающих аналогичными функциональными возможностями, в ходе которого была подтверждена целесообразность разработки специализированной веб-системы для образовательных целей. Показаны ключевые аспекты функционирования приложения, включая модуль конструирования и модуль с уроками, а также, определены перспективы его дальнейшего развития.

Ключевые слова: *цифровизация, электротехника, веб-приложение, образование*

С увеличением количества умных устройств и ростом интернета вещей становится очевидной необходимость внедрения обучения основам электроники в школьную программу. Знания в этой области предоставляют молодым людям эффективные инструменты для быстрого проектирования и тестирования схем. Моделирование схем позволяет обнаруживать ошибки на ранних стадиях, что существенно экономит время и снижает затраты на создание прототипов. Для будущих специалистов в сфере технологий такие навыки становятся необходимыми, поскольку открывают возможности для инноваций и участия в разработке новых устройств и технологий. Обучение электронике в образовательных учреждениях способствует не только развитию критического мышления и инженерных умений, но и формированию креативного подхода к решению практических задач.

Учебные заведения и курсы по электронике нуждаются в современных инструментах для обеспечения эффективного обучения. В данное время существует широкий выбор приложений, специально разработанных для изучения моделирования электрических схем. Давайте рассмотрим несколько из них.

NI Multisim — популярный пакет программного обеспечения для моделирования электронных схем и разработки печатных плат. Его отличительной особенностью является удобный и интуитивно понятный интерфейс, наличием мощных инструментов для графического анализа результатов моделирования и виртуальными измерительными приборами, которые имитируют реальные устройства. Тем не менее, программа может быть слишком сложной для изучения и она недоступна для скачивания в России.

Electronic Workbench является мощным инструментом для моделирования электронных схем. Однако он серьезно уступает в современных требованиях из-за устаревшего и неудобного интерфейса, а также устаревшей эле-

ментной базы, которая давно не обновлялась. Кроме того, в программе отсутствует поддержка русского языка [2].

TINA Design Suite — это мощный программный пакет для моделирования, анализа, проектирования и тестирования в реальном времени различных схем, включая аналоговые, цифровые, VHDL, MCU, SMPS, RF, коммуникационные, оптоэлектронные и смешанные схемы, а также схемы печатных плат [3].

На основе проведенного анализа основными недостатками рассмотренных программ являются:

нехватка интегрированной обучающей системы, необходимой для подготовки будущих специалистов;

высокий порог входа.

В условиях современного мира, где объем информационных потоков стремительно увеличивается и разнообразие источников может приводить к информационному перегрузу, крайне важно создать комплексную систему, обеспечивающую доступ к тщательно отобранному и организованному контенту. Эта система должна выступать в роли надежного инструмента, который содействует быстрому и эффективному началу обучения по выбранной тематике. Ключевыми элементами такой системы станут модуль проектирования, позволяющий пользователям развивать практические навыки и применять свои теоретические знания, а также раздел с обширной базой знаний. В эту базу должны входить различные ресурсы, включая учебные материалы, справочные документы и видео-лекции, доступные в любое время. Таким образом, предложенная система не только упростит процесс изучения, но и предоставит пользователям актуальную информацию, что, в свою очередь, значительно повысит качество образования и ускорит усвоение материала. Чтобы обеспечить доступность системы на разных устройствах, было решено разработать приложение, ориентированное на работу браузере. Так как приложение должно работать как конструктор с интерактивным интерфейсом, имеет смысл создать его в формате одностраничного приложения (SPA). Основное преимущество SPA заключается в том, что пользователи не видят переходов между страницами, что позволяет обеспечить более гладкий и приятный опыт взаимодействия [4].

При первичном посещении страницы пользователь может пользоваться конструктором или начать заниматься по урокам. Стартовая страница изображена на рис. 1.

Если пользователь нажмет кнопкой мыши на область с текстом «Свободный конструктор», он будет перенаправлен непосредственно на страницу конструктора без необходимости выполнения дополнительных заданий или ознакомления с обучающими примерами. Рабочая область конструктора показана на рис. 2.

В системе присутствует модуль с уроками. В уроке может содержаться как теоретический, так и практический материал. Этот материал может включать в себя текстовое описание, графический материал и заранее сформированная схема. Меню с уроками представлено на рис. 3.

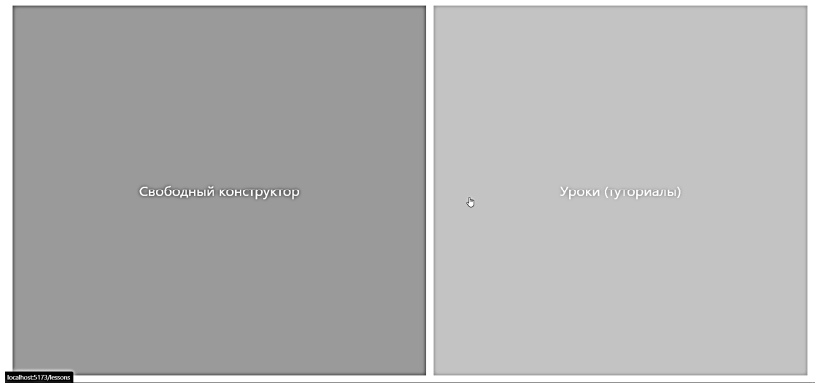


Рис. 1. Стартовая страница

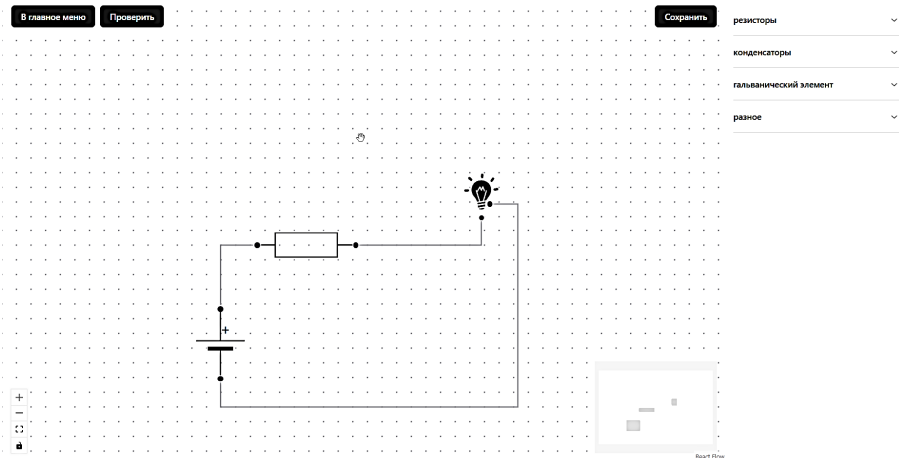


Рис. 2. Рабочая область конструктора



Рис. 3. Меню с уроками

Также в настоящее время для предлагаемого в статье материала дорабатывается следующий функционал:

– умная система подсказок;

– расширение функций, связанных с моделированием цепей.

Также в последнее время, в связи с развитием в искусственного интеллекта целесообразно интегрировать специальный сервис, основанный на ИИ, к которому можно будет обращаться для дополнительной информации или изучения материалов другими методами.

Таким образом, приложение для моделирования электронных схем не только соответствует современным требованиям, но и значительно способствует оптимизации образовательных процессов. Оно повышает наглядность представляемого материала и ускоряет процесс его усвоения. Данная система имеет потенциал для интеграции в учебные программы образовательных учреждений.

Литература

[1] Белоус И.А. Моделирование схем импульсных устройств электропитания в пакете Ni Multisim. Территория новых возможностей. *Вестник Владивостокского государственного университета*, 2016, № 3, с. 129–135.

[2] Ахметвалеева Л.В., Горбунов А.А., Шамсутдинов Л.Ф. Синтез и исследование цифровых устройств в программной среде Electronic Workbench. *Известия Южного федерального университета. Технические науки*, 2005, тематический вып., с. 154–155.

[3] Гасанов И.Р. Компьютерное моделирование кондуктометрических измерительных преобразователей в программе TINA-TI. *Наука, техника и образование*, 2020, № 1, с. 25–31.

[4] Торопкин Р.А., Зиновьев Я.В., Рассказов Н.С., Митрохин М.А. Технологии оптимизации работы сайта на примере аналитической системы публикационной активности пензенского государственного университета. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*, 2020, № 4, с. 71–77.

Ways to improve the quality of electrical engineering education using information technology

Zadorkin S.M. zadorkin0101@mail.ru

Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

This article discusses the need to introduce integrated information systems into educational processes. A comparative analysis of existing solutions with similar functionality was carried out, during which the expediency of developing a specialized web system for educational purposes was confirmed. The key aspects of the application's functioning are shown, including the design module and the module with lessons, as well as the prospects for its further development.

Keywords: *digitalization, electrical engineering, web application, education*

УДК 004.4

Разработка мобильного приложения пользователя общественным транспортом г. Калуга

Силиштян Данила Павлович winwins@danimatcorp.com
Борсук Наталья Александровна borsuk.65@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрена разработка мобильного приложения для отображения общественного транспорта в реальном времени на карте с расчетом времени прибытия автобусов. Приложение, созданное на основе .NET MAUI, поддерживает работу на нескольких платформах, включая Android и iOS. Анализ существующих решений, таких как Яндекс Карты и Bus40, выявил их ограничения для отображения калужского транспорта. В предлагаемом приложении используется информация с сайта Bus40 для отображения местоположения транспорта и маршрутов. Пользователи могут выбирать и сохранять маршруты, а также смотреть прогнозируемое время прибытия автобуса на остановку.

Ключевые слова: *общественный транспорт, мобильное приложение, отслеживание транспорта, карта*

Введение. В современном мире мобильные технологии играют ключевую роль в повседневной жизни людей, предоставляя им доступ к информации и услугам в любое время и в любом месте. Одной из наиболее востребованных областей применения мобильных технологий является общественный транспорт.

Данная работа направлена на создание мобильного приложения, способного в реальном времени отображать общественный транспорт на карте, в функционал которого входит вычисление прогнозируемого времени прибытия автобуса на остановку.

Анализ существующих решений. Есть несколько вариантов просмотра общественного транспорта на карте [1], например Яндекс Карты, Bus40. Разберем каждый из них.

Яндекс Карты (рис. 1) — поисково-информационная картографическая служба Яндекса. Доступно в виде сайта или мобильного приложения для Android и iOS. Есть поиск по карте, информация о пробках, отслеживание городского транспорта, прокладка маршрутов и панорамы улиц крупных и других городов [2]. У калужского транспорта отсутствует интеграция с этим сервисом, из-за чего на карте не отображаются автобусы в реальном времени. Но при этом отображаются все остановки и маршруты на них, а также интервал движения автобусов с учетом официального расписания [3].

Bus40 (рис. 2) — сайт управления калужского транспорта и поэтому отображает почти все маршруты общественного транспорта, за исключением тех, которые принадлежат частным предприятиям. Доступно только в виде

сайта. На сайте можно выбрать маршрут и отобразятся остановки только для него. При нажатии на остановку отображается примерное время прибытия автобуса выбранного номера. Это неудобно, так как не отображается весь транспорт, который останавливается на остановке.

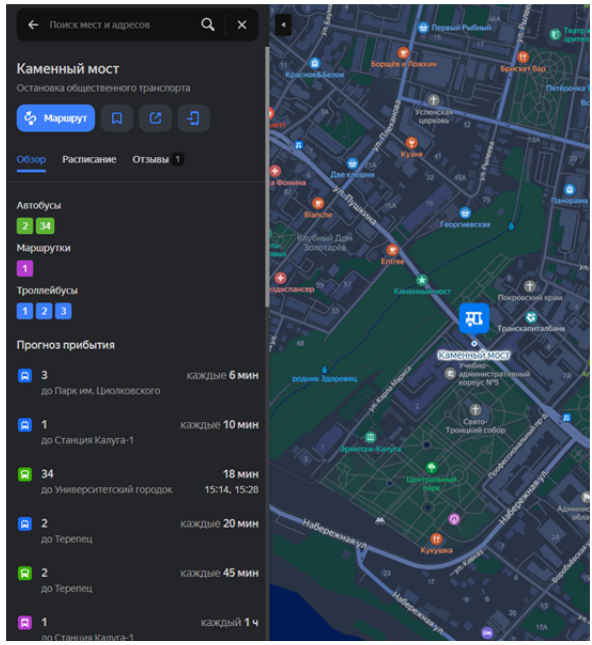


Рис. 1. Отображение интервала движения на Яндекс Картах

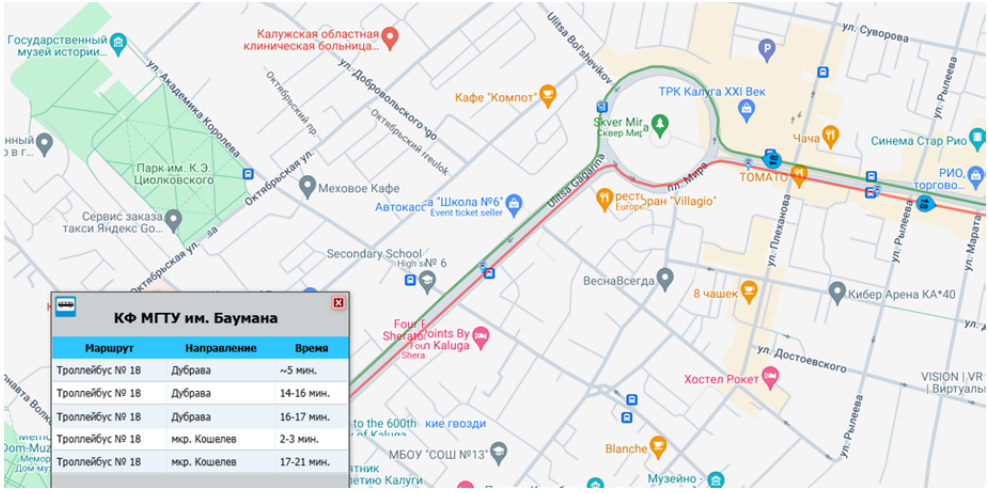


Рис. 2. Отображение интервала движения на Bus40

Разработка. Приложение использует .NET MAUI в качестве фреймворка, что позволяет ему работать на ОС Windows, macOS, Android и iOS [4].

Реализация отображения транспорта на карте (рис. 3). Информация о местоположении берется с сайта bus40 в виде JSON. Затем на карте рисуются маячки на этих точках, красные — автобусы, синие — троллейбусы.

```
var json = await _httpClient.GetStringAsync(
 "https://bus40.su/default.aspx?target=main&action=get_devices");
_devices = JsonSerializer.Deserialize<List<Device>>(json, _jsonSerializerOptions) ??
 throw new InvalidOperationException("Wrong JSON was received from get_devices");
```

Лист. 1. Получение местоположений автобусов

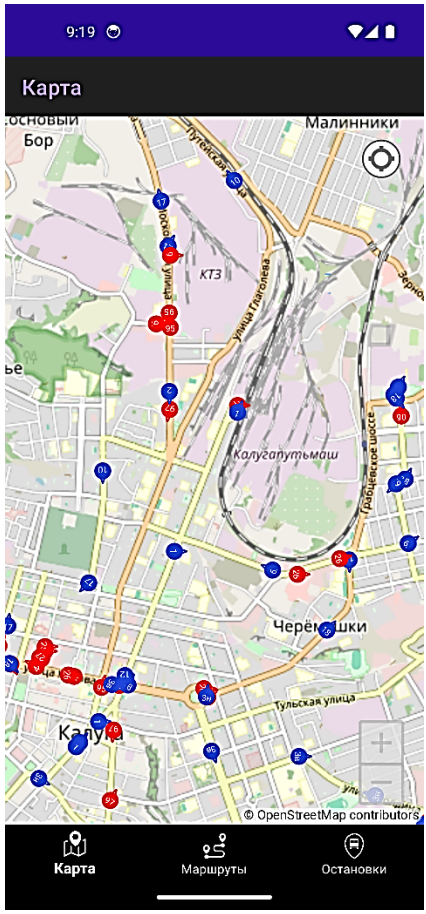


Рис. 3. Карта с транспортом

Реализация выбора маршрута (рис. 4). Номера маршрутов загружаются с сервера в виде JSON-файла и отображаются в виде списка [5]. Каждый

можно добавить в избранное с помощью кнопки со звездочкой, что переместит его вверх списка для более быстрого доступа. Нажатие на него переключит на карту, на которой рисуется маршрут и отображаются только автобусы этого номера.

```
var tracksJson = await _httpClient.GetStringAsync("https://danimatcorp.com/bus40/tracks.json");
var outputList = JsonSerializer.Deserialize<List<RouteDevice>>(tracksJson, _jsonSerializerOptions) ??
 throw new InvalidOperationException("Wrong JSON was received from get_tracks.json");
```

Лист. 2. Получение маршрутов

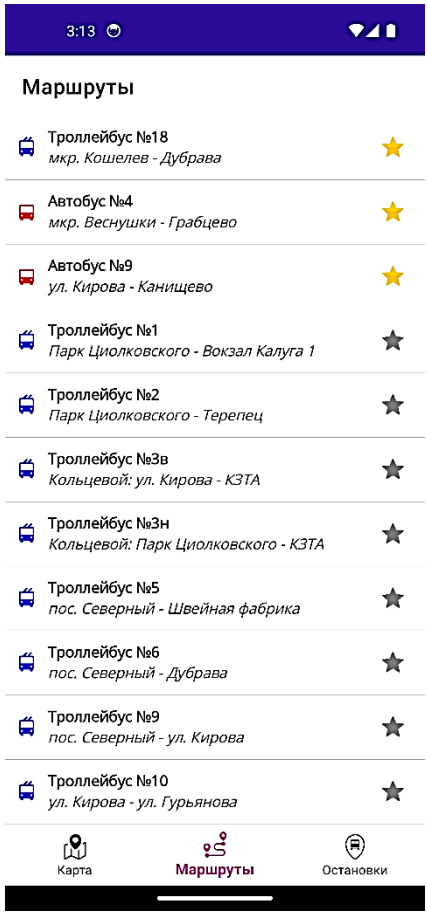


Рис. 4. Страница с маршрутами

Реализация списка остановок (рис. 5). Остановки загружаются с bus40 и отображаются в виде списка [5], отсортированного по мере удаления от местоположения пользователя. Нажатие на остановку откроет страницу с рассчитанным временем прибытия автобусов.

```
foreach (var stop in stopsList)
{
 var distance = _userLocation.CalculateDistance(stop.Station.Latitude, stop.Station.Longitude,
 DistanceUnits.Kilometers);
 stop.Distance = distance;
 stop.DistanceString = distance < 1 ? $"{Math.Round(distance * 1000)} м." : $"{Math.Round(distance,
3)} км.";
}
return Task.FromResult(stopsList.OrderBy(x => x.Distance).AsEnumerable());
```

Лист. 3. Сортировка остановок по удаленности

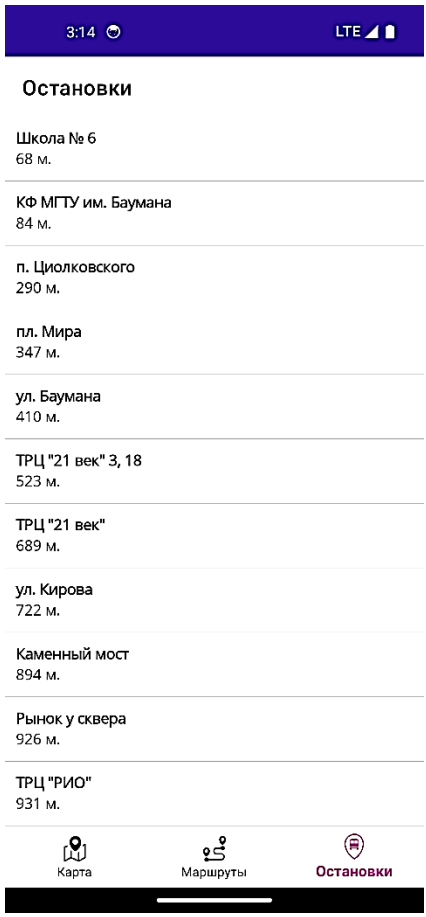


Рис. 5. Страница с остановками

Реализация расчета времени прибытия автобуса на остановку (рис. 6). На каждый маршрут с bus40 загружается список автобусов с их средней скоростью и расстоянием до остановки. Исходя из этого рассчитывается примерное время прибытия.

```
var length = forecast.StationLength.Value — forecast.DevLength.Value;
var avgTime = Math.Round(length / 20 * 60);
if (forecast.AverageSpeed <= 0)
 continue;
var time = Math.Round(length / (forecast.AverageSpeed.Value * 1.852) * 60);
if (time > 60)
 continue;
var stopInfo = new StopInfo();
if (Math.Abs(avgTime — time) < 0.1)
{
 stopInfo.EstimatedTime = time < 1 ? "< 1 мин." : $"~{avgTime} мин.";
 stopInfo.EstimatedTimeMinValue = time;
 stopInfo.EstimatedTimeMaxValue = time;
}
else
{
 if (avgTime == 0)
 avgTime = 1;
 if (time == 0)
 time = 1;
 stopInfo.EstimatedTime = $"{Math.Min(time, avgTime)}-{Math.Max(time, avgTime)} мин";
 stopInfo.EstimatedTimeMaxValue = Math.Max(time, avgTime);
 stopInfo.EstimatedTimeMinValue = Math.Min(time, avgTime);
}
```

Лист. 4. Расчет времени прибытия

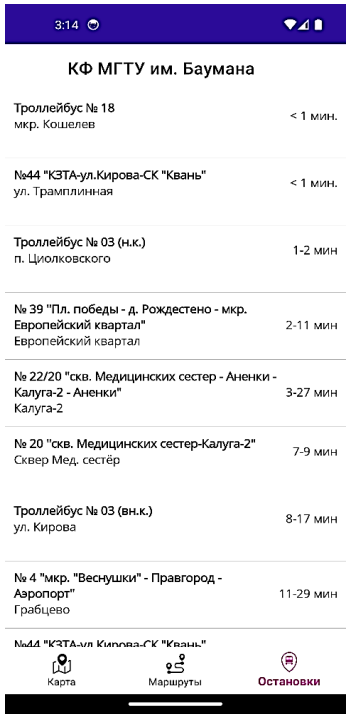


Рис. 6. Страница со временем прибытия автобусов

Публикация приложения на площадках распространения. Данный проект был опубликован в магазине приложений Google Play и RuStore по следующим URL адресам:

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.danimatcorp.kalugabus и https://www.rustore.ru/catalog/app/com.danimatcorp.kalugabus.

Проект участвует во всероссийской молодежной научно-инженерной выставке «Политехника», посвященной 110-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея, в рамках конгресса «Русский инженер».

Заключение. Данное приложение можно использовать в повседневной жизни, что показало количество загрузок в Google Play и положительные отзывы. На данный момент у приложения более 4 тысяч скачиваний и 24 отзыва. Дальнейшая разработка данного приложения предполагает графические и функциональные улучшения — обновление интерфейса, добавление расчета маршрута от точки А в точку Б и исправление текущих ошибок, которые будут выявлены.

Литература

[1] Раззаков М.И. Применение информационной логистики на общественном транспорте. *Наука, техника и образование*, 2018, № 3 (44), с. 1–3.

[2] Гузенко А.В. Формирование единого информационного пространства в системе городского пассажирского транспорта. *Вестник РГЭУ РИНХ*, 2014, № 3 (47), с. 15–20.

[3] Эльдарханов Э.Х. Организационная модель интегративного управления городским общественным транспортом. *Вестник РГЭУ РИНХ*, 2012, № 39, с. 24–30.

[4] Черников В. *Разработка мобильных приложений на C# для iOS и Android*. Москва, ДМК Пресс, 2020, 188 с.

[5] Воронцов Ю.А., Овчинников М.А., Чернов Е.А. *Платформы разработки мобильных приложений.* Москва, РТУ МИРЭА, 2023, с. 97–103.

Development of a mobile application for the user of public transport in Kaluga

Silishtyan D.P. winwins@danimatcorp.com

Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This article considers the development of a mobile application for displaying public transport in real time on a map with the calculation of bus arrival times. The application, created on the basis of .NET MAUI, which allows running on several platforms, including Android and iOS. Analysis of existing solutions, such as Yandex Maps and Bus40, revealed their limitations for displaying Kaluga transport. The proposed application uses information from the Bus40 website to display the location of transport and routes. Users can select and save routes, as well as view the predicted bus arrival time at the stop.

Keywords: *public transport, mobile application, transport tracking, map*

УДК 004.4

Выбор между виртуальными машинами и машинной компиляцией для разработки программного обеспечения: сравнительный анализ

Титов Александр Юрьевич titovayu@student.bmstu.ru
Чухраев Игорь Владимирович chukhraev@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрены подходы к разработке программного обеспечения для промышленных контроллеров, акцентируя внимание на сравнении виртуализации и машинной компиляции. Обсуждаются ключевые аспекты, такие как производительность, эффективность использования ресурсов и соответствие международным стандартам. Приводятся примеры реализации каждого из методов, а также их преимущества и недостатки в контексте создания надежного и быстродействующего ПО для контроллеров серии ПЛК 500. Статья предлагает рекомендации по выбору оптимального подхода на основе специфики задач разработки.

Ключевые слова: *программное обеспечение, виртуализация, машинная компиляция, производительность, контроллеры, ПЛК 500*

Разработка программного обеспечения для промышленных контроллеров требует особого внимания к быстродействию и экономии вычислительных ресурсов, что особенно важно в условиях жестких требований к стабильности и эффективности систем. Предприятие АО «Алгонт» столкнулось с необходимостью создания ПО для контроллеров серии ПЛК 500, где ключевыми условиями стали высокая производительность и соответствие стандартам программирования по МЭК. Этот стандарт, широко используемый в автоматизации, требует от программного обеспечения не только надежности, но и совместимости с широким спектром оборудования, что увеличивает важность оптимального выбора технологии разработки [1].

На этапе выбора подхода к разработке рассматривались два основных метода: использование виртуальных машин и машинной компиляции. Первый подход, виртуализация, позволяет создать платформенно-независимое окружение, но может наложить дополнительные требования к ресурсам и привести к незначительному снижению быстродействия [2]. Второй подход, машинная компиляция, ориентирован на использование аппаратных ресурсов максимально эффективно, однако ограничивает совместимость и требует более глубокого учета особенностей конкретного оборудования.

Целью данной работы является сравнительный анализ этих двух методов для определения их сильных и слабых сторон применительно к разработке ПО для контроллеров, где критически важны производительность, компактность и надежность. Это должно позволить разработчикам выбрать оптимальный метод в зависимости от требований к программному обеспечению, заданных особенностями его применения на практике.

Метод разработки ПО с использованием виртуальной машины. Разработка программного обеспечения для промышленных контроллеров с использованием виртуальной машины подразумевает особый подход, обеспечивающий универсальность и переносимость программ между различными аппаратными платформами. В первую очередь, программный код пишется на языке ST (Structured Text), который компилируется в универсальный набор инструкций. На этом этапе компилятор ST преобразует код, соответствующий стандарту МЭК, в промежуточный формат, не зависящий от конкретного типа процессора. Этот промежуточный код облегчает совместимость с разными аппаратными средствами и делает систему независимой от архитектуры конкретного контроллера. Общая схема работы с виртуальной машиной представлена на рис. 1.

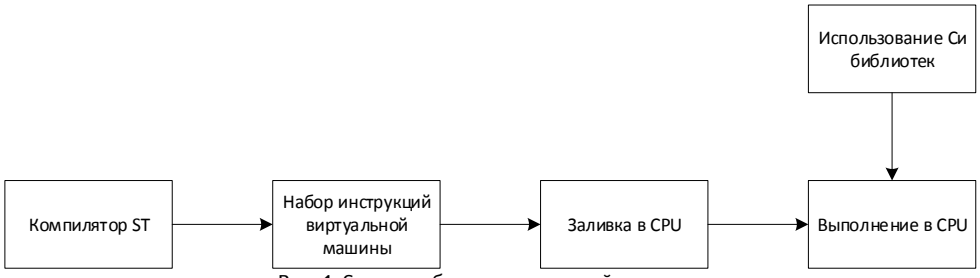


Рис. 1. Схема работы виртуальной машины

Скомпилированный код, представляющий собой универсальный набор инструкций, затем загружается в центральный процессор контроллера. Внутри процессора виртуальная машина берет на себя задачу интерпретации и выполнения инструкций. Важно отметить, что для выполнения определенных функций виртуальная машина может задействовать встроенные библиотеки на языке С. Это позволяет применять более низкоуровневые операции, расширяя возможности программного обеспечения [3].

Процесс компиляции для виртуальной машины включает несколько важных этапов анализа. Сначала происходит удаление комментариев и разбивка исходного кода на лексемы, чтобы устранить избыточные данные и упростить структуру кода для интерпретатора. Далее следует анализ директив и команд, что помогает оптимизировать код и проверять его на наличие ошибок. Системный анализатор проверяет количество команд в блоках, предотвращая возможные проблемы переполнения и упрощая управление ресурсами. Последовательность выполнения также имеет значение: математические операции обрабатываются слева направо, а команды присвоения — справа налево, что позволяет рационально распределить нагрузку и ресурсы.

Использование виртуальной машины имеет свои плюсы и минусы. Среди преимуществ — сокращение количества операций, так как виртуальная машина оптимизирует код для его эффективного исполнения. Также за счет платформенной независимости виртуальная машина предоставляет универ-

сальный код, подходящий для различных процессоров, что особенно удобно при переносе ПО между различными контроллерами. К тому же, код в таком формате становится проще, поскольку интерпретатор берет на себя значительную часть обработки [4].

Однако виртуальная машина также имеет некоторые недостатки. Виртуализация требует значительных накладных расходов ресурсов процессора, что может снижать общую производительность системы. Кроме того, сам процесс интерпретации приводит к снижению скорости исполнения по сравнению с машинной компиляцией, где код напрямую работает с аппаратными ресурсами, обеспечивая максимальную производительность.

Этот подход был реализован, например, в системе ISaGRAF, которая поддерживает языки стандарта МЭК и применяет виртуальную машину для повышения переносимости и упрощения разработки [5].

Метод разработки ПО с использованием машинной компиляции. Метод машинной компиляции опирается на создание промежуточного представления исходного кода, используя дерево абстрактного синтаксиса (AST), и дальнейшую компиляцию с помощью стандартных инструментов, таких как компилятор GCC. Компиляция начинается с того, что код, написанный на языке ST (Structured Text), подвергается анализу и преобразуется в дерево AST, которое отражает иерархию кода, обеспечивая структурированное представление данных. Это дерево упрощает обработку и манипуляцию программными компонентами, что особенно полезно при генерации кода на C++, поскольку C++ предоставляет больше возможностей для управления памятью и доступа к данным на низком уровне.

Преобразование кода на C++ происходит посредством транспилятора, что позволяет использовать функционал, который поддерживается большинством процессоров, и создавать динамические библиотеки (.so файлы), готовые для загрузки в процессор (CPU). Бинарный код, сформированный на выходе, обладает всеми необходимыми оптимизациями для эффективного исполнения.

Кроме того, наряду с AST также формируется глобальная структура, включающая конфигурационные данные, которая также компилируется в бинарный файл. Эта структура содержит все сведения о программе, ее ресурсах и конфигурации устройств, упрощая процесс взаимодействия с аппаратными компонентами. Общая схема работы с машинным компилятором приведена на рис. 2.

Главные преимущества метода машинной компиляции заключаются в том, что он позволяет генерировать код, который исполняется непосредственно на процессоре, минуя виртуальную машину. Это позволяет обеспечить значительно более высокую производительность по сравнению с интерпретацией инструкций виртуальной машиной, так как программа может выполнять команды на уровне процессора. Однако, в этом подходе есть и свои минусы. Так, машинная компиляция требует значительных ресурсов на этапе компиляции, что может усложнить внесение изменений в код. Кроме

того, такая система будет менее гибкой и более зависимой от конкретной архитектуры оборудования, что усложняет переносимость программы на другие устройства.

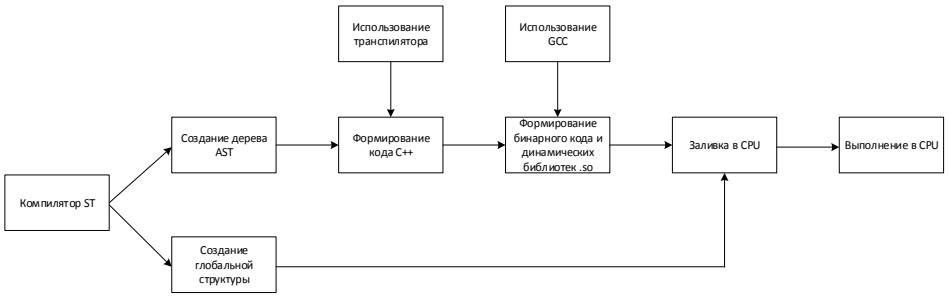


Рис. 2. Схема работы машинного компилятора

Преимущества машинной компиляции можно наблюдать на примере ПО, разрабатываемого в таких платформах, как CoDeSys и TwinCAT, где реализация программного обеспечения выполняется с минимальным количеством промежуточных слоев между кодом и аппаратным обеспечением, обеспечивая высокую производительность и экономию ресурсов.

Заключение. Выбор между рассмотренными методами зависит от специфики задач и требований приложения. Виртуализация обеспечивает универсальную совместимость с различными аппаратными платформами, что упрощает переносимость и повторное использование кода. Этот метод оптимален в ситуациях, где важны кроссплатформенность и эффективность обслуживания. Однако из-за дополнительного уровня абстракции виртуализация может накладывать ресурсоемкие требования и несколько снижать производительность. С другой стороны, машинная компиляция позволяет более тесно взаимодействовать с оборудованием, что обеспечивает высокую скорость выполнения и оптимизацию использования ресурсов. Это особенно важно для приложений, где критичны время отклика и производительность, как в случае контроллеров ПЛК 500, применяемых в сложных промышленных условиях. Несмотря на ограниченную кроссплатформенную гибкость, машинная компиляция предпочтительна, когда требуется надежность и максимальная производительность в реальном времени. Следовательно, для задач промышленной автоматизации, где стабильность и эффективность критичны, машинная компиляция чаще оказывается лучшим выбором. Однако в проектах, требующих адаптивности, при допустимых компромиссах по скорости выполнения, предпочтение можно отдать виртуализации.

Литература (надо проверить список источников)

[1] Корытин А.Ю. Виртуализация вычислительных мощностей в центрах обработки данных. *Экономические исследования и разработки*, 2020, с. 34–36. — уточните выходные данные статьи, в этом журнале в 2020 году нет такой, есть такая https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12924502

[2] Браже А.В., Петрова А.С. Оптимизация ИТ-инфраструктуры предприятия средствами виртуализации. *Информационные технологии и аналитика*, 2019, с. 41–42. — уточните выходные данные статьи

[3] Анопченко А.И., Харченко В.С. Виртуализация и виртуальные машины в подготовке современных IT-специалистов. *Современные проблемы науки и образования*, 2019, с. 25–27. — есть вот такая статья https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tzbfef

[4] Щеглов Д.Б. Автоматизация разработки и применения распределенных пакетов прикладных программ. *Научно-технические ведомости*, 2021, с. 42–45. — похожая проблема, есть такая https://sciup.org/avtomatizacija-razrabotki-i-primenenija-raspredelennyh-paketov-prikladnyh-143165280

[5] Садовникова Н.А., Пирогова Е.В. Современные подходы к проектированию компиляторов. *Компьютерные науки и информационные технологии*, 2019, с. 12–15. — такой статьи не нашла

Choosing between virtual machines and machine compilation for software development: a comparative analysis

Titov A.Y. tayu20ki252@student.bmstu.ru
Chukhraev I.V. chukhraev@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

This article examines approaches to software development for industrial controllers, focusing on the comparison between virtualization and machine compilation. Key aspects such as performance, resource efficiency, and compliance with international standards are discussed. Examples of implementation for each method are provided, along with their advantages and disadvantages in the context of creating reliable and high-performance software for PLC 500 controllers. The article offers recommendations for selecting the optimal approach based on the specifics of development tasks.

Keywords: *software, virtualization, machine compilation, performance, controllers, PLC 500*

УДК 004.62

Повышение точности прогнозов коллаборативной рекомендательной системы с помощью расчета евклидового расстояния и коэффициента Отиаи

Медведев Дмитрий Игоревич dmitriy.medvedev.work@yandex.ru
Кондратьева Светлана Дмитриевна sdkond@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрен комплексный метод расчета евклидового расстояния и коэффициента Отиаи в рекомендательных системах, основанных на коллаборативной фильтрации. Проанализированы методы определения схожести между оценками пользователей на основе данных мер, их совместное использование и влияние на конечные рекомендации. При этом уделяется внимание принципу работы алгоритма коллаборативной фильтрации. Цель работы — выявить метод, позволяющий улучшить качество рекомендаций с помощью коэффициента Отиаи.

Ключевые слова: *рекомендательная система, коллаборативная фильтрация, Евклидово расстояние, коэффициент Отиаи*

Введение. В современном мире существует множество сервисов, использующих рекомендательные системы. Одними из таких решений являются рекомендательные системы на основе коллаборативной фильтрации, обеспечивающие каждого пользователя персонализированными предложениями товаров и услуг, основываясь на его предпочтениях. Однако такие рекомендательные системы могут выдавать неточные оценки. Одной из причин данной проблемы является использование одного метода оценки. Применение комбинированного подхода с использованием коэффициента Отиаи позволит повысить точность прогнозов рекомендательной системы.

Принцип работы коллаборативной фильтрации. Коллаборативная фильтрация — это один из методов прогнозирования в рекомендательной системе, который применяется для предсказания неизвестных предпочтений пользователя на основе анализа известных предпочтений или оценок группы пользователей [1].

Идея коллаборативной фильтрации основывается на предположении, что пользователи всегда дают оценки по одному и тому же принципу. Также одним из основных подходов является суждение, что если у пользователей есть общие интересы, то их оценки будут ближе друг для друга, чем другие оценки.

Пусть имеется набор пользователей и объектов, которые они оценили. Это отражено в табл. 1. Задача заключается в том, чтобы «угадать», как, например, пользователь Д оценит объект 3 на основании оценок других пользователей. Для этого необходимо наиболее похожих на пользователя Д пользователей, оценивших данный объект. И наконец, на основании их оценок «предсказывается» оценка данного пользователя для данного объекта.

Таблица 1

Матрица оценок объектов пользователями

Пользователь	Объект 1	Объект 2	Объект 3	Объект 4	Объект 5
Пользователь А	5,0	–	3,0	–	4,0
Пользователь Б	–	–	1,0	–	2,0
Пользователь В	4,0	3,0	3,0	–	5,0
Пользователь Г	2,0	2,0	2,0	4,0	1,0
Пользователь Д	–	3,0	?	5,0	–
Пользователь Е	2,0	–	4,0	–	3,0

Среди коллаборативных алгоритмов выделяют основанные на пользователях (User-based) и на объектах (Item-based). В первом подходе сравниваются оценки пользователей, а во втором признаки объектов.

В качестве основных мер схожести выделяют: корреляцию Пирсона; Манхэттенское расстояние; коэффициент Танимото; евклидово расстояние; коэффициент Отиаи.

Рассмотрим в качестве мер схожести для рекомендательной системы расчет евклидового расстояния и коэффициента Отиаи.

Евклидово расстояние. Евклидово расстояние — это метрика, которая измеряет кратчайшее расстояние между двумя точками в евклидовом пространстве [2]. Формула Евклидового расстояния имеет следующий вид:

$$d(x,y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2}.$$

В рекомендательных системах евклидово расстояние позволяет оценить, насколько оценки одного пользователя близки к оценкам другого пользователя, или насколько признак одного объекта похож на признак другого объекта. И чем меньше получится расстояние, тем ближе оценки друг к другу.

Однако при расчете Евклидового расстояния невозможно использовать по-разному признаки с разной шкалой измерений. Кроме того, при увеличении количества размерностей, эффективность метода падает. Данная проблему называют «Проклятием размерности» [3].

Если большинство оценок не заданы, то расчет евклидова расстояния на основе всего набора данных может быть искажен, так как результат будет зависеть от большого количества «нулевых» значений.

Коэффициент Отиаи. Коэффициент Отиаи измеряет угол между векторами предпочтений пользователей. Это позволяет учитывать отношения между предпочтениями, что делает его более устойчивым к проблемам, с ко-

торыми сталкиваются при расчете евклидового расстояния. Формула коэффициента Отиаи имеет следующий вид:

$$K = \frac{|A \cap B|}{\sqrt{|A| \times |B|}}.$$

Коэффициент Отиаи игнорирует разреженность данных, поскольку основана на углах между векторами, а не на абсолютных значениях элементов векторов [4].

Эксперимент. В качестве эксперимента созданы рекомендации для пользователя Д, рассчитанные с помощью евклидового расстояния и комбинированного подхода с применением коэффициента Отиаи. Датасетом является набор данных из таблицы 1. Несмотря на малый объем и разреженность датасета, его хватит для оценки работы методов. Результаты эксперимента отражены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Меры схожести пользователей

Метод расчета	Пользователь В	Пользователь Г	Сумма
Евклидово расстояние	0,1035	0,2317	0,3352
Комбинированный	0,0208	0,1918	0,2126

Таблица 3

Результаты работы рекомендательной системы

Метод расчета	Объект 1	Объект 2	Объект 3	Объект 4	Объект 5
Евклидово расстояние	2,62	3,0	3,31	5,0	2,236
Комбинированный	2,195	3,0	2,098	5,0	1,391

Эксперимент показал, что коэффициент Отиаи в комбинированном методе корректирует значения, учитывая схожесть рекомендаций пользователей. При этом, численное значение рекомендации в большей степени зависят от оценки наиболее похожих пользователей, за счет еще большего веса их оценок, чем при использовании только расчета евклидового расстояния.

Литература

[1] Белов Ю.С., Клюквин Р.В. Использование косинуса схожести в рекомендательных системах на основе коллаборативной фильтрации. *Наука, техника и образование,* 2017, № 2 (12), с. 131–136.

[2] *Евклидово расстояние.* URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean_distance (дата обращения 19.10.2024).

[3] Юре Л., Ананд Р., Джеффри Д.У. *Анализ больших наборов данных*. Москва, ДМК Пресс, 2016, 498 с.

[4] Alammar J. *The illustrated Word2vec*. URL: https://jalammar.github.io/illustratedword2vec/ (accessed October 22, 2024).

Improving the prediction accuracy of a collaborative recommender system by calculating the euclidean distance and the othiai coefficient

Dmitry I.M. dmitriy.medvedev.work@yandex.ru

Kondratyeva S.D. sdkond@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This paper considers a comprehensive method for calculating Euclidean distance and Othiai coefficient in recommendation systems based on collaborative filtering. The paper analyses the methods for determining the similarity between user ratings based on these measures, their joint use and their impact on the final recommendations. Attention is paid to the working principle of the collaborative filtering algorithm. The aim of the paper is to identify a method to improve the quality of recommendations using the Othiai coefficient.

Keywords: *recommendation system, collaborative filtering, Euclidean distance, Ochiai coefficient, prediction improvement*

УДК 004.4

Разработка мобильного приложения для пользователя библиотечными ресурсами города Калуга

Башкалова Дарья Сергеевна bashkalovads@student.bmstu.ru
Борсук Наталья Александровна borsuk.65@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Описана разработка мобильного приложения для библиотек города Калуга, цель которого улучшить доступ пользователей к библиотечным ресурсам, а также обеспечить более удобный поиск информации. Рассмотрены аспекты цифрового развития библиотечных ресурсов Калужской области и необходимость их соответствия требованиям современного пользователя. Проведен анализ существующих аналогов данной разработки путем выявления недостатков их интерфейсов и функционала. На основе проведенного анализа сформирован ряд функций, необходимых для разрабатываемого мобильного приложения. В заключении сделан вывод, что данная разработка не только упрощает доступ к информации, но и способствует сохранению культурного наследия, а также популяризации местной истории и литературы среди жителей и гостей города.

Ключевые слова: *цифровое развитие библиотечных ресурсов, мобильное приложение, краеведение, литературная карта, мероприятия, читательский дневник, мотивация чтения, Калуга*

В современном мире внедрение цифрового развития в разные сферы жизнедеятельности становится важной задачей, что говорит об актуальности данной разработки. Для выполнения поставленной задачи библиотекам города необходимо соответствовать требованиям современного человека, сотрудничая с разработчиками подобных проектов и предлагая свои идеи для разработки [1].

Разработка данного мобильного приложения позволяет читателям удобно находить книги в библиотеках города, что экономит время и позволяет избежать долговременный поиск по сайтам всех библиотек. Также пользователям предоставлена возможность использования электронного читательского билета, что сокращает время на оформление физической карты. Интересной и удобной функцией приложения является вкладка «Мероприятия», которая позволяет пользователям в более удобном формате узнавать и посещать все мероприятия библиотек, и в то же время позволяет работникам библиотек удобнее собирать информацию о посетителях и их количестве [2].

Предметная область. Предметной областью данного проекта является обобщенная база данных библиотечных ресурсов города, которая включает в себя все данные, необходимые для корректного использования мобильного приложения. Данная предметная область охватывает все аспекты взаимодействия с библиотечными ресурсами, а именно:

– поиск информации и навигация по каталогам библиотек;

– управление личными читательскими данными (оформление читательского билета, просмотр истории выдачи книг, просмотр задолженностей и штрафов и т. д.);

– просмотр информации о краеведческих и редких литературных материалах.

Аналоги. В качестве аналогов данной разработки возьмем веб-сайты трех библиотек города Калуга (рис. 1–3).



Рис. 1. Веб-сайт библиотеки им В.Г. Белинского

Веб-сайт данной библиотеки имеет множество функций, но некоторые из них реализованы неудобными для пользователей. Функция поиска разработана больше для работников библиотеки и требует дополнительных навыков, которых нет у пользователей.

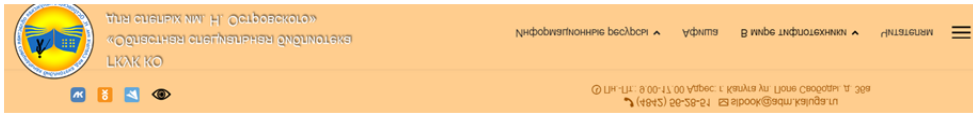


Рис. 2. Веб-сайт библиотеки для слепых им. Н. Островского

Данный веб-сайт содержит важную информацию о библиотеке, функцию поиска и вкладку «Афиша». Поиск также требует дополнительных навыков для корректной работы, а вкладка «Афиша» не поддерживается в реальном времени.

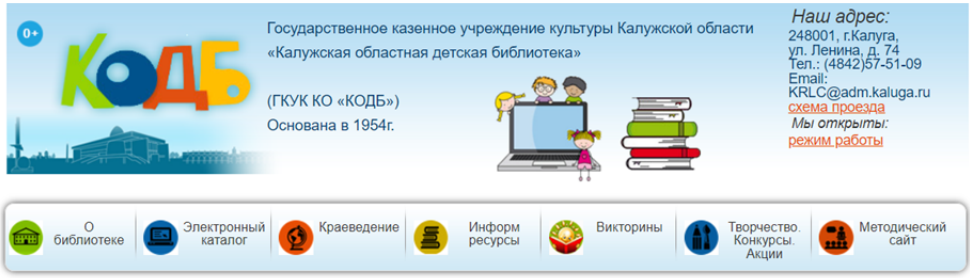


Рис. 3. Веб-сайт Калужской областной детской библиотеки

Главным плюсом данного веб-ресурса является визуально-приятный интерфейс, подходящий для данной аудитории. На сайте реализованы функции «Электронный каталог» и «Краеведение», которые планируются в мобильном приложении. Поиск книг по каталогу осуществляется не совсем удобно для пользователей. Вкладка «Краеведение» соответствует всем поставленным задачам и будет взята за пример при разработке мобильного приложения.

Разрабатываемое мобильное приложение представляет собой исправление ошибок в функционалах ресурсов-аналогов, а также в данной разработке добавлены новые интересные и полезные для пользователей функции.

Функционал. Разработка данного мобильного приложения предоставит пользователям более удобное пользование библиотечными ресурсами, так как итоговый проект будет иметь ряд полезных функций.

Поиск наличия книг в библиотеках города. Данная функция позволяет пользователям находить необходимые ему материалы по всем библиотекам города, не прибегая при этом к поиску по сайтам каждой библиотеки. Также отличительным свойством данного поиска является его удобство, которого не хватает при поиске на сайтах некоторых библиотек Калуги.

Чтение «редкого фонда» библиотек. Некоторые книги невозможно выдавать читателям на руки, так как это может навредить целостности данных материалов. Работники библиотек переводят книги «редкого фонда» в электронный формат, который как раз и будет доступен пользователям данного мобильного приложения.

Вкладка «Краеведение». Определенная часть жителей города не знает его историю, поэтому в данном ресурсе разработана такая вкладка, которая позволит просматривать историю города Калуги [3, 4].

«Литературная карта» позволяет пользователям больше узнать о культурных, исторических и литературных аспектах своего города. На данной карте расположены места, которые связаны с писателями, упоминаниях в произведениях и реальных событиях, описанных в литературе, что оказывает благоприятное влияние на сохранение культурного наследия и расширение кругозора пользователей [5].

Вкладка «Мероприятия». Данная функция позволяет пользователям узнавать план мероприятий каждой библиотеки и находить для себя подходящее. Библиотеки проводят множество мероприятий, но информация о них распространяется на очень узкий круг людей, что и является основной причиной создания такой функции. Также она позволяет работникам библиотек собирать информацию о посетителях мероприятий и точном их количестве.

Вкладка «Читательский дневник». Данная функция очень полезна библиотекам, так как она не только позволит собирать информацию о читателях отдельных книг, но и замотивирует самих пользователей читать больше.

Вкладка «Мотивация» позволяет пользователям устанавливать цель по прочтению книг. Также в данной вкладке реализована функция «Рекомендации», которая позволяет пользователю найти новый материал для чтения

на основе уже прочитанных книг, опираясь на жанры, категории, авторов и ключевые слова литературных произведений.

Средства разработки. В качестве средства разработки была выбрана программа Android Studio, которая предоставляет огромный функционал для создания мобильных приложений. В Android Studio встроены мощные инструменты для создания пользовательского интерфейса, включая визуальные редакторы, которые позволяют легко создавать интерактивные экраны для поиска книг, отображения каталогов библиотек, отображения различных вкладок и чтения книг в электронном виде. Также в данной среде разработки реализована интеграция с различными базами данных, что позволит подключаться к базам данных библиотек, а также создать базу данных самого приложения (рис. 4).

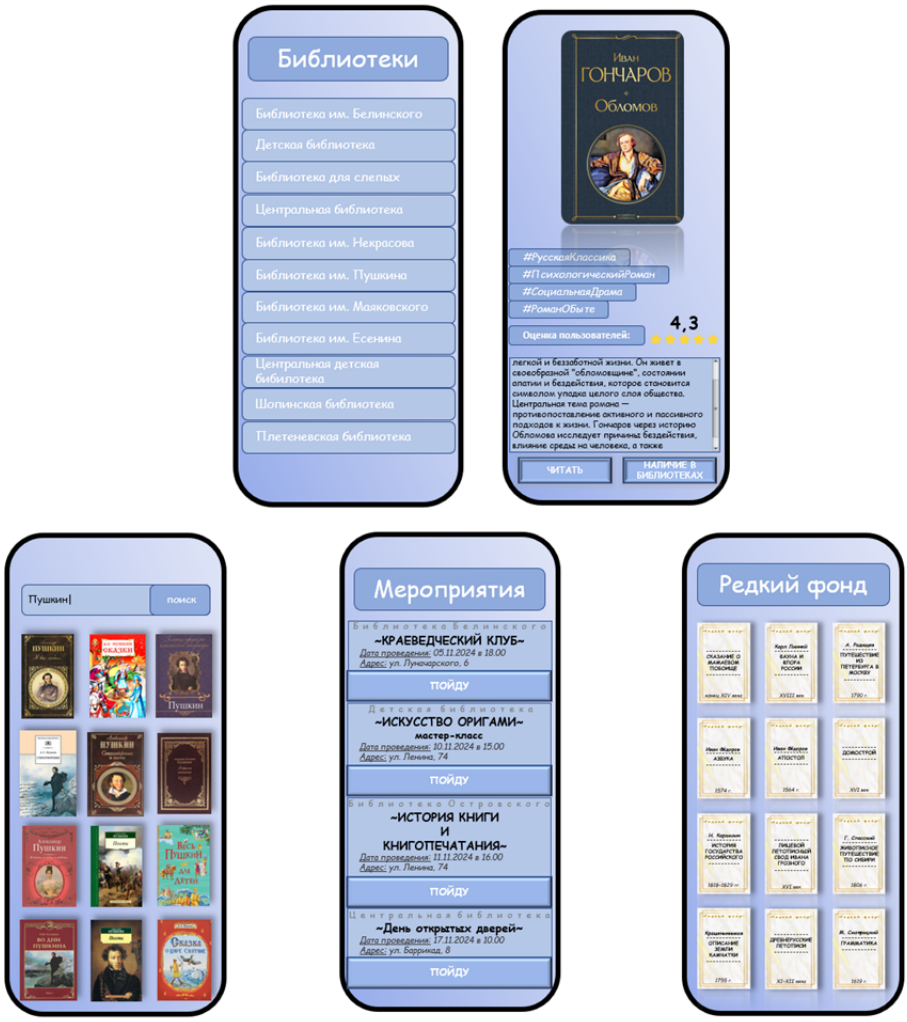


Рис. 4. Интерфейс мобильного приложения

Интерфейс приложения. Для корректного использования мобильного приложения был создан визуально понятный интерфейс, помогающий легко и быстро найти необходимую информацию (см. рис. 4).

Заключение. Таким образом, данная разработка мобильного приложения открывает новые перспективы для цифровизации взаимодействия библиотек области с читателями, адаптируя библиотечные ресурсы под запросы современных пользователей. Функционал, представленный в разработке, не только делает доступ к книгам и информации удобнее, но и способствует сохранению культурного наследия области и повышению интереса к местной истории и литературе. С учетом выявленных недостатков аналогичных ресурсов, разрабатываемое мобильное приложение представит собой улучшенную и востребованную альтернативу, которая станет востребована как среди жителей Калужской области, так и среди гостей города.

Литература

[1] Елизаров А.М., Липачев Е. К. Цифровые платформы и цифровые научные библиотеки. *International Journal of Open Information Technologies*, 2020, № 11, с. 80–90.

[2] Болдырева И.С. Состояние и перспективы развития мобильных библиотечных приложений (на примере Баварской государственной библиотеки). *Библиосфера*, 2020, № 2, с. 96–102.

[3] Абдрашева Г.К., Туткышбаева Ш.С., Калибекова Д.Ш. Мобильное обучение и мобильные приложения в образовании. *Проблемы и перспективы развития образования в России*, 2016, № 39, с. 126–131.

[4] Оразов Г., Ногаев Г., Овезов С., Мамедов М. Цифровое образование и его развитие. *IN SITU*, 2022, № 12, с. 190–193.

[5] Герасименко А.Ю. Потенциал мобильных приложений для информационного обеспечения научных исследований. *Вестник МГУКИ*, 2020, № 4 (96), с. 116–130.

Development of a mobile application for the user of library resources of the city of Kaluga

Bashkalova D.S. bashkalovads@student.bmstu.ru
Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This article describes the development of a mobile application for libraries in Kaluga, the purpose of which is to improve user access to library resources, as well as to provide a more convenient search for information. The aspects of the digital development of library resources in the Kaluga region and the need for their compliance with the requirements of a modern user are considered. The analysis of existing analogues of this development is carried out by identifying the shortcomings of their interfaces and functionality. Based on the analysis, a number of functions necessary for the mobile application being developed have been formed. In conclusion, it is concluded that this development not only simplifies access to information, but also contributes to the preservation of cultural heritage, as well as the popularization of local history and literature among residents and visitors of the city.

Keywords: *digital development of library resources, mobile application, local history, literary map, events, reader's diary, reading motivation, Kaluga*

УДК 004.9

Обзор способов борьбы с несанкционированными модификациями в онлайн-играх

Изранов Кирилл Сергеевич izranovks@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены способы борьбы с несанкционированными модификациями (также называемыми «читами») в онлайн-играх. Читы являются огромной проблемой современных онлайн-игр. Разработчикам часто приходится прибегать к разнообразным способам борьбы с ними. Цель работы — рассмотрение различных способов решения данной проблемы, проведение анализа результатов борьбы и выявлении методов, подходящих в той или иной ситуации.

Ключевые слова: *онлайн-игры, несанкционированные модификации*

Онлайн-игры стали неотъемлемой частью современной цифровой культуры, привлекая миллионы пользователей по всему миру. С развитием технологий и увеличением популярности многопользовательских игр появилась серьезная проблема, с которой сталкиваются разработчики и игроки — читерство. Читы позволяют нечестным игрокам получать несправедливое преимущество, разрушая баланс игры, ухудшая игровой опыт и негативно влияя на всю экосистему игр. В результате разработчики вынуждены применять различные меры для борьбы с этой проблемой [1].

Полномочный сервер. Одним из наиболее надежных способов предотвращения читерства является просчет всей логики игры на сервере. В этом подходе весь игровой процесс выполняется на сервере, а клиентские приложения игроков получают только информацию, необходимую для визуализации происходящего на экране. Такой способ позволяет минимизировать возможность вмешательства игрока в игровой процесс через клиентские читы, поскольку пользователи не имеют доступа к игровой механике напрямую. Также это помогает скрыть информацию, которую игроки не должны видеть [2].

2. Шифрование трафика. Еще одним важным методом является шифрование трафика между клиентом и сервером. Суть метода заключается в защите данных, передаваемых между игроком и сервером, с использованием современных криптографических алгоритмов. Это предотвращает атаки типа «человек посередине» (MITM) и попытки вмешательства в сетевой трафик игры с целью его изменения или подмены [3].

3. Автоматизированные системы анализа игрового процесса. Автоматизированные системы анализа игрового процесса представляют собой сложные программные инструменты, которые отслеживают поведение игроков в реальном времени для выявления аномалий, вызванных читерством. Такие системы используют алгоритмы машинного обучения и анализа данных для выявления действий, которые выходят за рамки нормального игрового про-

цесса (например, слишком быстрые реакции или невозможные движения или действия). В случае обнаружения подозрительной активности система автоматически предупреждает разработчиков или блокирует нарушителей.

Эти системы работают на базе большого массива данных, анализируя все аспекты игры, включая передвижение персонажей, частоту использования определенных действий, взаимодействие с окружающей средой и многое другое. Автоматизированные системы могут анализировать не только поведение игрока, но и взаимодействие игры с оборудованием пользователя, отслеживая возможные вмешательства стороннего ПО (например, сторонних программ для изменения игрового процесса) [4].

4. Ловушки для читеров. Ловушки для читеров — это особые механизмы, которые закладываются разработчиками в код игры с целью обнаружения нечестных игроков. Эти методы специально разработаны, чтобы выявлять попытки вмешательства в игровой процесс, манипуляции с данными или использование стороннего ПО. Ловушки могут принимать форму скрытых проверок, которые выполняются без ведома игрока, чтобы выявить признаки использования читов. К примеру, они могут проверять изменение параметров клиента, которые в нормальных условиях не должны изменяться.

Ловушки для читеров можно сравнить с системой капканов, которая срабатывает, когда нарушитель пытается изменить игровой процесс. Одним из примеров таких ловушек может быть проверка на изменения файлов игры — при вмешательстве в код или конфигурацию игра отправляет сигнал на сервер, оповещая о нарушении. В случае с многопользовательскими играми, такие ловушки могут даже временно предоставлять читеру преимущество только для того, чтобы затем полностью его изолировать или заблокировать [5].

Эксперимент. Для проведения эксперимента был разработан 3D-шутер от третьего лица на Unity, сетевое взаимодействие в котором осуществлено с помощью SDK Colyseus. В ходе эксперимента использовались следующие несанкционированные манипуляции: изменение просчета урона (изменение логики игрового процесса посредством реверс-инжиниринга с помощью dnSpy), телепортация (перехват и модификация сетевых пакетов с помощью WireShark), aim-bot (библиотека Python OpenCV для распознавания изображений), изменение параметров оружия (изменение файлов конфигурации игры), а также автокликер (макрос, созданный с помощью AutoHotkey). Полномочный сервер (изменение логики передачи состояний комнаты в Colyseus) эффективно предотвратил изменение просчета урона и телепортацию, исключив возможность вмешательства в логику игры на клиентской стороне. Шифрование трафика с помощью безопасного подключения помогло защититься от попыток телепортации и манипуляций с параметрами через сетевые атаки, защитив от подмены данных. Автоматизированные системы анализа (создание скрипта, отслеживающего средние скорость мыши и количество нажатий кнопки мыши в секунду) успешно выявляли подозрительные действия, такие как использование aim-bot и автокликеров, обнаруживая аномальные паттерны поведения. Ловушки для читеров (проверка целостности

данных в файлах) позволили обнаружить подмену файлов игры и изменения параметров, предупреждая вмешательство в игровой процесс через модификации клиента.

Эти методы в комплексе обеспечили защиту от различных типов читов, поддерживая честность игрового процесса.

На основе результатов эксперимента можно сделать вывод, что отсутствуют универсальные решения, позволяющие идентифицировать читеров и предотвращать изменения игрового процесса. В каждом конкретном случае для обеспечения надежной борьбы с читами в онлайн-играх необходимо использовать методы в комплексе, выбирая их исходя из многих факторов, например, вычислительной мощности сервера, темпа игры, количества пользователей в одном матче и других.

Литература

[1] *Читерство в мультиплеерных играх и борьба с ним*. URL: https://sky.pro/wiki/gamedev/chiterstvo-v-multipleernyh-igrah-i-borba-s-nim/ (дата обращения 17.10.2024).

[2] *Архитектура сервера онлайн-игры на примере Skyforge*. URL: https://habr.com/ru/companies/vk/articles/220359/ (дата обращения 05.10.2024).

[3] *Как разработать сетевой протокол мобильной MMO-RPG*. URL: https://habr.com/ru/articles/451512/ (дата обращения 10.10.2024).

[4] *Человек мухлюющий — читы в гейм-индустрии. Часть 2: Античиты, их проблемы и возможности*. URL: https://habr.com/ru/companies/serverspace/articles/832858/ (дата обращения 15.10.2024).

[5] *Борьба с читерами в онлайн-играх: 22 «нужно» и «нельзя»*. URL: https://habr.com/ru/articles/320602/ (дата обращения 01.10.2024).

Overview of methods for combating cheating in online-games

Izranov K.S. izranovks@gmail.com

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

Methods for combating cheating in online games are reviewed. Cheating is a huge problem in modern online games. Developers often have to resort to various methods to combat it. The aim of this report is to examine different ways of addressing this issue, analyze the results of anti-cheating measures, and identify methods that are suitable for different situations.

Keywords: *online games, cheats*

УДК 004.4

Вопросы целесообразности разработки виртуальной лаборатории для проведения химических экспериментов

Капитанов Филипп Владимирович kapitanov.fil@yandex.ru
Борсук Наталья Александровна borsuk@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены способы разработки виртуальной лаборатории для проведения химических экспериментов, актуальность данной разработки, ее особенности и отличия от существующих аналогов. В ходе изучения данного вопроса были сделаны выводы, касающиеся того, какие особенности необходимо имплементировать в данную разработку для поддержки ее актуальности, какие режимы и особенности взаимодействия и управления необходимо реализовать для удобства работы в данной разработке и какие средства разработки необходимо использовать для создания данной виртуальной лаборатории.

Ключевые слова: *химия, химические эксперименты, химические опыты, игровой движок*

Виртуальные лаборатории — это мощные инструменты, предназначенные для проведения различных опытов на компьютере. Они позволяют школьникам или студентам безопасно изучать разнообразные химические процессы, моделировать эксперименты без риска для здоровья и окружающей среды. Виртуальные лаборатории помогают воссоздать условия реальных лабораторий, тем самым позволив проводить эксперименты, которые были бы слишком дорогими или сложными для проведения в школьной среде.

Виртуальные лаборатории — это отличный способ обучения учеников технике безопасности при проведении химических экспериментов. Работа с опасными реактивами в виртуальной лаборатории никак не может повлиять на здоровье ученика. Виртуальные лаборатории могут иметь функционал проверки правильности выполнения учеником химических опытов, что позволяет помочь ученику исправить или предотвратить совершение ошибок при проведении химических опытов.

Цифровые лаборатории и виртуальные научные эксперименты предоставляют исследователям и студентам возможность проводить эксперименты и исследования в виртуальной среде, что улучшает доступность, безопасность и эффективность проведения научных исследований [1].

Огромный плюс виртуального эксперимента состоит не только в его наглядности и простоте восприятия, но и в моментальной возможности смены ряда параметров эксперимента с целью анализа изменения его результатов [2].

Стоит отметить, что проведение экспериментов в виртуальной лаборатории не требует использования настоящих реактивов и оборудования, что позволяет образовательным учреждениям экономить денежные средства.

Виртуальные лаборатории могут способствовать развитию интереса у учеников к химии за счет наличия специальных задания. Например, виртуальная лаборатория может иметь режим «исторические химические эксперименты», который позволяет ученикам пошагово проводить химический опыт, проводимый известным ученым много лет назад. Описание данного опыта и того, как ученый того времени проводил его может очень сильно заинтересовать учеников к дальнейшему, более углубленному, изучению химии.

Наличие «свободного режима» в виртуальной лаборатории позволяет ученикам проводить свои химические опыты с любым оборудованием и реактивами. Этот режим также способствует развитию у учеников интереса к химии, и позволяет им в свободное время проводить любые химические эксперименты, не имея зависимости от наличия у них нужного оборудования или реактивов.

Разработка виртуальной лаборатории предполагает работу с 3D-графикой. Наиболее подходящим инструментом для работы с 3D-графикой являются игровые движки. На данный момент наиболее распространенными игровыми движками являются Unity, Unreal Engine 4 и Godot.

Unreal Engine 4 нацелен на работу с 3D-графикой. Он имеет большие возможности для работы с материалами и различными эффектами. Также Unreal Engine 4 позволяет создавать свои проекты для разных платформ и операционных систем. Создание виртуальной лаборатории с использованием Unreal Engine 4 позволяет создать программу, обеспечивающую высокую производительность и максимально красивое отображение проведения химических экспериментов

Unity имеет большое количество аддонов и инструментов разработки, но при работе с ним могут возникнуть проблемы с производительностью разрабатываемого приложения. Также работа с материалами и эффектами в Unity куда сложнее, чем в Unreal Engine 4.

Godot — игровой движок, совсем недавно набравший большую популярность за счет простоты использования и большого функционала. Однако программы, созданные на данном движке, могут запускаться с проблемами на старых процессорах. Также отдельные трудности могут возникнуть при создании различных эффектов и материалов.

Для разработки собственной виртуальной лаборатории был выбран игровой движок Unreal Engine 4. Этот движок предоставляет разработчику большой перечень удобных инструментов для создания реалистичных материалов и эффектов, которые необходимо использовать для создания максимально правдоподобных химических опытов.

Виртуальная лаборатория разрабатывается с использованием 3D-графики. Для создания 3D-моделей будет использоваться программа blender. Blender — это программа для создания 3D-моделей, которая предоставляет разработчику удобные инструменты для простого и быстрого создания 3D-моделей. Blender является бесплатной программой. Это означает, что использовать ее для создания своих 3D-моделей может кто угодно.

В настоящий момент времени существуют различные аналоги виртуальных лабораторий, позволяющие проводить разнообразные химические эксперименты. Однако у каждого аналога присутствуют свои недостатки.

Виртуальная лаборатория VRChemLab позволяет ученикам проводить различные химические опыты в виртуальной среде.

Особенности VRChemLab:

– наличие русского языка;

– разнообразные практические задание с инструкцией их выполнения;

– работа в данной виртуальной лаборатории подразумевает наличие у ученика VR-очков;

– есть возможность создавать свои отдельные практические задания;

– наличие большого количества оборудования и реактивов для взаимодействия.

VRChemLab хоть и является одной из самых продвинутых виртуальных лабораторий на сегодняшний день, но при этом доступ к ней сильно ограничен. Также она подразумевает использование VR-очков, который может отсутствовать у ученика или у школы.

Виртуальная лаборатория UnrealChemist позволяет любому желающему проводить химические опыты на своем мобильном устройстве.

Особенности UnrealChemist:

– наличие большого количества реактивов;

– проведение различных экспериментов;

– малое количество используемого оборудования;

– сложные практические задания;

– плохая оптимизация;

– возможность установки только на мобильные устройства;

– наличие нескольких режимов работы;

– наличие динамической таблицы Д.И. Менделеева.

UnrealChemist позволяет проводить различные химические эксперименты. Но стоит учесть, что UnrealChemist довольно плохо оптимизирован и может быть установлен только на мобильные устройства.

Для создания собственной виртуальной лаборатории был определен следующий функционал:

– наличие нескольких режимов: свободный режим, практические задания, исторически-химические эксперименты;

– возможность взаимодействия с разнообразным оборудованием и химическими реактивами;

– обучением мерам техники безопасности при выполнении практических заданий;

– тестовое задание после каждой практической работы для закрепления полученных навыков и знаний.

Виртуальная лаборатория находится в процессе разработки. Были определены основные функции и возможности взаимодействия в программе: оборудование можно перемещать нажатием левой клавиши мыши; при наведе-

нии курсора мыши на какой-либо предмет, он будет подсвечен; при наведении курсора мыши на предмет и нажатия правой кнопки мыши, будет отображено контекстное меню, в котором отображаются возможные действия, которые можно выполнить и данные, которые можно отобразить. Был определен функционал одного из пункта контекстного меню: переливания жидкости из одной емкости в другую.

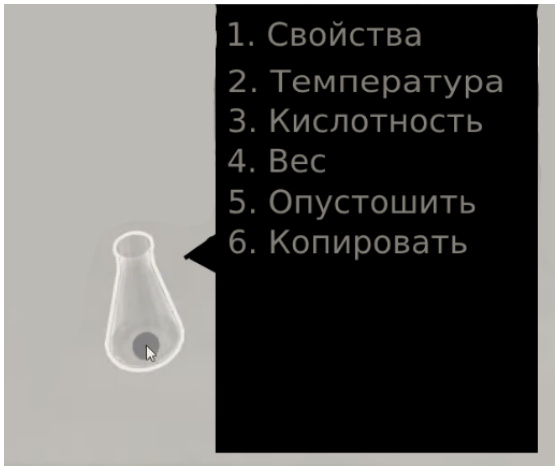


Рис. 1. Подсвечивание оборудования в виртуальной лаборатории; прототип контекстного меню

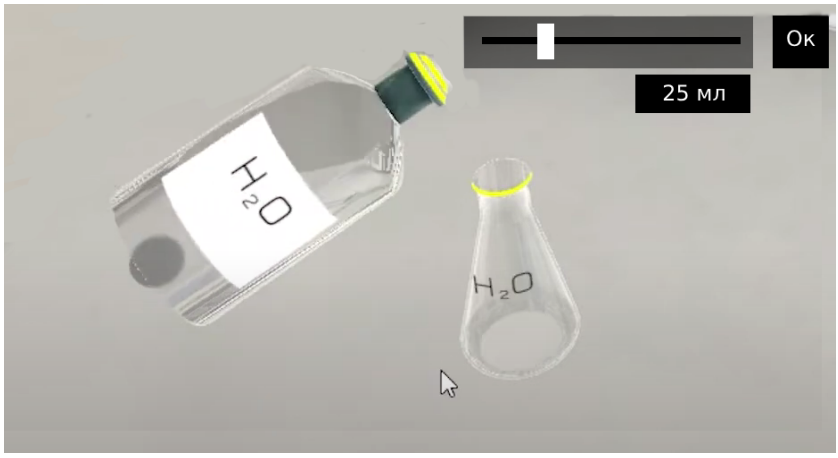


Рис. 2. Переливание жидкости из одной емкости в другую

Заключение. Разработка виртуальной лаборатории для проведения химических экспериментов открывает новые горизонты для образовательных учреждений и способствует созданию безопасных, доступных и интерактив-

ных условий для изучения химии. Для реализации собственной разработки был выбран игровой движок Unreal Engine 4 за счет наличия в нем удобных инструментов разработки и возможности создания оптимизированного приложения. Для создания необходимых 3D-моделей была выбрана программа blender. Она предоставляет удобные возможности для создания собственных 3D-моделей и собственных материалов.

Литература

[1] Баланов А.Н. *Цифровизация в образовательной сфере.* Санкт-Петербург, Лань, 2024, 400 с.

[2] Всероссийская научно-практическая конференции с международным участием «Образование, инновации, исследования как ресурс развития сообщества»: матер. конф. Чебоксары, 2024, 412 с. URL: https://e.lanbook.com/book/412580 (дата обращения 28.10.2024). Какая именно статья в этом сборнике?

[3] Леонова Г.Г. *Химия*. Санкт-Петербург, Лань, 2024, 208 с.

[4] Преображенская Е.В. *Цифровые технологии в производстве. Создание виртуальной лаборатории*. Москва, РТУ МИРЭА, 2023, 72 с.

[5] Шмакова Е.Г., Кузнецов А.С., Разливинская С.В., Садеков Л.В. *Визуализация информации и оборудования химических лабораторий посредством создания виртуальных туров. Практикум*. Москва, РТУ МИРЭА, 2022, 58 с.

Questions of the feasibility of developing a virtual laboratory for conducting chemical experiments

Kapitanov P.V. kapitanov.fil@yandex.ru
Borsuk N.A. borsuk@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This paper discusses ways to develop a virtual laboratory for conducting chemical experiments, the relevance of this development, its features and differences from existing analogues. During the study of this issue, conclusions were drawn regarding which features need to be implemented in this development to support its relevance, which modes and features of interaction and management need to be implemented for ease of work in this development, and which development tools need to be used to create this virtual laboratory.

Keywords: *chemistry, chemical experiments, chemical experiments, game engine*

УДК 004.4

Разработка пользовательского ресурса хронологических событий

Дементьев Вадим Дмитриевич vadim23dem@yandex.ru
Борсук Наталья Александровна borsuk.65@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Статья представляет собой анализ разработки веб-ресурса, предназначенного для создания, редактирования и сохранения хронологических событий по различным тематикам. Разработанное решение предоставляет пользователям инструменты для структурирования и управления событиями в личных и профессиональных сферах, обеспечивая наглядное отображение событий в хронологическом порядке, а также возможность добавления медийных файлов и сопутствующих документов.

Ключевые слова: *пользовательский, ресурс, хронологический, событие, разработка*

Хронологическое представление информации позволяет структурировать события и увидеть их в четкой временной последовательности [1], что особенно важно в таких сферах, как история, управление проектами и личные записи.

Создание цифрового ресурса, который объединяет события и позволяет пользователям добавлять, редактировать и управлять временными последовательностями, предоставляет новые возможности для управления и анализа информации [2].

Предметная область разрабатываемого проекта охватывает вопросы представления временных данных и управления хронологией событий в цифровом формате. В контексте этого проекта под хронологией понимается упорядоченная последовательность событий, представленных в форме, которая позволяет легко прослеживать развитие событий во времени.

Основные сферы применения хронологических ресурсов:

– личная хронология и архивирование: цифровые технологии позволяют сохранять важные жизненные события, семейные даты и достижения. Личная хронология помогает отслеживать этапы жизни, управлять планами и сохранять информацию для будущих поколений;

– управление проектами и корпоративная хронология: в бизнесе хронологические ресурсы фиксируют историю компании, этапы проектов и продукты. Это помогает отслеживать прогресс, вехи и анализировать результаты для краткосрочного и долгосрочного планирования;

– исторические и образовательные проекты: в образовании хронология организует исторические и культурные данные. Студенты и исследователи получают структурированные данные о событиях и артефактах, что помогает понять взаимосвязи и причинно-следственные связи;

– юридические и медицинские записи: в юриспруденции и медицине хронология систематизирует события, например историю болезни или этапы лечения. Это упрощает анализ и помогает в принятии решений.

В современных условиях создания и обработки информации пользователи нуждаются в надежных и удобных платформах, которые позволяют систематизировать данные в соответствии с временными последовательностями. Это обусловливает ряд задач, которые должна решать система хронологии событий:

– интерактивность и доступность: современные пользователи ожидают интерактивного взаимодействия с данными, а система должна быть доступна и интегрирована с различными устройствами для оперативного фиксирования событий [3];

– гибкость в представлении данных: хронологические системы должны поддерживать разные типы информации, включая текст, изображения и видео, что позволяет документировать события с высокой детализацией;

– пользовательская настройка и адаптация: система должна быть настраиваемой, чтобы пользователи могли изменять формат отображения данных и добавлять новые категории событий в зависимости от своих потребностей;

– эффективное управление и редактирование хронологий: возможность редактирования записей, включая добавление и изменение событий, важна для поддержания актуальности данных и их корректировки.

Актуальность разработки подтверждается отсутствием комплексных решений, которые бы предлагали как многофункциональное визуальное представление, так и гибкость управления временными последовательностями. Также текущая тенденция к цифровому архивированию информации требует разработки решений, которые могут обеспечить надежное сохранение и доступ к данным [4].

Для оценки функциональности разрабатываемого ресурса целесообразно провести сравнительный анализ с рядом популярных приложений, которые предоставляют различные возможности для создания хронологических записей и отслеживания событий. В данном случае аналогами выступают Journey, Mindlog и Picnote. Ниже приведено детальное сравнение с каждым из них по основным функциональным возможностям и отличительным характеристикам.

Journey — это приложение для ведения личных записей и дневника, которое позволяет пользователям документировать свои повседневные события, мысли и важные моменты.

Недостатки Journey:

– отсутствие временной шкалы и хронологической структуры для более удобного визуального анализа событий;

– приложение ориентировано на записи в формате дневника, без возможности создания событий с точным указанием времени и привязки к различным проектам;

– нет функционала для структурированного отображения информации, поскольку основное внимание уделяется текстовым записям, а не временным последовательностям.

Mindlog — это приложение, которое фокусируется на ведении записей и отслеживании состояния здоровья и настроения.

Недостатки Mindlog:

– ограниченный функционал для создания событий: фокус только на личных состояниях, нет возможностей для прикрепления различных типов файлов или точного временного отображения событий;

– приложение не поддерживает создание хронологий для профессиональных целей, таких как управление проектами или сохранение данных о развитии бизнеса.

Picnote — это приложение для ведения дневника с акцентом на визуальные элементы. Пользователи могут добавлять фотографии к заметкам, документируя свои события в визуальном формате.

Недостатки Picnote:

– отсутствие структуры временной шкалы и ограниченная функциональность для управления хронологией;

– невозможность добавлять файлы, такие как видео или документы, что ограничивает потенциальное использование приложения для более профессиональных задач;

– нет поддержки сохранения в профиле пользователя и дальнейшего редактирования в структуре хронологии.

Предлагаемый ресурс объединяет функции, которых недостает большинству аналогов, и включает возможности для создания хронологий, которые можно легко адаптировать как для личных, так и для профессиональных задач. В отличие от рассматриваемых аналогов, он предлагает комплексное решение для организации событий, поддерживая мультимедийные вложения и индивидуальные профили пользователей с возможностью редактирования. Такой подход позволяет использовать разрабатываемую платформу как универсальный инструмент для хранения, анализа и структурирования временных данных, подходящий для широкого круга пользователей [5].

На рис. 1–3 представлены шаблоны интерфейса основных разделов разрабатываемого проекта.

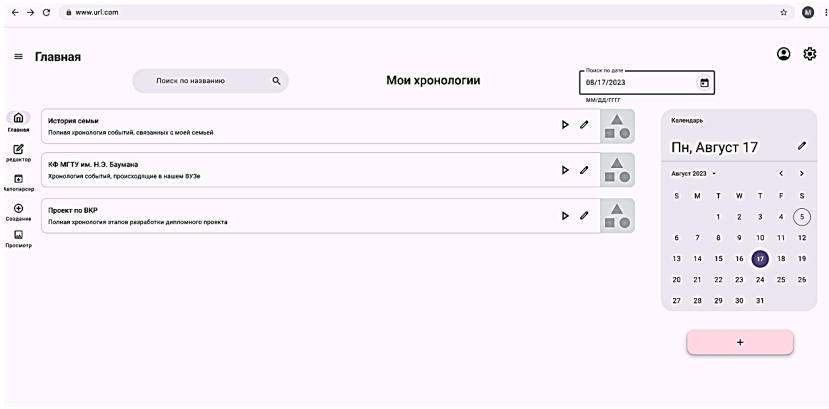


Рис. 1. Шаблон интерфейса главной страницы

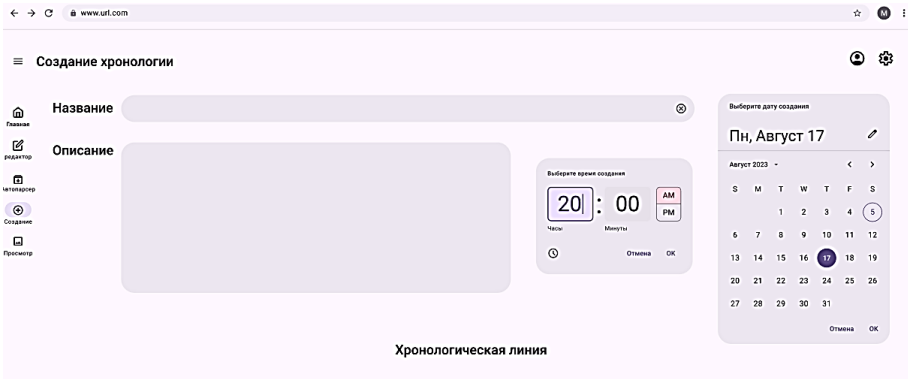


Рис. 2. Шаблон интерфейса страницы создания хронологий (часть 1)

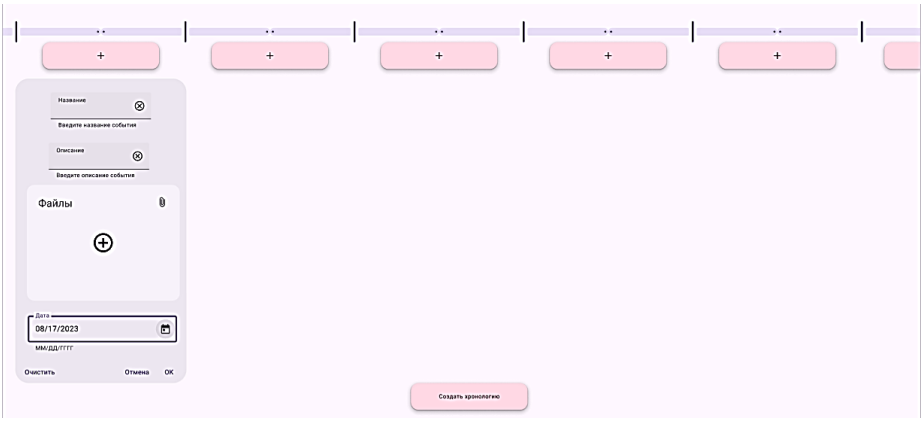


Рис. 3. Шаблон интерфейса страницы создания хронологий (часть 2)

Разрабатываемый веб-ресурс включает следующие ключевые функциональные возможности:

– авторизация и регистрация пользователей: реализованы функции регистрации и авторизации, позволяющие пользователям сохранять, редактировать и добавлять события в своем профиле;

– создание и редактирование хронологий (рис. 1): пользователи могут создавать хронологии по различным темам, добавляя точные дату, время, текстовое описание и тип события;

– добавление файлов различных форматов (рис. 3): к событиям можно прикреплять изображения, видео и документы, что делает хронологии более информативными и визуальными;

– просмотр хронологии на полный экран (рис. 3): в режиме полного экрана пользователи могут интуитивно взаимодействовать с событиями и получать доступ к их описаниям и прикрепленным файлам;

– редактирование хронологической последовательности: пользователи могут изменять хронологии, добавляя новые события или редактируя существующие, включая даты и медийные файлы;

– сохранение и управление хронологиями (рис. 1): сохраненные хронологии доступны в профиле пользователя, с возможностью редактирования, удаления и изменения событий.

Разработка пользовательского ресурса для создания хронологических последовательностей событий с поддержкой мультимедийных данных представляет собой уникальный подход к управлению временными данными. Данный веб-ресурс позволяет пользователям не только наглядно отображать последовательности событий, но и прикреплять к ним данные, сохраняя их в личных профилях. Он отличается от аналогов расширенными функциями редактирования, возможностью добавления медийных файлов и высокой гибкостью использования. В будущем планируется развивать данный ресурс, добавляя новые возможности визуализации и интеграции с другими цифровыми платформами.

Литература

[1] Евтихов М.В., Евтихов В.Г. Визуализация исторических данных. *Молодой ученый*, 2019, № 1(239), с. 1–5. URL: https://moluch.ru/archive/239/55337/ (дата обращения 14.10.2024).

[2] Тахтобин В.В. *Веб-система восстановления хронологии событий. Отображение элементов на карте.* URL: https://elib.sfu-kras.ru/handle/2311/28792 (дата обращения 10.11.2024).

[3] Хортон А., Вайс Р. *Разработка веб-приложений в ReactJS*. Москва, ДМК Пресс, 2016, 254 с.

[4] Фаррелл Б. *Веб-компоненты в действии: руководство*. Москва, ДМК Пресс, 2020, 462 с.

[5] Гуфан К.Ю., Сергеев Д.В. Реализация алгоритма фиксации времени для соблюдения хронологии при записи сетевых данных. *Известия ЮФУ. Технические науки*. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Реализация-алгоритма-фиксации-времени-для-при-Юрьевич-Васильевич/2259fec08bef559c625cee2555b3493a9b178f8e (дата обращения 10.11.2024).

Development of a user resource for chronological events

Dementiev V.D. vadim23dem@yandex.ru

Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article is an analysis of the development of a web resource designed to create, edit and save chronological events on various topics. The developed solution provides users with tools for structuring and managing events in personal and professional spheres, providing a visual display of events in chronological order, as well as the ability to add media files and related documents.

Keywords: *user, resource, chronological, event, development*

УДК 004.4

Разработка веб-приложения для планирования и анализа задач

Сарваль Павел Александрович pvs.exe@gmail.com
Борсук Наталья Александровна borsuk.65@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Статья представляет собой анализ вопросов разработки веб-приложения для планирования и анализа задач, которое предоставляет пользователям комплексный инструмент для управления задачами в различных сферах — от личной продуктивности до командных проектов. Разработанное решение включает функции создания, редактирования и структурирования задач, поддерживая гибкие методы организации и контроля над исполнением.

Ключевые слова: *планирование задач, продуктивность, организация, разработка*

Веб-приложение для планирования и анализа задач помогает структурировать управление временем и продуктивностью, что полезно в личной эффективности, управлении проектами и командной работе [1]. Оно позволяет пользователям создавать, редактировать и отслеживать задачи, оптимизируя рабочие процессы.

Проект охватывает вопросы структурирования, анализа и управления задачами в цифровом формате. Удобный доступ к данным помогает пользователям организовывать информацию, отслеживать статус задач и хранить данные о прогрессе в единой системе, что востребовано как в личном планировании, так и в командных проектах.

Современные приложения для управления задачами широко применяются благодаря своей гибкости и универсальности. Они помогают структурировать процессы, расставлять приоритеты и отслеживать прогресс, обеспечивая быстрый доступ к информации [2]. Вот ключевые сферы, в которых такие приложения особенно полезны:

— управление проектами в бизнесе: инструмент для постановки и делегирования задач, мониторинга этапов проекта и улучшения командной коммуникации; возможности: распределение обязанностей, диаграммы Ганта, отчеты, чаты;

– академическая и образовательная деятельность: удобен для студентов и преподавателей в управлении учебной нагрузкой и исследованиями; возможности: планирование учебных задач, этапы исследований, аналитика для самооценки;

– IT и разработка: планирование по методикам Agile и Scrum, контроль версий и баг-трекинг; возможности: спринты, контроль изменений, баг-трекинг;

– финансовый сектор и бухгалтерия: упрощает планирование отчетности и контроль сроков; возможности: задачи по отчетности, рабочие процессы по учету, аналитика продуктивности.

Веб-приложение для планирования и анализа задач должно решать следующие основные задачи.

Организация и структурирование задач:

– создание и редактирование задач: пользователи могут добавлять и редактировать задачи и подзадачи, включая название и приоритет;

– группировка задач: создание категорий и проектов для удобного распределения задач;

– система тегов: позволяет отмечать задачи для быстрого поиска и фильтрации [3].

Планирование и управление временем:

– установка сроков: добавление временных рамок и промежуточных сроков для задач;

– календарь и временная лента: визуализация задач для эффективного распределения времени;

– напоминания: автоматические уведомления о сроках и изменениях в задачах.

Контроль за выполнением задач и отслеживание прогресса:

– статусы задач: отслеживание текущего статуса задач для понимания прогресса;

– процент выполнения: отображение прогресса задач и подзадач [4];

– история изменений: возможность отслеживания изменений в задачах.

Анализ продуктивности и отчетность:

– генерация отчетов: автоматическое создание отчетов по выполненным задачам для анализа продуктивности;

– аналитика по времени: отслеживание затраченного времени для оценки управления временем;

– графики и диаграммы: визуализация прогресса и анализа выполненных задач.

Поддержка командной работы и делегирование задач:

– назначение задач: делегирование задач и назначение исполнителей для командной работы;

– роли и уровни доступа: установление прав доступа для членов команды;

– коммуникация и комментарии: функция добавления комментариев для улучшения взаимодействия [5].

Актуальность разработки обусловлена отсутствием комплексных решений для детализированного планирования и анализа задач как для личного, так и для командного использования. Современные тенденции требуют многофункциональных веб-инструментов для контроля сроков и повышения продуктивности.

Для оценки функциональности веб-приложения полезен сравнительный анализ с популярными аналогами, такими как Trello, Todoist и Asana. Далее представлено детальное сравнение по ключевым функциям и характеристикам.

Trello — это популярное приложение для управления проектами, основанное на принципах канбан-досок, где задачи представляются в виде карточек, организованных по спискам.

Недостатки Trello:

– ограниченные возможности аналитики и отчетности: отсутствует детальная аналитика по выполнению задач и статистика продуктивности;

– неудобно для больших проектов: при большом объеме задач доски Trello становятся громоздкими и теряется наглядность;

– малофункциональное управление подзадачами: подзадачи реализованы лишь частично, что не всегда удобно для сложных проектов.

В отличие от Trello, проектируемое приложение предлагает расширенные инструменты для аналитики и визуализации данных, позволяя глубже оценивать прогресс и продуктивность. Полноценная иерархия задач и подзадач делает его удобным для крупных проектов с множеством этапов.

Todoist — это приложение для управления личными задачами с акцентом на простоту и минималистичный интерфейс.

Недостатки Todoist:

– ограниченные возможности для командной работы: Todoist ориентирован на индивидуальное использование и не подходит для командной работы;

– отсутствие аналитических инструментов: В Todoist нет инструментов для анализа производительности и отчетности;

– слабая визуализация задач: Todoist предлагает только базовые визуальные элементы без сложных форм представления данных.

Проектируемый ресурс предлагает расширенные командные и аналитические функции, а также гибкую визуализацию задач с календарем и временными линиями для наглядного отслеживания процессов.

Asana — это мощное приложение для управления проектами, ориентированное на командную работу и управление большими проектами.

Недостатки Asana:

– сложность интерфейса: из-за множества функций Asana может быть перегруженной и неудобной для новых пользователей;

– ограниченная персонализация: базовые настройки не позволяют полностью адаптировать интерфейс под индивидуальные нужды;

– высокая стоимость для команд: продвинутые функции доступны только на платных тарифах, что неудобно для небольших команд.

В отличие от Asana, проектируемое приложение будет иметь простой интерфейс, гибкие настройки и адаптацию для командной и индивидуальной работы.

Создаваемое веб-приложение предлагает мультимедийные вложения, гибкое управление подзадачами, делегирование и аналитику, адаптируясь под нужды пользователя. Это универсальный инструмент для индивидуального и командного планирования. Такое приложение отвечает современным требованиям к системам управления задачами, помогает эффективно организовать работу и подходит для структурирования, анализа и управления задачами и временными ресурсами.

Разрабатываемое веб-приложение предлагает следующие ключевые функции:

– создание и управление задачами: пользователи могут добавлять задачи с деталями (название, описание, дедлайн, приоритет, категория), создавать подзадачи и объединять задачи по темам для структурирования рабочих и личных дел;

– планирование времени: интеграция календаря позволяет визуализировать задачи на день, неделю и месяц, а функция тайм-блокинга помогает выделять время для конкретных задач;

– трекер времени: встроенный трекер фиксирует время на задачи и предоставляет графики и отчеты, позволяя пользователю оптимизировать процессы;

– делегирование задач: приложение позволяет назначать задачи другим пользователям, отслеживать их статус и добавлять комментарии для командной координации;

– аналитика и отчеты: система аналитики показывает динамику выполнения, затраченное время и продуктивность, помогая планировать дальнейшие действия;

– система приоритетов: матрица Эйзенхауэра помогает оценивать срочность и важность задач, автоматизируя сортировку по значимости.

На рис. 1–3 представлены шаблоны интерфейса разделов разрабатываемого приложения.



Рис. 1. Шаблон страницы задач приложения

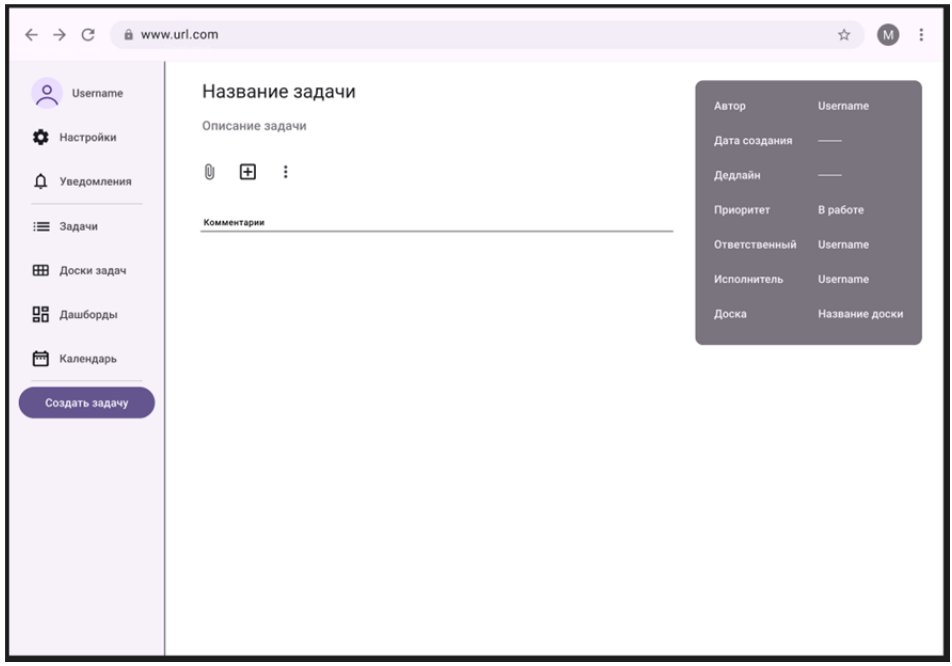


Рис. 2. Шаблон страницы редактирования задачи

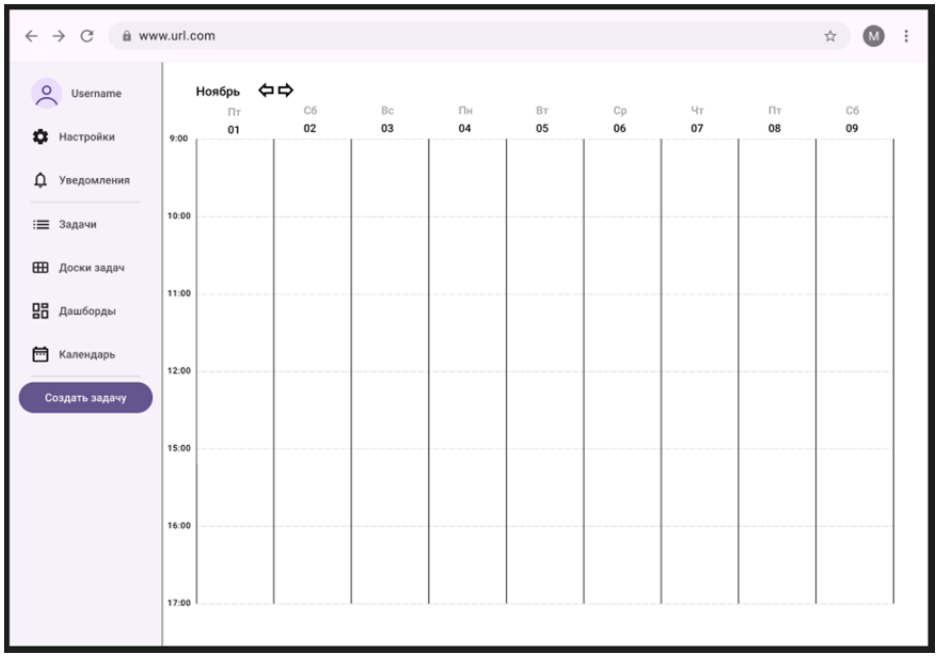


Рис. 3. Шаблон страницы календаря

Разработка веб-ресурса для управления задачами с функциями отслеживания времени и аналитики открывает новые возможности для повышения продуктивности и организации работы. Инструмент позволяет структурировать задачи, планировать и фиксировать время, анализировать эффективность, делегировать и управлять проектами в одном пространстве. В отличие от аналогов, он предлагает расширенную аналитику и функции для совместной работы, что делает его гибким для индивидуального и командного использования. В будущем планируется добавление интеграций и улучшение визуализации данных для упрощения анализа и планирования.

Литература

[1] Кобылянский В.Г., Рябец М.А. Моделирование планировщика задач реального времени. *Инновации в науке*, 2018, № 6 (82), с. 19–23.

[2] Беседин О.А., Пюра П.К. Проектирование планировщика задач на основе искусственного интеллекта. *Вестник науки*, 2024, № 6 (75), с. 1324–1328.

[3] Хортон А., Вайс Р. *Разработка веб-приложений в ReactJS.* Москва, ДМК Пресс, 2016, 254 с.

[4] Государев И.Б. *Введение в веб-разработку на языке JavaScript.* Санкт-Петербург, Лань, 2022, 144 с.

[5] Леон У. *Разработка веб-приложения GraphQL с React, Node.js и Neo4j.* Москва, ДМК Пресс, 2023, 262 с.

Developing a web application for task planning and analysis

Sarval P.A. pvs.exe@gmail.com

Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article presents an analysis of the development of a web application for planning and analyzing tasks, which provides users with a comprehensive tool for managing tasks in various areas — from personal productivity to team projects. The developed solution includes functions for creating, editing and structuring tasks, supporting flexible methods of organizing and monitoring execution.

Keywords: *task planning, productivity, organization, development*

УДК 004.42

Психологические аспекты проектирования пользовательских интерфейсов: влияние восприятия и когнитивных особенностей на дизайн

Яковенко Яков Владимирович **sansskeletsans2005@yandex.ru**
Борсук Наталья Александровна **borsuk.65@yandex.ru**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены психологические аспекты проектирования пользовательских интерфейсов с акцентом на законы Фиттса, Хика и Миллера. Проведено исследование, направленное на оптимизацию файлового менеджера, реализованного на Python с использованием библиотеки Tkinter, и выявление влияния этих законов на восприятие и взаимодействие пользователей с интерфейсом. Настоящая работа имеет научную новизну в систематизации и интеграции психологических принципов для разработки интерфейсов и предоставляет рекомендации для дальнейшего улучшения пользовательского опыта.

Ключевые слова: *пользовательский интерфейс, взаимодействие человека и компьютера, закон Хика, закон Фиттса, закон Миллера, Tkinter, оптимизация интерфейса, обратная связь*

Введение. Создание эффективных пользовательских интерфейсов (UI) является одной из ключевых задач в области взаимодействия человека и компьютера (HCI). В условиях быстрого развития технологий и увеличения сложности программного обеспечения важность учета психологических аспектов, влияющих на восприятие и поведение пользователей, становится особенно актуальной [1]. Исследование таких психологических законов, как закон Хика, закон Миллера, закон Фиттса, эффект Зейгарник, принцип эстетики и удобства использования, а также принцип обратной связи, позволяет глубже понять, как пользователи взаимодействуют с интерфейсами и как можно оптимизировать этот процесс для повышения удобства и эффективности.

Анализ пользовательского интерфейса файлового менеджера на основе психологических законов восприятия. Настоящая научная статья имеет новизну в систематизации и интеграции этих психологических законов в контексте проектирования интерфейсов, что позволяет предложить практические решения для улучшения взаимодействия с пользователем. Были проанализированы существующие интерфейсы и предложены рекомендации по их оптимизации, направленные на создание интуитивно понятных и удобных систем, соответствующих когнитивным особенностям пользователей.

В данной работе рассматривается код для файлового менеджера, реализующего интерфейс для управления файлами и папками с использованием библиотеки Tkinter. Основное внимание уделяется психологическим ошибкам, возникающим в этом интерфейсе, и их влиянию на восприятие и взаи-

модействие пользователей. Анализируются аспекты, связанные с перегрузкой информации, отсутствием обратной связи и недостаточным вниманием к когнитивным ограничениям пользователей.

Исходный код интерфейса файлового менеджера имеет несколько недостатков, которые негативно сказываются на удобстве использования. Во-первых, он не учитывает закон Хика, предлагая пользователю множество отдельных кнопок для создания и удаления папок. Это создает визуальный шум и затрудняет процесс принятия решений. Во-вторых, отсутствует достаточная обратная связь при выполнении действий, что противоречит принципу обратной связи. Пользователи получают лишь общие сообщения о статусе операций, что снижает уверенность в своих действиях.

Кроме того, интерфейс не учитывает закон Миллера: количество элементов управления и полей ввода может перегружать пользователя и повышать когнитивную нагрузку [2]. Элементы размещены без учета удобства взаимодействия, что увеличивает время на выполнение задач и ухудшает общий опыт работы с приложением.

Эти недостатки подчеркивают необходимость оптимизации дизайна интерфейса (рис. 1), чтобы сделать его более интуитивным и соответствующим психологическим закономерностям восприятия.

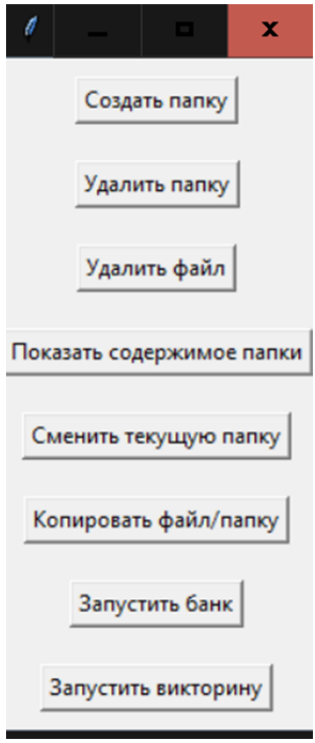


Рис. 1. Реализация интерфейса

Применение законов Фиттса, Хика и Миллера для оптимизации интерфейса файлового менеджер. Закон Фиттса утверждает, что время, необходимое для достижения цели, зависит от расстояния до цели и размера цели. В нашем коде для управления файлами и папками выделяются несколько ключевых аспектов, отражающих принципы этого закона. Во-первых, размер кнопок и элементов управления увеличен, что делает их более заметными и доступными. Во-вторых, группировка кнопок облегчает поиск нужной функции и снижает расстояние до цели. В-третьих, использование предустановленных значений в полях для создания и удаления папок также способствует уменьшению когнитивной нагрузки.

Закон Хика гласит, что время, необходимое пользователю для принятия решения, увеличивается с ростом количества доступных вариантов. В представленной реализации был учтен этот закон (рис. 2), создав выпадающее меню для выбора действия. Вместо множества отдельных кнопок функции были сосредоточены в одном элементе управления, что уменьшает визуальный шум и облегчает процесс принятия решений [3]. Это позволяет пользователю быстро выбрать нужное действие из ограниченного списка.

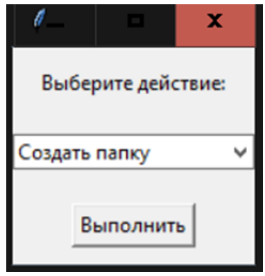


Рис. 2. Реализация интерфейса оп закону Хика

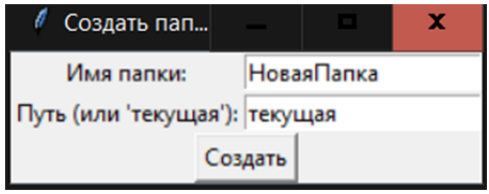


Рис. 3. Реализация интерфейса оп закону Миллера

Закон Миллера, известный как принцип «7 ± 2», гласит, что человек может эффективно обрабатывать лишь ограниченное количество объектов одновременно. В нашем интерфейсе мы уменьшили количество элементов выбора (рис. 3), используя комбобокс с ограниченным числом опций — всего восемь действий. Это число находится в пределах «7 ± 2» и позволяет пользователю быстро ориентироваться и выбирать нужное действие без лишнего

стресса [4]. Использование предустановленных значений также снижает когнитивную нагрузку, упрощая взаимодействие.

Результаты разработки. Реализация принципов Фиттса, Хика и Миллера в разработанном интерфейсе файлового менеджера привела к созданию интуитивно понятного и удобного пользовательского опыта (рис. 4). В результате оптимизации дизайна интерфейса были достигнуты следующие ключевые результаты.

1. Упрощение навигации: визуальные элементы управления, такие как кнопки и выпадающие меню, были переработаны с учетом закона Фиттса. Увеличенные размеры кнопок и их стратегическое размещение снизили расстояние до цели, что позволило пользователям быстро находить и активировать нужные функции. Это упрощение навигации повысило эффективность выполнения действий и уменьшило вероятность ошибок.

2. Сокращение времени на принятие решений: применение закона Хика обеспечило сокращение количества вариантов на экране. Вместо множества кнопок для выполнения различных действий был создан комбобокс с предустановленными опциями. Это сделало выбор действий более быстрым и удобным, снижая когнитивные затраты на принятие решений.

3. Уменьшение когнитивной нагрузки: закон Миллера был интегрирован через ограничение количества доступных опций до восьми. Это не только соответствует психологическим закономерностям восприятия, но и упрощает взаимодействие с интерфейсом. Пользователи отметили, что им стало легче ориентироваться в доступных функциях, что повышает общую удовлетворенность от работы с приложением.

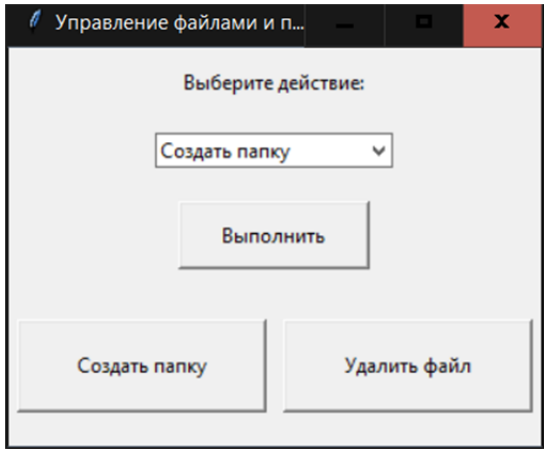


Рис. 4. Улучшенный интерфейс

Обсуждение результатов. Анализ показал, что устранение психологических ошибок, таких как перегрузка информации и отсутствие обратной связи, через оптимизацию дизайна интерфейса способствует повышению удобства

использования [5]. Применение законов Фиттса, Хика и Миллера не только улучшает пользовательский опыт, но и создает качественные программные решения, которые лучше соответствуют потребностям пользователей. Пользователи отметили, что упрощение выбора действий и улучшенные размеры кнопок сделали взаимодействие более интуитивным и комфортным.

Однако, несмотря на положительные отзывы, некоторые участники указывали на необходимость дополнительной обратной связи, например визуальных индикаторов выполнения действий. Внедрение таких функций могло бы повысить уверенность пользователей в корректности их действий и улучшить общий опыт работы с приложением.

Заключение. Таким образом, результаты проведенного исследования подчеркивают важность интеграции психологических законов, таких как закон Фиттса, закон Хика и закон Миллера, в процесс проектирования пользовательских интерфейсов. Создание понятного и интуитивного интерфейса для пользователя не только способствует улучшению эффективности выполнения задач, но и повышает удовлетворенность пользователей, снижая их когнитивную нагрузку.

Опыт, полученный в ходе разработки интерфейса файлового менеджера, подтверждает, что внимание к психологическим аспектам восприятия информации является необходимым условием для успешного проектирования. Пользователи не только быстрее выполняют свои задачи, но и чувствуют себя более уверенно при работе с интерфейсом.

В дальнейшем исследования в области проектирования интерфейсов должны продолжать развиваться, исследуя новые подходы к улучшению взаимодействия с пользователями. Важно также учитывать дополнительные факторы, такие как разнообразие пользовательских предпочтений и индивидуальные особенности, что позволит создавать более адаптивные и удобные системы. Это, в свою очередь, станет основой для повышения качества пользовательского опыта и достижения высоких стандартов в разработке программного обеспечения.

Литература

[1] Лазарев А.В. *Основы проектирования пользовательских интерфейсов*. Москва, Питер, 2022, 200 с.

[2] Петрова Е.С. *Психология восприятия в дизайне: теория и практика*. Москва, Гуманитарные технологии, 2021, 180 с.

[3] Урбанович М В., Ковалева К.А. Принципы разработки пользовательских интерфейсов. *Современные инновации, системы и технологии*, 2023, № 4, с. 5–8. https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-4-0363-03741

[4] Алиев Р.Т. Интерфейс как зеркало: рефлексия индивидуального и коллективного. *Философия и культура*, 2024, № 3, с. 82–97.

[5] Иващенко А.В., Александрова М.В., Жейков Д.С., Нестеров А.Ю. Семиозис визуальных стимулов в интерактивных пользовательских интерфейсах медицинских приложений. *Онтология проектирования*, 2024, № 3, с. 4–10. https://doi.org/10.18287/2223-9537-2024-14-3-311-323

Psychological aspects of user interface design: influence of perception and cognitive features on design

Yakovenko Y.V. sansskeletsans2005@yandex.ru
Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

Article examines the psychological aspects of user interface design with an emphasis on the laws of Fitts, Hick, and Miller. A study was conducted to optimize a file manager implemented in Python using the Tkinter library and to identify the influence of these laws on user perception and interaction with the interface. This work has scientific novelty in systematizing and integrating psychological principles for interface development and provides recommendations for further improvement of user experience.

Keywords: *user interface, human-computer interaction, Hick's law, Fitts' law, Miller's law, Tkinter, interface optimization, feedback*

УДК 004.42

Симметричная обработка данных: оптимизация алгоритмов с применением двусвязных списков

Яковенко Яков Владимирович sansskeletsans2005@yandex.ru
Борсук Наталья Александровна borsuk.65@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Исследованы двусвязные списки как особая структура данных, обладающая уникальными характеристиками и применимая в широком спектре прикладных задач. Новизна статьи заключается в подходе к оптимизации симметричной обработки данных в двусвязных списках, что повышает производительность структуры при решении задач, требующих двустороннего доступа к данным и возможности динамического обновления структуры. В исследовании также приводится пример реализации алгоритма на C++, позволяющего сократить время обработки и затраты памяти в операциях, предполагающих попарное вычисление разностей значений элементов списка с обоих концов. Применение представленных подходов в задачах с высокими требованиями к эффективности обработки данных подчеркивает значимость двусвязных списков в контексте современных алгоритмов и приложений.

Ключевые слова: *двусвязные списки, структуры данных, оптимизация алгоритмов, обработка данных, динамические данные, симметричная обработка, параллельная обработка, вставка и удаление, вычислительная эффективность*

Введение. Двусвязные списки представляют собой уникальный тип линейных структур данных, в которых каждый узел включает указатели на следующий и предыдущий элементы, что позволяет перемещаться по списку в обоих направлениях. В отличие от других структур, таких как массивы или однонаправленные списки, двусвязные списки обеспечивают более гибкий доступ к данным, позволяя выполнять операции вставки и удаления с минимальными затратами на перемещение элементов. Эти особенности делают структуру востребованной в задачах, связанных с обработкой динамических данных в режиме реального времени, что особенно важно для приложений, работающих в графических интерфейсах, системах симуляции и моделирования [1].

Двусторонняя организация данных позволяет использовать двусвязные списки в задачах, где важно учитывать взаимосвязи между удаленными элементами, например при реализации алгоритмов с попарной обработкой. Кроме того, двусвязные списки активно применяются в ситуациях, когда данные необходимо непрерывно обновлять в процессе работы программы. Это может быть, например, история действий пользователя в графических редакторах или списки задач в реальном времени, где данные меняются по мере появления новых событий.

Основные особенности и уникальность двусвязных списков. Двусвязные списки обеспечивают уникальную гибкость благодаря своей двусторонней

структуре. Возможность перемещения в обоих направлениях делает эту структуру данных особенно полезной для задач, где требуется доступ к данным с обоих концов списка [2]. Например, в приложениях, требующих частого использования функции отмены действий, таких как графические редакторы, двусвязные списки позволяют хранить последовательность действий, которую пользователь может изменять в любом направлении. Это обеспечивает удобство и повышает производительность при реализации интерфейсов с элементами интерактивности, где необходимо учитывать историю действий.

Помимо этого, двусвязные списки позволяют значительно упростить операции вставки и удаления, так как изменения в середине списка не требуют сдвига элементов. В отличие от массивов, где для вставки нового элемента или удаления существующего необходимо изменять весь массив, двусвязный список позволяет добавлять или удалять элементы, сохраняя связь между соседними элементами и минимизируя количество перемещений. Такая гибкость делает двусвязные списки идеальным выбором для реализации задач, требующих непрерывного обновления структуры, например, в симуляторах или игровых приложениях, где объекты могут появляться и исчезать в процессе выполнения программы.

Двусвязные списки также поддерживают симметричную обработку данных, что особенно полезно для вычислений, где требуется попарное сравнение удаленных элементов. Это позволяет использовать два указателя для одновременного обхода с начала и конца списка, что снижает затраты на вычисления и делает структуру более эффективной. Например, для задачи вычисления произведения разностей между удаленными элементами можно применить двусторонний обход, что позволяет сократить количество операций и значительно повысить производительность при обработке больших объемов данных [3].

Например, на языке C++ была реализована программа, демонстрирующая процесс вычисления произведения разностей между удаленными элементами двусвязного списка (рис. 1).

Пример прикладной задачи. Симметричное вычисление разностей демонстрирует уникальные возможности двусвязного списка для эффективной обработки данных [4]. В данной задаче начинаем обход списка с противоположных концов, выполняя операции попарного вычитания значений элементов, что является эффективным подходом для задач, связанных с симметричным доступом к данным. Реализация данного подхода позволяет не только сократить затраты на вычисления, но и оптимизировать работу структуры за счет сокращения объема данных, которые необходимо обрабатывать. Такой подход может быть применен в графических приложениях, экономических расчетах, а также в задачах, связанных с анализом данных, где требуется одновременный доступ к элементам с обоих концов списка.

Оптимизация алгоритма. В данном алгоритме можно провести несколько оптимизаций для повышения производительности и уменьшения использования памяти. Вот ключевые моменты, на которые стоит обратить внимание.

```
struct List {
    Node* first;
    Node* last;

    List() : first(nullptr), last(nullptr) {}

    bool is_empty() {
        return first == nullptr;
    }

    void push_back(double _val) {
        Node* p = new Node(_val);
        if (is_empty()) {
            first = last = p;
        } else {
            last->next = p;
            p->prev = last;
            last = p;
        }
    }

    void print() {
        Node* p = first;
        while (p) {
            cout << p->val << " ";
            p = p->next;
        }
        cout << endl;
    }
};
```

Рис. 1. Реализация двусвязного списка

```
double calculate_product(int n) {
    double product = 1;
    Node* forward = first;
    Node* backward = last;

    while (forward->next->next && backward->prev->prev) {
        product *= (forward->val - backward->val);
        forward = forward->next->next;
        backward = backward->prev->prev;
    }

    return product;
}
```

Рис. 2. Реализация задания

Проверка выхода за границы списка. В текущей реализации в функции calculate_product проверяется, что оба указателя (forward и backward) находятся на нужных позициях. Однако код while (forward->next && backward->prev) может привести к ошибке, если количество узлов в списке меньше, чем ожидалось. Оптимизация этой проверки позволит избежать излишних проверок, повысив устойчивость и производительность алгоритма.

Использование временных переменных для расчета разности значений: Каждый раз, когда forward и backward перемещаются на следующий шаг, происходит вычитание их значений forward->val — backward->val. Чтобы избежать лишних обращений к памяти, можно использовать временные переменные, что ускорит работу программы, особенно при больших объемах данных [5].

Удаление ненужных указателей после завершения работы: в текущем алгоритме указатели forward и backward продолжают существовать даже после выполнения всех операций. Освобождение памяти для этих указателей сразу после завершения цикла while поможет снизить вероятность утечек памяти.

```
double calculate_product(int n) {
    if (n <= 0 || !first) return 0;

    double product = 1;
    Node* forward = first;
    Node* backward = last;

    while (forward && backward) {
        double forwardVal = forward->val;
        double backwardVal = backward->val;

        product *= (forwardVal - backwardVal);
        forward = forward->next;
        backward = backward->prev;

        // Условие для выхода из цикла
        if (!forward || !backward) break;
    }

    // Освобождение памяти для указателей
    forward = nullptr;
    backward = nullptr;

    return product;
}
```

Рис. 3. Оптимизация алгоритма

Параллельная обработка для вычисления разностей: так как разности между узлами forward->val и backward->val вычисляются независимо на каждом шаге, возможно внедрение параллельной обработки. В зависимости от среды выполнения и поддержки многопоточности, это может существенно ускорить процесс вычислений, особенно для длинных списков.

Вынос вычислений вне цикла для сокращения числа обращений к памяти: оптимизация цикла while путем выноса некоторых вычислений, таких как проверка условий на каждом шаге, позволяет сократить количество обращений к данным, что в долгосрочной перспективе снизит затраты на вычисления и ускорит работу программы.

Оптимизации, реализованные в данном алгоритме, позволяют значительно повысить его производительность и сделать более эффективным при обработке больших объемов данных. Упрощение операций за счет использования временных переменных и строгий контроль границ списка подчеркивают важность продуманного подхода к разработке алгоритмов, что особенно актуально в современных приложениях, работающих с динамическими данными.

Заключение. Двусвязные списки представляют собой уникальную и гибкую структуру данных, которая нашла применение во многих прикладных задачах. Их особенности, такие как двусторонний доступ к элементам, поддержка циклической структуры и возможность симметричной обработки данных, делают их незаменимыми для приложений, требующих высокой адаптивности и эффективности. Данная работа показала, что двусвязные списки обладают потенциалом для улучшения производительности в задачах с двусторонним доступом к данным и симметричными вычислениями, что особенно актуально для систем, работающих с динамическими данными в реальном времени.

Новизна исследования заключается в оптимизации алгоритмов обработки данных с использованием двусвязных списков, что ранее не получало должного внимания в литературе. Применение временных переменных для сокращения обращений к памяти и улучшение проверки границ списка повысили как производительность, так и надежность алгоритма. Это открывает новые возможности для использования двусвязных списков в современных высоконагруженных приложениях, таких как системы управления данными, графические интерфейсы и симуляционные модели.

Кроме того, работа подчеркивает важность адаптации алгоритмических подходов к специфике решаемых задач, что позволяет разрабатывать более эффективные и масштабируемые решения. Перспективы дальнейших исследований могут включать изучение применения двусвязных списков в параллельных вычислениях и оптимизацию под специфические требования различных областей, таких как обработка больших данных и машинное обучение.

Таким образом, исследование двусвязных списков и их возможностей не только подтверждает их значимость в информатике, но и открывает новые горизонты для будущих разработок и исследований, направленных на создание более эффективных и адаптивных алгоритмических решений.

Литература

[1] Абакаров Г.М. Анализ и оценка многопоточности для эффективности приложений. *Вестник науки*, 2023, т. 1, № 8, с. 6–8.

[2] Байджаев М., Байраммырадов О., Башимов С. Эволюция языков программирования: от императивных к функциональным. *Вестник науки,* 2024, т. 3, № 10 (79), с. 5–8.

[3] Лукоявнов Е.В., Грузликов А.М. Синтез иерархической диагностической модели потоковой вычислительной системы реального времени. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*, 2020, т. 20, № 5, с. 5–8.

[4] Горбушин В.А., Андриенко Ю.А. Исследование реактивного программирования как набора технологий и как завершенной парадигмы. *Философия и культура*, 2024, т. 12, № 8, с. 20–24.

[5] Зыков С.В., Золотухин С.А., Золотухина М.А. Разработка метода и определение нового условия безопасности движения в состоянии многопоточности на основе математического моделирования. *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*, 2023, № 3, с. 98–114.

Symmetrical data processing: optimization of algorithms using doubly-linked lists

Yakovenko Y.V. sansskeletsans2005@yandex.ru
Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This paper examines doubly-linked lists as a special data structure with unique characteristics and applicable to a wide range of applied problems. The novelty of the paper lies in the approach to optimizing symmetric data processing in doubly-linked lists, which improves the performance of the structure when solving problems that require two-way access to data and the ability to dynamically update the structure. The study also provides an example of implementing an algorithm in C++ that allows reducing processing time and memory costs in operations that involve pairwise calculation of differences in the values of list elements from both ends. The application of the presented approaches to problems with high requirements for data processing efficiency emphasizes the importance of doubly linked lists in the context of modern algorithms and applications.

Keywords: *doubly linked lists, data structures, algorithm optimization, data processing, dynamic data, symmetric processing, parallel processing, insertion and deletion, computational efficiency*

УДК 004.4

Разработка электронной образовательной среды фортепианного отделения музыкальной школы

Кравцов Дмитрий Андреевич dimakravtsov03@gmail.com
Борсук Наталья Александровна borsuk.65@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Представлена разработка электронной образовательной среды для фортепианного отделения музыкальной школы. Рассмотрены основные требования и особенности музыкального образования, обоснована структура и функциональные возможности приложения. Особое внимание уделено организации взаимодействия между преподавателями и учениками, а также возможностям автоматизированной проверки музыкальных навыков. Данная работа представляет научную ценность в плане создания специализированного образовательного ресурса для музыкальных школ.

Ключевые слова: *электронное обучение, музыкальное образование, интерактивное обучение, проверка музыкальных навыков, педагогика, музыкальная школа, веб-приложение*

В современном мире цифровые технологии играют важную роль в образовательном процессе, обеспечивая доступ к обучающим материалам и интерактивным методам обучения. В музыкальных школах возрастает потребность в интеграции таких технологий для улучшения обучения и взаимодействия между учителем и учеником [1]. Данная работа направлена на создание электронной образовательной среды для фортепианного отделения музыкальной школы. Приложение включает функционал для хранения учебных материалов, организации заданий по игре на фортепиано и проверки музыкального слуха учеников.

В условиях активного внедрения цифровых технологий в образовательный процесс существуют различные платформы, поддерживающие дистанционное обучение и организацию учебного контента. Эти платформы предоставляют пользователям доступ к образовательным материалам и интерактивным возможностям, однако ориентированы на академическое обучение в целом, не включая специфику музыкального образования [2]. Рассмотрим некоторые из аналогов, служащих ориентирами при создании специализированной образовательной среды для фортепианного отделения.

Moodle — платформа для дистанционного обучения, предоставляющая широкий функционал для организации и управления учебными материалами. Платформа поддерживает загрузку файлов, проведение тестов и оценку прогресса учеников, но не предусматривает средств для интерактивного музыкального обучения и проверки слуха, необходимых для музыкальной школы.

Google Classroom — бесплатный сервис для организации учебного процесса, позволяющий преподавателям обмениваться файлами, назначать зада-

ния и отслеживать успеваемость учеников. Несмотря на удобство и простоту в использовании, Google Classroom не предоставляет специализированных инструментов для музыкального обучения, таких как поддержка аудиофайлов или запись исполнения учеников.

Blackboard — платформа для управления обучением, ориентированная на образовательные учреждения. Она предлагает мощные инструменты для создания курсов, тестирования и обратной связи. Однако Blackboard также не содержит функций, специфичных для музыкального образования, таких как проверка музыкального слуха или анализ исполнения учащихся.

Электронная образовательная среда для фортепианного отделения музыкальной школы представляет собой веб-приложение, ориентированное на упрощение взаимодействия между преподавателями и учениками, а также на поддержку интерактивного процесса обучения музыке [3].

На рис. 1 изображена главная страница веб-приложения [4].

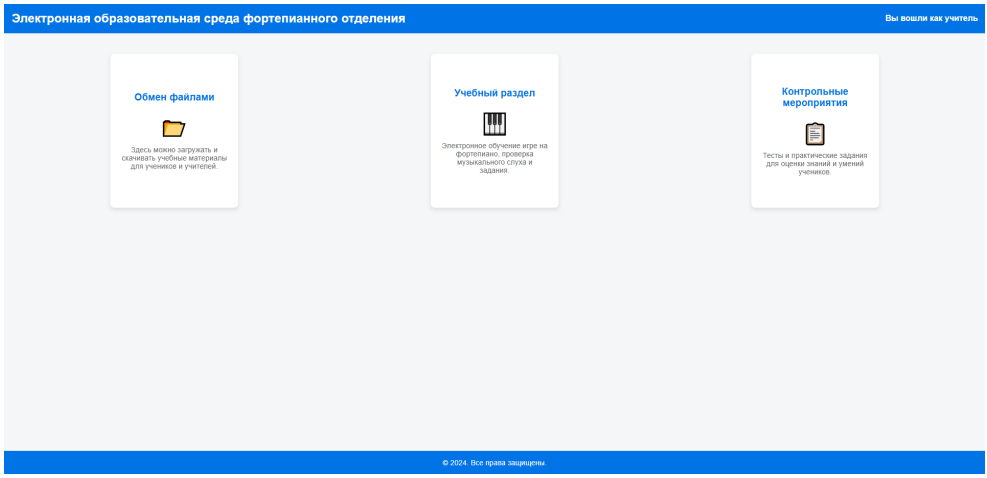


Рис. 1. Главная страница веб-приложения

Основной функционал.

Учетные записи и роли пользователей:

– две роли: учитель и ученик;

– учителя могут загружать учебные материалы, создавать задания и отслеживать прогресс учеников;

– ученики получают доступ к заданиям и могут загружать свои работы.

Электронное обучение игре на фортепиано:

– функция выполнения практических заданий с возможностью загрузки аудиозаписей мелодий от учителя;

– ученик, ориентируясь на мелодию, воспроизводит ее на инструменте и записывает исполнение для анализа;

– система автоматически проверяет точность исполнения, анализируя попадания по нотам и ритмические ошибки.

Библиотека музыкальной литературы:

– база данных с учебными и музыкальными материалами для самостоятельного изучения учеников;

– доступ к аудиозаписям, нотам и литературе, охватывающей теоретические и практические аспекты музыкального образования.

Контрольные мероприятия и тестирование:

– возможность создавать тесты и задания для оценки теоретических знаний учеников по музыкальной литературе;

– практические задания для проверки слуха и игры на фортепиано включены в контрольные мероприятия, обеспечивая комплексную оценку успеваемости.

Технологический стек:

– серверная часть реализована на Python с использованием фреймворка Flask;

– веб-интерфейс разработан на HTML, CSS и JavaScript для удобного взаимодействия;

– SQLite используется для хранения данных, предоставляя простое и надежное решение для управления учебными материалами и прогрессом учеников.

Таким образом, разработанная электронная образовательная среда для фортепианного отделения музыкальной школы имеет высокий потенциал для интеграции в образовательный процесс. Приложение значительно упрощает взаимодействие между учителем и учеником, предоставляя доступ к учебным материалам, практическим заданиям и возможности контроля успеваемости.

Литература

[1] Белим С.В., Ларионов И.Б., Ракицкий Ю.С. Разработка электронной образовательной среды вуза. *Математические структуры и моделирование,* 2016, № 4 (40), с. 122–132.

[2] Майданюк Ю.А. Разработка моделей электронной информационно-образовательной среды организации. *Форум молодых ученых*, 2019, № 7 (35), с. 157–160.

[3] Жукова А.А., Повзун В.Д. Формирование информационной компетенции учителей в процессе разработки электронной образовательной среды. *Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий*, 2021, т. 10, № 3, с. 25–29.

[4] Гринберг М. *Разработка веб-приложений с использованием Flask на языке Python*. Москва, ДМК Пресс, 2014, 272 с.

[5] Янцев В.В. *JavaScript. Креативное программирование*. Санкт-Петербург, Лань, 2024, 232 с.

Development of an electronic educational environment for the piano department of a music school

Kravtsov D.A. dimakravtsov03@gmail.com
Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

The article presents the development of an electronic educational environment for the piano department of a music school. The main requirements and features of music education are considered, the structure and functionality of the application are substantiated. Particular attention is paid to the organization of interaction between teachers and students, as well as the possibilities of automated testing of musical skills. This work is of scientific value in terms of creating a specialized educational resource for music schools.

Keywords: *e-learning, music education, interactive learning, musical skills testing, pedagogy, music school, web application*

УДК 004.4

Разработка мобильного приложения для бронирования услуг и планирования культурного досуга

Сережников Алексей Вячеславович alexey.serejnikov@mail.ru
Борсук Наталья Александровка borsuk.65@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены ключевые аспекты разработки мобильного приложения для бронирования услуг и планирования культурного досуга. Представлено обоснование актуальности создания данного приложения в условиях растущего интереса пользователей к оптимизации свободного времени. Показаны функции приложения, включая интеграцию с геолокацией, систему рейтингов и отзывов, а также гибкие опции бронирования. Сделаны выводы, что приложение соответствует современным требованиям пользователей и предоставляет удобные решения для поиска и резервирования услуг. Результаты работы можно применять для повышения качества пользовательского опыта и улучшения доступности культурных мероприятий.

Ключевые слова: *мобильные технологии, бронирование услуг, геолокация, пользовательский опыт*

В современном мире мобильные технологии играют ключевую роль в повседневной жизни, предоставляя пользователям доступ к информации и услугам в любое время и в любом месте [1]. С увеличением темпа жизни и ростом интереса к досугу, актуальность разработки мобильных приложений для бронирования услуг и поиска культурных развлечений не может быть переоценена [2].

Люди стремятся оптимизировать свое свободное время. Нарастающая потребность в удобных и эффективных решениях подстегивает рынок мобильных приложений, предлагая пользователям интуитивно понятные интерфейсы и широкий спектр возможностей для выбора [3].

Таким образом, создание мобильного приложения, которое объединяет в себе функции бронирования и поиска культурных развлечений, представляет собой не только актуальную задачу, но и перспективное направление для инноваций и улучшения качества пользовательского опыта [4]. В данной работе рассматриваются ключевые аспекты разработки такого приложения, его функциональность, потенциальные преимущества для конечных пользователей и возможности для интеграции с различными сервисами.

В условиях стремительного роста мобильных технологий на российском рынке существует множество приложений, которые предлагают широкий спектр услуг и развлечений. Эти приложения варьируются от платформ для покупки товаров и услуг до специализированных сервисов поиска мероприятий. Рассмотрим наиболее популярные аналоги, которые могут служить как конкурентами, так и ориентиром для разработки нового мобильного приложения.

Avito — это многофункциональная платформа для размещения объявлений, предоставляющая пользователям возможность продавать и покупать товары и услуги. Она охватывает широкий спектр категорий, от недвижимости до услуг профессионалов. Несмотря на универсальность, Avito не предлагает функционал для бронирования услуг на конкретное время, что ограничивает его возможности в вопросах организации досуга.

Wildberries является одним из крупнейших интернет-магазинов в России, специализирующимся на продаже широкого ассортимента товаров, включая одежду, электронику и косметику. Основное внимание уделяется товарным закупкам, и, хотя Wildberries предлагает раздел с услугами, он не предоставляет возможности бронирования, что делает его менее удобным для пользователей, ищущих организацию досуга.

Яндекс.Афиша позволяет пользователям получать доступ к анонсам мероприятий и возможностям покупки билетов на концерты, театры и выставки. Это приложение предлагает фильтры для поиска мероприятий по категориям и местоположению, однако не содержит комплексного функционала бронирования, который мог бы объединять услуги и развлечения.

Создаваемое мобильное приложение стремится объединить в себе преимущества перечисленных аналогов, включая поиск и бронирование услуг, адаптированные под современные запросы пользователей. Основное отличие заключается в создании простого и интуитивно понятного интерфейса, который позволяет пользователям быстро находить и резервировать услуги и развлечения.

Приложение будет обеспечивать уникальные возможности, такие как:

– интеграция с геолокацией для поиска услуг рядом;

– наличие системы рейтингов и отзывов для повышения доверия и выбора;

– гибкие опции бронирования для удовлетворения разнообразных потребностей пользователей.

Таким образом, создание приложения, которое объединяет функции бронирования и поиска в одном месте, не только ответит на возросшие потребности пользователей, но и предоставит дополнительные конкурентные преимущества на фоне существующих платформ.

Чтобы обеспечить пользователям максимальное удобство и легкость в использовании, приложение было разработано с акцентом на функциональность и интуитивный интерфейс. Важно, чтобы каждая функция способствовала уникальному пользовательскому опыту, облегчающему процесс поиска и бронирования услуг [5]. В этом разделе подробно рассматриваются ключевые возможности приложения.

Регистрация и авторизация:

– удобный процесс регистрации: пользователи могут зарегистрироваться через электронную почту, социальные сети (например, ВКонтакте, Facebook) или мессенджеры (например, WhatsApp);

– вход: возможность авторизации с помощью логина и пароля или одноразовых кодов, отправляемых на телефон/электронную почту;

– профиль пользователя: пользователи могут управлять своими данными, а также настраивать уведомления и предпочтения.

Создание услуг:

– личный кабинет для поставщиков услуг: удобный интерфейс для создания и управления услугами, где поставщики могут добавлять описание, фотографии, цены и доступные временные слоты;

– валидация данных: процесс проверки информации о поставщиках для обеспечения качества и надежности предоставляемых услуг;

– обновления и редактирование: поставщики могут вносить изменения в свои предложения, управлять доступностью и обновлять информацию о новых акциях.

Сортировка услуг по категориям:

– категоризация услуг: возможность сортировки услуг по различным категориям, таким как рестораны, кино, спортивные мероприятия, сервисы и т. д.;

– фильтры: дополнительные фильтры по цене, рейтингу, расположению и времени, что позволяет пользователям быстро находить нужные услуги;

– интуитивно понятный интерфейс: пользовательский интерфейс, позволяющий легко переключаться между категориями и просматривать услуги.

Поиск:

– поисковая строка: удобная строка поиска для быстрого нахождения услуг по ключевым словам;

– автозаполнение и подсказки: система предоставляет подсказки на основе введенных пользователем запросов, облегчая поиск;

– поиск по геолокации: учитывает текущее местоположение пользователя, чтобы предлагать наиболее актуальные услуги рядом.

Отзывы и рейтинги:

– система отзывов: пользователи могут оставлять отзывы и ставить оценки различным услугам и поставщикам;

– модерация отзывов: все отзывы проходят проверку, чтобы исключить спам и неуместные комментарии, обеспечивая честность и пользу информации;

– профиль поставщика: рейтинг и отзывы отображаются на профиле поставщика, помогая другим пользователям принимать взвешенные решения.

Интеграция с платежными системами:

– разнообразие способов оплаты: поддержка различных платежных систем, включая банковские карты, электронные кошельки (например, Яндекс.Money, Qiwi, WebMoney) и мобильные платежи;

– безопасность транзакций: использование современных технологий шифрования для защиты финансовой информации пользователей;

– история транзакций: пользователи могут просматривать историю своих платежей и бронирований в личном кабинете.

Отслеживание геолокации для предоставления услуг рядом:

– активное использование GPS: приложение запрашивает разрешение на использование геолокации для определения нахождения пользователя и предоставления услуг в радиусе «окна» вокруг его местоположения;

– опции фильтрации по расстоянию: пользователи могут устанавливать радиус поиска, чтобы находить услуги в заданном диапазоне;

– предложения по карте: интерактивная карта, отображающая ближайшие услуги с их рейтингами и актуальной информацией.

Бронирование услуг на любое время:

– гибкий график: пользователи могут выбирать любые доступные временные слоты для бронирования услуг;

– подтверждение бронирования: автоматическое подтверждение бронирования и уведомления отправляются на электронную почту или телефон;

– изменение и отмена бронирования: пользователи могут легко изменять или отменять свои бронирования, получая уведомления о возможных штрафах или условиях отмены.

Разработка мобильного приложения для поиска и бронирования услуг и культурных развлечений отвечает современным потребностям пользователей в удобстве и функциональности. Приложение объединяет уникальные возможности, такие как интеграция с геолокацией и персонализированные рекомендации, что делает его конкурентоспособным среди существующих аналогов. Благодаря интуитивно понятному интерфейсу и простому процессу регистрации пользователи смогут быстро находить и резервировать услуги, обеспечивая качественный и удобный опыт. В итоге, приложение станет надежным помощником для оптимизации досуга и культурных развлечений, открывая новые возможности для пользователей.

Литература

[1] Нарзуллаев У.Х., Рустамов Т.Р. Развитие мобильных технологий от 4G к 5G. *Universum: технические науки*, 2023, № 9–2 (114), с. 55–58.

[2] Басшыкызы Д. Разработка мобильного приложения. *Наука, техника и образование*, 2022, № 3 (86), с. 39–40.

[3] Чубенко М.Г., Смирнова Ю.А. Анализ мобильных приложений и мобильного рынка. *Вестник науки*, 2020, № 6 (27), с. 32–36.

[4] Аманжолов С.Б., Актаева А.У. Анализ процесса создания мобильных приложений. *НИР/S&R*, 2024, № 2 (18), с. 67–70.

[5] Агеева А.Д., Петросян Л.Э. Дизайн интерфейсов (UI) и пользовательский опыт (UX). *Вестник науки*, 2024, № 6 (75), с. 1354–1366.

Development of a mobile application for booking services and planning cultural leisure activities

Serejnikov A.V. alexey.serejnikov@mail.ru
Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

Key aspects of developing a mobile application for booking services and planning cultural leisure activities have been considered. The relevance of creating this application is justified in light of the growing user interest in optimizing their free time. The application's features are presented, including integration with geolocation, a rating and review system, as well as flexible booking options. It is concluded that the application meets modern user requirements and provides convenient solutions for finding and reserving services. The results of this work can be applied to enhance the quality of user experience and improve the accessibility of cultural events.

Keywords: *mobile technologies, service booking, geolocation, user experience*

УДК 004.4

Сравнительный анализ автоматизированных систем бухгалтерского учета «Смета» и «1С: Бухгалтерия государственного учреждения»

Киров Александр Владимирович sasha.kirov2015@yandex.ru
Борсук Наталья Александровна borsuk@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Представлен сравнительный анализ автоматизированных систем бухгалтерского учета для государственных учреждений — «Смета» и «1С: Бухгалтерия государственного учреждения». Сравнение охватывает функциональные возможности, техническое сопровождение, интеграцию, а также факторы стоимости владения продуктом, включая наличие встроенных и дополнительных модулей. В статье обсуждаются преимущества и недостатки систем в контексте их соответствия требованиям бухгалтерского учета для государственных организаций, проводится оценка их соответствия требованиям нормативных актов РФ.

Ключевые слова: *автоматизация бухгалтерского учета, государственные учреждения, АС «Смета», «1С: Бухгалтерия государственного учреждения», бюджетный учет, нормативно-справочная информация, техническое сопровождение, функциональные возможности, бухгалтерская отчетность, муниципальные учреждения, программное обеспечение для госучреждений*

В условиях возрастающей цифровизации бухгалтерского учета и строгих требований к финансовой отчетности государственные учреждения нуждаются в автоматизированных решениях, которые могут полностью соответствовать требованиям Бюджетного кодекса и различных регламентирующих документов. В России наиболее распространенными решениями для государственных учреждений являются системы «Смета», разработанная НПО «Криста», и «1С: Бухгалтерия государственного учреждения». Эти системы широко внедрены в разных регионах России, и каждая из них имеет свои особенности и преимущества. Автоматизированные системы бухгалтерского учета играют ключевую роль в обеспечении прозрачности и точности учета в государственных учреждениях, выполняя задачи по учету бюджетных средств, отчетности и управления активами. Современные решения для бюджетного учета должны соответствовать ряду нормативных актов, обеспечивать оперативный доступ к информации и интеграцию с другими государственными системами.

АС «Смета» предназначена для автоматизации бюджетного учета в государственных учреждениях и органах власти. Она разрабатывается ООО «НПО «Криста» и охватывает полный спектр учета для государственных учреждений, включая казенные, бюджетные и автономные организации. Основные пользователи — бухгалтерские службы государственных органов

и учреждений, ведущие учет в единой базе данных. Система отвечает требованиям, прописанным в нормативных документах, таких как Бюджетный кодекс РФ, и предназначена для учета расходов и доходов бюджета, администрирования активов и автоматического формирования отчетности [1].

Система «1С: Бухгалтерия государственного учреждения» используется для учета финансово-хозяйственной деятельности в бюджетных учреждениях и разработана в соответствии с требованиями Минфина РФ. Она адаптирована для учреждений разных типов и обеспечивает ведение бухгалтерского учета в рамках единой платформы 1С, что позволяет ее интеграцию с другими продуктами компании. Пользователи включают сотрудников бухгалтерий бюджетных организаций, финансовых служб и контролирующих органов [2].

Система «Смета» обладает обширными функциональными возможностями, разделенными на подсистемы: «Общая бухгалтерия», «Санкционирование расходов», «Финансовые активы», «Расчеты по оплате труда» и др. Среди ключевых возможностей — учет бюджетных классификаторов, автоматическое формирование отчетности, поддержка сложных операций с нефинансовыми активами, расчет налоговых обязательств и возможность интеграции с федеральными системами. Система активно используется для расчета лимитов бюджетных обязательств, управления денежными средствами и учета финансовых обязательств. Система объединяет все необходимые для бюджетного учета функции в одном продукте, что позволяет исключить дополнительные расходы на отдельные модули или выгрузки для расчетов зарплат, налогов, отраслевых форм отчетности и других операций, она обеспечивает возможность самостоятельного создания и редактирования отчетов, что делает пользователей независимыми от разработчика при формировании специфических отчетных форм и настроек.

Система 1С позволяет гибко настраивать учет в зависимости от потребностей учреждения. Она обеспечивает ведение учетных операций, связанных с доходами, расходами, начислениями и расчетами с персоналом, позволяет формировать бухгалтерскую и налоговую отчетность, адаптирована к современным нормативным требованиям, а также поддерживает автоматическое обновление классификаторов и нормативно-правовой базы. Преимуществом системы является легкая интеграция с другими программами на платформе 1С, что позволяет упростить обмен данными между различными учетными системами.

Базовая версия не поддерживает полный набор функциональных возможностей для учета заработной платы, начисления компенсаций и стипендий. Учреждениям требуется приобретение дополнительных модулей, таких как «1С: Зарплата и кадры бюджетного учреждения». Предоставляет возможность редактирования отчетных форм только в режиме «Конфигуратор», требующем специальных навыков или привлечения специалистов, что может увеличивать затраты на поддержку.

Обе системы поддерживают формирование бюджетной и бухгалтерской отчетности, однако их подходы к реализации отчетных функций различают-

ся. АС «Смета» соответствует нормативным требованиям, предъявляемым к бюджетной отчетности (Инструкции Минфина, например, № 191н, № 33н), и позволяет экспортировать данные в требуемые форматы для Федерального казначейства и ФНС. Система также интегрирована с внешними системами, такими как система удаленного финансового документооборота, что упрощает работу бухгалтеров при взаимодействии с органами контроля и управления [1].

«1С: Бухгалтерия государственного учреждения» также соответствует нормативным требованиям и поддерживает форматы отчетности для взаимодействия с казначейством, налоговыми и пенсионными органами. Она автоматически обновляет справочники и классификаторы и формирует необходимую отчетность в соответствии с бюджетной классификацией, что также облегчает работу пользователей при создании и отправке отчетных форм.

АС «Смета» предлагает комплексные возможности для управления пользователями и разграничения прав доступа, ведет протоколы действий пользователей и поддерживает многопользовательский режим. Система интегрирована с другими разработками ООО «НПО «Криста», такими как АС «УРМ» и АС «Бюджет», что обеспечивает совместное использование данных и синхронизацию информации в пределах единой учетной инфраструктуры.

«1С: Бухгалтерия государственного учреждения» позволяет настраивать права доступа пользователей, поддерживает работу в сети и имеет возможность интеграции с другими продуктами 1С, что позволяет легко объединять системы бухгалтерского учета с решениями для кадрового учета, управления персоналом и финансового контроля. Гибкая настройка учетных политик позволяет адаптировать систему под различные потребности учреждений.

Первоначальная покупка продукта АС «Смета» включает год бесплатного сопровождения, что обеспечивает адаптацию системы под нужды конкретного учреждения, доработку отчетов и поддержку изменений в законодательстве. Обновления системы могут осуществляться через партнерскую сеть или загружаться из интернета, что позволяет пользователям получать обновления оперативно и с минимальными затратами.

В случае с «1С: Бухгалтерия государственного учреждения» получение обновлений производится через сеть франчайзи 1С, что в некоторых регионах может создавать задержки. Дополнительные доработки и адаптация конфигурации требуют заключения платного договора на сопровождение и могут приводить к затратам на консультации специалистов.

Проведенный анализ показал, что АС «Смета» и «1С: Бухгалтерия государственного учреждения» обе отвечают требованиям бухгалтерского учета для государственных учреждений, но существенно различаются по подходу к комплектации, функциональности и стоимости владения. АС «Смета» предлагает более комплексное решение, которое не требует приобретения дополнительных модулей, тогда как «1С: Бухгалтерия государственного учреждения» требует дополнительных вложений для получения полного функционала. Техническое сопровождение и удобство работы с отчетностью

также делают АС «Смета» предпочтительной для организаций, заинтересованных в оперативной поддержке и независимости от разработчика.

Литература

[1] *ООО «НПО «Криста». Описание автоматизированной системы «Смета».* URL: https://www.krista.ru/files/catalog/АС%20Смета_Общее%20описание%20системы.pdf (дата обращения 13.10.2024).

[2] *1С: Бухгалтерия государственного учреждения. Описание программы и функционала*. URL: https://v8.1c.ru/stateacc/ (дата обращения 13.10.2024).

[3] *Об утверждении форм первичных учетных документов и регистров бухгалтерского учета, применяемых органами государственной власти (государственными органами), органами местного самоуправления, органами управления государственными внебюджетными фондами, государственными (муниципальными) учреждениями, и Методических указаний по их применению*. Приказ Министерства финансов Российской Федерации от 30.03.2015 № 52н.

[4] *Об утверждении Единого плана счетов бухгалтерского учета для органов государственной власти (государственных органов), органов местного самоуправления, органов управления государственными внебюджетными фондами, государственных академий наук, государственных (муниципальных) учреждений и Инструкции по его применению.* Приказ Минфина России от 01.12.2010 № 157н.

[5] *О бухгалтерском учете*. Федеральный закон от 06.12.2011 № 402-ФЗ.

[6] Петров А.И., Сидорова Н.В. Проблемы и перспективы использования систем автоматизации бухгалтерского учета в государственных учреждениях. *II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ.: тез. докл.* Симферополь, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2022. URL: https://sci-article.ru/stat.php?i=1447076103 (дата обращения 13.10.2024).

[7] Савина Е.В. Сравнительный анализ систем автоматизации бюджетного учета в РФ. *Финансы и учет в государственных учреждениях*, 2019, № 5 (2), с. 23–30.

Comparative analysis of automated accounting systems Smeta and 1C: accounting department of a state institution

Kirov A.V. sasha.kirov2015@yandex.ru

Borsuk N.A. borsuk.65@yandex.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

A comparative analysis of automated accounting systems for government agencies — Smeta and 1C is presented: accounting department of a state institution. The comparison covers functionality, technical support, integration, as well as cost-of-ownership factors, including the availability of built-in and additional modules. The article discusses the advantages and disadvantages of the systems in the context of their compliance with accounting requirements for government organizations, and assesses their compliance with the requirements of regulatory acts of the Russian Federation.

Keywords: *automation of accounting, government agencies, AS Estimate, 1C: Accounting of a state institution, budget accounting, regulatory and reference information, technical support, functionality, accounting, municipal institutions, software for state institutions*

УДК 004.8

Сравнительный анализ методов объединения в гибридных рекомендательных системах

Гусько Глеб Александрович ka-s-2015@mail.ru
Михайлов Алексей Сергеевич mikhailow.aleksei2018@yandex.ru
Вершинин Евгений Владимирович vershinin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Данное исследование включает разработку и анализ эффективной рекомендательной системы, внедряемой в веб-приложение по заказу еды, основанной на гибридном подходе, который сочетает контентную и коллаборативную фильтрации. Подробно рассматриваются преимущества и недостатки различных методов объединения рекомендаций, таких как взвешенное комбинирование, каскадный, ансамблевый и многоуровневый подходы. В настоящем исследовании особое внимание уделяется выбору оптимальной стратегии, которая позволит повысить точность рекомендаций.

Ключевые слова*: гибридный метод, фильтрация, контентная фильтрация, коллаборативная фильтрация, методы объединения в гибридной фильтрации*

С развитием рынка услуг, который стремительно расширяется и адаптируется к изменяющимся потребностям пользователей, персонализированные рекомендации становятся одним из важнейших инструментов для повышения вовлеченности клиентов и увеличения конверсии. Хорошим примером стремительной адаптации к потребностям пользователя может стать бизнес, связанный с кафе и ресторанами, которые работают на доставку.

Персонализация в сфере доставки еды позволит клиентам быстрее находить то, что им действительно нравится. Это, в свою очередь, поспособствует увеличению числа повторных заказов и общей оценки сервиса. Для достижения этой цели необходимо использовать эффективные методы фильтрации, которые позволяют анализировать данные о предпочтениях пользователей.

Создание эффективной рекомендательной системы для веб-приложения по заказу еды требует комплексного подхода, который учитывает, как индивидуальные предпочтения пользователей, так и общие тенденции в потребительском поведении. Это не только повысит удовлетворенность клиентов, но и поможет компаниям увеличить свою долю на конкурентном рынке доставки еды.

Целью настоящего исследования является выявление оптимального метода объединения контентной и коллаборативной фильтраций для рекомендательной системы в веб-приложении по заказу еды.

Обзор методов объединения рекомендаци. Создание эффективных рекомендательных систем — сложная задача, требующая учета множества факторов, включая индивидуальные предпочтения пользователей, динамику изме-

нения их вкусов и огромные объемы данных. Поэтому разрабатываются гибридные подходы, комбинирующие преимущества различных методов. Существует несколько основных архитектур таких систем, каждая из которых имеет свои сильные и слабые стороны, рассмотрим их.

1. Метод комбинирования результатов. В его основе лежит идея объединения прогнозов, полученных от нескольких независимых моделей. Например, одна модель может предсказывать предпочтения на основе истории просмотров пользователя, другая — на основе информации о его демографических данных, а третья — на основе анализа поведения похожих пользователей (collaborative filtering). Затем результаты этих моделей агрегируются. Простейший способ — это простое арифметическое усреднение оценок. Однако более эффективный подход использует взвешенное суммирование, где каждой модели присваивается вес, отражающий ее точность и надежность.

Веса могут быть определены эмпирически, например, на основе результатов кросс-вариации на исторических данных, или же с помощью более сложных методов, например, используя байесовские подходы или методы оптимизации, такие как градиентный спуск. Важно отметить, что при таком подходе необходимо тщательно отслеживать вклад каждой модели, чтобы избежать ситуации, когда одна доминирующая модель подавляет другие, потенциально более полезные. Более того, для повышения эффективности можно использовать нелинейные методы агрегации, например нейронные сети, которые могут обучаться оптимальному способу объединения прогнозов.

Преимущества:

– гибкость: можно настроить веса для каждого метода (коллаборативной и контентной фильтраций), чтобы отдавать предпочтения конкретной модели в зависимости от цели системы. Это позволяет адаптировать алгоритм под разные условия;

– скорость обработки: объединение рекомендаций с помощью взвешенного суммирования, снижает время обработки рекомендаций на 30 % по сравнению с методами многоуровневых ансамблей [1]. Это важно для приложений с высокими требованиями к скорости отклика, например, в мобильных приложениях, где пользователи ожидают время ответа не более 100–150 мс;

– точность: объединение контентных и коллаборативных подходов приводит к улучшению метрики NDCG (Normalized Discounted Cumulative Gain) на 10–15 % и повышению метрики MAP (Mean Average Precision) на 12 % в сравнение с использованием одной модели. Это указывает на то, что комбинирование методов снижает недостатки отдельных подходов, что особенно полезно для рекомендаций с учетом сезонных изменений или временных предпочтений пользователей [1].

Недостатки:

– сложность настройки весов: подбор оптимальных весов для объединения рекомендаций может быть трудоемким процессом. Настройка весов через кросс-валидацию добавила до 25 % к общему времени на обучение, а неверные веса привели к снижению точности рекомендаций на 10 %. В связи

с этим требуется постоянная переоценка качества весов, что может стоить большого количества ресурсов [1];

– нагрузка: высокая нагрузка на центральный процессор из-за параллельной работы нескольких моделей.

2. Каскадный метод. Каскадный метод предполагает последовательное применение нескольких моделей, где выход одной модели является входными данными для следующей. Это позволяет эффективно обрабатывать данные, сначала отсеивая нерелевантные варианты, а затем более детально анализируя оставшиеся. Например, первый уровень может быть основан на быстрой, но не очень точной модели, которая отфильтрует большинство неинтересных вариантов. Следующий уровень может использовать более сложную и ресурсоемкую модель, но только для меньшего подмножества предложенных вариантов. Выбор модели на каждом этапе может зависеть от характеристик пользователя или контекста запроса. К примеру, для новых пользователей, у которых нет истории просмотров, можно использовать модель, основанную на популярности товаров, в то время как для опытных пользователей — более персонализированную модель, учитывающую их прошлые действия. Это позволяет оптимизировать скорость работы системы без потери качества рекомендаций.

Преимущества:

– повышенная точность: каскадный метод может улучшить конечную точность рекомендаций за счет последовательной фильтрации данных. Каскадная система улучшила точность на 18 % по метрике Precision и на 15 % по метрике Recall, относительно системы с использованием одной модели, так как более детальные модели обрабатывают уже отфильтрованные данные [2];

– эффективное использование моделей: поскольку каждая модель работает с уже отфильтрованными данными, каскадный метод значительно экономит вычислительные ресурсы. Данный подход снижает потребление ресурсов на 35 % за счет предварительной фильтрации данных более быстрой моделью на первом уровне, что особенно важно для больших систем рекомендаций [2];

– улучшенная персонализация: в каскадном подходе каждый следующий этап все лучше адаптируется к запросам пользователя. По метрике NDCG, данный подход позволил улучшить персонализацию на 20 % за счет применения адаптированных моделей для старых и новых пользователей [2];

– гибкость: в зависимости от задачи можно адаптировать последовательность каскада: начинать с простой модели и постепенно добавлять более сложные. Такая конфигурация может быть легко изменена для достижения оптимальных результатов.

Недостатки:

– задержка в скорости рекомендаций: последовательная обработка каскадных моделей может замедлить генерацию рекомендаций. Время отклика

системы при использовании каскадного метода увеличилось на 40 % по сравнению с одной моделью, что требует более тщательной оптимизации для приложений, чувствительных к времени отклика [3];

– возможность накопления ошибок: ошибки на начальном уровне каскада могут передаваться на последующие уровни, ограничивая качество итоговой рекомендации. Если первая модель ошибочно отсеет релевантные рекомендации, последующие уровни не смогут их вернуть;

– требования к большому объему данных: для эффективных результатов каскадного метода необходимо значительное количество данных на начальных уровнях. При ограниченном объеме данных точность конечных рекомендаций может снижаться до 20 % по сравнению с одноуровневыми методами, поскольку каждый следующий уровень нуждается в достаточном объеме данных для правильной работы [3]. В частности, исследования показывают, что на начальных этапах каскада требуется от 1000 до 5000 пользовательских взаимодействий на каждого уникального пользователя для получения устойчивых результатов.

3. Ансамблевое обучение. Ансамблевое обучение использует методы, такие как бустинг (например, Gradient Boosting Machines, XGBoost, LightGBM) или случайный лес (Random Forest), для объединения множества «слабых» моделей в одну более мощную. Эти методы создают множество различных моделей, обучаемых на случайных подмножествах, данных или с использованием различных параметров. Затем предсказания этих моделей агрегируются, например, с помощью усреднения или голосования. Ансамблевые методы часто демонстрируют высокую точность, но могут быть более сложными в реализации и требуют больше вычислительных ресурсов.

Преимущества:

– высокая точность и устойчивость: ансамблевые методы показывают улучшение точности по сравнению с единичными моделями. Ансамблевое обучение с XGBoost улучшило точность классификации на 20 % по сравнению с использованием одной модели [4]. В то же время ансамбль из случайных лесов и градиентного бустинга показали себя хуже, с их помощью удалось увеличить точность на 12 %;

– снижение переобучения: ансамблевые методы, такие как бэггинг (например, случайный лес), снижают риск переобучения, так как обучаются на разных подмножествах данных [4]. Это делает модели более обобщенными и устойчивыми к шуму.

Недостатки:

– высокая вычислительная сложность: ансамбли, особенно сложные, такие как стекинг и бустинг, требуют значительных вычислительных ресурсов для обучения и предсказаний, что может замедлить обработку данных;

– сложность настройки: настройка ансамблевых моделей может быть сложной, так как необходимо выбрать и оптимизировать сразу несколько моделей. Это требует времени и экспертизы для выбора оптимальных параметров и комбинаций моделей;

– меньшая интерпретируемость: ансамблевые модели труднее интерпретировать, особенно если они включают сложные алгоритмы. Это может быть проблемой в областях, где требуется объяснять, почему были сделаны определенные предсказания;

– риск переобучения при неправильной настройке: плохо настроенные ансамбли могут переобучаться, несмотря на устойчивость к шуму. Использование чрезмерно глубоких деревьев в случайном лесу может увеличить ошибку в тестовых данных на 10 % по сравнению с правильно настроенными ансамблями, что подчеркивает важность их настройки для устранения переобучения [4];

– затрудненное обновление моделей: ансамблевые модели, такие как случайный лес, часто требуют полного переобучения для эффективного включения новых данных. Повторное обучение ансамблевой модели на новых данных может занять в 1,7 раза больше времени, чем добавление данных к единичной модели, что увеличивает операционные затраты на обслуживание модели [4].

4. Многоуровневый метод. Многоуровневый метод комбинирует преимущества разных методов на различных этапах процесса рекомендаций. Например, первый уровень может использовать контент based filtering для отбора наиболее релевантных товаров, а второй уровень — collaborative filtering для ранжирования этих товаров в соответствии с предпочтениями пользователя. В этом случае, первый уровень выполняет предварительную фильтрацию, уменьшая объем данных, которые обрабатывает более сложная и ресурсоемкая вторая модель. Это позволяет повысить как скорость работы, так и точность рекомендаций. Более того, каждый уровень может включать механизмы обратной связи, позволяющие уточнять прогнозы и адаптироваться к меняющимся предпочтениям пользователей.

Преимущества:

– гибкость в выборе моделей: на каждом уровне можно использовать разные алгоритмы в зависимости от задачи и требований. Это позволяет адаптировать подход под конкретную предметную область и данные;

– улучшенное качество рекомендаций: благодаря тому, что каждый уровень уточняет результаты предыдущего, итоговые рекомендации становятся более релевантными. Добавление коллаборативного фильтра на второй уровень после контентного фильтра увеличило точность рекомендаций на 12 %, что особенно важно в системах с большим количеством вариантов [5];

– эффективное распределение вычислительных ресурсов: начальные уровни могут использовать более простые алгоритмы, снижая общую нагрузку на систему. Многоуровневая система, использующая легкий контентный фильтр на первом уровне, снижает потребление вычислительных ресурсов на 30 % по сравнению с системой, которая сразу применяет сложные алгоритмы [5].

Недостатки:

– сложность настройки и разработки: многоуровневая система требует тщательно продуманной архитектуры и настройки, так как необходимо пра-

вильно выбирать алгоритмы и параметры для каждого уровня. Это усложняет процесс разработки и требует времени;

– задержки в скорости: прохождение рекомендаций через несколько уровней может возрастать задержка. Многоуровневая система может увеличить задержку на 25 %, особенно если на поздних уровнях используются ресурсоемкие модели, что требует дополнительной оптимизации для приложений [5];

– риск накопления ошибок: ошибки на одном уровне могут передаваться на следующие и влиять на качество итоговых рекомендаций. Если начальные уровни отсеют релевантные данные, более глубокие уровни не смогут их вернуть;

– высокие вычислительные затраты: несмотря на оптимизацию начальных уровней, общие вычислительные затраты могут быть высокими, особенно если на последних уровнях используются сложные модели. Данный подход увеличил использование ресурсов на 20 % по сравнению с одноуровневой системой при работе с большими объемами данных [5];

– сложность интерпретации результатов: многоуровневый подход затрудняет анализ и объяснение рекомендаций, так как каждый уровень вносит свои изменения.

После тщательного анализа различных методов на основе их преимуществ и недостатков, пришли к выводу, что наиболее подходящими являются методы взвешенного комбинирования и каскадный метод. Эти методы не только обеспечивают высокую скорость обработки данных, но и демонстрируют хорошую адаптивность к изменяющимся предпочтениям пользователей [6].

Реализация. Реализация алгоритмов рекомендаций включает следующие этапы.

1. Реализация контентной фильтрации.

```
# Контентная фильтрация
def content_based_filtering(user_id):
 cursor.execute("""
 SELECT preferred_ingredients, preferred_cuisines
 FROM user_preferences
 WHERE user_id = ?
 """, (user_id,))
 preferences = cursor.fetchone()

 cursor.execute("""
 SELECT item_id
 FROM menu_items
 WHERE ingredients LIKE ? OR cuisine IN (?)
 ORDER BY popularity DESC
 LIMIT 5
 """, (f"%{preferences[0]}%", preferences[1]))
 return [row[0] for row in cursor.fetchall()]
```

2. Реализация коллаборативной фильтрации.

```
# Коллаборативная фильтрация с учетом сходства и предпочтений
def collaborative_filtering(user_id, max_recommendations=10, similarity_threshold=SIMILARITY_THRESHOLD):
```

```
# Получаем список похожих пользователей с учетом порога сходства
cursor.execute("""
SELECT other_user_id, similarity_score
FROM user_similarity
WHERE user_id = ?
AND similarity_score >= ?
ORDER BY similarity_score DESC
""", (user_id, similarity_threshold))
similar_users = cursor.fetchall()

if not similar_users:
return None # Недостаточно данных для коллаборативной фильтрации

# Получаем заказы текущего пользователя
user_past_orders = get_user_past_orders(user_id)

# Получаем предпочтительные ингредиенты текущего пользователя
user_preferences = get_user_preferences(user_id)

recommendations = []
recommendation_count = {}

for user, similarity_score in similar_users:
cursor.execute("""
SELECT item_id
FROM orders
WHERE user_id = ?
GROUP BY item_id
ORDER BY COUNT(*) DESC
""", (user,))
user_recommendations = [row[0] for row in cursor.fetchall()]

# Проверяем заказы похожих пользователей
for item in user_recommendations:
# Исключаем блюда, которые пользователь уже заказывал
if item not in user_past_orders:
# Проверяем, что блюдо соответствует предпочтениям по ингредиентам
cursor.execute("""
SELECT ingredients
FROM menu_items
WHERE item_id = ?
""", (item,))
ingredients = cursor.fetchone()[0].split(', ')

# Смотрим, чтобы хотя бы один ингредиент совпадал с предпочтениями пользователя
if any(ingredient in user_preferences for ingredient in ingredients):
# Учитываем сходство пользователя в весе рекомендации
if item in recommendation_count:
recommendation_count[item] += similarity_score
else:
recommendation_count[item] = similarity_score
```

```
    # Сортируем блюда по весу (с учетом сходства) и ограничиваем количество рекомендаций
    sorted_recommendations = sorted(recommendation_count.items(), key=lambda x: x[1], reverse=True)
    recommendations = [item[0] for item in sorted_recommendations[:max_recommendations]]

    return recommendations
```

3. Объедение методом каскадной фильтрации.

```
# Каскадная система рекомендаций
def get_recommendations(user_id):
 # Пробуем коллаборативную фильтрацию
 recommendations = collaborative_filtering(user_id)

 # Если нет рекомендаций из коллаборативной фильтрации, используем контентную
 if not recommendations:
 recommendations = content_based_filtering(user_id)

 # Получаем названия блюд
 if recommendations:
 recommendation_names = get_item_names(recommendations)
 else:
 recommendation_names = []

 # Вывод информации для пользователя
 print(f"Каскадная рекомендация для пользователя с ID {user_id}:")
 if recommendation_names:
 for item_name in recommendation_names:
 print(f"- {item_name}")
 else:
 print("Рекомендаций нет.")
```

4. Объединение взвешенным методом.

```
#Весы
# Веса для алгоритмов
COLLABORATIVE_WEIGHT = 5.0
CONTENT_WEIGHT = 5.0

# Взвешивание результатов
def weighted_combination(collaborative_recs, content_recs):
 score_map = {}

 # Присваиваем баллы коллаборативной фильтрации
 if COLLABORATIVE_WEIGHT > 0:
 for rec in collaborative_recs:
 score_map[rec] = score_map.get(rec, 0) + COLLABORATIVE_WEIGHT
 # Присваиваем баллы контентной фильтрации, только если вес > 0
 if CONTENT_WEIGHT > 0:
```

```
    for rec in content_recs:
    score_map[rec] = score_map.get(rec, 0) + CONTENT_WEIGHT

    # Сортируем по весам (более высокие весовые баллы идут в начало)
    return sorted(score_map, key=score_map.get, reverse=True)

# Функция для получения названия блюда по его ID
def get_item_name(item_id):
    cursor.execute("SELECT item_name FROM menu_items WHERE item_id = ?", (item_id,))
    result = cursor.fetchone()
    return result[0] if result else None

# Преобразование списка идентификаторов блюд в их названия
def convert_ids_to_names(item_ids):
    return [get_item_name(item_id) for item_id in item_ids if get_item_name(item_id)]

# Взвешенная система рекомендаций
def get_weighted_recommendations(user_id):
    # Получаем рекомендации от обоих методов
    collaborative_recs = collaborative_filtering(user_id) or []
    content_recs = content_based_filtering(user_id) or []

    # Преобразуем идентификаторы в названия
    collaborative_recs_names = convert_ids_to_names(collaborative_recs)
    content_recs_names = convert_ids_to_names(content_recs)

    # Выводим списки рекомендаций с названиями
    print("Коллаборативная: ", collaborative_recs_names)
    print("Контентная: ", content_recs_names)

    # Если ни один алгоритм не дал результатов, возвращаем пустой список
    if not collaborative_recs and not content_recs:
    return []

    # Комбинируем результаты
    final_recommendations = weighted_combination(collaborative_recs, content_recs)

    # Преобразуем идентификаторы блюд в их текстовые названия
    final_recommendation_names = convert_ids_to_names(final_recommendations)

    return final_recommendation_names
```

Полученные рекомендации показаны на рис. 1.

```
Каскадная рекомендация для пользователя с ID 7:
- Tacos
- Caesar Salad
Коллаборативная:  ['Tacos', 'Caesar Salad']
Контентная:  ['Hamburger', 'Veggie Burger']
Взвешенные рекомендации для пользователя 7: ['Tacos', 'Caesar Salad', 'Hamburger', 'Veggie Burger']
```

Рис. 1. Пример результатов гибридной фильтрации для пользователя с ID 7

Теперь проанализируем полученные данные для всех пользователей и построим графики для выбора наилучшего метода объединения используя следующие метрики [7].

Персонализация. Показатели персонализации каждого метода рассчитывались, основываясь на том, насколько точно рекомендации отражают предпочтения пользователей. Персонализация была измерена для каждого пользователя, основываясь на полученных рекомендациях. Высокие значения означают лучшее соответствие предпочтениям пользователя.

Сходство внутри списка. Этот показатель отражает степень, в которой элементы в одном рекомендательном списке схожи друг с другом. Значения были рассчитаны на основе анализа сходства объектов в рекомендациях. Более низкое значение сходства указывает на разнообразие, а более высокое — на узкую направленность рекомендаций.

Длинный хвост рекомендаций. Данные для этого графика отражают фактическое распределение популярности рекомендованных объектов среди пользователей, где каждый объект имеет количество упоминаний в рекомендациях.

1. Персонализация. На графике (рис. 2) показано, как варьируется уровень персонализации для каждого пользователя при использовании каскадного и взвешенного методов. Ось X представляет уникальных пользователей, а ось Y — уровень персонализации.

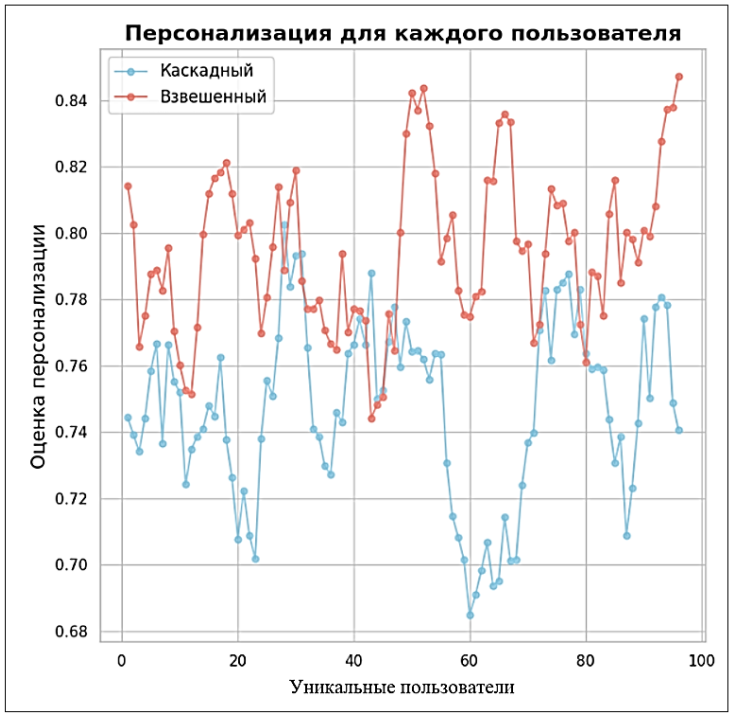


Рис. 2. Сравнение персонализации

Видно, что взвешенный метод демонстрирует более высокие показатели персонализации, что отражает его способность лучше учитывать предпочтения пользователей на основе данных, собранных за время их взаимодействия с системой. Каскадный метод в целом достигает более низкого уровня персонализации, поскольку комбинирует рекомендации упрощенно, следуя правилам последовательности. Это свидетельствует о том, что взвешенный метод более эффективен в адаптации рекомендаций под каждого конкретного пользователя.

2. Сходство внутри списка. На втором графике (рис. 3) сравнивается «внутрисписочное» сходство между каскадным и взвешенным методами, где ось X представляет пользователей, а ось Y — показатель внутрисписочного сходства.

Каскадный метод демонстрирует более высокие значения сходства, что указывает на меньшую диверсификацию рекомендаций. Это связано с тем, что данный метод чаще предлагает схожие объекты, которые уже доказали свою популярность среди пользователей с похожими предпочтениями. Взвешенный метод, напротив, показывает рекомендации с более низким внутрисписочным сходством, что делает его более разнообразным. Эти результаты свидетельствуют о том, что взвешенный метод лучше адаптируется к разнообразию предпочтений пользователей, в то время как каскадный метод склонен к предоставлению более узких, специализированных рекомендаций.



Рис. 3. Сравнение сходства

3. Длинный хвост. На третьем графике (рис. 4) сравнивается эффект «длинного хвоста» для каскадного и взвешенного методов рекомендаций. Ось X представляет ранжированные позиции рекомендаций для блюд (от наиболее к наименее популярным), а ось Y — количество рекомендаций. График иллюстрирует, как часто пользователи получают рекомендации на основе популярных или менее популярных объектов (блюд).

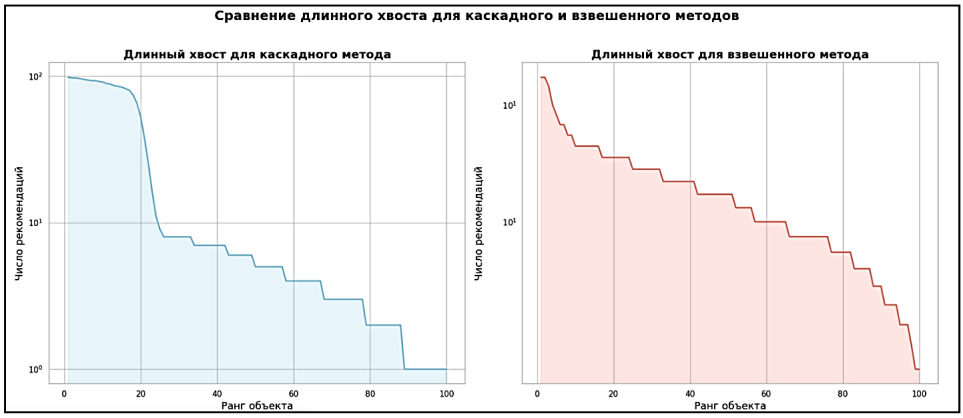


Рис. 4. Сравнение хвостов

Каскадный метод показывает более резкий спад с высокой концентрацией рекомендаций в «голове» списка, что указывает на ориентацию на популярные объекты. Это связано с тем, что каскадный метод, в силу своей структуры, тяготеет к выдаче часто рекомендуемых и популярных объектов, обеспечивая более узкий набор рекомендаций.

Взвешенный метод демонстрирует более плавное распределение по «длинному хвосту», охватывая более широкий диапазон объектов, включая менее популярные. Такой подход позволяет пользователям получать более разнообразные рекомендации, соответствующие их интересам, но не обязательно являющиеся самыми популярными.

Эти результаты подтверждают, что взвешенный метод лучше адаптируется к индивидуальным предпочтениям пользователей, предлагая более разнообразный контент, в то время как каскадный метод склонен поддерживать рекомендации, основанные на популярности, что может ограничить спектр предложений.

Графики демонстрируют, что взвешенный метод превосходит каскадный метод в аспектах персонализации. Данный фактор поможет улучшить пользовательский опыт за счет рекомендаций, более точно соответствующих индивидуальным предпочтениям. Анализ длинного хвоста также подчеркивает способность системы адаптироваться к широкой аудитории, предлагая, как популярные, так и редкие товары.

Обобщение и оценка результатов исследования. Результаты исследования показали, что наилучший метод объединения рекомендаций для системы — это взвешенный метод. Этот подход позволяет достичь высокой точности и релевантности рекомендаций, поскольку оптимально сочетает преимущества как коллаборативной, так и контентной фильтраций.

Важным преимуществом взвешенного метода является его гибкость: он предоставляет возможность внедрения дополнительных методов анализа, таких как учет отзывов и оценок пользователей, для улучшения качества рекомендаций. Благодаря этому пользователи смогут оставлять свои мнения о блюдах, что позволит системе лучше понять, какие аспекты важны для клиентов, и повышать точность рекомендаций на основе этих данных.

Литература

[1] Пронин Д.С., Зарубин И.Б. Информационная рекомендательная система отбора и ранжирования произведений графического цифрового искусства с использованием комбинированного коллаборативно-контентного подхода. *ГрафиКон. Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению: сб. тр.* Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2023, с. 4–12.

[2] Игнатьев В.Ю., Лемтюжникова Д.В., Руль Д.И., Рябов И.Л. Построение гибридной рекомендательной системы с улучшением точности. *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*, 2022, № 6, с. 3–7.

[3] Козлова М.Г., Германчук М.С. Разработка гибридной системы рекомендаций. *Таврический вестник информатики и математики*, 2022, № 3 (56), с. 30–52.

[4] Сенько О.В., Докукин А.А. Использование ансамблей с увеличенной дивергенцией в пространстве прогнозов в рекомендательных системах. *Автоматика и телемеханика*, 2021, № 3 (56), с. 2–7.

[5] Куренных А.Е., Судаков В.А. Подход к разработке гибридных рекомендательных систем. *Бюллетень науки и практики*, 2022, т. 8, № 11, с. 378–382.

[6] Ляликова В.Г., Безрядин М.М. Построение гибридной рекомендательной системы. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии,* 2021, № 4, с. 121–129.

[7] Калугин К.Ю. Гибридная рекомендательная система в сфере малой электронной коммерции. *Прикладная математика и информатика: современные исследования в области естественных и технических наук. VII Междунар. науч.-практ. конф. (школа-семинар) молодых ученых: сб. материалов.* Тольятти, Тольяттинский государственный университет, 2021, с. 37–41.

Comparative analysis of methods for combining collaborative filtering and content-based filtering to build hybrid recommendation systems in an e-commerce web application

Gusko G.A. ka-s-2015@mail.ru
Mikhailov A.S. mikhailow.aleksei2018@yandex.ru
Vershinin E.V. vershinin@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This research includes the development and analysis of an effective recommendation system implemented in a web application for ordering food, based on a hybrid approach that combines content and collaborative filtering. The advantages and disadvantages of various methods of combining recommendations, such as weighted combination, cascade, ensemble and multilevel approaches, are considered in detail. In this study, special attention is paid to choosing the optimal strategy that will improve the accuracy of recommendations.

Keywords: *hybrid method, filtering, content filtering, collaborative filtering, combining methods in hybrid filtering*

УДК 004.3

Обзор микроконтроллеров и камер для создания встроенных систем компьютерного зрения

Вершинин Евгений Владимирович vershinin@bmstu.ru
Поляков Ян Александрович polyakovyaa@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Представлен обзор микроконтроллеров и камер, используемых для создания встраиваемых систем компьютерного зрения. Рассматриваются основные требования к таким системам, а также особенности популярных микроконтроллеров камер. На основании анализа выделены оптимальные сочетания оборудования для различных задач компьютерного зрения: от бюджетных решений для базовых функций до высокопроизводительных модулей для сложных задач. Работа содержит рекомендации по выбору компонентов для эффективного построения встраиваемых систем с учетом их производительности, стоимости и энергопотребления.

Ключевые слова: *компьютерное зрение, микроконтроллеры, камеры, ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico, Nvidia Jetson Nano, OV7670, OV2640, Arducam, Raspberry Pi Camera Module*

Современные технологии компьютерного зрения (CV) все больше внедряются в портативные устройства и системы с ограниченными ресурсами. Компактные микроконтроллеры и камеры, интегрированные в единое устройство, обеспечивают мощные функции анализа изображений, распознавания объектов, и автоматизированного принятия решений в реальном времени. Эти встраиваемые системы используются в автоматизации производственных процессов, управлении роботами, автономных транспортных средствах, безопасности и умном доме. Рассмотрим, какие микроконтроллеры и камеры используются для реализации таких решений.

Цель работы — анализ микроконтроллеров и камер, подходящих для создания встраиваемых систем компьютерного зрения, с учетом их технических характеристик, производительности, совместимости и области применения. На основании этого анализа можно определить наиболее оптимальные решения для создания эффективных, энергоэкономичных и функциональных систем компьютерного зрения в условиях ограниченных ресурсов.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

– выявить основные требования к оборудованию для встраиваемых систем компьютерного зрения;

– провести анализ существующих микроконтроллеров, используемых в системах компьютерного зрения;

– выделить доступные модели камер;

– определить оптимальные сочетания микроконтроллеров и камер.

Чтобы создать систему компьютерного зрения на базе микроконтроллера, нужно учитывать ряд параметров:

– производительность микроконтроллера: чем выше производительность, тем больше данных можно обрабатывать в реальном времени;

– поддержка нейросетевых моделей: некоторые микроконтроллеры поддерживают библиотеки машинного обучения и нейросетевые фреймворки;

– энергоэффективность: для портативных устройств важно обеспечить оптимальный баланс между производительностью и энергопотреблением;

– поддержка интерфейсов камер: микроконтроллер должен иметь возможность подключения различных типов камер;

– наличие памяти: обработка изображений требует значительного объема оперативной и флеш-памяти.

Данные параметры помогут подобрать микроконтроллер, который будет выполнять необходимы функционал [1].

Рассмотрим несколько популярных микроконтроллеров, предназначенных для создания компактных систем компьютерного зрения.

ESP32 — один из самых популярных микроконтроллеров благодаря низкой стоимости и наличию встроенных Wi-Fi и Bluetooth [2].

Характеристики:

– процессор: двухъядерный до 240 МГц;

– память: 520 КБ SRAM, до 4 МБ флеш;

– поддержка камер: интерфейс для подключения внешних камер через интерфейс DVP;

– библиотеки: ESP32-CAM поддерживает библиотеку ESP-WHO для компьютерного зрения;

– применение: мониторинг, обнаружение лиц и объектов, IoT-камеры.

STM32 от STMicroelectronics — это семейство микроконтроллеров на базе архитектуры ARM Cortex, которое предлагает широкий диапазон моделей с различной производительностью и энергоэффективностью [3].

Характеристики**:**

– процессор: от Cortex-M0 до Cortex-M7;

– память: от 32 КБ до 1 МБ флеш;

– поддержка камер: интерфейс DCMI, который позволяет подключать камеры;

– библиотеки: поддержка OpenMV IDE для работы с компьютерным зрением;

– применение: системы безопасности, промышленные роботы, умный дом.

Raspberry Pi Pico оснащен микроконтроллером RP2040, может быть основой для простых задач компьютерного зрения с использованием дополнительных модулей [4].

Характеристики:

– процессор: двухъядерный ARM Cortex-M0+ с тактовой частотой 133 МГц;

– память: 264 КБ SRAM, без встроенной флеш-памяти (нужен внешний накопитель);

– поддержка камер: с внешними камерами через GPIO;

– библиотеки: возможность подключения к внешним устройствам, поддерживающим CV, как OpenMV;

– применение: простые системы безопасности, DIY проекты, обработка базовых изображений.

Nvidia Jetson Nano — это полноценный модуль для выполнения задач компьютерного зрения и глубокого обучения. Он сочетает в себе графический процессор и процессор ARM.

Характеристики:

– процессор: ARM Cortex-A57, 4 ядра;

– графический процессор: 128 ядер NVIDIA Maxwell;

— память: 4 ГБ LPDDR4;

– поддержка камер: CSI камеры и USB камеры;

– библиотеки: поддержка фреймворков PyTorch, TensorFlow и OpenCV;

– применение: сложные задачи компьютерного зрения, роботы, дроны, автопилотируемые машины.

При выборе камеры для встроенных систем компьютерного зрения также нужно учитывать ряд факторов: разрешение, поддержка интерфейсов, частота кадров и чувствительность к свету.

OV7670 — это недорогая VGA-камера с разрешением 640x480, часто используемая в проектах с микроконтроллерами. Ее основными преимуществами являются:

– компактность и простота подключения;

– поддержка интерфейса DVP;

– применяется в простых задачах CV, как обнаружение объектов и распознавание форм;

– особенности: низкое разрешение, подходит для базовых проектов.

OV2640 — популярная камера с разрешением до 2 МП. Подходит для использования с ESP32-CAM:

– поддерживает интерфейсы DVP, SPI;

– применяется в системах видеонаблюдения, распознавания лиц, IoT устройства;

– особенности: хорошее соотношение цены и качества.

Arducam предлагает широкий спектр камер для встраиваемых систем и поддерживает различные интерфейсы, такие как USB, SPI, и CSI:

— разрешение: от VGA до 16 МП;

_ интерфейсы: поддержка CSI, USB, SPI, совместимость с Raspberry Pi, Nvidia Jetson и Arduino;

– применяется в сложных задачах CV, мониторинг, научные исследования;

– особенности: высокая универсальность и широкий ассортимент камер для различных задач.

Raspberry Pi предлагает несколько моделей камер, оптимизированных для работы с Raspberry Pi и Jetson Nano. Модули доступны в версиях с разрешением от 8 до 12 МП:

– поддерживает интерфейс CSI;

– применяется в системах мониторинга, IoT, распознавании объектов;

– особенности: высокая совместимость и хорошее качество изображения.

При создании встраиваемых систем компьютерного зрения важно подобрать оборудование так, чтобы оно максимально соответствовало поставленным задачам по производительности, энергопотреблению и стоимости.

ESP32-CAM — это компактный и доступный модуль, сочетающий в себе микроконтроллер ESP32 и камеру OV2640. Он уже имеет встроенную поддержку Wi-Fi и может выполнять базовые задачи компьютерного зрения, такие как распознавание лиц, обнаружение объектов и видеопередача по сети.

Микроконтроллеры STM32, такие как STM32F4 или STM32F7, в сочетании с камерой OV7670 представляют собой решение с минимальными затратами для базовых задач компьютерного зрения. Камера OV7670 имеет невысокое разрешение (640x480), но достаточное для детектирования простых объектов и распознавания форм.

Raspberry Pi Pico, хотя и не оснащен встроенными средствами для работы с камерами, может использоваться с Arducam Mini 2MP, которая подключается через интерфейс SPI. Это бюджетное решение для простых задач CV и DIY-проектов, где требуется базовое распознавание объектов и простая обработка изображений.

Комбинация Nvidia Jetson Nano и камеры Raspberry Pi Camera Module (например, V2 с разрешением 8 МП) подходит для создания высокопроизводительных систем компьютерного зрения, которые могут обрабатывать сложные задачи, включая классификацию объектов и использование нейросетей для детального анализа.

Для задач, где требуется большее разрешение изображения, чем может обеспечить OV7670, можно использовать STM32 с одной из более продвинутых моделей камер Arducam. Камеры Arducam предлагают разрешения от 2 до 16 МП и поддерживают различные интерфейсы, включая USB и CSI, что позволяет подобрать оптимальную конфигурацию.

ESP32-CAM подходит для бюджетных приложений с базовыми возможностями CV, тогда как Jetson Nano с камерой Raspberry Pi предлагает высокую производительность для сложных задач машинного обучения. Для задач среднего уровня можно использовать комбинации STM32 и Arducam, а для экспериментов и небольших проектов подойдут решения на базе Raspberry Pi Pico.

Литература

[1] Евстраткин К.С., Султанова А.Р., Ерпелев А.В. OpenCV. Варианты использования компьютерного зрения. *Цифровые технологии: наука, образование, инновации. III Междунар. науч. форум профессорско-преподавательского состава и молодых ученых: сб. матер*. Москва, РГСУ, 2021, с. 28–31.

[2] Бобылкин И.С., Куземкин А.А., Иванов А.В., Ямпольский Д.А., Туркеев А.Д. Система идентификации личности человека на базе модуля ESP32-CAM. *Радиолокация, навигация,*

связь. XXIX Междунар. науч.-техн. конф., посв. 70-летию кафедры радиофизики ВГУ: сб. тр. Воронеж, ВГУ, 2023, т. 1, с. 337–343.

[3] Конченков В.И., Скакунов В.Н. *Семейство микроконтроллеров STM32. Программирование и применение*. Волгоград, ВГУ, 2015, 78 с.

[4] Брыжинский К.А., Никулин В.В. Исследование возможностей микрокомпьютера Raspberry Pi. *XLV Огаревские чтения: материалы конф*. Саранск, МГУ им. Н.П. Огарева, 2017, ч. 1, с. 644–648.

Review of microcontrollers and cameras for creating embedded computer vision systems

Vershinin E.V. vershinin@bmstu.ru

Polyakov Y.A. polyakovyaa@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article presents an overview of microcontrollers and cameras used to create embedded computer vision systems. The main requirements for such systems, as well as the features of popular camera microcontrollers, are considered. Based on the analysis, optimal combinations of equipment for various computer vision tasks are identified: from budget solutions for basic functions to high-performance modules for complex tasks. The work contains recommendations on the selection of components for the efficient construction of embedded systems, taking into account their performance, cost and power consumption.

***Keywords**: computer vision, microcontrollers, cameras, ESP32, STM32, Raspberry Pi Pico, Nvidia Jetson Nano, OV7670, OV2640, Arducam, Raspberry Pi Camera Module*

УДК 004.855.5

Обзор методов выявления характерных кадров из видеозаписи футбольного матча

Вершинин Евгений Владимирович vershinin@bmstu.ru
Сафин Павел Римович spr20ki167@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Исследование посвящено методу автоматизированного отбора ключевых кадров из видеозаписей футбольных матчей с использованием искусственного интеллекта. Рассмотрены современные подходы и архитектуры нейронных сетей, включая CNN, LSTM и трансформеры, которые позволяют эффективно выявлять моменты, представляющие интерес для зрителей, такие как голы, атаки и фолы. Освещены этапы предварительной обработки и постобработки данных, повышающие точность и скорость анализа. Представленный метод позволяет автоматически генерировать нарезки лучших моментов, сокращая время на анализ и улучшая восприятие зрителями спортивных событий.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, спортивное видео, нейронные сети, компьютерное зрение, CNN, трансформеры*

С развитием технологий и популяризацией спортивных мероприятий наблюдается значительный рост интереса к анализу и обработке видеозаписей спортивных событий, таких как футбольные матчи. Традиционные методы ручного отбора ключевых моментов, таких как голы, опасные моменты и зрелищные атаки, требуют значительных временных и человеческих ресурсов. Это делает задачу выделения удачных кадров для последующего анализа или показа особенно актуальной. Искусственный интеллект (ИИ) предоставляет возможности для автоматизации и оптимизации процесса выбора таких моментов, делая ее более быстрым и точным.

Цель данной статьи заключается в рассмотрении метода автоматизированного выявления удачных кадров во время видеозаписи футбольного матча с использованием ИИ. Будут рассмотрены основные подходы, архитектуры нейронных сетей, методы предварительной обработки данных и ключевые метрики, позволяющие улучшить качество отбора.

Главная задача метода заключается в выявлении кадров, которые представляют интерес с точки зрения зрелищности или ключевых событий: голы, атаки, фолы, спасения вратаря и другие важные моменты. Для достижения этой цели необходимо разработать алгоритм, который может:

– распознавать основные события матча, включая голы, опасные атаки, пенальти и т. д.;

– выделять значимые кадры для каждого события, избегая пропуска важных моментов;

– поддерживать высокую точность и производительность для анализа больших объемов видеозаписей в реальном времени или близи к нему.

Первым шагом является предварительная обработка данных. Необходимо сегментировать видеозапись на короткие отрезки и анализировать каждый кадр или серию кадров. Этот этап включает следующие подзадачи:

– распознавание объектов — выделение футболистов, мяча, ворот и других элементов поля;

– отслеживание объектов — идентификация траекторий движения ключевых объектов (например, игроков и мяча) на протяжении времени;

– распознавание поз — анализ поз игроков, который помогает понять их действия, такие как удары по мячу или защитные маневры.

Для этих задач часто применяют сверточные нейронные сети (CNN) и сети глубокого обучения для задач компьютерного зрения, такие как ResNet, MobileNet или YOLO, которые обеспечивают высокую производительность и точность при идентификации объектов на изображениях [1].

Поскольку футбольный матч представляет собой последовательность действий, важно учитывать временные зависимости между кадрами. Здесь подходят рекуррентные нейронные сети (например, LSTM и GRU), которые способны запоминать и обрабатывать последовательности данных, анализируя контекстное значение каждого кадра [2]. Эти сети можно использовать для анализа последовательностей изображений, выделяя моменты с высокими вероятностями значимых событий. Например, если система фиксирует внезапное движение группы игроков в сторону ворот, а также траекторию мяча, она может оценить вероятность потенциального гола.

Трансформеры, такие как Vision Transformer (ViT), все чаще применяются в анализе спортивных видео [3]. Их способность учитывать контекст на уровне целого события делает их особенно полезными для автоматического выявления ключевых моментов. Трансформеры позволяют быстрее и точнее обрабатывать большие видеоданные, выявляя важные моменты с учетом всех игроков на поле.

Для обеспечения точности выявленных событий применяется пост-обработка, включающая фильтрацию ложных срабатываний и улучшение качества кадров. Пост-обработка позволяет отсекать нерелевантные моменты и оптимизировать выборку, сохраняя только те кадры, которые представляют реальный интерес для зрителей [4].

Для оценки работы алгоритма можно использовать следующие метрики:

– точность (Precision) — отношение правильно отобранных кадров к общему числу отобранных кадров;

– полнота (Recall) — отношение правильно отобранных кадров к общему числу релевантных кадров;

– F1-мера — гармоническое среднее точности и полноты;

– плавность переходов — проверка, чтобы переход между кадрами был естественным и не нарушал целостность восприятия событий.

Метод автоматического выделения удачных кадров позволяет значительно сократить время на анализ видеозаписей и выделение ключевых событий. С помощью ИИ можно:

– автоматически генерировать нарезки лучших моментов для последующих аналитических разборов;

– ускорить процесс создания хайлайтов и обзорных роликов;

– повысить зрелищность и удобство просмотра матчей для болельщиков.

Тестирование предложенного метода на реальных видеозаписях футбольных матчей показало, что использование сверточных нейронных сетей и трансформеров позволяет достичь высокой точности и полноты выявления ключевых моментов [5]. Кроме того, производительность алгоритма позволяет работать с видео в реальном времени, что открывает перспективы для использования метода в прямых трансляциях.

Таким образом, использование искусственного интеллекта для автоматизированного отбора удачных кадров в видеозаписях футбольных матчей позволяет упростить и ускорить процесс анализа спортивных событий. Применение методов компьютерного зрения, нейронных сетей и трансформеров помогает эффективно выделять значимые моменты, что делает просмотр спортивных событий более увлекательным для зрителей.

Литература

[1] Скрипальщиков И.И. Анализ алгоритмов компьютерного зрения обнаружения движения. *Студ. науч.-техн. конф., посв. 100-летию отечественной гражданской авиации: сб. докл.* Москва, ИД Академии Н.Е. Жуковского, 2023, с. 82–86.

[2] Анисимовский В.В., Пенкин М.А., Дорохов Е.А., Груздев А.М., Завалишин С.С., Курилин И.В. Слепое устранение размытия изображения с использованием многозадачной сверточной нейронной сети и пространственно-вариативной рекуррентной нейронной сети. *ГрафиКон. Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению: сб. тр.* Москва, ФИЦ Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2023, № 33, с. 455–462.

[3] Князь В.В., Мизгинов В.А. DiNoNAT: исследование самостоятельного обучения нейронных сетей с использованием трансформеров и механизмов локального внимания. *Моделирование авиационных систем. V Всерос. науч.-техн. конф.: сб. тез. докл.* Москва, Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2023, с. 322–323.

[4] Садовая А.С. Графическая пост-обработка изображений. *Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна*, 2020, № 4, с. 51–55.

[5] Дудин Э.С., Понкратов Е.С. Оценка производительности предобученных сверточных нейронных сетей для задач классификации изображений. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики. IX Междунар. науч.-практ. конф., посв. Дню космонавтики: сб. материалов.* Красноярск, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, 2023, с. 166–168.

Review of methods for identifying characteristic framework from a video recording of a football match

Vershinin E.V. vershinin@bmstu.ru
Safin P.R. spr20ki167@student.bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This study is devoted to the method of automated keyframe extraction from football video recordings using artificial intelligence. The paper considers modern approaches and neural network architectures, including CNN, LSTM and transformers, which allow to effectively identify moments of interest to viewers, such as goals, attacks and fouls. It also covers the stages of data pre-processing and post-processing, which increase the accuracy and speed of analysis. The presented method allows to automatically generate highlights, reducing the time for analysis and improving the perception of sports events by viewers.

Keywords: *artificial intelligence, sports video, neural networks, computer vision, CNN, transformers*

УДК 004.4

Кеширование и его реализация с использованием Redis в современных серверных приложениях

Мутовин Никита Сергеевич n-mutovin2003@mail.ru
Борсук Наталья Александровна borsuk@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены принципы кеширования и роль Redis в повышении производительности серверных приложений. Описаны преимущества использования Redis как высокоскоростного хранилища данных в оперативной памяти для обработки задач с высокой нагрузкой, минимизации задержек и улучшения масштабируемости. Рассмотрены механизмы долговременного хранения данных (снимки RDB и журналы AOF), репликации для обеспечения высокой доступности, а также использование Redis Sentinel и Redis Cluster для отказоустойчивости и распределенной работы. Подчеркнута актуальность Redis в современных серверных приложениях, требующих высокой эффективности и надежности.

Ключевые слова: *кеширование, Redis, серверные приложения, высокая доступность, отказоустойчивость, масштабируемость, оперативная память, долговременное хранение данных, RDB, AOF, Redis Sentinel, Redis Cluster, репликация, производительность*

При решении поставленной задачи разработки сервиса для взаимодействия с подрядчиками необходимо реализовать приложение, обеспечивающее эффективное и надежное взаимодействие между заказчиком и подрядчиками.

Взаимодействие заключается в постановке задач различного рода со стороны заказчика, в поиске путей решения данных задач и их реализации с точки зрения исполнителя. Сервис должен позволять подрядчикам (исполнителям) получать задачи, оставлять отклики, предоставлять отчетность и участвовать в обсуждениях. Кроме того, необходимо интегрировать сервис с другими внутренними и внешними системами для обмена данными о задачах, статусах выполнения и сроках. Также важным аспектом является обработка данных в реальном времени, чтобы все участники могли своевременно получать актуальную информацию.

Кеширование в контексте такого сервиса необходимо по нескольким причинам. Во-первых, оно помогает снизить нагрузку на основной сервер базы данных, так как часто запрашиваемые данные могут храниться в быстром доступе, что ускоряет обработку запросов. Во-вторых, кеширование важно для обеспечения отказоустойчивости системы. Если основной сервер или база данных выходит из строя, кешированные данные могут быть использованы для предоставления резервной информации пользователям. Это позволяет сервису продолжать работу без значительных перебоев, используя актуальные данные, такие как статусы задач или список подрядчиков, которые могут быть извлечены из кеша.

Основная цель кеша — ускорение доступа к данным за счет их хранения на устройствах с высокой скоростью. Данные, сохраненные в кеше, доступны быстрее, чем те, что находятся на дисках, что особенно важно для данных, часто используемых в приложениях. Кеширование повышает производительность, снижает нагрузку на сервер и оптимизирует пропускную способность, а также улучшает взаимодействие с пользователем и повышает доступность системы даже при высокой нагрузке. Хранение данных в памяти также позволяет минимизировать запросы к базовым хранилищам и поддерживать скорость отклика [1].

Кеширование запросов к базе данных позволяет хранить результаты запросов временно, снижая нагрузку на сервер. Для поддержания актуальности кеша важно задавать политику удаления данных, используя срок действия и алгоритмы вытеснения, такие как LRU и LFU. Это позволяет определять, какие записи удаляются при переполнении кеша. Методы управления кешем включают установку срока действия и тегирование, что позволяет избирательно удалять устаревшие данные.

Системы кеширования, работающие в оперативной памяти, такие как Redis и Memcached, позволяют хранить часто запрашиваемые данные, включая результаты запросов к базе данных или ответы API, что значительно сокращает задержки при выполнении запросов. Хранение данных в оперативной памяти уменьшает необходимость повторных обращений к основным базам и увеличивает скорость обработки запросов [2].

Redis, ориентированный на скорость доступа и гибкость, представляет собой серверную базу данных, поддерживающую различные структуры данных, такие как строки, списки, множества и хеши, что делает его особенно удобным для временного хранения данных и потоковой обработки. Обычно Redis используется для кеширования данных, редко изменяемых, но часто запрашиваемых, например, сеансов пользователей и аналитических данных панелей управления. Благодаря поддержке высокого уровня доступности и плагинов Redis может использоваться как основная база данных в некоторых сценариях с высокой нагрузкой.

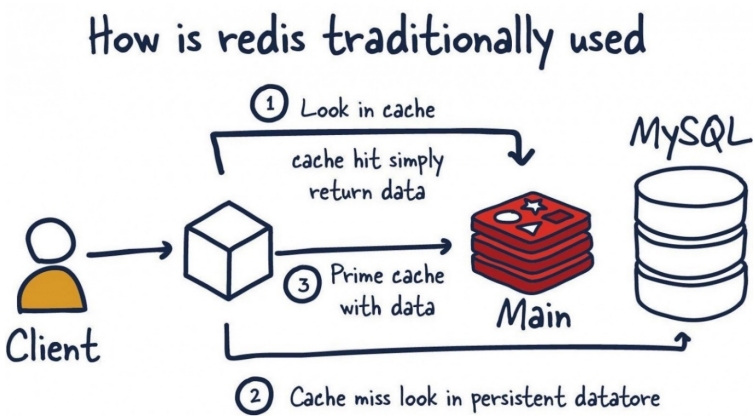
Redis эффективно сочетает функции кеша и хранилища данных, позволяя получать данные из памяти быстрее, чем с жестких дисков или SSD. Это делает его полезным решением для приложений, требующих высокой производительности и надежности хранения данных.

Изначально Redis чаще всего сравнивали с Memcached, с системой, в которой тогда не было и намека на долговременное хранение данных.

Главные различия между ним и Redis заключаются в том, что в Memcached имеется меньше типов данных, и в ограничениях, связанных с политикой вытеснения ключей. Memcached поддерживает лишь политику LRU (Least Recently Used), когда первыми вытесняются данные, которые не использовались дольше всех [3].

Еще одно отличие этих хранилищ заключается в том, что Redis — это однопоточная система, а Memcached — многопоточная. Memcached может

показывать отличные результаты производительности в ограниченных окружениях кеширования. А при использовании этой системы в распределенном кластере нужны дополнительные настройки. Redis же поддерживает подобные сценарии работы сразу после установки [3].



Структура приложения с использованием Redis — в тексте нет ссылки на рисунок

Наиболее простой вариант использования Redis предполагает развертывание одного экземпляра системы, обеспечивающего доступное хранилище для ускорения работы приложений. Однако такой подход имеет недостатки: при сбое экземпляра все обращения к Redis становятся невозможными, что снижает производительность всей системы. При достаточном объеме памяти и серверных ресурсов экземпляр Redis может стать мощным решением для кеширования, обеспечивая значительный прирост производительности с минимальными затратами на настройку, даже если Redis размещен на той же машине, что и основное приложение.

Создание стабильной работы Redis требует понимания управления данными и механизмов хранения. Обработка запросов происходит из памяти, а при включенном постоянном хранении система создает резервные копии в формате RDB (снимки) или с использованием AOF (журнал команд), что поддерживает различные стратегии репликации и сложные топологии. При сбое системы и отсутствии активированного хранения данные теряются, в то время как включенное хранение позволяет восстановить их из RDB или AOF, обеспечивая готовность системы к новым запросам.

Конфигурация с ведущим и подчиненными узлами, где главный узел синхронизирует данные с подчиненными, повышает надежность и доступность за счет репликации. Главный узел имеет уникальный идентификатор и смещение репликации, что помогает отслеживать синхронизацию. В случае расхождения идентификаторов узлов возможна полная или частичная синхронизация данных. Если предыдущий идентификатор известен, частичная синхронизация позволяет минимизировать ресурсные затраты.

Redis Sentinel обеспечивает высокую доступность, мониторинг и автоматическое восстановление после сбоев, устраняя единую точку отказа с использованием кворума для принятия решений. Redis Cluster поддерживает горизонтальное масштабирование, распределяя нагрузку между узлами и сегментируя данные по хеш-слотам, что упрощает расширение и перераспределение данных.

При горизонтальном масштабировании нагрузка распределяется между множеством узлов, обеспечивая обработку больших объемов данных. Redis Cluster позволяет перераспределять только хеш-слоты при добавлении новых узлов, минимизируя влияние на доступность. Sentinel и Cluster делают Redis устойчивым и масштабируемым решением для высоконагруженных приложений, сочетая отказоустойчивость и производительность.

Таким образом, выше описывается целесообразность использования кеширования при реализации задачи создания сервиса для взаимодействия с подрядчиками различного рода работ. Это позволит обеспечить отказоустойчивость разрабатываемой системы и повысить производительность.

Литература

[1] Таненбаум А.С., Стин М. *Распределенные системы: Принципы и парадигмы*. Москва, Питер, 2007.

[2] Kleppmann M. *Designing data-intensive applications: the big ideas behind reliable, scalable, and maintainable systems*. Sebastopol, CA, O'Reilly Media, 2017.

[3] Binstock A. *Caching: a primer*. San Francisco, CA, Practica Press, 2015.

[4] Chen K., Li J. Cache Performance in Web Applications. *Journal of Web Engineering*, 2018, no. 17 (4), pp. 345–360.

[5] *Redis. IO. Documents.* URL: https://redis.io/docs/latest/ (дата обращения 14.11.2024).

Caching and its implementation using redis in modern server applications

Mutovin N.S. n-mutovin2003@mail.ru

Borsuk N.A. borsuk@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

This article explores caching principles and the advantages of storing frequently accessed data for improved system efficiency. It discusses server-side caching with Redis and highlights its in-memory structure's benefits. Additionally, it covers Redis Sentinel and Redis Cluster's replication and high availability features, which enable resilience and scalability. Methods for persistent data storage in Redis, including RDB and AOF, are also reviewed, providing a balance between speed and reliability, making Redis suitable for various applications, from caching to distributed data storage.

Keywords: *caching, Redis, server applications, in-memory storage, data persistence, high availability, replication, Redis Sentinel, Redis Cluster, scalability, fault tolerance, RDB snapshots, AOF logs, modern server architecture*

УДК 004.89

Оптимизация средства поиска XSS-уязвимостей с помощью LSTM модели

Мицих Владислав Павлович mitsikhvp@student.bmstu.ru
Вершинин Евгений Владимирович vershinin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Проанализирована проблема повышения безопасности веб-систем от межсайтового скриптинга (XSS) посредством внедрения интеллектуальной системы на основе нейронных сетей в программное средство. Исследованы три стратегических направления: оптимизация обхода веб-сайтов, автоматическое классификация XSS-уязвимостей, а также фильтрация ложных срабатываний. Описываются сложности, связанные с разработкой таких систем. Приведены результаты обучения нейронной сети LSTM.

Ключевые слова: *XSS, уязвимости, LSTM, искусственный интеллект, нейронные сети*

Современные веб-системы становятся все более сложными и уязвимыми для атак, одной из которых является межсайтовый скриптинг (XSS). Одним из решений обеспечения безопасности интернет-ресурсов является разработка интеллектуальной системы, которая способна эффективно выявлять подобные уязвимости. Однако традиционные методы выявления уязвимостей подвержены ложным срабатываниям, требуют значительных ресурсов на сканирование сайтов, а также не всегда способны точно классифицировать эти угрозы.

В исследовании рассмотрен вопрос выбора направления для обучения нейронной сети для ее дальнейшей интеграции в систему. Были выбраны три направления: оптимизация процесса обхода веб-сайтов; автоматическая классификация найденных уязвимостей; фильтрация ложных срабатываний.

Эти направления рассматриваются с точки зрения актуальности применения, а также сложности выполнения и возможности интеграции в систему автоматизированной программы, по поиску XSS-уязвимостей в веб-приложениях.

Оптимизация обхода веб-сайтов направлена на то, чтобы уменьшить объем данных, которые необходимо сканировать, и сосредоточить внимание на наиболее вероятных местах возникновения уязвимостей. Это означает более быстрый и эффективный процесс сканирования веб-сайтов, с акцентом на анализ тех частей сайта, где вероятность XSS-уязвимостей наиболее высока [1]. Если система будет обходить веб-сайты более избирательно и сфокусируется на критически важных местах таких, как формы ввода данных, страницы с динамическим контентом, то сканирование станет более быстрым и точным.

Сложность заключается в создании алгоритмов, которые смогут эффективно предсказывать, какие части сайта содержат потенциальные уязвимости.

Для этого требуется анализ большого количества данных и выявление закономерностей.

Классификация основных XSS-уязвимостей на такие типы, как отраженные (Reflected), хранимые (Stored) и DOM-модели (DOM-based), может помочь более эффективно устранять проблемы безопасности [2]. Автоматическая классификация позволит быстро определить, какой тип атаки был выявлен, что поможет разработчикам быстрее реагировать на угрозы и устранять уязвимости.

Для успешного обучения модели, способной классифицировать вышеперечисленные уязвимости, необходим тщательно структурированный датасет, включающий разнообразные данные о веб-запросах, ответах, элементах HTML/JavaScript, а также информацию о типе уязвимости.

В датасете должна содержаться полезная нагрузка, которая отправляется через форму, URL или другой ввод данных для атаки. Эти данные могут включать скрипты на JavaScript, HTML-теги или комбинации из них [3].

Примеры:

<script>alert('XSS')</script> — классический пример Reflected;

<img src=x onerror=alert(1)> — может использоваться как Stored;

document.write() или innerHTML — примеры DOM-based, которые не зависят от серверного ответа.

Это основная часть, по которой модель должна учиться распознавать потенциальные атаки. Также она должна различать типы атак, основываясь на том, как вредоносный код внедряется в веб-страницу или отправляется серверу.

Основная трудность заключается в сложной природе XSS-атак. Некоторые уязвимости могут не попадать в одну четкую категорию и иметь признаки нескольких типов. Кроме того, для обучения модели потребуется значительный объем данных с точной разметкой.

В веб-приложениях ложные срабатывания затрудняют работу специалистов по безопасности, так как каждый ложный сигнал требует проверки. Это относится к ситуациям, когда система безопасности сообщает об угрозе, которой на самом деле не существует. В контексте XSS-уязвимостей, ложные срабатывания могут быть связаны с безопасным кодом, который система по ошибке определяет как вредоносный [4].

Основная сложность фильтрации ложных срабатываний заключается в нахождении баланса между выявлением реальных угроз и избеганием ошибок. Для этой задачи необходимо обучить модель на большом объеме данных с точно размеченными примерами безопасного и вредоносного кода.

Для выполнения этой задачи был найден размеченный датасет. Под него была создана и обучена нейронная сеть на основе двунаправленных LSTM слоев. Набор данных содержит полезную нагрузку, которая отмечена, как «1» в конце строки и безопасный код с индексом «0» в таком виде:

35,"
Nilsson 1998 , chpt. 8 ",0

36,<colgroup onblur=alert(1) tabindex=1 id=x></colgroup><input autofocus

37,"<style>@keyframes x{}</style><main style=""animation-name:x"" onanimation-start=""alert(1)""></main>",1

38,"<article draggable=""true"" ondrag=""alert(1)"">test</article>",1

39,"
Computational physics ",0

Результаты обучения на 7 эпохе из 10 возможных получились следующими: accuracy: 1.0000 — точность на обучении достигла 100 %, что означает, что модель классифицировала все обучающие примеры правильно; loss: 1.9785e-04 — потери на обучении снизились до очень малого значения 1.9785×10^−4, что указывает на то, что модель почти идеально подстроилась под обучающие данные; val_accuracy: 0.9982 — точность на валидационных данных составила 99,82 %, что также очень высоко и свидетельствует о хорошей обобщающей способности модели; val_loss: 0.0089 — потери на валидации составляют 0.0089.

Модель остановила обучение на 7-й эпохе из-за использования метода ранней остановки, потому что валидационные потери перестали улучшаться на протяжении трех эпох подряд. Это помогло избежать переобучения и сохранить лучшие параметры модели, достигнутые на 4-й эпохе, когда валидационные потери были минимальными.

График точности (рис. 1) отображает изменение точности на обучающих и валидационных данных по эпохам. График потерь (рис. 2) отображает потери на обучающих и валидационных данных по эпохам. Оба графика показывают хорошее качество модели и стабильность обучения.

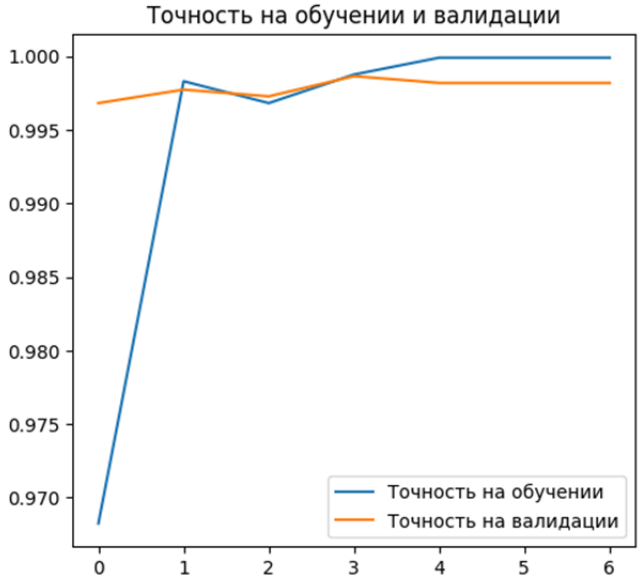


Рис. 1. График точности

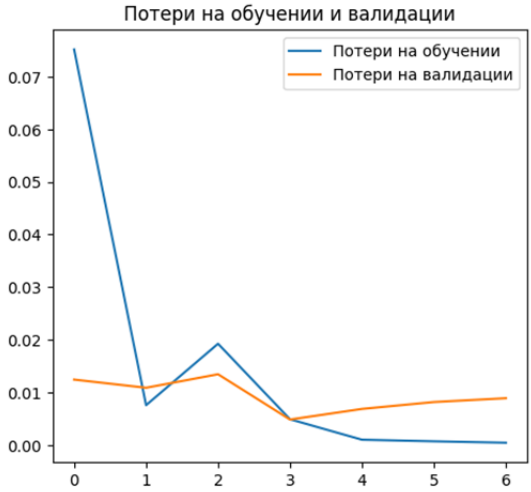


Рис. 2. График потерь

После окончания обучения модель оценивается на тестовом наборе данных, где точность составила 99,75 % (0.9974433779716492).

Из предложенных направлений наиболее целесообразным для интеграции в систему является «фильтрация ложных срабатываний». Это направление позволяет улучшить точность системы безопасности, так как снижение количества ложных срабатываний высвобождает ресурсы специалистов, уменьшая необходимость в ручной проверке несуществующих угроз. В отличие от других подходов, оно не требует существенного расширения текущего датасета, поскольку уже имеющиеся данные достаточны для обучения модели, способной фильтровать ложные сигналы. Кроме того, процесс внедрения модели фильтрации ложных срабатываний будет проще и менее затратен, что сокращает время до развертывания и снижает общие эксплуатационные расходы.

Литература

[1] Крылов И.Д. Эффективные способы обнаружения и предотвращения XSS-уязвимостей сайтов. *StudNet*, 2021, т. 4, № 2, 19 с.

[2] Рычкова А.А. Защита веб-приложений на основе детектирования XSS-уязвимостей. Современные научно-исследовательские и технологические аспекты программной инженерии. Всерос. науч.-техн. конф.: материалы. Оренбур, ОГУ, 2023, с. 218–221.

[3] Азарнова Т.В., Полухин П.В. *Обнаружение и анализ уязвимостей межсайтового скриптинга (XSS) современных интернет-приложений*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614976 РФ, 2016.

[4] Горбунов А.А., Столяров Д.О., Белянин В.И. Методы защиты сайтов от XSS уязвимостей. Фундаментально-прикладные проблемы безопасности, живучести, надежности, устойчивости и эффективности систем. II Междунар. науч.-практ. конф., посв. 105-летию со дня рождения адмирала флота СССР дважды героя Советского Союза С.Г. Горшкова: материалы. Елец, ЕГУ им. И.А. Бунина, 2018, с. 133–135.

Optimizing a tool for finding XSS vulnerabilities using the LSTM model

Mitsikh V.P. **mitsikhvp@student.bmstu.ru**
Vershinin E.V. **vershinin@bmstu.ru**

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The article analyzes the problem of improving the security of web systems from cross-site scripting (XSS) through the introduction of an intelligent system based on neural networks into a software tool. Three strategic directions are being explored: optimization of website crawling, automatic classification of XSS vulnerabilities, and filtering of false positives. The difficulties associated with the development of such systems are described. The paper also presents the results of training the LSTM neural network.

Keywords: *XSS, vulnerabilities, LSTM, artificial intelligence, neural networks*

УДК 004.932.4

Механизм инпейтинга для реконструкции изображений в условиях частичной утраты данных

Колосов Максим Игоревич mgtumax@yandex.ru
SPIN-код: 3474-5668

Дерюгина Елена Олеговна syvorova_eo@mail.ru
SPIN-код: 4241-3070

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Проанализирован механизм инпейнтинга (англ. inpainting) как эффективный метод восстановления данных в условиях частичной утраты информации. Инпейнтинг используется для заполнения пропусков в изображениях, что позволяет восстанавливать детали, учитывая текстуры, формы и цветовые структуры окружающих областей. Рассмотрены основные принципы и подходы, лежащие в основе инпейнтинга, а также демонстрируется процесс восстановления на конкретных примерах. Проанализированы преимущества и недостатки данного метода, а также его влияние на качество восстановления данных.

Ключевые слова: *инпейнтинг, реконструкция данных, восстановление информации, пропущенные области, глубокое обучение, нейронные сети*

Современные методы обработки изображений играют важную роль в решении задач восстановления визуальной информации, особенно в условиях, когда часть данных была утрачена или повреждена. В таких случаях широко применяется инпейнтинг (англ. inpainting) — процесс заполнения пропусков в изображениях, позволяющий восстанавливать утраченные или скрытые области на основе анализа доступного контекста [1]. Этот метод нашел применение в самых разных областях, включая реставрацию цифровых изображений, улучшение качества фотографий, восстановление старых документов и изображений, а также в области компьютерного зрения, где он помогает восстанавливать данные для дальнейшего анализа и распознавания. Применение инпейнтинга также позволяет улучшить качество снимков, сделанных в сложных условиях, таких как плохое освещение, погодные влияния или наличие посторонних объектов.

Цель работы — изучить механизм инпейнтинга как процесс восстановления данных в условиях частичной утраты информации, акцентируя внимание на его практическом применении для восстановления изображений с использованием нейросетевых методов. Для этого необходимо описать механизм инпейтинга, продемонстрировать процесс восстановления изображений с применением данного механизма, проанализировать преимущества и недостатки, а также определить возможные области применения механизма на практике.

Инпейнтинг (англ. *inpainting*) — процесс реконструкции недостающих областей цифрового изображения, направленный на восполнение утраченных

данных таким образом, чтобы восстановленная область была визуально неотличима от оригинала, обеспечивая непрерывность текстур, градиентов и структур. Инпейнтинг основывается на использовании доступных данных для восстановления пропущенных участков изображения. Модель обучается на больших объемах данных, извлекая закономерности из визуальной информации [2]. В процессе обучения алгоритм анализирует множество изображений, что позволяет ему понимать, как должны выглядеть определенные участки на основе окружающего контекста. Это позволяет строить гипотезы о том, как можно заполнить пропуски на изображении, создавая визуально правдоподобные и согласованные с окружающими пикселями фрагменты.

Исторически методы инпейтинга зародились в контексте реставрации произведений искусства, где художники использовали техники, позволяющие восполнить утраченные или поврежденные фрагменты картин. С появлением цифровых технологий эти принципы были адаптированы к обработке изображений в виде алгоритмов, которые выполняют схожие задачи в цифровом пространстве. Первые подходы к инпейнтингу были основаны на простых детерминированных методах, которые постепенно распространяли пиксели из окружающих областей на утраченные части.

Инпейнтинг находит широкое применение в различных областях, где требуется восстановление визуальной информации в условиях утраты части данных. Одной из ключевых областей является реставрация изображений и произведений искусства. В процессе восстановления старинных картин и фотографий часто встречаются поврежденные или утраченные фрагменты, такие как трещины, потертости, пятна или даже полностью исчезнувшие области (рис. 1). Использование инпейнтинга в таких случаях позволяет восстанавливать утраченные части изображения, сохраняя его визуальную целостность и оригинальные текстуры. Это особенно актуально в музеях и архивах, где требуется сохранить культурное наследие в максимально аутентичном виде.

Кроме того, инпейнтинг широко применяется для улучшения качества изображений, особенно в цифровой фотографии и видеопроизводстве [3]. В таких задачах инпейнтинг используется для удаления нежелательных объектов (например, царапин, шума, водяных знаков или посторонних предметов), что позволяет повысить общее качество изображения и сделать его более чистым и привлекательным. Благодаря этому фотографы, дизайнеры и видеоредакторы могут улучшать визуальное восприятие кадров без значительных потерь в детализации.

В отличие от классических методов, которые экстраполируют данные в зависимости от ближайших пикселей, инпейнтинг может генерировать вероятные гипотезы о том, как должны выглядеть утраченные области [4]. Это особенно полезно в случаях, когда на изображении отсутствует значительная часть данных. Модель находит схожие сцены или объекты в обучающих данных и на их основе «предсказывает», каким может быть внешний вид пропущенного фрагмента. Например, в задаче восстановления лица алгоритм анализирует симметрию и предсказывает утраченные черты (рис. 2).



а *б*

Рис. 1. Восстановление недостающих фрагментов части картины Пьеро делла Франческа «Царица Савская в поклонении Святому Древу» до (*а*) и после (*б*) применения инпейтинга



а *б*

Рис. 2. Восстановление изображения лица:
а — исходное изображение с отсутствующей частью лица;
б — восстановленное изображение после применения алгоритма инпейнтинга

Современные методы инпейтинга могут использовать информацию из нескольких каналов изображения, таких как цветовые каналы (RGB), а также дополнительные источники данных, такие как глубина или инфракрасные изображения. Это улучшает качество восстановления, особенно когда изображение или сцена были получены в разных условиях [5]. Объединяя данные из различных источников, модель способна генерировать более точные и детализированные результаты.

Одним из важных преимуществ инпейтинга является способность восстанавливать сложные текстуры и детали, такие как шерсть животных, листва

деревьев или мелкие архитектурные элементы. Такие детали трудно восстановить традиционными методами, но алгоритмы инпейтинга могут учитывать сложные закономерности текстур, которые они изучили в процессе обучения. Это позволяет достичь высокой степени визуальной реалистичности при заполнении пропусков.

Литература

[1] Баланов А.Н. *Машинное обучение и искусственный интеллект*. Санкт-Петербург, Лань, 2024, 172 с.

[2] Терк М. *Компьютерное зрение. Передовые методы и глубокое обучение.* Москва, ДМК Пресс, 2022, 690 с.

[3] Thanh D.N., Prasath V.B., Son N.V., Hieu L.M. An adaptive image inpainting method based on the modified Mumford-Shah model and multiscale parameter estimation. *Computer optics*, 2019, no. 2, pp. 251–257.

[4] Кузнецов А.В., Гашников М.В. Ретуширование данных дистанционного зондирования с использованием алгоритмов доопределения изображений в задаче генерирования подделок. *Компьютерная оптика*, 2020, № 5, с. 763–771.

[5] Кокошкин А.В. Ретуширование и восстановление отсутствующих частей изображений с помощью итерационного вычисления их спектров. *Компьютерная оптика*, 2019, № 6, с. 1030–1040.

Inpainting mechanism for image reconstruction under partial data loss conditions

Kolosov M.I. mgtumax@yandex.ru
SPIN-code: 3474-5668

Deryugina E.O. syvorova_eo@mail.ru
SPIN-code: 4241-3070

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The inpainting mechanism is analyzed as an effective method for data restoration under partial information loss conditions. Inpainting is used to fill gaps in images, enabling the recovery of details by considering the textures, shapes, and color structures of surrounding areas. This study examines the fundamental principles and approaches underlying inpainting and demonstrates the restoration process through specific examples. The advantages and disadvantages of this method are analyzed, along with its impact on data reconstruction quality.

Keywords: *inpainting, data reconstruction, information recovery, missing regions, deep learning, neural networks*

УДК 004.4

Особенности внедрения ПО для осуществления платежных переводов

Губарев Павел Петрович gubarevpp@student.bmstu.ru
Вершинин Евгений Владимирович vershinin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Потребность внедрения в банках различных платежных систем (ПС) для переводов физическим лицам обусловлена желанием кредитных организаций расширить географию таких переводов. Все ПС требуют защищенной передачи в них сведений по отправителю, получателю, сумме и валюте перевода, а также стране назначения. Самый простой способ начать взаимодействие с ПС — это воспользоваться официальным сайтом ПС будучи зарегистрированным как банк-партнер. После выполнения всех манипуляций в платежной системе, необходимо перенести все данные о выполненном переводе в автоматизированную банковскую систему (АБС). Разработанное банковское программное обеспечение (ПО) дает возможность выполнять все операции с разными ПС в одном приложении и автоматически отражать их в АБС, исключив необходимость повторного ввода.

Ключевые слова: *внедрение банковского приложения, формат обмена, платежная система, интеграция с платежной системой*

Особенности внедрения у каждой ПС будут отличаться. Сравним такие ПС как «Юнистрим» и «Золотая Корона», имеющие различные подходы к интеграции и взаимодействию.

Платежная система «Юнистрим» дает доступ к своим сервисам посредством определенного набора методов REST API. При этом для каждого отдельно взятого действия (например, выбор списка доступных стран, выбор списка доступных валют у страны перевода, метод калькулятора на основе валютного курса в конкретной стране, метод ввода клиента и так далее) будет описан свой метод. Для создания перевода понадобится последовательно выполнить набор таких действий. Все эти операции осуществляются с использованием формата обмена сообщениями JSON [1].

В случае с платежной системой «Золотая Корона», интеграция осуществляется через четыре интерфейсных метода, которые функционируют в рамках встроенного браузера Internet Explorer (IE), интегрированного в ПО банка. Это такие методы как:

– GC_FindUserInfo — метод, передающий в ПС сведения о текущем исполнителе;

– GC_FindClient — метод, предназначенный для поиска и передачи сведений о клиенте;

– GC_HandleOperation — метод, который отвечает за передачу сведений по операции из интегрированного браузера IE в ПО банка;

– GC_PrintOrders — метод создания бухгалтерских операций для АБС-банка и их печати.

Несмотря на различия в подходах для всех ПС является необходимым метод подписи (подтверждения операции). Это финальный этап в процессе обмена данными и без выполнения этого действия перевод считается не состоявшимся. Реализация методов подтверждения у разных ПС могут различаться, но их основная цель — обеспечить безопасность и целостность транзакций.

Для обеспечения безопасности данных и информационной среды внутри организации необходим был защищенный доступ в интернете. Ранее автоматизированные рабочие места не имели возможности выхода в интернет, и поэтому системными администраторами технического отдела был предоставлен доступ, разрешая взаимодействие через соответствующие порты для каждой системы. Также был организован доступ к сервису стандартизации почтовых адресов согласно ФИАС(ГАР), который ранее отсутствовал. Это необходимо для разбора строки с адресом клиента и корректным занесением его в АБС [2].

Для работы с новым ПО потребовалось обновление компьютерного оборудования. Одним из ключевых требований стало наличие среды .Net 6, которая не поддерживалась устаревшими рабочими местами. Поэтому была проведена модернизация рабочих станций, что позволило установить необходимую программную среду и обеспечить работу системы.

Для полноценного использования программы было необходимо, чтобы каждый сотрудник имел рабочую почту. Это связано с тем, что через почтовые ящики сотрудники получали необходимые оповещения и коды подтверждения для выполнения операций в рамках применяемой двухфакторной аутентификации (2FA).

Новая версия программы требовала дополнительной настройки антивирусного ПО, это включало в себя установку и настройку дополнительных разрешающих правил [3].

При сравнении интеграции с различными платежными системами, как «Юнистрим» и «Золотая Корона», можно выделить ключевые различия и преимущества каждого подхода. Платежная система «Юнистрим», используя REST API и формат обмена JSON, предлагает гибкий способ взаимодействия, который легко адаптировать к изменяющимся требованиям. Это позволяет банкам интегрировать функции без необходимости внесения значительных изменений в архитектуру существующего программного обеспечения. С другой стороны, система «Золотая Корона» опирается на использование встроенного браузера IE и ограниченное количество интерфейсных методов, что делает процесс интеграции менее гибким и требующим поддержки устаревших технологий, таких как IE. Однако такой подход имеет преимущество
в виде меньших затрат времени на подключение к ПС [4].

Таким образом, проанализировав процесс и особенности внедрения программного обеспечения для переводов в рабочий процесс банка можно отме-

тить, что это требует наличия в организации соответствующих требованиям подготовленных рабочих мест, защищенного доступа к сети и улучшения информационной безопасности. Преимущества от использования такой системы значительно превышают затраты необходимые на ее внедрение.

Литература

[1] Воробьев Э.А., Бурмакин А.О., Гохович В.А. Безопасность банковских приложений. *Синергия Наук*, 2020, № 44, с. 390–395.

[2] *Мультиплатформенное банковское универсальное платежно-сервисное приложение.* Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015618565 РФ, 2015.

[3] Гуркова Д.О. Современное состояние и перспективы развития электронных платежных систем в России. *Молодой ученый*, 2020, № 28, с. 241–246. URL: https://moluch.ru/archive/318/72591/ (дата обращения 14.10.2024).

[4] Недогонова Т.А., Иванова Е.А. Разработка бизнес-приложений для автоматизации банковской деятельности: направления развития, инструментальные средства разработки. *Информационное общество: современное состояние и перспективы развития. VIII Междунар. форум: сб. материалов.* Краснодар, КГАУ, 2017, с. 118–120.

Features of the implementation of software for making payment transfers

Gubarev P.P. gubarevpp@student.bmstu.ru

Vershinin E.V. vershinin@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The need to introduce various payment systems (PS) in banks for transfers to individuals is due to the desire of credit institutions to expand the geography of such transfers. All PS require secure transmission of information about the sender, recipient, amount and currency of the transfer, as well as the country of destination. The easiest way to start interacting with the PS is to use the official website of the PS being registered as a partner bank. After performing all manipulations in the payment system, it is necessary to transfer all data about the completed transfer to the automated banking system (ABS). The developed banking software makes it possible to perform all operations with different PS in one application and automatically reflect them in the ABS, eliminating the need for re-entry.

Keywords: *implementation of a banking application, exchange format, payment system, integration with the payment system*

УДК 004.051

Влияние параметров SF, BW и CR на качество сигнала и дальность приема в системах связи LoRa в различных условиях среды

Вершинин Евгений Владимирович[1] vershinin@bmstu.ru
Захаренков Даниил Сергеевич[1,2] zakharenkovds@student.bmstu.ru

[1] *КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия*

[2] *АО «КНИИТМУ», Калуга, Россия*

Представлены исследования влияния коэффициента расширения (SF), полосы пропускания (BW) и скорости кодирования (CR) на качество сигнала и дальность приема в системах связи LoRa (Long Range). Данные были получены в ходе полевых испытаний в различных условиях окружающей среды. Полученные данные представлены и обработаны для изучения их влияния на соотношение сигнал/шум (SNR), индикатор уровня принимаемого сигнала (RSSI), а также потерю пакетов. Данная статья позволяет понять, какое влияние оказывают эти параметры на связь между устройствами LoRa в условиях, когда есть препятствия, такие как леса и городские районы.

Ключевые слова: *spreading factor, Bandwidth, code rate, качество сигнала, дальность приема*

Введение. Технология LoRa является одной из рекомендуемых технологий для построения узкополосных беспроводных сетей связи интернета вещей на территории РФ. Для работы данная технология использует нелицензируемые участки спектра, определяемые и регулирующиеся на основе региональных ограничений (для стран Европы, как правило, это диапазоны 433 и 868 МГц). В России технология LoRa может эксплуатироваться в частотных диапазонах 864-865, 866-868, 868,7-869,2 МГц [1].

Технология LoRa разработана в 2010 г. Эта технология была стандартизирована и дополнена протоколом MAC-уровня, что дало возможность создания сетей — протокола LoRaWAN [2].

LoRaWAN — это открытый протокол для высокоемких сетей с большим радиусом действия и низким энергопотреблением. Такие сети организованы как сеть типа звезда и включает различные классы (A, B и C) узлов для оптимизации компромисса между скоростью доставки информации и сроком работы батареи питания [3].

Для модуляции LoRa ключевыми параметрами являются: полоса пропускания, означающая разницу в минимальной и максимальной частоте сигнала; коэффициент расширения SF — это параметр количества бит, закодированных в один символ сигнала LoRa (обычно обозначают SF с числом значения, например, SF7 или SF=7); скорость кодирования CR, которая задает параметры помехоустойчивого кода [4].

Правильная комбинация данных параметров, позволяет эффективно проектировать связь между устройствами, особенно в условиях наличия физических препятствий, таких как деревья или здания. В данной статье представлены результаты, полученные в ходе полевых испытаний по влиянию SF, BW и CR на прием сигнала, а также изучение их влияния на такие параметры как индикатор уровня принимаемого сигнала (RSSI), соотношение сигнал/шум (SNR) и потеря пакетов.

Используемые параметры и устройства. Полевые испытания проводились на устройстве типа LoRa с использованием в нем модуля LoRa E22-900M30S в различных условиях. Ключевые параметры модуляции в ходе испытаний: SF = 7, BW = 250 кГц и CR = 4/5, при мощности передачи 30 дБм. Как на передающем, так и на принимающем устройстве использовалась комбинация направленных и ненаправленных антенн. Эксперименты проводились на разных расстояниях, при этом на качество сигнала также влияли факторы окружающей среды, такие как деревья, здания и погода.

Результаты и анализ испытаний. Анализ был проведен, исходя из данных, полученных в ходе полевых испытаний проведенных в лесной и городской местностях, полученные данные записаны в таблицу.

Данные полученные в ходе полевых испытаний

Точка испытания (координаты)	Расстояние (км)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Потеря пакетов
54.484187, 36.230136	2,48	–56	4	0
54.473593, 36.235072	4,21	–62	2	0
54.462286, 36.236296	5,43	–85	4	0
54.444182, 36.230105	7,43	–98	–3	40
54.415264, 36.199628	11,05	–97	0	1

Зависимость качества сигнала от расстояния приема. В ходе тестов было обнаружено, что качество сигнала, измеренное с помощью RSSI и SNR, ухудшается с увеличением расстояния. Эксперименты показали значительное снижение качества сигнала за пределами 5 км при наличии препятствий, таких как деревья.

RSSI: Сильные сигналы были обнаружены на расстояниях менее 5 км, при этом значения RSSI варьировались от –55 до –70 дБм. За пределами этого диапазона RSSI значительно снижался, достигая –97 дБм на высоте 8,56 км, и еще больше ухудшался в лесных районах.

SNR: Значения SNR варьировались от 0 до 10 дБ на коротких расстояниях, но опускались ниже 0 дБ на расстояниях более 6 км, особенно в лесистой местности. В крайних случаях были зафиксированы значения SNR –8 дБ.

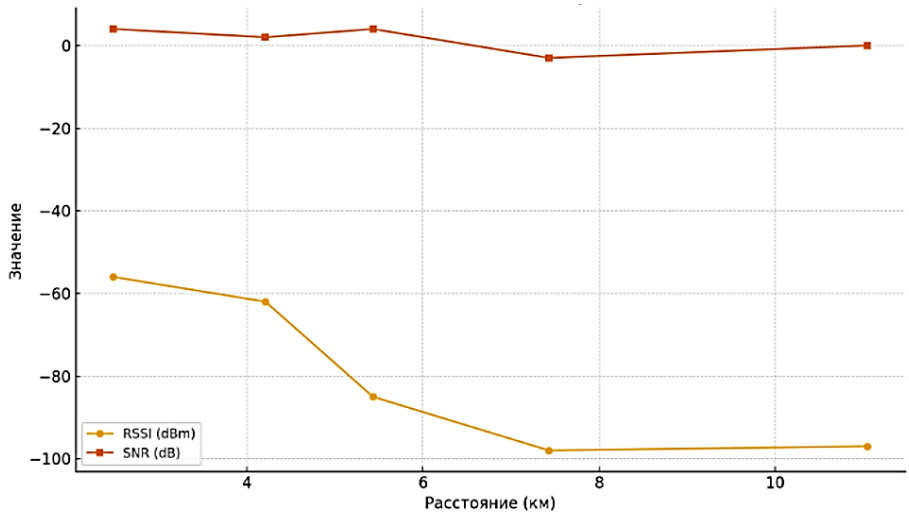
Влияние частот SF, BW и CR на потерю пакетов. Несмотря на стабильные настройки модуляции (SF = 7, BW = 250 кГц, CR = 4/5), эксперимен-

ты показали значительную потерю пакетов на больших расстояниях и в условиях препятствий.

На расстояниях менее 5 км потеря пакетов была незначительной. Однако с увеличением расстояния потеря пакетов стала достаточно заметной, особенно в лесистой местности, где было потеряно более 200 пакетов. В одном случае на расстоянии 6,14 км было потеряно более 40 пакетов, при этом значения RSSI и SNR составили –98 и –3 дБ соответственно.

Влияние факторов окружающей среды. Наличие деревьев, зданий и других препятствий оказывало значительное влияние на качество сигнала. Испытания, проведенные в лесистой местности, показали более высокую частоту потери пакетов и более низкие значения RSSI и SNR. Например, в местоположении, окруженном деревьями, уровень шумоподавления упал до –8 дБ, и прием пакетов стал неустойчивым.

Обобщение результатов исследования. В результате исследования было выявлено, что параметры SF, BW и CR имеют огромное влияние в определении качества сигнала и дальности приема-передачи в сетях LoRa. Хотя более высокий уровень SF увеличивает чувствительность и дальность приема, это приводит к снижению скорости передачи данных. Значения BW и CR также влияют на соотношение между скоростью передачи данных и надежностью. На рисунке видно, что для более высоких SF и более низких может быть применена на больших расстояниях, где потеря пакетов допустима, но надежность может пострадать в условиях плотной окружающей среды, например в лесах. А для городских условий более низкий SF и более высокий BW могут обеспечить лучшее качество при меньших потерях пакетов и более высоких скоростях передачи данных.



Зависимость RSSI и SNR от расстояния

Заключение. В данной статье было исследовано влияние SF, BW и CR на качество сигнала LoRa и дальность его приема-передачи в различных условиях. Хотя технология LoRa и надежна для связи на большие расстояния, помимо основных параметров необходимо также учитывать факторы окружающей среды, такие как деревья и здания, поскольку они существенно влияют на производительность.

Литература

[1] Прасолов А.А., Федоров А.С. Анализ применимости и сравнение известных моделей распространения радиоволн с результатами радиоизмерений технологии LoRa. *Экономика и качество систем связи*, 2024, № 3 (33), с. 40–56.

[2] Валишин Д.Е., Шавалиев И.Ф., Леонтьев Д.С. Lorawan IoT. Обзор IoT технологии LORA для интернета вещей. *V Всерос. науч.-практ. конф.: матер*. Уфа, БГАУ, 2021, с. 10–15.

[3] Болдина В.И., Фролов А.А. Современная сверхузкополосная система передачи данных «на кристалле» LoRa. *Телекоммуникации и информационные технологии*, 2017, т. 4, № 2, с. 5–9.

[4] Коваленко О.Н. Оценка влияния параметров оборудования Lora на эффективную скорость передачи. *Актуальные вопросы современной науки и практики. XV Междунар. науч.-практ. конф.: сб. матер*. Уфа, ООО «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2024, с. 47–50.

Influence of SF, BW and CR parameters on signal quality and reception range in LoRa communication systems

Vershinin E.V. [1] vershinin@bmstu.ru

Zakharenkov D.S. [1,2] zakharenkovds@student.bmstu.ru

[1] *BMSTU (KB), Kaluga, Russia*

[2] *JSC KNIITMU, Kaluga, Russia*

This article presents studies of the influence of the propagation coefficient (SF), bandwidth (BW) and encoding rate (CR) on signal quality and reception range in LoRa (Long Range) communication systems. The data were obtained during field tests under various environmental conditions. The obtained data are presented and processed to study their effect on the signal-to-noise ratio (SNR), the received signal level indicator (RSSI), as well as packet loss. This article allows you to understand the impact of these parameters on communication between LoRa devices in conditions where there are obstacles, such as forests and urban areas.

Keywords: *spreading factor, Bandwidth, code rate, signal quality, reception range*

УДК 004.94

Применение средств и библиотек языка Python для разработки прикладной программы расчета паровой турбины

Ганков Максим Сергеевич gankovms@student.bmstu.ru
Ильичев Владимир Юрьевич ilyichev.vyu@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Тема разработки прикладных программ для проведения различных расчетов является одной из актуальных задач науки и техники. Рассмотрена возможность применения языка программирования Python и его модулей для решения прикладной задачи — расчета многоступенчатой паровой турбины при помощи библиотеки теплофизических свойств CoolProp. Продемонстрированы возможности применения программных средств к задаче, решение которой в настоящий момент нецелесообразно проводить без применения современных языков программирования.

Ключевые слова: *язык Python, прикладная программа, модуль CoolProp, паровая турбина*

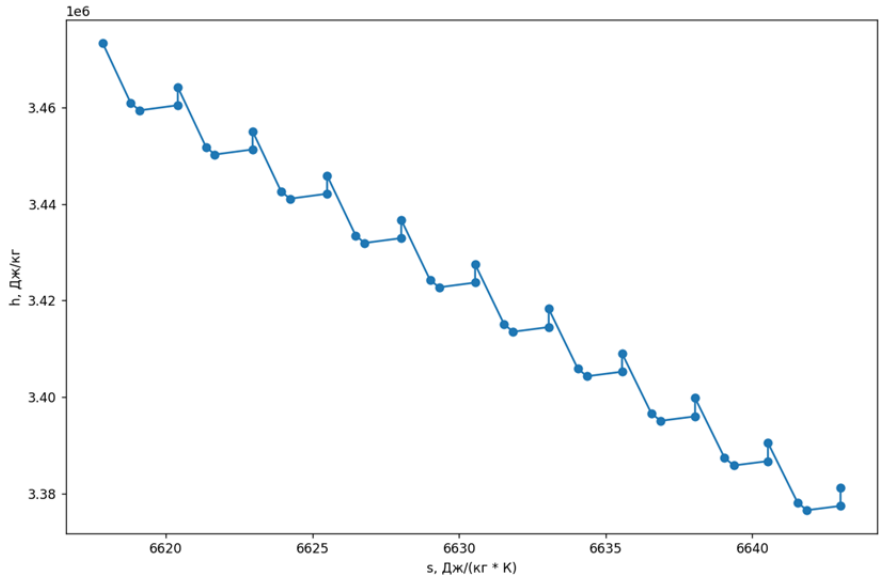
Язык программирования Python [1] в настоящее время является одним из эффективных инструментов, который за счет наличия большого количества различных библиотек, или же модулей, позволяет эффективно решать множество различных задач [2]. Также стоит упомянуть простоту синтаксиса и отсутствие необходимости выделения памяти под каждую объявляемую переменную, что позволяет легко использовать его для быстрого создания и отладки прикладных программ для проведения инженерных вычислений студентами и специалистами, напрямую не связанными с информационными технологиями, что не так просто реализовать в других языках. Такие программы также будут кроссплатформенными, так как могут быть запущены на любой платформе, поддерживающей интерпретатор Python. Но по причине интерпретируемости, исполняемые коды обладают относительно производительностью, что частично компенсируется наличием высокопроизводительных модулей, написанных на C и C++, например numpy [3].

В работе рассматривается применения модуля CoolProp [4], предназначенной для определения теплофизических свойств различных жидкостей и газов, для создания прикладной программы для расчета многоступенчатой паровой турбины. Методики их расчета представлены в литературе [5, 6]. Для того, чтобы определить теплофизическое свойство пара в точке, в модуле CoolProp используется функция PropsSI, которая по двум известным термодинамических параметрам возвращает значение требуемого параметра для указанного вещества.

При помощи использования функции PropsSI() была реализована функция Stage(), которая производит расчет ступени турбины при вводе следующих 14 аргументов: p0_ — полное давление пара на входе в турбину [МПа];

t0_ — полная температура пара на входе в турбину [°C]; G0 — расход пара в турбину [кг/с]; H — теплоперепад ступени турбины [кДж/кг]; rho — степень реактивности; n — частота вращения турбины [Гц]; d_mid — средний диаметр ступени [мм]; alpha1 — угол выхода из соплового аппарата турбины; dl — «перекрыша» рабочей лопатки [мм]; e — степень парциальности ступени; e_case — степень закрытия лопаток защитным кожухом; phi — коэффициент скорости сопловых лопаток; psi — коэффициент скорости рабочих лопаток; xi — коэффициент полноты использования выходной скорости. После необходимых вычислений данная функция возвращает словарь параметров, по которым можно сделать вывод об эффективности рассчитанной ступени, а также использовать некоторые их этих параметров для расчета последующих ступеней.

Благодаря модульности языка программирования Python, написанная программа-функция Stage() была использована для написания программы Turbine, позволяющей рассчитывать многоступенчатую паровую турбину. Для этого в качестве некоторые начальные аргументы функции задаются в виде списков, длина которых равна рассчитываемому числу ступеней *n*. Алгоритм расчета реализуется при помощи итерируемого цикла for в диапазоне от 0 до *n*, в котором часть параметров подставляется из заданных списков, а остальные параметры являются результатом вызова функции от предыдущей итерации. После окончания расчета в директории с программой создается текстовый файл Turbine.txt со всеми результатами расчета. Также при помощи модуля matplotlib pyplot [7] производится построение и вывод на экран *h*–*s*-диаграммы расширения в турбине, которая представлена на рисунке.



h – *s*-диаграмма расширения в турбине

Таким образом, в ходе выполнения данной работы было рассмотрено применение средств и библиотек языка программирования Python для создания прикладной программы-функции Stage(), позволяющей производить расчет ступени паровой турбины, а также программы Turbine, позволяющей рассчитывать и визуализировать процесс расширения в многоступенчатой паровой турбине в виде h-s диаграммы, что реализовано при помощи модулей CoolProp и matplotlib.

Данная программа демонстрирует возможности применения языка программирования Python для решения прикладных задач, а также облегчает расчеты студентов и специалистов, занимающихся проектированием паровых турбин. В свою очередь, применение библиотеки теплофизических свойств CoolProp позволяет производить расчет турбины не только на воде и водяном паре, но и на других веществах, например, фреонах.

Литература

[1] Ilyichev V.Yu. Development of a program for Lorentz attractor research and its use. *The Complex Systems*, 2021, no. 1 (11), pp. 58–64.

[2] Ильичев В.Ю., Ганков М.С. Удаление шума из периодических сигналов путем применения быстрого анализа Фурье в среде программирования Python. *Системный администратор*, 2023, № 3 (244), с. 83–85.

[3] Бураков И.И., Федоров В.О. Использование библиотек numpy, numpy-STL и opencv при построении трехмерной модели зуба. *Оригинальные исследования*, 2022, т. 12, № 4, с. 48–59.

[4] *CoolProp*. URL: http://www.coolprop.org (дата обращения 04.11.2024).

[5] Щегляев А.В. *Паровые турбины*. Москва, Энергоатомиздат, 1993, 384 с.

[6] Костюк А.Г., Фролов В.В. *Паровые и газовые турбины*. Москва, Энергоатомиздат, 1985, 352 с.

[7] Дрянкова Д.А. Визуализация данных с помощью библиотек Pandas и Matplotlib для языка программирования Python. *Дневник науки*, 2023, № 6 (78), с. 4–8.

The use of Python tools and libraries for the development of an application program for calculating a steam turbine

Gankov M.S. gankovms@student.bmstu.ru

Ilyichev V.Y. ilyichev.vyu@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The topic of developing application programs for various calculations is one of the urgent tasks of science and technology. In this regard, this paper considers the possibility of using the Python programming language and its modules to solve an applied problem — calculating a multistage steam turbine using the CoolProp library of thermophysical properties. This article demonstrates the possibilities of applying software tools to a task, the solution of which is currently not advisable to carry out without the use of modern programming languages.

Keywords: *Python language, application program, CoolProp module, steam turbine*

Содержание

Секция 1. **Прогрессивные технологии, оборудование и инструментальные системы** 3

Ремезов С.Е., Малышев Е.Н. Виды и причины износа режущей кромки на твердосплавных пластинах при точении 5

Захарова М.Э., Зиновьев М.Ю. Отработка технологического процесса сборки изделия «Редуктор коническо-цилиндрический двухступенчатый» 9

Захарова М.Э., Гулидов Д.С. Отработка конструкции центробежного насоса на технологичность путем внедрения клеевых соединений в технологический процесс сборки энергетической установки 12

Прилипский К.В., Рижская Д.Д. Выбор метода оптимизации компоновочного плана машиностроительного производства в зависимости от размерности задачи 14

Секция 2. **Технологии и машины сварочного производства 19**

Орлик А.Г., Орлик Г.В., Иванов Е.И. Способы повышения твердости и коррозионной стойкости металла, наплавленного на зубья ковша 21

Орлик А.Г., Орлик Г.В., Манзюк А.И. Способы увеличения износостойкости деталей машин, полученных наплавкой 25

Труханов К.Ю., Титов Д.Д. Особенности постобработки в аддитивном производстве металлических изделий 29

Труханов К.Ю., Маханьков Д.Д. Перспективы применения полуавтоматической лазерной сварки 31

Никишкина А.Б., Булычев В.В., Труханов К.Ю. Разработка математической модели холодной дуговой сварки серого чугуна 35

Секция 3. **Физика конденсированного состояния и электронная техника** 39

Андреев Д.В., Цирульников И.Ю. Анализ схемы фотоприемного устройства для регистрации наносекундных импульсов в видимом и инфракрасном диапазоне 41

Борисов Е.О., Гришин Г.К., Белинский Д.Н., Андреев Д.В. Разработка устройства для измерения времени задержки распространения при выключении и включении сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода 46

Платошин В.О., Андреев В.В. Проектирование полосового фильтра в диапазоне частот от 500 до 650 МГц мощного сверхвысокочастотного передатчика 53

Шахаев Б.М., Андреев В.В. Контроль дефектности диэлектрических пленок ИМС с использованием термочувствительного порошка 57

Власовский А.И., Гришин Г.К., Андреев В.В. О стабилизации тока в цифровых системах управления коллекторным двигателем 61

Корнев С.А., Андреев В.В. Тестирование цифровых микросхем с использованием сканирующих цепочек 64

Кузнецов В.В., Рогов Д.М. Схемотехническое моделирование импульсного источника питания 68
Чубурков А.Е., Кузнецов В.В. Частотные свойства резисторов 72
Кузнецов В.В., Лукашов Д.И. Методы моделирования СВЧ-устройств на микрополосковых линиях 76
Перевозчикова Д.С., Андреев В.В. Сравнительный анализ качества топологического рельефа кристалла микросхемы методами контактной и проекционной фотолитографии 80
Серов И.Е., Чубурков А.Е., Адарчин С.А. Оптимизация быстродействия инструментального усилителя: влияние емкости и тока стока 83
Кузнецов В.В., Алехин А.В. Цифровое моделирование в Qucs-S: обзор текущего состояния 87
Лыков А.Д., Андреев В.В. Уменьшение времени задержки выключения интегральной микросхемы компаратора 90
Чубурков А.Е., Мельниченко Н.А., Серов И.Е., Кузнецов В.В. Реальная *RC*-цепь при воздействии прямоугольного импульса 94
Радзышевская В.В., Андреев В.В. Влияние дефектов ионной имплантации на характеристики кристаллов микросхем 99
Кузнецов В.В., Козлов А.И. Методы улучшения параметров операционных усилителей с помощью моделирования 102
Секция 4. **Тепловые двигатели и гидромашины** 107
Кашанов Н.А., Милосердов В.О. Оптимизация эксплуатации энергетических систем с использованием цифровых двойников и нейронных сетей 109
Шевелев Д.В., Жинов А.А. Определение коэффициента теплоотдачи при поперечном обтекании трубного пучка методами численного моделирования и с помощью критериальных уравнений 113
Шевелев Д.В., Апокин И.А., Федин Р.Р., Олейников П.В. Экспериментальное исследование явлений нестационарной теплопроводности на основе программных и аппаратных средств Arduino 118
Костюков И.С., Жинов А.А. Особенности выбора типа системы регулирования детандер-генераторного агрегата в газораспределительной системе 123
Меткурбанов А.В., Меткурбанов И.В., Шевелев Д.В. Экспериментальное определение постоянной учебного калориметра 126
Петрушин К.А., Ильичев В.Ю. Исследование процессов свободной конвекции в трубчатом оребренном теплообменнике 129
Жариков А.А., Шевелев Д.В. К вопросу термогазодинамического расчета проточной части турбины по средней линии тока 135
Резчиков В.Р., Шевелев Д.В. Обзор детандер-компрессорных агрегатов: применение, принцип работы и особенности 140
Ганков М.С., Ильичев В.Ю. Анализ возможности выбора рабочих тел для органического цикла Ренкина с учетом современных тенденций 143
Кошелев Е.В., Шитохина О.Г. Пути совершенствования маслосистем паротурбинных установок 148

Се*кция 5.* Методы теории автоматического управления; автоматизация и управление технологическими процессами и производствами 151
Мартынов Н.А., Финошин А.В. Разработка системы мониторинга и контроля для газораспределительной станции 153
Евтеева Д.М., Корнюшин Ю.П. Идентификация и фильтрация «сглаживание» экспериментальных данных для построения математической модели привода планарного сканера 158
Акименко Д.А., Семехин Д.Е. Синтез алгоритма управления электроприводом требуемой динамической точности 163
Безлюдов М.Д., Корлякова М.О. SSL модель в задаче распознавания специализированной речи 168
Лысенко О.Д., Корлякова М.О. Нейросетевая реализация монокамерного измерения глубины сцены 172
Корлякова М.О., Воробьев В.С. Сравнительный анализ методов навигации для автономных мобильных роботов 177
Никитин М.В., Корлякова М.О. Подход к генерации ответов с использованием RAG 182
Корлякова М.О., Васенков П.А. Оценка семантического сходства текстов методами машинного обучения 185
Щеглов В.А., Корлякова М.О. Нейросетевая реализация задач SLAM 191

***Секция 6.* Экология и безопасность** 195
Готвальд Е.Д., Тютюнькова М.В. Использование осадков сточных вод для снижения поступления радионуклидов в растения 199
Анфилов К.Л., Алакин В.М., Грабарев А.В., Зубарев Д.Ю., Заверткин Е.А. Анализ современного применения композитных материалов группы полиэфирэфиркетон, а также технологий их нанесения в узлах трения 201
Ильющенко А.А., Анфилов К.Л. Амины: польза и вред 204
Никишкина А.А, Анфилов К.Л. Рекуперация ЛВЖ из отходящих газов лакокрасочных производств 207
Никулина С.Н., Васильев А.С. Обеспечение безопасной работы на печах кипящего слоя обжигового цеха 211
Жукова Ю.М., Бурсина Е.А., Жуков Я.Д. Экологические аспекты при внедрении новых технологий остекления самолетов 216
Жукова Ю.М., Жуков Я.Д., Бурсина Е.А. Оценка возможного ущерба от воздействия климатических рисков региона 219

***Секция 7.* Современные технологии в наземных транспортно-технологических системах. Прикладные проблемы механики** 223
Бандура Н.А., Сидоров М.В. Построение имитационной модели трансмиссии 225
Климович А.М., Сидоров В.Н. Визуализация процесса движения колесной машины в MATLAB/Simulink 230
Капитанов Р.Д., Сидоров В.Н. Математическая модель противобуксовочной системы автомобиля 235

Бобров Ф.А., Сидоров В.Н. Программная реализация математической модели криволинейного движения транспортного средства в среде MATLAB/Simulink 242
Козлов В.А., Бурков Э.Р. Электрический мини-трактор коммунального назначения 246
Козлов В.А., Шутов А.А., Сидоров В.Н. Имитационное моделирование криволинейного движения автомобиля в среде MATLAB 250
Козлов В.А., Фомин В.И., Сидоров В.Н. К вопросу определения динамических характеристик автомобиля 254
Фомин В.И., Булычев В.В. Особенности и преимущества тракторомобилей: аналитический анализ конструкции 258
Фомин В.И., Козлов В.А., Шутов А.А., Сидоров В.Н. Причины и последствия буксования трактора, а также методы расчета и предотвращения данного явления 262
Фомин В.И., Плахов С.А. Шарнирно-сочлененная рама для виноградного трактора: эффективность и перспективы применения 266
Плахов С.А., Зубов М.В., Кузовков Д.Р. Самоходная платформа 270
Пономарев А.И., Жилин Ю.В., Касымов Н.Д. Мобильное малогабаритное транспортное средство 274
Сорокина И.И., Желтиков А.А., Зимин А.В., Гаврилова Е.Н. Альтернатива Loctite при фиксации болтовых соединений 278
Тевс Г.П., Терехов Е.А., Булычев В.В. Повышение устойчивости мотоцикла при низких скоростях движения 282
Плахов С.А., Голубина С.А., Шапкин Я.Д., Шапкина А.В. Расчет рулевого наконечника автомобиля в КОМПАС-3D 286
Шутов А.А., Козлов В.А., Фомин В.И., Бурков Э.Р. Разработка конструкции беспилотного транспортного средства с возможностью дистанционного управления 290
Григорьев С.Д., Булычев В.В. Анализ новой технологии шести тактного двигателя Porsche 294
***Секция 8.* Защита информации** 299
Илюхин И.Ю. Сравнительный анализ обеспечения информационной безопасности в операционных системах Windows и Linux 301
Дронова В.С., Мазин А.В. Практические варианты использования машинного обучения для обеспечения безопасности информационных систем 310
Геворгян Э.А., Потапов А.В. Психологические аспекты безопасности в сети: выбор паролей 314
Носов Г.Д., Сосулев Л.Г., Ильичев В.Ю. Изучение уровня стойкости пароля для подтверждения авторизуемой личности 319
Сосулев Л.Г., Носов Г.Д., Ильичев В.Ю. Исследование уязвимостей серверов, использующих SQL-запросы путем SQL-инъекций 324
Романов В.Н., Мазин А.В. Анализ функционала реагирования на инциденты в системах предотвращения утечек данных 330

Секция 9. **Динамика, прочность и надежность подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования** 335

Витчук П.В., Сорокина И.И. Модернизация канатно-блочной системы мульдозавалочного крана 337

Леонтьев М.Ю., Смоловик А.Е., Михайлов Н.Ю. Опыт применения некоторых традиционных критериев работоспособности к современным зубчатым редукторам 341

Секция 11. **Химия и технология** 347

Герасимова Н.С., Илюхина И.В., Илюхин Д.В. Получение углеводных фаз при деструкции гетероядерных Pt-Pd карбонильных кластеров 349

Герасимова Н.С., Илюхина И.В., Илюхин Д.В. Использование гидрокарбонильного процесса в технологии переработки медных руд Удоканского месторождения 354

Шаталов В.К., Головачева Ю.Г. Испытание образцов на разрывной машине Р-5 357

Секция 12. **Информационные технологии. Электронно-вычислительные системы и комплексы** 363

Хромов А.Е., Вершинин Е.В. Разработка архитектуры аналитического модуля информационной системы, взаимодействующей со СКУД 365

Задоркин С.М., Борсук Н.А. От традиционных методов к цифровым инновациям: автоматизация проектирования электросетей 370

Задоркин С.М., Борсук Н.А. Пути повышения качества обучения электротехнике с помощью информационных технологий 375

Силиштян Д.П., Борсук Н.А. Разработка мобильного приложения пользователя общественным транспортом г. Калуга 379

Титов А.Ю., Чухраев И.В. Выбор между виртуальными машинами и машинной компиляцией для разработки ПО: сравнительный анализ 386

Медведев Д.И., Кондратьева С.Д. Повышение точности прогнозов коллаборативной рекомендательной системы с помощью расчета евклидового расстояния и коэффициента Отиаи 391

Башкалова Д.С., Борсук Н.А. Разработка мобильного приложения для пользователя библиотечными ресурсами города Калуга 395

Изранов К.С. Обзор способов борьбы с несанкционированными модификациями в онлайн-играх 400

Капитанов Ф.В., Борсук Н.А. Вопросы целесообразности разработки виртуальной лаборатории для проведения химических экспериментов 403

Дементьев В.Д., Борсук Н.А. Разработка пользовательского ресурса хронологических событий 408

Сарваль П.А., Борсук Н.А. Разработка веб-приложения для планирования и анализа задач 413

Яковенко Я.В., Борсук Н.А. Психологические аспекты проектирования пользовательских интерфейсов: влияние восприятия и когнитивных особенностей на дизайн 419

Яковенко Я.В., Борсук Н.А. Симметричная обработка данных: оптимизация алгоритмов с применением двусвязных списков 425
Кравцов Д.А., Борсук Н.А. Разработка электронной образовательной среды фортепианного отделения музыкальной школы 431
Сережников А.В., Борсук Н.А. Разработка мобильного приложения для бронирования услуг и планирования культурного досуга 435
Киров А.В., Борсук Н.А. Сравнительный анализ автоматизированных систем бухгалтерского учета «Смета» и «1С: Бухгалтерия государственного учреждения» 440
Гусько Г.А., Михайлов А.С., Вершинин Е.В. Сравнительный анализ методов объединения в гибридных рекомендательных системах 444
Вершинин Е.В., Поляков Я.А. Обзор микроконтроллеров и камер для создания встроенных систем компьютерного зрения 458
Вершинин Е.В., Сафин П.Р. Обзор методов выявления характерных кадров из видеозаписи футбольного матча 463
Мутовин Н.С., Борсук Н.А. Кеширование и его реализация с использованием Redis в современных серверных приложениях 467
Мицих В.П., Вершинин Е.В. Оптимизация средства поиска XSS-уязвимостей с помощью LSTM модели 471
Колосов М.И., Дерюгина Е.О. Механизм инпейтинга для реконструкции изображений в условиях частичной утраты данных 476
Губарев П.П., Вершинин Е.В. Особенности внедрения ПО для осуществления платежных переводов 480
Вершинин Е.В., Захаренков Д.С. Влияние параметров SF, BW и CR на качество сигнала и дальность приема в системах связи LoRa в различных условиях среды 483
Ганков М.С., Ильичев В.Ю. Применение средств и библиотек языка Python для разработки прикладной программы расчета паровой турбины 487

Научное издание

Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе

Всероссийская научно-техническая конференция

(Калуга, 19–21 ноября 2024 года)

Материалы конференции

Том 1

Художник *Э.Ш. Мурадова*
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 07.04.2025. Формат 70×100/16.
Усл. печ. л. 40,30. Тираж 50 экз.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
https://press.bmstu.ru

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.