

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

Региональная научно - техническая конференция

(Калуга, 23–25 апреля 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/>

Руководители оргкомитета конференции:

С.А. Кусачева (председатель совета по НИР студентов
и аспирантов, канд. биол. наук, доцент),
Ю.Н. Лавренков (ф-т ИУК, канд. техн. наук, доцент),
В.В. Калмыков (ф-т МК, ст. преподаватель)

Руководители секций:

Андреев В.В., д-р техн. наук, профессор
Шаталов В.К., д-р техн. наук, профессор
Рамазанов А.К., канд. физ.-мат. наук, доцент
Шафигуллина Т.В., канд. ист. наук, доцент
Малышев Е.Н., канд. техн. наук, доцент
Максимов А.В., канд. техн. наук, доцент
Гагарин Ю.Е., канд. физ.-мат. наук, доцент
Сломинская Е.Н., канд. техн. наук, доцент
Жинов А.А., канд. техн. наук, доцент
Витчук П.В., канд. техн. наук, доцент

Перерва О.Л., д-р экон. наук, профессор
Мазин А.В., д-р техн. наук, доцент
Мельников Д.В., канд. техн. наук, доцент
Анфилов К.Л., канд. хим. наук, доцент
Пономарев А.И., канд. техн. наук, доцент
Пащенко В.Н., канд. техн. наук, доцент
Орлик Г.В., канд. техн. наук, доцент
Кусачева С.А., канд. биол. наук, доцент
Белова Е.В., канд. филол. наук, доцент

Секретарь конференции: *В.В. Лебедев*

Н34

Научное издание «Научно-технические технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе»: региональная научно-техническая конференция (Калуга, 23–25 апреля 2024 года) : материалы конференции : в 2 т. / Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» . — Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025.

ISBN 978-5-7038-6512-5

Т. 1. — 436, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-6513-2

В сборнике материалов региональной 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 1–10.

УДК 378:001.891

ББК 74.48:72

Издаётся в авторской редакции.

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

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

Секция 1. Прогрессивные технологии, оборудование и инструментальные системы

УДК 621.7

Получение заготовок из бронзы БрАМц9-2

Юн Александр Владимирович

yunav@student.bmstu.ru

Мусохранов Марсель Владимирович

marsel@bmstu.ru

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

Рассмотрены методы получения заготовок из бронзы БрАМц9-2, их характеристики и применение. Бронза БрАМц9-2 — это высококачественный сплав меди с добавлением алюминия, марганца и других элементов, обладающий высокой прочностью, коррозионной стойкостью и хорошей обрабатываемостью. Описаны преимущества и недостатки изготовления бронзовых заготовок ковкой и штамповкой. Статья может быть полезна для специалистов в области металлургии, металлообработки, а также для студентов и преподавателей соответствующих дисциплин.

Ключевые слова: алюминиевая бронза,ковка,штамповка,среднесерийное производство

В современном машиностроении применяется широкий спектр материалов, в том числе и бронза. Бронза — это медный сплав с добавлением олова, алюминия, кремния, бериллия и других элементов. Получение заготовок из бронзы является важным этапом производства, поскольку от качества этой стадии зависит производительность и экономичность предприятия.

Целью работы является изучение различных методов получения заготовок из бронзы и их сравнительный анализ с точки зрения точности, производительности и затрат.

Актуальность работы заключается в необходимости оптимизации методов получения заготовок из бронзы для выбора наиболее эффективного метода.

Исследование различных методов получения заготовок позволит определить наиболее эффективные способы изготовления. Это поможет улучшить качество производимой продукции, снизить вероятность возникновения дефектов и повреждений.

Алюминиевые бронзы имеют высокие механические свойства, коррозионную стойкость и антифрикционные свойства. При увеличении концентрации алюминия прочностные свойства бронзы повышаются, достигая максимальных значений $\sigma_b = 600$ МПа при 10–11 % Al, а затем снижаются. В связи с достаточно высоким содержанием алюминия плотность бронзы меньше плотности чистой меди. Из-за алюминия также снижается теплопроводность, приблизительно в 5 раз по сравнению с чистой медью при 10 % Al. Марганец повышает механические и коррозионные свойства и улучшаются технологические характеристики сплавов системы Cu-Al. Повышает не только прочность, но и пластичность и обрабатываемость давлением. Так БрАМц9-2 хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии [2].

Для мелкосерийного или единичного производства целесообразно использовать заготовки, полученные с применением универсального оборудования. К таким материалам относятся заготовки, полученные методомковки или проката. Они обладают большими припусками и погрешностями в размерах.

В условиях серийного или массового производства лучше использовать заготовки максимально близкие к готовой продукции. Затраты на производство штампов и пресс-форм окупаются за счет сокращения расходов на материалы и обработку. Для достижения высокой чистоты поверхности применяется горячая объемная штамповка [3].

Основные задачиковки — приблизить форму исходной заготовки к форме готового изделия и улучшить свойства металла для повышения качества полуфабриката. Для сравнительно сложных форм используются подкладные штампы (открытые и закрытые). Заготовки массой до нескольких сотен килограмм изготавливаются из проката на ковочных молотах. Минимальная толщина стенок заготовки при ковке составляет 3–5 мм, припуски на сторону по сечению — 2–40 мм, а по длине — 8–70 мм.

Ковка имеет ряд преимуществ: изготовление крупных поковок весом более 250 т; широкий спектр поковок изготавливается на универсальном оборудовании; улучшенные качества металла и повышенные механические свойства.

Недостатки метода производства металлических поковок: низкая производительность; большие припуски, напуски и допуски; трудность изготовления деталей сложной формы без напусков; большой отход металла; необходимость использования высококвалифицированных рабочих [4].

Поверхность кованных изделий имеет шероховатость не более значения R_z , равного 320–80 мкм. Применение опорных штампов позволяет добиться снижения шероховатости до диапазона R_z от 80 до 40 мкм.

Метод горячей штамповки используется для изготовления важных деталей двигателей, транспорта, самолетов и оборудования. Он наиболее эффективен в условиях массового производства, а также в случаях крупно- и среднесерийного производства деталей массой от нескольких граммов до тонн (ориентировочно до трех тонн).

Эффективностьковки и горячей штамповки характеризуется коэффициентом использования материала. Эти операции выполняются на молотах и прессах с использованием открытых и закрытых штампов. Исходными заготовками для горячей штамповки служат прокатные изделия с размерами сечения в диапазоне от 15 до 270 мм.

По сравнению с ковкой горячей штамповка имеет следующие преимущества: штамповка имеет более сложную геометрию и лучшее качество поверхности (шероховатость поверхности $R_z = 80\text{--}20$ мкм, при холодной штамповке $R_z = 10\text{--}1,6$ мкм); штамповки имеют допуски и отклонения, соответствующие классу точности, получаемому при механической обработке; значительная производительность [1].

К недостаткам горячей штамповки относятся: ограниченный вес получаемых поковок; отход металла в заусенец; необходимость более высоких усилий деформирования, чем при ковке; необходимость индивидуальных штампов.

Исследование методов получения заготовок позволяет определить наиболее эффективный и экономически выгодный способ. Каждый из методов обладает своими преимуществами и недостатками, поэтому выбор оптимального метода должен основываться на конкретных условиях производства и требованиях к качеству изделий.

Литература

- [1] Афонькин М.Г., Звягин В.Б. *Производство заготовок в машиностроении*. Санкт-Петербург, Политехника, 2007.
- [2] Бобылев А.В. *Механические и технологические свойства металлов: справочник*. Москва, Металлургия, 1973, с. 29–42.
- [3] *Ковка и штамповка. Справочник. Т. 1*. Москва, Машиностроение, 1985, 568 с.
- [4] Кондаков А.И., Васильев А.С. *Выбор заготовок в машиностроении: справочник*. Москва, Машиностроение, 2007, 560 с.

Obtaining blanks from bronze BrAMc9 - 2

Yun Alexander Vladimirovich

yunav@student.bmstu.ru

Musohranov Marcel Vladimirovich

marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article discusses the production of bronze blanks BrAMc9-2, their characteristics and application. BrAMc9-2 bronze is a high-quality copper alloy with the addition of aluminum, manganese and other elements, which has high strength, corrosion resistance and good machinability. The advantages and disadvantages of manufacturing bronze blanks by forging and stamping are described. The article is useful for specialists in the field of metallurgy, metalworking, as well as for students and teachers of relevant disciplines.

Keywords: *aluminum bronze, forging, stamping, medium-scale production*

УДК 621.95.2

Методы сверления глубоких отверстий

Волков Егор Романович

er.volkov@mail.ru

Журавлева Татьяна Александровна

juravleva.ta@bmstu.ru

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

Рассмотрены методы сверления глубоких отверстий. Рассмотрены режущие инструменты при глубоком сверлении: спиральные сверла, ружейные сверла, эжекторные сверла. Описано строение данных сверел. Рассмотрена зависимость материала спирального сверла и скорости резания. Приведен технологический процесс сверления эжекторным сверлом, а именно его основные этапы. Представлена область применения этого инструмента, оборудование. Приведены точность и качество поверхности после обработки данными сверлами. Также приведена кинематика сверления различным инструментом.

Ключевые слова: глубокое сверление, спиральные сверла, ружейные сверла, эжекторные сверла

Сверление глубоких отверстий на данный момент представляет интерес для различных отраслей машиностроения. Одновременно с получением точных размеров требуется обеспечить и высокие требования к качеству отверстий. Существуют различные инструменты для глубокого сверления, например спиральные, ружейные и эжекторные сверла.

Спиральные сверла используются для сверления отверстий в различных материалах, таких как металл, дерево, пластик и др. Они имеют спиральную форму, которая помогает эффективно удалять стружку из отверстия, обеспечивая более чистое и точное сверление [1].

Спиральные сверла для глубокого сверления обладают большой прочностью и износостойкостью, что позволяет им работать с твердыми материалами без потери качества сверления. Они также могут обеспечивать плавное и чистовое сверление, что позволяет их использовать для работ по сверлению отверстий большой глубины.

Кинематика процесса сверления включает в себя движение сверла, вращающегося вокруг своей оси, и движение сверла в направлении оси отверстия. При сверлении материал удаляется благодаря комбинации силы давления сверла и его вращения, что позволяет получать высокую степень точности и качества отверстий. Кроме того, спиральные сверла обычно имеют коническую форму, что позволяет им сверлить отверстия различных диаметров, начиная с более узкого конца сверла и постепенно расширяясь к более широкому концу. Это обеспечивает возможность сверления отверстий разного размера без необходимости замены инструмента.

Таким образом, спиральные сверла широко используются в металлообработке, столярном деле, строительстве и других отраслях промышленно-

сти, где требуется точное и качественное сверление отверстий различных диаметров.

При изготовлении спиральных сверл используются различные материалы, такие как быстрорежущие стали, твердые сплавы и керамика. Рассмотрим зависимость скорости резания этих материалов используя теоретический расчет [2]. Входные данные: обрабатываемый материал Сталь 45, обработка с СОЖ, глубина сверления $t = 4$ мм.

Формула для расчета скорости резания [2]:

$$V = V_{\text{таб}} K_{V_M} K_{V_3} K_{V_{\text{ж}}} K_{V_T} K_{V_n} K_{V_{\text{и}}} K_{V_i} K_{V_{\omega}}.$$

После проведения эксперимента получаем, что при использовании твердых сплавов скорость резания возрастает в несколько раз. Но, с экономической точки зрения, твердые сплавы имеют гораздо большую стоимость по сравнению с быстрорежущими сталями. При производстве детали «Ось» будут использоваться спиральные сверла из быстрорежущей стали Р6М5.

Рассматривая конструкцию ружейного сверла, выделяют три главных элемента: рабочая часть; стеблевая часть с наружной канавкой в виде буквы «V»; хвостовик. У этих частей могут быть различные конфигурации.

Ружейные сверла применяют для сверления отверстий большой глубины и небольших диаметров. Также при этом процессе получают высокие параметры шероховатости.

Процесс сверления идет с подачей СОЖ в отверстие в стеблевой части под большим давлением, из-за чего происходит вымывание образовавшейся стружки по каналу стебля в стружкоприемник. Направление сверла при заходе обеспечивается втулкой. В свою очередь, манжета не допускает выход СОЖ и образованной стружки за пределы стружкоприемника [3].

Эжекторное сверление является технологией сверления, которая используется для создания глубоких отверстий в металлических деталях. Этот метод применяется там, где требуется высокая точность и высокая производительность. Процесс эжекторного сверления включает в себя использование специальных сверел, оснащенных встроенными эжекторами, которые помогают удалить стружку из отверстия, обеспечивая более эффективное сверление [4].

Эжекторные сверла состоят из основной рабочей части — сверла, и встроенного в него устройства, которое позволяет удалить стружку из отверстия после сверления. Это позволяет избежать заторов и обеспечить более гладкую поверхность отверстия.

Эжекторные сверла могут иметь различные типы конструкции. Они могут быть использованы как для универсального оборудования, так и для станков с ЧПУ.

Основные этапы процесса эжекторного сверления.

1. Подготовка оборудования. Необходимо подготовить сверлильный станок с возможностью использования эжекторных сверел. Убедитесь, что все настройки и параметры станка настроены корректно;

2. Установка сверла. Закрепите эжекторное сверло на шпинделе станка. Убедитесь, что сверло надежно закреплено и выровнено;

3. Подготовка материала. Зафиксируйте деталь, которую нужно сверлить на рабочей поверхности станка;

4. Начало сверления. Плавно включите станок и начните процесс сверления. Эжектор внутри сверла помогает эффективно удалять стружку из отверстия;

5. Остановка и очистка. Периодически останавливайте процесс сверления, чтобы очистить эжектор и удалить накопившуюся стружку;

6. Завершение процесса. Продолжайте сверление до достижения требуемой глубины отверстия;

7. Контроль качества. После завершения процесса эжекторного сверления необходимо проверить качество отверстия и при необходимости выполнить дополнительные операции для его доведения до требуемого уровня.

Эжекторное сверление может быть эффективным методом для создания глубоких отверстий в металлических деталях, обеспечивая высокую точность и производительность процесса сверления.

Литература

- [1] *Обработка глубоких отверстий*. Ленинград, Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988, 269 с.
- [2] Гузев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. *Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением. Справочник*. Москва, Машиностроение, 2005, 367 с.
- [3] Смирнов Д.В. *Технология глубокого сверления: методы и техники*. Москва, Наука, 2018, с. 120–150.
- [4] Кожевников Д.В. *Современная технология и инструмент для обработки глубоких отверстий*. Москва, НИИМаш, 1981, 60 с.

Methods of drilling deep holes

Volkov Egor Romanovich

er.volkov@mail.ru

Zhuravleva Tatyana Alexandrovna

juravleva.ta@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article discusses the methods of drilling deep holes. In this paper, cutting tools for deep drilling are considered: spiral drills, rifle drills, ejector drills. The structure of these drills is described. The dependence of the spiral drill material and the cutting speed is considered. This article describes the technological process of drilling with an ejector drill, namely its main stages. In this work, you can see the scope of application of this tool, the equipment. The article shows the accuracy and quality of the surface after processing with these drills. The article also shows the kinematics of drilling with various tools.

Keywords: deep drilling, spiral drills, rifle drills, ejector drills

УДК 621.2

Балансировка деталей

Дмитриев Александр Николаевич

themelkiy@list.ru

Мусохранов Марсель Владимирович

marsel@bmstu.ru

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

Представлено исследование различных видов, таких как статическая и динамическая балансировка, и балансировочных устройств. Рассматривается важность балансировки деталей в различных отраслях. Представлена значимость правильной балансировки деталей для эффективного функционирования производственного процесса, исследуются основные методы балансировки, такие как метод подбора, метод пробной массы, метод максимальных отметок и др. Проанализированы преимущества и недостатки каждого метода и представлен практический пример использования балансировки деталей для улучшения производственной эффективности.

Ключевые слова: балансировка, методы, статическая, динамическая, оборудование

Балансировка деталей машин и сборочных единиц в настоящее время играет важную роль в получении необходимого качества, стойкости и надежности работы, вращающихся механизмов и различных деталей. Неотбалансированные детали при вращении могут создавать шум и вибрации, что может привести к нестабильной работе механизма и, в худшем случае, может привести к поломке [1]. Актуальность данной темы заключается в том, что балансировка является одним из важнейших этапов производственного процесса, который напрямую влияет на качество готовых деталей тел вращения. Целью работы является изучение основных принципов и различных методов балансировки. Исследование данной темы позволит улучшить существующие или разработать новые методы и технологии балансировки. Балансировку применяют при производстве турбин, вентиляторов, компрессоров, приводов, генераторов и других механизмов.

Балансировка деталей и сборочных единиц — это процесс устранения дисбаланса путем удаления или прибавления массы быстровращающихся деталей [2]. Дисбаланс появляется вследствие погрешностей изготовления и сборки, неоднородности материала, что приводит к снижению ресурса механизма. Таким образом, балансировка обеспечивает равномерное распределение массы деталей. Существует два вида балансировки: динамическая и статическая.

Статическая балансировка — это процесс выравнивания распределения масс дисков автомобильных колес, что позволяет предотвратить вибрации и дополнительный износ шин и подвески.

Статическую балансировку применяют для выравнивания масс деталей типа дисков, т. е. деталей, образованных внутренними и наружными поверхностями вращения, имеющих одну общую прямолинейную ось при отноше-

нии длины к диаметру меньше 0,5 ($l/d \leq 0,5$) [3]. Задача статической балансировки — приведение центра масс на ось вращения с помощью перераспределения массы детали. Данный вид балансировки можно выполнять как на специальных станках, так и в собственных подшипниках.

Чтобы сбалансировать диск необходимо решить следующие задачи [4]:

- найти направление, на котором расположен центр тяжести;
- определить, сколько грамм противовеса необходимо и на каком радиусе их расположить;
- уравновесить дисбаланс корректировкой массы.

Для определения скорректированной массы используют следующие методы.

1. Метод пробной массы — определяют при помощи номограммы;
2. Метод подбора заключается в достижении равновесия колеса, путем подбора противовеса;
3. Метод кругового обхода — диск делят на 12 частей и к каждой точке подбирают пробную массу, что приводит диск в движение и по полученным данным строят диаграмму.

Метод кругового обхода является самым точным, но трудоемким. Недостатками статической балансировки являются ограниченность диапазона коррекции (не учитывает несимметричность, центровку), трудоемкость процесса и получение низкого коэффициента трения при значительных нагрузках.

Необходимо отметить, что статическую балансировку не стоит путать со сход-развалом. Это другой процесс, который настраивает угловые параметры колеса, а не его распределение масс.

Динамическая балансировка — это процесс выравнивания распределения массы на вращающемся объекте с целью уменьшить вибрации и улучшить его производительность и целостность. Она используется во многих отраслях промышленности, включая машиностроение, автомобилестроение, авиацию и судостроение.

Динамическую балансировку применяют для деталей типа валов ($l/d \geq 3$). Используется в таких отраслях, как машиностроение, судостроение и авиастроение. Данная балансировка может быть выполнена как во время производства, так и во время эксплуатации. Для динамической балансировки используют следующие методы.

1. Метод максимальных отметок — определяют графически, путем вращения вала с резонансной частотой, совпадающей с частотой вращения свободных колебаний системы вал – подшипник – опора;
2. Метод обхода пробным грузом. По завершению балансировки оператор повторно измеряет вибрации и при необходимости выполняет балансировку еще раз.

Динамическую балансировку выполняют на специальных станках высококвалифицированные рабочие. По сравнению со статической балансировкой динамическая представляет собой более точную. Недостатками данной балансировки являются: дорогое оборудование, сложность настройки, использование высококвалифицированных рабочих.

В результате проведенного исследования было выявлено, что балансировка деталей и сборочных единиц является важным этапом в производственном процессе. Оптимальная балансировка позволяет достичь высокой точности и качества продукции, уменьшить вибрацию, шум и повышает надежность работы механизма. Исследования в данной области способствуют разработке новых технологий и методов, значительно повышающих качество и износостойкость деталей и сборочных единиц. Таким образом, правильная балансировка напрямую влияет на работоспособность и безопасность готовой продукции.

Литература

- [1] Романов В.В. *Динамическая балансировка вращающихся звеньев*. Кострома, КГУ им. Н.А. Некрасова, 2020, 57 с.
- [2] Левит М.Е., Рыженков В.М. *Балансировка деталей и узлов*. Москва, Машиностроение, 1986, 248 с.
- [3] Афраймович Л.Г. *Учебно-методическое пособие по курсу «Модели и методы эффективного использования распределенных вычислительных систем» при изучении темы «Задачи статической балансировки»*. Нижний Новгород, ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2011, 13 с.
- [4] Тимирязев В.А., Вороненко В.П., Схиртладзе А.Г. *Основы технологии машиностроительного производства*. Санкт-Петербург, Лань, 2012, 448 с.

Balancing parts

Dmitriev Alexander Nikolaevich

themelkiy@list.ru

Musokhranov Marcel Vladimirovich

marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article presents a study of various types, such as static and dynamic balancing, and balancing devices. It examines the importance of balancing parts in various industries. The importance of proper balancing of parts for the effective functioning of the production process is presented, the main balancing methods such as the selection method, the trial weight method, the maximum marks method and others are investigated. The article also analyzes the pros and cons of each method and provides a practical example of using part balancing to improve production efficiency.

Keywords: *balancing, methods, static, dynamic, equipment*

УДК 533.69.046

Анализ зависимости изнашивания поверхностей металлических деталей от их шероховатости

Беликова Екатерина Викторовна

kate.belickowa@gmail.com

Мусохранов Марсель Владимирович

marsel@bmstu.ru

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

Рассмотрена проблема зависимости изнашивания поверхностей металлических деталей от их шероховатости. Исследованы основные факторы, влияющие на износ, и проанализирована связь между шероховатостью поверхности и скоростью износа. Приведен метод оценки износа при помощи кривой Эбботта–Файрстоуна, которая дает лучшее представление о профиле поверхности, чем привычные параметры шероховатости Ra и Rz .

Ключевые слова: изнашивание поверхностей, шероховатость, качество поверхности, факторы износа, методы оценки шероховатости, методы оценки износа

Основной причиной выхода из строя деталей машин и механизмов в 80 % случаев является износ поверхностей, что приводит к экономическим потерям.

Износ — это процесс постепенной потери исходных свойств и характеристик материалов или изделий вследствие различных факторов, таких как трение, коррозия, усталость материала, химические реакции, тепловое и радиационное воздействие. Он может привести к ухудшению внешнего вида, потере прочности, изменению физических и химических свойств, а также к нарушению функциональности изделия [2].

Для оценки износа используются различные методы, такие как измерение изменения размеров, анализ микроструктуры, измерение физических свойств и др. Уменьшение износа достигается путем применения более прочных и устойчивых материалов, улучшения технологий производства, оптимизации условий эксплуатации и обслуживания, а также использования специальных покрытий и защитных слоев.

Процесс износа можно представить графически в виде кривой, которая условно разделяется на три зоны (рис. 1) [2].

Периоды износа поверхностей могут быть различными в зависимости от условий эксплуатации, материала и конструкции изделия. Обычно выделяют три основных зоны износа: зона приработки (I), зона нормального износа (II) и критический износ (III).

Зона приработки характеризуется быстрым износом, связанным с удалением дефектного материала. В этот период износ может достигать десятков и сотен процентов от общего износа.

Нормальная зона характеризуется стабильным износом, когда он происходит равномерно и предсказуемо. В этот период износ обычно составляет 80–90 % общего износа.

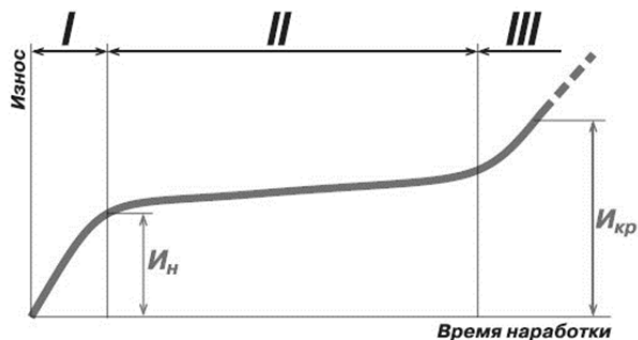


Рис. 1. График процесса износа деталей:

I — зона приработки; II — зона нормального износа; III — зона предельного износа;
 I_n — начальный износ; $I_{кр}$ — критический износ

Предельный износ наступает, когда он начинает резко увеличиваться из-за износа основных деталей и узлов. В этот период может происходить аварийный износ, когда изделие выходит из строя. Заключительный износ составляет 10–20 % общего износа.

Шероховатость поверхности — один из ключевых параметров, влияющих на износостойкость металлов. Правильная обработка поверхности может существенно увеличить срок службы деталей.

Большинство параметров шероховатости позволяют описать рельеф поверхности. Однако более эффективно и полезно анализировать специально определенные параметры для описания конкретных характеристик поверхности, в том числе изнашиваемость. Традиционные параметры шероховатости, такие как Ra и Rz связаны только с относительными отклонениями от средней линии в вертикальном направлении; они не предоставляют никакой информации о форме, уклонах и размерах неровностей или о частоте их возникновения. Можно иметь одинаковые значения Ra и Rz для поверхностей из самых разных материалов и профилей (рис. 2) [3].

Шероховатость поверхности может охарактеризовать кривая коэффициента смятия профиля, также называемая кривой Эбботта — Файрстоуна.

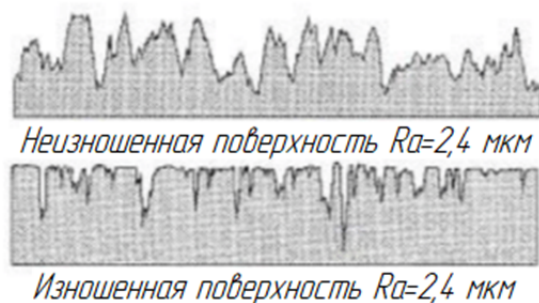


Рис. 2. Сравнение неизношенной и изношенной поверхности при одинаковом параметре Ra

Одним из преимуществ анализа поверхностей с использованием кривой Эбботта — Файрстоуна является возможность прогнозирования эффектов износа и процесса приработки. Эта кривая также предоставляет информацию об объемах материала и пустот, характеризующих топографию поверхности, и может быть полезна для определения и использования функциональных параметров в 3D-анализе [4].

Согласно стандарту ГОСТ Р ИСО 4287–2014 «Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности» кривая Эбботта — Файрстоуна отражает коэффициент смятия профиля как функцию от уровня (рис. 3) [1].

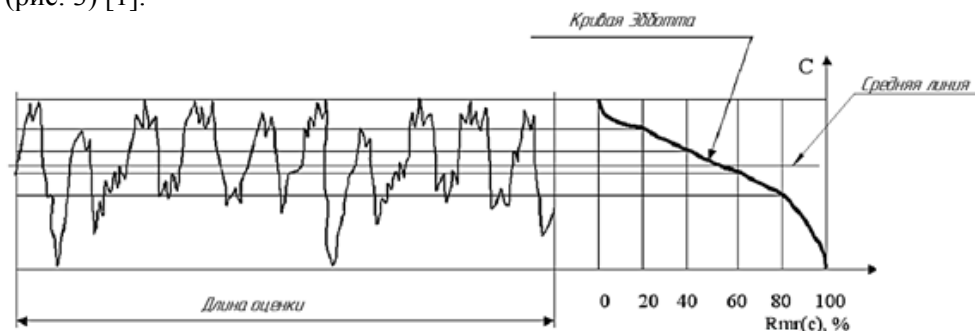


Рис. 3. Кривая коэффициента смятия профиля (Эбботта — Файрстоуна)

Она графически описывает распределение материала в диапазоне длин профиля. Полезные свойства кривой позволяют моделировать эффекты износа и процесса окончательной обработки. Также кривая дает информацию о материалах и объемах впадин, характеризующих топографию поверхности.

Каждый тип поверхности характеризуется своим собственным профилем кривой, что может помочь в прогнозировании скорости изнашивания и впоследствии подобрать оптимальную технологию для получения максимально износостойкой поверхности.

Таким образом, шероховатость поверхности играет важную роль в процессе износа. Чем выше шероховатость, тем больше поверхность изделия подвергается воздействию окружающей среды, что приводит к более быстрому износу. В то же время, слишком гладкая поверхность может снижать сцепление с другими поверхностями, что также может привести к интенсивному изнашиванию. Оптимальная шероховатость поверхности должна обеспечивать баланс между износом, комфортом и безопасностью эксплуатации.

Литература

- [1] ОСТ Р ИСО 4287–2014. *Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры*. Москва Изд-во стандартов, 2015, 23 с.

- [2] Суслов А.Г. *Технология машиностроения*. Москва, Машиностроение, 2007, 430 с.
- [3] Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Степанов С.Н. *Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехн. ун-та, 2007, 136 с.
- [4] Филиппова А.В., Тимофеев М.В., Прокофьев М.А. Исследование влияния режимов резания на шероховатость поверхности при обработке точением. *Инновационные технологии: теория, инструменты, практика*, 2014, т. 2, с. 478–484.

Analysis of the dependence of the wear of the surfaces of metal parts on their roughness

Belikova Ekaterina Viktorovna

kate.belickowa@gmail.com

Musokhranov Marcel Vladimirovich

Marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The problem of the dependence of the wear of the surfaces of metal parts on their roughness is considered. The main factors influencing wear are investigated and the relationship between surface roughness and wear rate is analyzed. A method for estimating wear using the Abbott-Firestone curve is presented and it is believed that it gives a better idea of the surface profile than the usual roughness parameters Ra and Rz.

Keywords: *surface wear, roughness, surface quality, wear factors, roughness assessment methods, wear assessment methods*

УДК 533.69.046

Кривая Эбботта — Файрстоуна как перспективный параметр оценки шероховатости

Беликова Екатерина Викторовна

kate.belickowa@gmail.com

Мусохранов Марсель Владимирович

marsel@bmstu.ru

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

Рассмотрена кривая Эбботта — Файрстоуна — новый перспективный параметр для оценки шероховатости поверхности. Представлены теоретические основы этого параметра и его преимущества перед другими методами оценки шероховатости. Статья включает обсуждение практических аспектов применения кривой Эбботта — Файрстоуна, таких как прогнозирование износа и процессов приработки поверхностей.

Ключевые слова: кривая Эбботта — Файрстоуна, шероховатость, оценка шероховатости, параметры шероховатости

Параметры шероховатости поверхности являются одними из наиболее главных показателей свойств и качества изделий, функционирующих в условиях трения соприкасающихся деталей с высоким износом. Шероховатость считается наиболее главной эксплуатационной характеристикой механизмов и деталей, работающих в постоянном зацеплении, двигателей внутреннего сгорания. От шероховатости в прямой степени зависит коэффициент трения, износостойкость, коррозионная стойкость и другие механические характеристики деталей [2].

В 2014 г. был утвержден стандарт ГОСТ Р ИСО 4287–2014 «Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности», согласно которому 14 параметров, характеризующих шероховатость, волнистость и профиль поверхности, делятся на несколько групп: параметры амплитуды (пик и впадина, средние значения ординат), расстояния, гибридный параметр, кривые и связанные с ними параметры. К последней группе, в частности, относят коэффициент смятия профиля $R_{mr(c)}$ и ее кривую (кривая Эбботта — Файрстоуна), с помощью которых можно анализировать износостойкость поверхности [1].

Кривая Эбботта — Файрстоуна представляет собой графическое отображение параметров шероховатости в зависимости от глубины профиля. Кривая начинается с самого высокого выступа, где находится 0 % материала, и заканчивается в самом низком углублении, где находится 100 % материала. Она показывает изменение высоты неровностей в зависимости от расстояния от средней линии профиля (рис. 1) [4].

Рассмотрим подробно параметры кривой Эбботта — Файрстоуна (рис. 2).

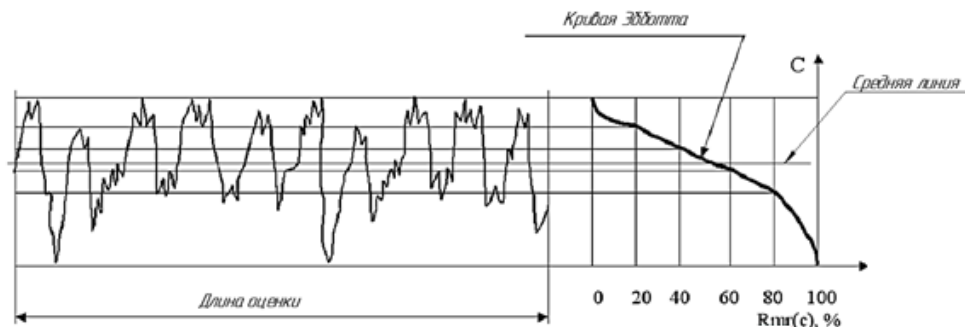


Рис. 1. Профиль поверхности и соответствующая ему кривая Эбботта — Файрстоуна

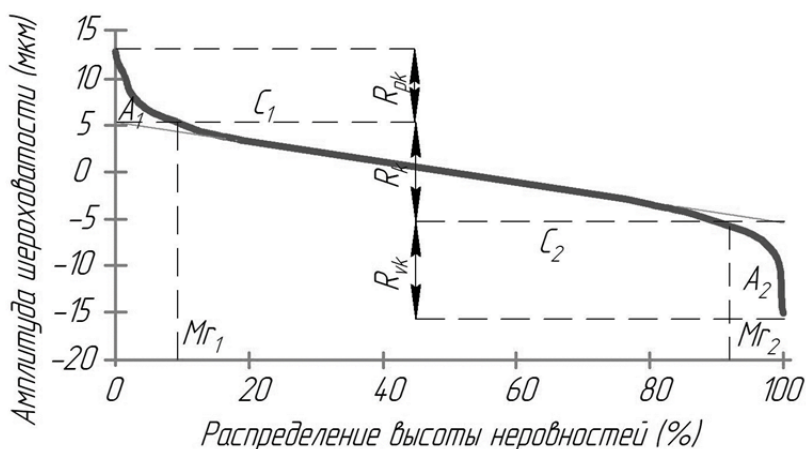


Рис. 2. Параметры кривой Эбботта — Файрстоуна

При построении кривой используется опорная линия профиля, перемещаемая из зоны впадин в зону пиков. Подобно многим функциям распределения она широко используется в машиностроении. Математически кривая представляет собой кривую суммарной частоты ординат профиля. Универсальными характеристиками, дающими довольно полную картину для оценки объема пиков и впадин относительно сердцевины профиля, являются параметры R_k .

R_{pk} — верхние значения параметров шероховатости, области с данными значениями подвергаются интенсивному износу в период приработки детали;

R_k — средние значения параметров шероховатости, характерны для областей поверхности обеспечивающей основной срок эксплуатации детали;

R_{vk} — нижние значения параметров шероховатости, области с данными значениями обеспечивают основной объем маслоудерживающих канавок. Как правило, остаются с черновых операций.

Зонирование кривой Эбботта–Файрстоуна может иметь 5 интервалов: $\leq 5\%$, $5\text{--}10\%$, $10\text{--}50\%$, $50\text{--}95\%$ и $\geq 95\%$ распределения высоты неровно-

стей. Первая зона характеризует очень высокие и заметные шероховатости, которые изнашиваются в период приработки. Способность к опоре и удержанию смазки может быть охарактеризована второй зоной, также называемой микрошероховатостью, и третьей зоной. Четвертая подчеркивает пустоты или поры исследуемой поверхности. Уровень (глубина) сечения, соответствующий 50 % от относительной опорной длины, также называемый глубиной выравнивания профиля, используется в качестве критерия при оценке несущей способности и износостойкости поверхности.

К линейной части кривой строится секущая линия, которая определяет точки опорной зоны M_{r1} и M_{r2} . Площадь пиков A_1 над этой линией заменяется равным треугольником с основанием M_{r1} и высотой R_{pk} . Площадь впадин A_2 ниже линии также заменяется равным треугольником с основанием 100 — M_{r2} и глубиной R_{vk} [3].

Таким образом, описанные параметры из кривой Эбботта–Файрстоуна делят профиль шероховатости на 3 области:

- площадь пиков профиля высотой R_{pk} ;
- площадь сердцевины шероховатости высотой R_k ;
- площадь впадин высотой R_{vk} ;

Представляют интерес и другие параметры:

- наименьшая площадь опоры на верхнем пределе R_k приводит к M_{r1} ;
- наибольшая площадь опоры на нижнем пределе R_k приводит к M_{r2} ;
- площадь сплошных пиков $A1$;
- площадь сплошных впадин $A2$.

Кривые коэффициента смятия профиля обычно используются для количественной оценки явлений износа, таких как влияние смазки и износа подшипников. Параметры шероховатости, вычисленные по этим кривым определены нормой DIN 4776 и ISO 13565. Современное развитие методов анализа поверхности (спектральный, фрактальный и др.) и их внедрение привело к подключению компьютера к профилометрам и измерению шероховатости с расчетом численных оценок параметров. Таким образом, разработан алгоритм построения кривой Эбботта–Файрстоуна и вычисления параметров норм. Дискретизация кривых изучается и проверяется эффективность алгоритма на различных типах профилей [4].

Дать характеристику трения или износа поверхностей становится проще с помощью параметров кривой Эбботта–Файрстоуна, поскольку она дает представление как о размере, так и о пропорции пиков и впадин поверхности. Такой метод характеристики подходит, когда требуется определить долю впадин на поверхности, например в случае стеклянных поверхностей, полных подповерхностных трещин.

Литература

- [1] ГОСТ Р ИСО 4287–2014. *Геометрические характеристики изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры*. Москва Изд-во стандартов, 2015, 23 с.

- [2] Суслов А.Г. *Технология машиностроения*. Москва, Машиностроение, 2007, 430 с.
- [3] Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Степанов С.Н. *Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехн.ун-та, 2007, 136 с.
- [4] Stamboliska Z., Kuzinovski M. Analysis and Mathematical interpretation of parameters that describe the microstereometry of machined surfaces. *3th Inter. Conf. of Tribology, Balkantrib '99*, Sinaia (Romania), 1999, vol. I, pp. 21–28.

The Abbott — Firestone curve as a promising roughness estimation parameter

Belikova Ekaterina Viktorovna

kate.belickowa@gmail.com

Musokhranov Marcel Vladimirovich

marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The Abbott — Firestone curve is considered, which is a new promising parameter for estimating surface roughness. The theoretical foundations of this parameter and its advantages over other roughness estimation methods are presented. The article includes a discussion of practical aspects of the application of the Abbott — Firestone curve, such as the prediction of wear and surface burn-in processes.

Keywords: *Abbott — Firestone curve, roughness, roughness estimation, roughness parameters*

УДК 621.914.2

Исследование методов получения шпоночных пазов

Петрова Юлия Сергеевна

petrovayus@student.bmstu.ru

Бысов Сергей Александрович

bysov.s@bmstu.ru

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

Рассмотрены возможные методы получения шпоночных пазов различных конфигураций. Приводится их сравнительная характеристика, исходя из технологических требований к точности поверхности после обработки, трудоемкости процесса обработки и стоимости используемого инструмента, и выявляется наиболее эффективный метод для обработки полузакрытого паза заданной точности и размеров. Указаны предпочтительные способы закрепления заготовки для удобства последующей обработки и соблюдения принципа постоянства баз, а также местонахождение операции изготовления шпоночного паза в общем технологическом процессе.

Ключевые слова: шпоночный паз, фреза, долбление, строгание, протяжка, точность

Шпоночные пазы играют важную роль в машиностроении, поскольку они обеспечивают надежное соединение между валом и втулкой, передают крутящий момент и предотвращают вращение деталей относительно друг друга. Поэтому исследование методов получения шпоночных пазов имеет большое практическое значение.

Целью работы является изучение различных методов получения шпоночных пазов и их сравнительный анализ с точки зрения точности, производительности и затрат.

Актуальность работы заключается в необходимости разработки и оптимизации методов получения шпоночных пазов для повышения качества и точности сборки механических соединений. Шпоночные пазы широко применяются в инженерных конструкциях, машиностроении, авиастроении и других отраслях промышленности.

Исследование различных методов получения шпоночных пазов позволит определить наиболее эффективные и точные способы изготовления данного вида соединений. Это поможет улучшить качество производимой продукции, увеличить прочность и надежность соединений, снизить вероятность возникновения дефектов и повреждений.

Шпоночный паз на валу нарезается в осевом направлении. Он представляет собой прямоугольную канавку, которая соответствует ширине шпонки. Ширина и глубина шпоночных пазов зависят от размеров шпонки. Все шпонки и пазы стандартизированы: ГОСТ 23360–78 — для призматических шпонок [1], ГОСТ 24071–80 — для сегментных шпонок [2]. Шпоночные соединения применяют в тех случаях, когда к точности центрирования соединяемых деталей не предъявляются особые требования.

Для получения паза заготовку обычно устанавливают на призму или закрепляют в центрах. Операция, связанная с изготовлением шпоночного паза, находится в середине технологического процесса. Этой операции должно предшествовать точение заданной поверхности, а после нее должно выполняться шлифование для правки возможных деформаций.

К технологическим задачам при обработке шпоночных пазов относятся следующие требования [3]:

- по точности ширины шпоночного паза (по IT9);
- глубине паза (с рядом отклонений: $+0,1$; $+0,2$; $+0,3$);
- длине паза (по IT15);
- симметричности расположения паза относительно оси шейки, на которой он расположен.

Пазы можно получать различными способами, такими как строгание, фрезерование, долбление, протягивание.

При строгании пазов в зависимости от их расположения обработку ведут либо верхними, либо боковыми суппортами. Однако необходимо стремиться установить заготовку так, чтобы обработка велась преимущественно верхним суппортом, поскольку это удобнее. При большой ширине паза он является базовой поверхностью и требуется предварительная разметка. В остальных случаях пазы строгаются совместно с плоскими поверхностями, которые и являются базовыми. Данным методом можно получать не только прямоугольные пазы, но и пазы Т-образной формы, пазы типа «ласточкин хвост». Обработка таких пазов выполняется в несколько этапов: строгание канавки прорезным резцом; строгание уширенной части паза с левой и правой сторон.

Долбление используется только в тех случаях, когда невозможно использовать строгание. Для долбления шпоночных пазов используют специальные шпоночные резцы, которые необходимо устанавливать строго перпендикулярно направлению подачи. При этом заготовку устанавливают так, чтобы направление хода инструмента совпадало либо было параллельно оси отверстия заготовки. Для правильной установки круглых деталей используют универсальное приспособление [4].

При обработке шпоночных пазов фрезерованием можно использовать как дисковые фрезы, так и концевые фрезы [5]. Дисковыми фрезами получают сквозные и открытые с одной стороны пазы, а также пазы под сегментную шпонку. Такими фрезами обработку ведут за 1–2 прохода. Данный способ самый производительный, но его применение ограничивается конфигурацией пазов. Для получения точных по ширине пазов применяют специальные шпоночно-фрезерные станки с «маятниковой подачей». Такие станки применяют в крупносерийном и массовом производстве, но они позволяют обеспечить взаимозаменяемость в шпоночном соединении [6].

Протягивание применяют в единичном и мелкосерийном производстве [7]. Обработку ведут за несколько проходов по всей ширине паза. Однако после необходима работа калибровочными протяжками, что позволяет добиться необходимой чистоты (отсутствие задиров).

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Фрезерование является наиболее распространенным и универсальным методом получения шпоночных пазов, однако требует достаточно высокой квалификации операторов и длительного времени на обработку.

2. Применение протяжек дает наиболее высокую производительность при обработке пазов и уступов, но является не выгодным по причине очень большой стоимости инструмента.

3. Строгание и долбление паза применяется в единичном и мелкосерийном производстве из-за низкой производительности (наличие холостых ходов).

Исследование методов получения шпоночных пазов позволяет определить наиболее эффективный и экономически выгодный способ обработки валов и втулок. Каждый из методов обладает своими преимуществами и недостатками, поэтому выбор оптимального метода должен основываться на конкретных условиях производства и требованиях к качеству изделий.

Литература

- [1] ГОСТ 23360–78. *Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки.* Москва, Изд-во стандартов, 1987, 19 с.
- [2] ГОСТ 24071–80. *Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с сегментными шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки.* Москва, Изд-во стандартов, 1980, 8 с.
- [3] Колесников К.С., Баландин Г.Ф., Дальский А.М. *Технологические основы обеспечения качества машин.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994, 444 с.
- [4] Должиков В.П. *Разработка технологических процессов механообработки в мелкосерийном производстве.* Томск, Изд-во ТПУ, 2003, 328 с.
- [5] Бердников Л.Н., Безъязычный В.Ф. *Справочник фрезеровщика.* Москва, Машиностроение, 2023, 272 с.
- [6] Ильицкий В.Б., Микитянский В.В., Сердюк Л.М. *Станочные приспособления. Конструкторско-технологическое обеспечение эксплуатационных свойств.* Москва, Машиностроение, 1989, 208 с.
- [7] Должиков В.П. *Разработка технологических процессов механообработки в мелкосерийном производстве.* Санкт-Петербург, Лань, 2022, 328 с.

Research of methods for producing keyways

Petrova Yulia Sergeevna

petrovayus@student.bmstu.ru

Bysov Sergey Alexandrovich

bysov.s@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article discusses possible methods for producing keyways of various configurations. The article provides their comparative characteristics based on the technological requirements for surface accuracy after processing, the labor intensity of the processing process and cost of the tool used, and identifies the most effective method for processing a semi-closed groove of a given accuracy and size. The article indicates the preferred methods of securing the workpiece for the convenience of subsequent processing and compliance with the principle of constancy of bases, as well as the location of the keyway manufacturing operation in the overall technological process.

Keywords: *keyway, milling cutter, chiseling, planing, broaching, accuracy*

УДК 621.7

Выбор рационального способа получения заготовок из стали 20

Малиновский Алексей Николаевич

alekcey280302@yandex.ru

Аракелян Самвел Абрамович

arakelyan@bmstu.ru

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

Рассмотрены способы получения заготовок на различном оборудовании. Представлены преимущества и недостатки анализируемого оборудования. Проведен анализ полученных данных и сделан вывод о том, что выбор оптимального способа зависит от серийности, требований к качеству заготовок, производственных условий и себестоимости. Предложена рекомендация по выбору наиболее рационального способа получения заготовок из стали 20 для детали крышка с учетом всех вышеперечисленных факторов.

Ключевые слова: заготовка, кривошипные горячештамповочные прессы, прессы гидравлические, горячештамповочные автоматы, штамповочные молоты

Предметом исследования является процесс получения заготовок на различном оборудовании. Для современного производства важную роль играет качество изготовленной продукции, следовательно, один из важных этапов в производстве продукции является изготовление заготовок. Само понятие заготовка включает в себя деталь, из которой в последующем будет получено конечное изделие. При производстве заготовок на предприятиях используют разнообразное оборудование, которое в разных случаях позволяет добиться наилучших и требуемых значений и параметров размеров, форм и состояние поверхности.

Различают несколько видов получения заготовок, например литье, обработка давлением, резка листового проката, а также возможно комбинирование этих способов.

Литье, в свою очередь, подразделяется на получение заготовок в песчано-глинистые формы, в оболочковые, по выплавляемым моделям, в металлические формы и литье под давлением.

Рассмотрим каждый метод более подробно. Литье в песчано-глинистые формы характеризуется универсальностью, простотой и дешевизной производства, но также имеет недостаток, представленный в виде больших припусков под последующую механическую обработку. Литье в оболочковые формы характеризуется малым расходом материала, но при этом является более дорогим методом из-за большей стоимости формы. Литье в металлические формы предназначено для многократного использования. Литье под давлением используют для сложных тонкостенных отливок из цветных металлов [1].

Также существуют методы обработки давлением, такие какковка, горячая и холодная объемная штамповка, прокат.

Для мелкосерийного производства наиболее применяемый методковки на ковочных молотах. Для серийного и массового производства используют закрытые штампы.

Получение заготовок на кривошипных горячештамповочных прессах характеризуется несколькими основными переходами, а именно: осадка, гибка, предварительная и окончательная штамповка в закрытых и открытых штампах.

Процесс на данном типе оборудования содержит в себе несколько основных этапов.

1. Изначально необходимо подготовить материал, из которого будут изготавливаться заготовки. В зависимости от требований конкретного изделия это может быть сталь, алюминий, медь или др. Материал обычно предварительно прогревается до определенной температуры, чтобы обеспечить легкость его деформации при штамповке.

2. Приготовление инструмента: необходимо изготовить инструмент, который будет использоваться для формовки заготовок. Инструмент обычно состоит из двух частей — верхней и нижней матриц. Верхняя матрица закрепляется на кривошипном прессе, а нижняя матрица устанавливается на штамповочной платформе.

3. Загрузка материала: после подготовки материала и инструмента, заготовки загружаются в верхнюю матрицу пресса. Обычно это делается вручную, но также может использоваться автоматическая система подачи.

4. Процесс прессования: когда заготовки находятся на месте, пресс активируется, и кривошипное механическое устройство начинает двигаться вверх и вниз. При движении пресса верхняя матрица опускается на нижнюю матрицу с большой силой, переводя энергию деформации в материал. Это приводит к изменению формы заготовки в соответствии с контурами инструмента.

5. Вывод заготовок: после завершения прессования, верхняя матрица поднимается, и новые заготовки извлекаются. Если материал был прогрет, то после штамповки он остывает, и заготовки готовы к дальнейшей обработке или сборке.

Этот процесс может быть модифицирован и дополнен в зависимости от требований конкретных проектов и используемых прессов. Он широко применяется в различных отраслях промышленности, включая автомобильное производство, производство бытовой техники и многие другие.

Прессы гидравлические характеризуются достаточно мягким характером работ, при скорости хода ползуна в диапазоне 0,15–0,20 м/с. При сравнении гидравлического пресса и штамповочного молота можно сделать вывод о том, что гидравлический пресс будет значительно дороже и при этом иметь меньшие показатели производительности. Исходя из этого, его применяют не всегда, а только в тех случаях, когда происходит штамповка крупных поковок, низкопластичных сплавов, различные виды штамповки выдавливанием. Но наиболее предпочтительным методом в гидравлических прессах является штамповка в закрытых штампах в закрытых штампах с разъемной матрицей [2].

Горячештамповочные автоматы применяются в массовом производстве при изготовлении деталей, таких как кольца подшипников, крепежных и мно-

гих других изделий. Характеризуется данный процесс высокой производительностью. Процесс производства заключается в работе при повышенных температурах, что приводит к получению требуемых заготовок без деформаций и трещин. Также данный процесс включает в себя 5 этапов: 1) подготовка материала; 2) нагрев; 3) подача материала; 4) охлаждение и закалка; 5) обработка и отделка. Такой процесс применяется в автомобильной, машиностроительной отраслях промышленности, где имеется необходимость получения больших объемов и высокой точности готовой продукции [3].

Наиболее применяемая сфера штамповочных молотов — это серийное производство массой поковок от 0,01–1000 кг. Преимущества данного метода заключаются в следующем: 1) имеется возможность регулирования силы и частоты ударов; 2) характеризуется высокой скоростью деформирования. Но, как и любой метод, имеет ряд сложностей: 1) большие уклоны на поковках; 2) увеличение припусков и вследствие чего трудоемкость обработки; 3) возникновения при работе молотов, вибраций зданий и соседнего оборудования [4].

Учитывая вышеперечисленное, предлагается метод обработки для изготовления заготовок «крышка квадратная» из стали 20 для применения в крупносерийном производстве.

Литература

- [1] Кондаков А.И., Васильев А.С. *Выбор заготовок в машиностроении: справочник*. Москва, Машиностроение, 2007, 560 с.
- [2] Голенков В.А., Дмитриев А.М., Кухарь В.Д., Радченко С.Ю., Яковлев С.П. *Специальные технологические процессы и оборудование обработки давлением*. Москва, Машиностроение, 2004, 464 с.
- [3] *Ковка и штамповка. Справочник. Т. 1*. Москва, Машиностроение, 1985, 568 с.
- [4] Афонькин М.Г., Звягин В.Б. *Производство заготовок в машиностроении*. Санкт-Петербург, Политехника, 2007, 379 с.

The choice of a rational method for obtaining blanks from steel 20

Malinovsky Alexey Nikolaevich

alekcey280302@yandex.ru

Arakelyan Samvel Abramovich

arakelyan@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article discusses the methods of obtaining blanks on various equipment. The advantages and disadvantages of the analyzed equipment are given. The analysis of the data obtained is carried out and it is concluded that the choice of the optimal method depends on the serial number, requirements for the quality of workpieces, production conditions and cost. As a result, a recommendation is proposed for choosing the most rational way to obtain blanks from steel 20 for the lid part, taking into account all of the above factors.

Keywords: billet, crank hot stamping presses, hydraulic presses, hot stamping machines, stamping hammers

УДК 51-74

Методы многокритериального принятия решений

Мамонов Максим Андреевич

maksimmamonov15@gmail.com

Мусохранов Марсель Владимирович

marsel@bmstu.ru

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

Рассмотрены методы многокритериального принятия решения и алгоритмы их расчета. Данные методы применяются, когда необходимо сделать выбор между несколькими альтернативами, выполняющими похожие функции, например металлообрабатывающими станками, т. е. провести оптимизацию. Сделаны выводы, что одни методы более просты в использовании, но дают не самую объективную оценку, в то время как другие являются гораздо более трудоемкими, но дают более точный результат.

Ключевые слова: многокритериальное принятие решения, метод суммы мест, метод взвешенной суммы мест, метод сумм взвешенных значений критериев, метод TOPSIS, методы ELECTRE

Выбор из нескольких альтернатив — это процесс, требующий рассмотрения большого количества критериев, часто с разными единицами измерения. Для решения подобных задач применяют методы многокритериального принятия решения. Эти методы позволяют объективно сравнить между собой альтернативы и выбрать из них наиболее предпочтительную по заданным критериям, т. е. провести оптимизацию [1].

Рассмотрим следующие методы: 1) метод суммы мест; 2) метод взвешенной суммы мест; 3) метод сумм взвешенных значений критериев; 4) метод TOPSIS; 5) метод ELECTRE.

Метод суммы мест заключается в предварительном ранжировании каждой альтернативы по каждому из рассматриваемых критериев. Значения этих критериев могут быть как абсолютные, так и относительные.

Анализируемые значения критериев каждой из альтернатив упорядочиваются от лучшего к худшему с присваиванием ранга таким образом, что лучшее значение получает первое место, следующее за ним — второе, и т. д. до худшего значения критерия. В конце, для каждой из альтернатив производится суммирование числовых показателей полученных мест, и чем меньше полученная сумма, тем выше итоговый ранг альтернативы и, следовательно, тем более предпочтительной она является [2].

Метод взвешенной суммы мест основывается на предыдущем методе с добавлением учета относительного веса каждого критерия.

Относительный вес рассчитывается путем попарного сравнения между собой всех критериев и дальнейшего определения их значимости: если первый критерий более значимый, чем второй, то его приоритет равняется 1, если менее значимый, то 0, если критерии равнозначны, то оба получают прио-

ритет 0,5. Для каждого критерия рассчитывается сумма приоритетов и относительный вес [2].

Далее для каждого критерия место, полученное каждой альтернативой, умножается на относительный вес данного критерия. В конце производится аналогичное суммирование полученных произведений для каждой из альтернатив и аналогичное сравнение: чем меньше полученная сумма, тем выше ранг соответствующей альтернативы [3].

Метод сумм взвешенных значений критериев заключается в определении комплексной оценки каждой альтернативы путем суммы произведений относительного веса критерия и его нормированного значения [4].

Нормированное значение необходимо для приведения значений критериев к сопоставимому виду, т. к. критерии имеют разную размерность. Нормированное значение лежит в интервале от 0 до 1, с сохранением соотношений между всеми альтернативными значениями критерия.

В отличие от предыдущих методов, чем выше сумма оценок, тем выше ранг альтернативы. Данный метод дает более подробное представление о весе каждого конкретного критерия в сравнении с предыдущими методами, но это достигается путем увеличения трудоемкости процесса расчета.

Метод TOPSIS основан на том принципе, что значения альтернатив должны быть максимально удалены от наихудшего решения и минимально удалены от наилучшего решения [4].

Как и в предыдущем методе, сначала рассчитываются нормированные значения критериев для каждой альтернативы. После чего, из полученных значений выделяют наилучшее и наихудшее, R_i^+ и R_i^- соответственно. Причем, наилучшее не всегда самое больше, например, при анализе критерия «Точность обработки» наилучшей является альтернатива с меньшим значением критерия [5]. Далее определяется разделительное расстояние для рассматриваемых альтернатив по формулам 1 и 2 соответственно:

$$d_i^+ = (\sum_{k=1}^n (R_{ki} - R_i^+)^p)^{1/p}; \quad (1)$$

$$d_i^- = (\sum_{k=1}^n (R_{ki} - R_i^-)^p)^{1/p}. \quad (2)$$

После того рассчитывается относительная удаленность каждой альтернативы от наихудшего решения по формуле.

Ранжирование альтернатив проводится по принципу наибольшей удаленности от наихудшего решения, т. е. чем выше удаленность, тем выше ранг получает конкретная альтернатива [6].

Методы ELECTRE — это группа методов, являющаяся аббревиатурой «Élimination Et Choix Traduisant la REalité», что можно перевести как «Исключения и выбор в условиях реальности».

При сравнении альтернатив выделяются: I^+ — подмножество критериев, по которым альтернатива X оптимальнее альтернативы Y , I^- — подмножество критериев, по которым альтернатива Y оптимальнее альтернативы X [7].

Матрица согласия при использовании метода ELECTRE I рассчитывается как сумма относительных весов критериев, по которым альтернатива X пре-

восходит альтернативу Y . После этого полученные суммы для каждой альтернативы суммируются (см рисунок).

Ранжирование альтернатив производится путем разности суммы весов критериев по горизонтали и суммы весов критериев по вертикали. Полученная разность может быть, как положительной, так и отрицательной. Чем выше разность, тем выше ранг альтернативы [8].

56	Матрица согласия				
57		Salvagnini	AMADA L	AMADA P	
58	Salvagnini	0	0,82	0,8	=СУММ(B
59	AMADA L	0,18	0	0,38	0,56
60	AMADA P	0,2	0,62	0	0,82
61		0,38	1,44	1,18	3

56	Матрица согласия				
57		Salvagnini	AMADA L	AMADA P	
58	Salvagnini	0	0,82	0,8	1,62
59	AMADA L	0,18	0	0,38	0,56
50	AMADA P	0,2	0,62	0	0,82
51		=СУММ(B	1,44	1,18	3

Расчет матрицы согласия

Методы многокритериального решения различаются точностью принимаемого решения, а также трудоемкостью. Такие методы, как метод суммы мест и метод взвешенной суммы мест являются легкими для использования, практически не требуют специальных знаний и позволяют быстро получить требуемый результат. В то время как метод сумм взвешенных значений критериев, TOPSIS и методы семейства ELECTRE помогают получить более подробное и точное сравнение альтернатив, при существенно возросшей трудоемкости процесса расчетов.

Литература

- [1] Суслов А.Г. *Наукоемкие технологии в машиностроении*. Москва, Машиностроение, 2012, 528 с.
- [2] Воробьева М.В. Анализ методов многокритериального принятия решений. *Региональная и отраслевая экономика*, 2022, № 1, с. 24–28. https://doi.org/10.47576/2782-4578_2022_1_24
- [3] Яроцкая Е.В. *Экономико-математические методы и моделирование*. Саратов, Ай Пи Эр Медиа, 2018. 227 с.
- [4] Аксянова А.В. Валеева А.Н., Валеева Д.Н., Гумеров А.М. *Математическое моделирование экономических процессов*. Казань, КНИТУ, 2016. 92 с.
- [5] Ewa R., Trzaskalik T., Wachowicz T. Multi-criteria decisionmaking models by applying the TOPSIS method to crisp and interval data. *Multiple Criteria Decision Making*, Katowice, the University of Economics, 2011, pp. 200–230.

- [6] Jadidi O., Hong T.S., Firouzi F., Yusuff R.M. An Optimal Grey Based Approach Based on TOPSIS Concept for Supplier Selection Problem. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 2008, vol. 4, no. 2, pp. 104–117.
- [7] Figueira José, Salvatore Greco, Matthias Ehrgott. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York, Springer Science + Business Media, 2005.
- [8] Roy B. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *La Revue d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (RIRO)*, 1968, vol. 8, pp. 57–75.

Multi - criteria decision - making methods

Mamonov Maxim Andreevich

maksimmamonov15@gmail.com

Musokhranov Marcel Vladimirovich

marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The methods of multi-criteria decision-making and algorithms for their calculation are considered. These methods are used when it is necessary to make a choice between several alternatives that perform similar functions, for example, metalworking machines, i.e. to optimize. It is concluded that some methods are easier to use, but do not give the most objective assessment, while others are much more time-consuming, but give a more accurate result.

Keywords: *multi-criteria decision-making, sum of places method, weighted sum of places method, sum of weighted values of criteria method, TOPSIS method, ELECTRE methods*

УДК 621.91

Влияние режимов резания и геометрических параметров инструмента на процесс фрезерования концевыми фрезами

Кондратенко Иван Сергеевич

van_ocean@mail.ru

Зенкин Николай Васильевич

zenkin-nv@bmstu.ru

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

Рассмотрена зависимость интенсивности изменения глубины резания от угла поворота фрезы при изменении технологической глубины резания и диаметра концевой фрезы. Также рассмотрена сущность образования гребешков подачи, зависящих от подачи на оборот фрезы и ее биения в шпинделе станка. Установлено влияние составляемой максимальной глубины резания и диаметра используемого инструмента на интенсивность изменения толщины среза. Выбор этих параметров, а также правильное определение значения подачи при фрезеровании могут значительно улучшить качество получаемых поверхностей и стойкость инструмента.

Ключевые слова: фрезерование, концевые фрезы, режимы резания, глубина резания, геометрия инструмента

Рассматриваемый в работе способ фрезерования концевыми фрезами выделяется, в первую очередь, особенностями используемого инструмента. Концевые фрезы — это тип фрезерного инструмента, совмещающий в себе работу торцевых и цилиндрических фрез. Именно поэтому справедливые для обработки концевыми фрезами закономерности и зависимости важно рассматривать как для торцевой, так и для цилиндрической части этих инструментов.

Цель работы — установить закономерности в этом процессе и узнать, как кинематические и геометрические параметры резания влияют на него.

Угол подъема зубьев, имеющих винтовую форму, на цилиндрической части концевой фрезы лежит в диапазоне $30\text{--}15^\circ$. Расположенные таким образом режущие лезвия фрезерного инструмента позволяют повысить плавность хода фрезы и обеспечить тем самым более точные параметры обработки [1].

Схему движения зуба концевой фрезерного инструмента можно представить в проекции на вертикальную плоскость. Развертка снимаемого припуска при этом будет представлять собой прямоугольный треугольник, где один из катетов — это требуемая величина глубины резания.

С момента врезания концевой фрезы в обрабатываемый материал и до достижения врезавшимся зубом требуемой постоянной величины глубины резания t , инструмент повернется на некоторый угол α .

Влияние угла α на уменьшение воздействия силовых нагрузок во время выполнения зубом фрезы рабочего хода (врезания в материал и выхода из материала) велико.

В процессе изучения развертки снимаемого фрезой припуска и выполнения математических преобразований была получена зависимость глубины резания от угла поворота и радиуса фрезы:

$$t = r_{\phi} \operatorname{tg} \gamma \sqrt{2(1 - |\cos \alpha|)}. \quad (1)$$

Изучим влияние заданной максимальной глубины резания и радиуса фрезы на интенсивность изменения глубины резания при повороте зуба фрезы.

Исходя из формулы (1), получена зависимость интенсивности изменения глубины резания при контакте зуба концевой фрезы с поверхностью детали от угла поворота фрезы при различных значениях максимальной глубины резания: $t = 1,0; 2,0; 3,0$ мм (при радиусе $d_{\phi} = 12$ мм, $\gamma = 30^\circ$). Также приведена зависимость интенсивности изменения толщины срезаемого слоя при контакте зуба концевой фрезы с поверхностью детали от диаметра инструмента: $d_{\phi} = 8,0; 12,0; 16,0$ мм (при глубине $t = 2$ мм, $\gamma = 30^\circ$).

Из данных зависимостей следует, что в интервале угла $[0^\circ; \alpha]$ происходит постепенное увеличение глубины резания, а в интервале $[180^\circ - \alpha; 180^\circ]$ — ее уменьшение. Установление технологической глубины резания не оказывает влияния на интенсивность ее снятия зубом концевой фрезы при его повороте от 0 до 180° . При этом увеличение диаметра фрезы оказывает большое влияние на изменение этой характеристики [2].

Таким образом, увеличение диаметра фрезерного инструмента прямо пропорционально увеличению интенсивности изменения глубины резания при обработке концевыми фрезами. Это увеличение существенно снижает плавность процесса резания.

Выбор этих параметров, а также правильное определение значения подачи при фрезеровании могут значительно улучшить качество получаемых поверхностей и стойкость инструмента.

При использовании концевых фрез во время обработки карманов и выборок между двумя последовательными проходами на поверхности детали остается недорезанный участок. Высота этих необработанных участков называется высотой гребешков [3].

Высота гребешков на поверхностях, обработанных концевыми фрезами, зависит от биения инструмента, которое складывается из радиального биения зубьев относительно посадочного диаметра фрезы и биения посадочного диаметра оправки относительно теоретической оси шпинделя.

Также на высоту гребешков влияет величина подачи. Известно, что на поверхности детали после фрезерования остаются следы не подачи на зуб S_z , а подачи на оборот фрезы S_o . Расчетная высота этих неровностей с шагом S_o , средней толщиной среза a_{cp} , числом зубьев фрезы z и ее диаметром d :

$$\Delta = \frac{S_o^2}{4d} = \frac{a_{cp}^2 z^2}{4t}. \quad (2)$$

Высота образованных гребешков подачи на поверхностях, обработанных цилиндрической частью концевой фрезы может быть рассчитана по формуле

$$\Delta = \frac{d}{2}(1 - \cos \varepsilon) \approx \frac{d}{4} \sin^2 \varepsilon = \frac{S_z^2}{4d} = \frac{a_{cp}^2}{4t}, \quad (3)$$

где ε — угол поворота, соответствующий подаче $S_z/2$; $a_{cp} = S_z \sqrt{\frac{t}{d}}$ — средняя толщина среза.

Следовательно, отклонение от прямолинейности обработанной плоскости в результате работы зубьев концевой фрезы будет определяться гребешками с высотой Δ [4]. Высота этих гребешков имеет связь и соотносится со значениями получаемой шероховатости. Шероховатость в общем случае составляет примерно 25 % от высоты гребешков подачи.

Таким образом, эти неровности обрабатываемых поверхностей зависят не только от установленной подачи, но и от геометрических параметров инструмента (диаметр, углы в плане).

Литература

- [1] Аверьянов О.И., Клепиков В.В. *Технология фрезерования изделий машиностроения*. Москва, Форум, 2016. 432 с.
- [2] Борисенко Г.А., Иванов Г.Н., Сейфулин Р.Р. *Технология конструкционных материалов. Обработка резанием*. Москва, Инфра-М, 2016, 142 с.
- [3] Попок Н.Н., Анисимов В.С. Кинематика обработки поверхностей деталей вращающимся режущим инструментом с касательным движением режущей кромки. *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки*, 2019, № 11.
- [4] Зенкин Н.В. *Высокопроизводительная обработка внутренних поверхностей крупных кольцевых заготовок двухкромочным фрезерованием*. Дис. ... канд. техн. наук. Калуга, 2002, 156 с.

Influence of cutting modes and tool geometrical parameters on the process of milling with end milling cutters

Kondratenko Ivan Sergeevich

van_ocean@mail.ru

Zenkin Nikolay Vasilyevich

zenkin-nv@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The dependence of the intensity of change in the depth of cut on the angle of rotation of the cutter when changing the technological depth of cut and the diameter of the end mill is considered. The essence of formation of feed scallops depending on the feed per revolution of the cutter and its runout in the machine spindle is also considered. The influence of the set maximum depth of cut and the diameter of the used tool on the intensity of change in the thickness of the cut has been established. The choice of these parameters, as well as the correct determination of the feed value during milling can significantly improve the quality of the obtained surfaces and tool durability.

Keywords: milling, end milling cutters, cutting modes, depth of cut, tool geometry

УДК 621.91

Обоснование выбора метода обеспечения шероховатости при обработке внутренних цилиндрических поверхностей

Костенко Константин Дмитриевич

kostya.kostenko.022@mail.ru

Малышев Евгений Николаевич

malen@bmstu.ru

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

Обработка отверстий — один из основных методов обработки деталей. Она подразделяется на несколько разных операций, которые по-своему позволяют обработать поверхность. Также существует множество видов и схем обработки отверстий на различных станках. Цель доклада — выбрать такой метод обработки, который позволит обработать деталь с необходимой точностью. Задача доклада — рассмотреть и проанализировать все известные методы обработки внутренней цилиндрической поверхности. Выбор метода обработки должен зависеть не только от достигаемой точности поверхности, но и от затрат на обработку.

Ключевые слова: обработка отверстий, растачивание, сверление, рассверливание, зенкерование, зенкование, развертывание, клемма, припуск, себестоимость резца

Обработка отверстий представляет собой весь ряд технологических операций, которые, в свою очередь, позволяют получить заданные геометрические параметры и шероховатость поверхности отверстий. Выделяют три метода обработки отверстий: растачивание, сверление, фрезерование, но также эти способы разделяются на технологические операции такие как: растачивание, развертывание, зенкерование и т. д.

Актуальность данного исследования заключается в выборе наиболее рационального и эффективного метода обработки деталей с получением высокой точности и качества поверхности, при минимальных затратах, что важно в современном производстве.

Целью исследования является выбор наиболее рационального метода обработки внутренних цилиндрических поверхностей детали с $L = 50\text{--}100$ мм, $d = 15\text{--}35$ мм, $Ra = 1,6\text{--}6$ мкм.

Задачи исследования:

- 1) рассмотреть методы обработки отверстий: растачивание, сверление, развертывание, зенкерование;
- 2) проанализировать данные и сделать вывод о последовательности обработки поверхности $\varnothing 27$ мм, $L = 80$ мм с качеством точности $H7$ и $Ra = 3,2$ мкм.

Растачивание используется для отверстий, изначально сделанных сверлением или зенкерованием, для отверстий которые были получены или методом литья иликовки. К данному виду обработки соответственно используют токарные, расточные, а также координатно-расточные и специальные станки. Обработка происходит при вращении детали или при вращении борштанги в зависимости от выбранного оборудования [1]. Существует несколько видов

обработки. Первый вид — обработка нескольких отверстий, которые растачиваются резцами. Данный вид обработки применяется тогда, когда отверстия расположены соосно, имеют большую длину и имеется возможность прогиба борштанги. Второй вид — растачивание вращающимся резцом. Этот вид применяется, когда необходимо обработать неглубокое отверстие большого диаметра. Третий вид — обработка «Летучим суппортом». Данный вид обработки применяется в случае обработки значительно несимметричных поверхностей. Достижимая точность отверстий $H6-H7$, Ra 6,3–0,32 мкм.

Сверление необходимо для того, чтобы получить предварительно отверстия с последующим применением средств и методов, которые улучшают точность и шероховатость поверхности. Сверление выполняют с внедрением режущего инструмента — сверла. Устанавливают данный инструмент в специальных приспособлениях и оборудовании [2]. Имеется возможность получения как сквозных, так и, например, глухих отверстий. Используемые приспособления и оборудование могут быть как ручными, так и станочными. Чтобы добиться высокой производительности при обработке большого диаметра следует применять сверлильные станки, которые могут быть стационарными и настольными. При сверлении достигается шероховатость $Ra = 8-25$ мкм, а точность — 9–13 квалитет.

Рассверливание — это разновидность сверлильной операции, которая используется для увеличения размера обрабатываемой поверхности по сравнению с ранее обработанной. По точности изготовления выделяют сверла общего назначения и точного исполнения. Достижимая точность отверстий $H9-H13$, Ra 25–6,3 мкм.

С помощью зенкерования решаются такие задачи, как обработка отверстий, полученных штамповкой, литьем, ковкой [3]. Благодаря этому методу можно получить точность отверстий $H8-H13$, $Ra = 25-6,3$ мкм.

Для процесса зенкования применяется специальный инструмент — зенковка. При данном методе обрабатывается только верхняя часть отверстия [4]. Доступная точность до $H8$, $Ra = 1,25$ мкм.

При развертывании применяемый инструмент — развертка [5]. При данном методе достигается точность $H6-H11$ квалитет и шероховатость $Ra = 1,25-0,32$ мкм. Снимаемый припуск от сотых до максимального значения в 1 мкм. Различают четыре типа разверток: ручная, машинная, насадная, сборная.

Протягивание — один из методов обработки внутренних поверхностей. Данный метод позволяет обрабатывать не только цилиндрические, но и квадратные, шлицевые и другие поверхности. Для выполнения данного метода необходим горизонтально-протяжной станок. Протяжка — многолезвийный инструмент. Данный метод является высокопроизводительным, так как в процессе резания участвует большое количество режущих кромок. Достижимая точность равна классу 1–3, шероховатость Ra составляет 2,5–0,16 мкм. Однако протяжка очень дорогой и сложный инструмент, поэтому ее оправдано использовать в массовом производстве.

Для обработки детали типа «Клемма» наиболее подходящим методом для обработки центрального отверстия $\varnothing 27$ мм, $L = 80$ мм с качеством точности $H7$ и шероховатостью $Ra = 3,2$ мкм является растачивание чистовое, так как себестоимость резца относительно других инструментов гораздо ниже и время на обработку отверстия длиной 80 мм существенно ниже.

Литература

- [1] Тимирязев В.А., Вороненко В.П., Схиртладзе А.Г. *Основы технологии машиностроительного производства*. Санкт-Петербург, Лань, 2012, 448 с.
- [2] Схиртладзе А.Г. *Технологические процессы в машиностроении*. Москва, Высш. шк., 2007, 416 с.
- [3] *Технология автомобилестроения*. Москва, Академический проект, 2005, 622 с.
- [4] *Технология машиностроения*. Москва, Машиностроение, 1986, с. 155–170.
- [5] Кирсанов С.В. *Инструменты для обработки точных отверстий*. Москва, Машиностроение, 2003, 330 с.
- [6] Немцев Б.А., Шаманин А.А., Кижняев Ю.И. Переоборудование и оснащение универсальных токарно-винторезных станков для обработки глубоких отверстий. *Металлообработка*, 2006, № 3, с. 5–6.

Justification of the choice of a method for ensuring roughness when processing internal cylindrical surfaces

Kostenko Konstantin Dmitrievich

kostya.kostenko.022@mail.ru

Malyshev Evgeny Nikolaevich

malen@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Hole machining is one of the main methods of machining parts. It is divided into several different operations that allow you to process the surface in your own way. There are also many types and schemes of hole processing on various machines. The purpose of the report is to choose a processing method that will allow you to process the part with the necessary accuracy. The purpose of the report is to review and analyze all known methods of processing the inner cylindrical surface. The choice of processing method should depend not only on the achieved surface accuracy, but also on the processing costs.

Keywords: hole processing, boring, drilling, reaming, countersinking, countersinking, deployment, terminal, allowance, cost of the cutter

УДК 621.2

Термическая обработка заэвтектоидных сталей

Косолапов Александр Евгеньевич

allan909909@mail.ru

Зенкин Николай Васильевич

zenkin-nv@bmstu.ru

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

Рассмотрен процесс термической обработки материалов, основанный на изменении их структуры при нагревании и последующем охлаждении. Представлены основные принципы термической обработки заэвтектоидных сталей, включая этапы нагревания, выдержки и охлаждения для достижения оптимальных свойств материалов. Также анализируются методы термической обработки, такие как закалка, отпуск и нормализация, и их влияние на механические свойства и структуру стали. Дается подробное описание каждого метода, его эффекта на микроструктуру и свойства стали, а также условий, необходимых для достижения оптимальных результатов.

Ключевые слова: термообработка, сталь, отжиг, отпуск, закалка

Термическая обработка заэвтектоидных сталей является одним из ключевых процессов в металлургии и металлообработке. Эти стали отличаются особыми свойствами, такими как высокая прочность, твердость и устойчивость к деформации. Они широко применяются в различных отраслях промышленности, включая авиацию, автомобилестроение, машиностроение и др.

Целью исследования является изучение влияния различных режимов термической обработки на структуру и свойства заэвтектоидных сталей. Результаты исследования позволят оптимизировать процессы термической обработки и повысить качество и долговечность изделий из этих сталей.

Термообработка стали позволяет изменять ее твердость, хрупкость и вязкость, а также делать ее устойчивой к деформации, износу и химической коррозии. К основным видам термообработки относят закалку, отпуск и отжиг. Кроме этого, существуют комбинированные способы: химико-термическая и термомеханическая обработки, сочетающие в себе нагрев и охлаждение с другими видами воздействия на структуру металла. Главная задача термической обработки изделия из стали — придать ему требуемое эксплуатационное качество или совокупность таких качеств. Другое назначение термической обработки — это восстановление изначальных свойств металла, которое достигается их отжигом.

Суть термообработки стали — это изменение структуры. Необходимо соблюдать все режимы (температурные, временные), зависящие от содержания углерода, легирующих элементов и различных примесей, которые снижают качество материала, например фтор.

Актуальной является задача по разработке экономичных и экологически чистых способов закалки, способных обеспечить сочетание высокой закалоч-

ной твердости с меньшими, чем при стандартной закалке закалочными напряжениями и деформациями [1].

Отжиг сталей — это процесс термической обработки металлических материалов с целью изменения их микроструктуры и свойств, путем нагрева стали выше критической температуры (структура аустенита), с последующей выдержкой и медленном охлаждении.

Различают два вида отжига: отжиг первого рода и отжиг второго рода.

Отжиг первого рода направлен на возвращение в равновесное состояние металла, подвергнутого предварительной пластической деформации. В то время как отжиг второго рода направлен на устранение ликвации, выравнивание химического состава сплава, в основе которого лежит диффузия.

Отжиг первого рода состоит из двух стадий: возврат и рекристаллизация.

В металле посредством пластической деформации возникает структура, при которой большинство кристаллов оказываются деформированными в одном направлении.

Отжиг второго рода разделяют в зависимости от температуры: полный отжиг; неполный отжиг; нормализация; низкий отжиг.

Деформационный отпуск конструкционной стали — это технологический процесс, предназначенный для изменения механических свойств и структуры металла путем его обработки пластической деформацией (скручивание, растяжение, сгибание, давление и т. д.) и последующего термического отпуска.

Процедура проводится с целью улучшения свойств стали, таких как прочность, твердость, устойчивость к растрескиванию и усталости [2].

Характеристики деформационного отпуска зависят от типа конструкционной стали, ее марки, качества и требуемых характеристик [3]. Общие этапы процесса включают в себя следующие шаги.

1. Пластическая деформация металла с целью изменения его микроструктуры и уплотнения кристаллической решетки.

2. Термический отпуск — нагревание стали до определенной температуры и удержание при этой температуре в течение определенного времени для выравнивания внутренних напряжений и структурных изменений.

3. Охлаждение и дополнительная обработка стали для получения необходимых механических свойств.

Деформационный отпуск может быть применен как для общих конструкций, так и для специальных видов сталей, таких как высокоуглеродистая сталь или нержавеющая сталь. Важно проводить процедуру с соблюдением всех технологических требований и условий, чтобы избежать дефектов и обеспечить желаемые результаты.

Закалка токами высокой частоты — это процесс термической обработки металлических деталей с использованием высокочастотного тока. Этот метод обработки позволяет быстро и эффективно повысить твердость и прочность материала [4].

Принцип работы закалки токами высокой частоты заключается в нагреве поверхности металла до высокой температуры с последующим быстрым

охлаждением. Это происходит за счет электромагнитного поля, создаваемого высокочастотным током, который нагревает лишь поверхностный слой металла. После этого происходит быстрое охлаждение в воде или масле, что приводит к закалке материала.

Преимущества закалки токами высокой частоты: быстрота процесса, минимальные деформации и высокая точность термической обработки. Этот метод также позволяет значительно улучшить механические свойства материала, что делает его более прочным и износостойким.

В данной работе была проведена термическая обработка заэвтектоидных сталей с целью изучения их микроструктуры и механических свойств. Результаты исследования показали, что термическая обработка значительно влияет на микроструктуру стали, приводя к изменениям в размере и форме зерен, а также к образованию дополнительных фаз. Было установлено, что определенные режимы термической обработки позволяют достичь оптимальных механических свойств стали, таких как прочность, твердость и устойчивость к износу.

Литература

- [1] Перебоева А.А. Технология термической обработки металлов. Курс лекций. Красноярск, СФУ, 2007.
- [2] Новиков И.И., Строганов Г.Б., Новиков А.И. Металловедение, термообработка и рентгенография. Москва, МИСиС, 1994, 480 с.
- [3] Зинченко В.М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
- [4] Балановский А.Е. Плазменное поверхностное упрочнение металлов. Иркутск, ИрГТУ, 2006.

Heat treatment of hypereutectoid steels

Kosolapov Alexander Evgenievich

allan909909@mail.ru

Zenkin Nikolay Vasilyevich

zenkin-nv@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article discusses the process of heat treatment of materials based on changes in their structure during heating and subsequent cooling. The basic principles of heat treatment of hypereutectoid steels are presented, including the stages of heating, holding and cooling to achieve optimal material properties. Heat treatment methods such as quenching, tempering and normalization are also analyzed, and their effect on the mechanical properties and structure of steel. A detailed description of each method is given, its effect on the microstructure and properties of steel, as well as the conditions necessary to achieve optimal results.

Keywords: heat treatment, steel, annealing, tempering, quenching

УДК 621.2

Сокращение времени обработки

Беспалов Герман Александрович

bespalovGerman2002@yandex.ru

Малышев Евгений Николаевич

malen@bmstu.ru

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

Представлено исследование в области оптимизации процесса обработки материалов с целью сокращения времени обработки. Исследованы различные методы и технологии, которые позволяют сократить время обработки при фрезеровании. Проанализированы новейшие инструменты и оборудование, оптимизация параметров обработки, а также применение современных методов управления процессом. Описаны основные препятствия, с которыми сталкиваются компании при попытке сократить время обработки. Рассмотрена важность оптимизации времени обработки для повышения производительности и эффективности производства.

Ключевые слова: время, сокращение, приспособление, станки

В современном производстве, особенно в машиностроении и металлообработке, эффективность работы станков играет решающую роль в общей производительности предприятия. Быстрая обработка деталей на станках становится одной из главных задач, поскольку это позволяет снизить затраты времени и ресурсов, а также повысить конкурентоспособность компании на рынке.

Сокращение времени обработки на станках является сложным и многогранным процессом, который включает в себя различные аспекты, такие как оптимизация технологических процессов, улучшение точности и надежности станков, применение новых материалов и инструментов, а также использование современных методов контроля и управления производством.

Важной составляющей сокращения времени обработки является использование различных приспособлений, позволяющих обрабатывать несколько заготовок одновременно. Использование многоместных приспособлений для фиксации заготовок позволяет быстро и надежно закреплять и менять заготовки на станке, что упрощает процесс загрузки и выгрузки деталей. Также, применяя подобные приспособления, сокращается время обработки за счет меньшей длины обработки, так как длина врезания и перебега меньше.

Существуют различные приспособления как с кассетным креплением заготовок, так и приспособления с гидравлическим приводом [1]. Преимущество кассетного заключается в быстрой смене партии заготовок. Так, например, пока обрабатывается первая партия из пяти заготовок, загружается следующая кассета с заготовками. После завершения обработки первая кассета с готовыми деталями просто снимается и на ее место ставится вторая. Однако данное приспособление менее точное, чем приспособление с гидравлическим приводом.

Перед выбором зажимного приспособления для обработки заготовок в многоместных приспособлениях необходимо определить тип и размер заготовок, которые будут обрабатываться [2]. Также важно учесть материал заготовок и требования к точности обработки. При выборе зажимного приспособления следует учитывать тип обрабатывающего оборудования, на котором будет производиться обработка. Например, для обработки на станках с ЧПУ необходимо выбирать приспособления с возможностью автоматической установки и смены заготовок. Важно обратить внимание на его надежность и удобство использования. Необходимо, чтобы приспособление было легко настраиваемым и позволяло быстро и эффективно менять заготовки.

Таким образом, применение подобных приспособлений эффективно, так как сокращает вспомогательное и машинное время. На сокращение времени обработки значительное влияние оказывают способ размещения заготовок и их количество, т. е. чем больше заготовок, одновременно закрепляемы в приспособлении, тем меньше время обработки. Однако увеличение числа заготовок ограничивается их размерами и конструкционными особенностями. Обработка может проходить как параллельно, последовательно, так и параллельно-последовательно.

Сокращение времени обработки можно добиться увеличением минутной подачи S_M :

$$S_M = S_z \cdot n \cdot z,$$

где S_z — подача на зуб, мм/зуб; n — частота вращения шпинделя, об/мин; z — количество зубьев фрезы.

Подача на зуб берется из справочников и зависит от ширины фрезерования и диаметра фрезы [3]. Правильно подобранная фреза позволит получить необходимое качество поверхности и максимальную производительность.

Также использование высокоскоростных фрезерных станков с автоматической системой смены инструмента позволяет сократить время на подготовку станка и смену режущего инструмента, что значительно увеличит производительность процесса. Применение специализированных CAD/CAM программ для создания оптимальных траекторий обработки позволит сократить время на программирование станка и уменьшить количество проходов инструмента для обработки заготовки [4].

В результате проведенных исследований было установлено, что параллельная обработка является одним из наиболее эффективных и перспективных методов для сокращения времени обработки в многоместных приспособлениях. Параллельная обработка позволяет распределить операции между различными рабочими местами, что поощряет одновременное выполнение нескольких операций и сокращает время выполнения процесса обработки.

Внедрение автоматизированных систем и технологий также оказывает значительное влияние на сокращение времени обработки. Автоматизация процесса позволяет устранить человеческий фактор, минимизировать ошибки и снизить время на настройку и перенастройку оборудования. Это также повышает качество и точность обработки.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что сокращение времени обработки является ключевым фактором в достижении высокой эффективности производства и улучшении конкурентоспособности компании. Поэтому рекомендуется постоянно работать над оптимизацией производственных процессов и внедрять новые методы и технологии для дальнейшего улучшения производственной деятельности.

Литература

- [1] Вардашкин Б.Н., Шатилов А.А. *Станочные приспособления*. В 2 т. Москва, Машиностроение, 1984, 592 с.
- [2] Косилова А.Г., Мещерякова Р.К. *Справочник технологамашиностроителя*. Т. 2. Москва, Машиностроение, 1986, 496 с.
- [3] Барановский Ю.В. *Режимы резания металлов*. Москва, Машиностроение, 1972, 363 с.
- [4] Гузеев В.И. *Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением*. Москва, Машиностроение, 2005, 367 с.

Reduction of processing time

Bespalov German Alexandrovich bespalovGerman2002@yandex.ru

Malyshev Evgeny Nikolaevich malen@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article is a study in the field of optimizing the material processing process in order to reduce processing time. Various methods and technologies are being explored that can reduce the processing time during milling. The article analyzes the latest tools and equipment, optimization of processing parameters, as well as the application of modern process control methods. The main obstacles that companies face when trying to reduce processing time are also discussed. It examines the importance of optimizing processing time to improve productivity and production efficiency.

Keywords: *time, reduction, adaptation, machines*

УДК 51-74

Использование методов многокритериального принятия решений для оптимизации подбора оборудования

Мамонов Максим Андреевич

maksimmamonov15@gmail.com

Мусохранов Марсель Владимирович

marsel@bmstu.ru

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

Рассматриваются методы многокритериального принятия решения на примере подбора наиболее предпочтительного оборудования для раскроя листового металла на одном из предприятий г. Калуга. Использовались следующие методы: метод сумм взвешенных значений критериев, метод TOPSIS, метод ELECTRE I. По результатам расчетов был сделан вывод, что все методы дают правильный результат и решение об использовании конкретного метода в другой работе лежит на человеке, принимающем решение.

Ключевые слова: лазерные станки, координатно-пробивные станки, методы многокритериального принятия решения, метод сумм взвешенных значений критериев, метод TOPSIS, метод ELECTRE I

На одном из калужских машиностроительных предприятий имеется штамповочный участок с 3 станками для раскроя листового металла: лазерные комплексы Salvagnini L5 (сталь толщиной до 20 мм) и AMADA QUATTRO II (сталь толщиной менее 1 мм), и координатно-пробивной пресс с ЧПУ Amada AC 2510 NT (получение рифтов, отбортовок, вентиляционных отверстий). Следовательно, ни один из представленных на предприятии станков не может быть полностью заменен другим.

Главным технологом была поставлена задача: составить алгоритм подбора оборудования для облегчения работы технологического отдела и более быстрого обучения молодых специалистов. Задача будет выполняться методами многокритериального принятия решения.

Исходными данными для решения будут табл. 1, 2.

Таблица 1

Альтернативы и их критерии

№ п/п	Параметры станка (критерии)	Альтернативы		
		Salvagnini L5	Amada QUATTRO II	Amada AC 2510 NT
1	Точность обработки, мм	0,08	0,02	0,2
2	Максимальная масса обрабатываемой заготовки, кг	80	40	60
3	Скорость обработки, мм/с	100	15	26,7
4	Максимальная толщина листа (сталь), мм	20	12	3,2

Окончание табл. 1

№	Параметры станка (критерии)	Альтернативы		
		Salvagnini L5	Amada QUATTRO II	Amada AC 2510 NT
5	Мощность, кВт	3	2	10
6	Погрешности позиционирования, мм	0,1	0,3	0,2
77	Габариты станка, объем, м ³	24,84	16,5	44,98
88	Масса станка, т	4,5	3,75	13

Таблица 2

Относительный вес критериев

№ п	Критерии	1	2	3	4	5	6	7	8	Сумма приоритетов, w_i	Относительный вес, $w_{\text{нотн}}$
1	Точность		1	0,5	0,5	0	0	1	1	4	0,14
2	Масса заг.	0		0	0,5	0	1	1	1	3,5	0,12
3	Скорость	0,5	1		0,5	0,5	1	1	1	5,5	0,2
4	Толщина	0,5	0,5	0,5		1	1	1	1	5,5	0,2
5	Мощность	1	1	0,5	0		1	1	1	5,5	0,2
6	Погрешность	1	0	0	0	0		1	1	3	0,1
7	Габариты	0	0	0	0	0	0		0,5	0,5	0,02
8	Масса	0	0	0	0	0	0,5	0		0,5	0,02

Для решения методом сумм взвешенных значений критериев значения всех критериев необходимо привести к нормализованному виду. Для этого необходимо отобразить значения каждого критерия в диапазоне от 0 до 1, сохраняя все пропорции между отдельными значениями [1]. Так, для критерия «Точность обработки», значения для альтернатив примет следующий вид (табл. 3).

Таблица 3

Нормализация значений критериев

Критерий	Модель станка		
	Salvagnini L5	Amada QUATTRO II	Amada AC 2510 NT
Точность обработки, мм	0,08	0,02	0,2
Нормализованное значение	0,33	1	0

После этого полученные нормализованные значений критериев умножаются на относительный вес критериев из табл. 2. Ранжирование производится

путем сравнений сумм полученных значений критериев для каждой альтернативы. Чем выше полученная сумма, тем более предпочтительно выбирать конкретную альтернативу [1].

Таблица 4

Решение методом сумм взвешенных значений критериев

№ п/п	Параметры станка (критерии)	Альтернативы		
		Salvagnini L5	Amada QUATTRO II	Amada AC 2510 NT
1	Точность обработки, мм	0,05	0,33	0
2	Максимальная масса обрабатываемой заготовки, кг	0,12	0	0,06
3	Скорость обработки	0,2	0	0,03
4	Максимальная толщина листа (сталь), мм	0,2	0,073	0
5	Мощность, кВт	0,03	0	0,2
6	Погрешности позиционирования, мм	0,1	0	0,05
7	Габариты станка, объем, м ³	0,014	0,02	0
8	Масса станка, т	0,018	0,02	0
Сумма оценок		0,732	0,443	0,34
Ранг (место) альтернативы		1	2	3

Для решения методом TOPSIS значения всех критериев необходимо привести к нормализованному виду по формуле (1):

$$R_{ki} = \frac{r_{ki}}{\sqrt{\sum r_{ki}^2}}, \quad (1)$$

где r_{ki} — значение критерия для i -ой альтернативы. Из полученных значений выявляется наилучшее R_j^+ и наихудшее R_j^- значение [2]. Далее определяются расстояния альтернатив от наихудшего и наилучшего решения по формулам (2) и (3) соответственно:

$$d^+ = \sqrt{\sum (R_{ki} - R_j^+)^2}; \quad (2)$$

$$d^- = \sqrt{\sum (R_{ki} - R_j^-)^2}. \quad (3)$$

В конце для каждой из альтернатив определяется относительная удаленность от наихудшего решения по формуле (4):

$$S_{d^-} = \frac{d^-}{d^+ + d^-} \quad (4)$$

Ранжирование альтернатив проводится в расположении их относительной удаленности по убыванию, чем выше относительная удаленность, тем выше ранг альтернативы [3].

Таблица 5

Решение методом TOPSIS

№ п/п	Параметры станка (критерии)	Salvagnini	Amada QUATTRO II	Amada AC 2510 NT	Rj+	Rj-
1	Точность обработки	0,05178	0,01295	0,12944	0,01295	0,12944
2	Максимальная масса обрабатываемой заготовки	0,08914	0,04457	0,06686	0,08914	0,04457
3	Скорость обработки	0,18962	0,02845	0,05689	0,18962	0,02845
4	Максимальная толщина листа (сталь)	0,16991	0,10195	0,02719	0,16991	0,02719
5	Мощность	0,05645	0,03763	0,18815	0,18815	0,03763
6	Погрешности позиционирования	0,02858	0,08572	0,04286	0,02858	0,08572
7	Габариты станка, объем	0,00921	0,00612	0,01667	0,00612	0,01667
8	Масса станка	0,00632	0,00526	0,01824	0,00526	0,01824
	d+	0,137343841	0,241872	0,22920792		
	D-	0,241203727	0,2416715	0,16062045		
	Sd-	0,637182081	0,49979267	0,41202862		
	Ранг	1	2	3		

Для решения методом ELECTRE I значения всех критериев необходимо привести к нормализованному виду аналогично предыдущему методу [4].

Далее строится матрица согласия. Для этого необходимо попарно сравнить каждую альтернативу по каждому критерию и суммировать относительные веса тех критериев, по которым альтернатива 1 превосходит альтернативу 2 [5].

Аналогично находятся индексы согласия для каждой пары станков. Далее производится суммирование индексов по строкам и столбцам (рис. 2).

Для ранжирования станков необходимо получить таблицу превосходства (рис. 3). Значения для этой таблицы получаются путем вычитания суммы индексов согласия строки из суммы индексов согласия столбца. Чем выше значение полученной разности, тем выше ранг станка [6].

Рассмотренные методы принятия решения показали одинаковый результат в отношении альтернативы для 1 ранга. Каждый из методов отличается уровнем расчетов и трудоемкостью процесса, тем не менее, все рассмотренные варианты показали, что с их помощью можно с высокой точностью выбрать наиболее предпочтительную альтернативу. Поэтому ответственность за выбор конкретного метода для решения конкретной задачи лежит на человеке, принимающем решение.

MM											
=L4+L5+L6+L7+L8											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
№	Критери и	1	2	3	4	5	6	7	8	Сумма приорите	Относит ельный
1	Точность		1	0,5	0,5	0	0	1	1	4	0,14
2	Масса заг.	0		0	0,5	0	1	1	1	3,5	0,12
3	Скорость	0,5	1		0,5	0,5	1	1	1	5,5	0,2
4	Толщина	0,5	0,5	0,5		1	1	1	1	5,5	0,2
5	Мощност ь	1	1	0,5	0		1	1	1	5,5	0,2
6	Погрешн ость	1	0	0	0	0		1	1	3	0,1
7	Габарит ы	0	0	0	0	0	0		0,5	0,5	0,02
8	Масса	0	0	0	0	0	0	0,5		0,5	0,02
Матрица согласия											
	Salvagnini	AMADA L	AMADA P								
Salvagnini	0	=L4+L5+L6									
AMADA L		0									
AMADA P			0								

Рис. 1. Построение матрицы согласия

28	Матрица согласия					28	Матрица согласия				
29		Salvagnini	AMADA L	AMADA P		29		Salvagnini	AMADA L	AMADA P	
30	Salvagnini	0	0,82	0,8	=СУММ(B	30	Salvagnini	0	0,82	0,8	1,62
31	AMADA L	0,18	0	0,38	0,56	31	AMADA L	0,18	0	0,38	0,56
32	AMADA P	0,2	0,62	0	0,82	32	AMADA P	0,2	0,62	0	0,82
33		0,38	1,44	1,18	3	33	=СУММ(B	1,44	1,18	3	

Рис. 2. Нахождение суммы индексов

56	Матрица согласия				
57	Salvagnini	AMADA L	AMADA P		
58	Salvagnini	0	0,82	0,8	1,62
59	AMADA L	0,18	0	0,38	0,56
60	AMADA P	0,2	0,62	0	0,82
61		0,38	1,44	1,18	3
62	Превосходство				Ранг
64	Salvagnini	=E58-B61		1	
65	AMADA L	-0,88		3	
66	AMADA P	-0,36		2	

Рис. 3. Ранжирование оборудования

Литература

[1] Кини Р.Л., Райфа Х. *Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения*. Москва, Радио и связь, 1981, 294 с.

[2] Ewa R., Trzaskalik T., Wachowicz T. *Multi-criteria decisionmaking models by applying the TOPSIS method to crisp and interval data*. Multiple Criteria Decision Making, Katowice, the University of Economics, 2011, pp. 200–230.

[3] *Наукоемкие технологии в машиностроении*. Москва, Машиностроение, 2012, 528 с.

[4] Кузнецов М.А., Нгуен Т.У.Н. Использование методов ELECTRE в задачах принятия решения. *Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии*, 2010, № 2, с. 40–46.

- [5] Chen S.J., Hwang C.L. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York, Springer, 1992. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4>
- [6] José F., Greco S. *Matthias Ehrgott Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York, Springer Science + Business Media, 2005.

Using multi-criteria decision-making methods to optimize the equipment selection

Mamonov Maxim Andreevich

maksimmamonov15@gmail.com

Musokhranov Marcel Vladimirovich

marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The methods of multi-criteria decision-making are considered using the example of selecting the most preferred equipment for cutting sheet metal at one of the Kaluga enterprises. The following methods were used: the method of sums of weighted values of criteria, the TOPSIS method, the ELECTRE I method. Based on the results of the calculations, it was concluded that all methods give the correct result and the decision to use a particular method in another work lies with the person making the decision.

Keywords: *laser machines, coordinate punching machines, methods of multi-criteria decision-making, method of sums of weighted values of criteria, TOPSIS method, ELECTRE I method*

УДК 621(075.8)

Анализ производственного процесса изготовления сварных конструкций типа рам

Романов Андрей Валерьевич

romanovav4@student.bmstu.ru

Мусохранов Марсель Владимирович

marsel@bmstu.ru

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

Проведен анализ производственного процесса изготовления сварных конструкций типа рам. В рамках исследования изучены конструкции изделий, основные этапы процесса производства конструкций, а также проведен анализ эффективности и оптимизации производственных операций. При анализе выявлены возможные улучшения и оптимизации процесса производства сварных конструкций с целью повышения качества и эффективности производства. Результаты исследования позволят определить ключевые моменты для улучшения производственного процесса и увеличения его эффективности.

Ключевые слова: производственный процесс, сварные рамы, оптимизация производства, многоцелевые станки, производство

В непрерывно развивающемся мире машиностроение играет важную и решающую роль. Проектирование новых конструкций и изготовление деталей различных габаритов, форм и конфигураций происходит каждый день. Многие предприятия изготавливают индивидуальные механизмы и агрегаты. В основе каждого агрегата есть рама. Рамы являются основными несущими частями, на которых монтируют остальные детали, узлы и механизмы машин, приборов и аппаратов.

К основным требованиям, предъявляемым к конструкции рамы, можно отнести: прочность, жесткость, технологичность, простота сборки, разборки и технологического обслуживания, эстетичность и т. д.

Рамы являются основными несущими частями, на которых монтируют остальные детали, узлы и механизмы машин, приборов и аппаратов. Зачастую конструкцию делают сварной, в случае необходимости ее легко исправить — увеличить ее жесткость, дополнительно усилить, изменить форму и размеры [1].

Обработка сварных рам — это важный этап в производстве металлических конструкций, таких как рамы для электроагрегатов, приводов, машин, оборудования и т. д. Процесс сварки усложняет технологию сборки, добавляя дополнительные операции по обработке, проверке и защите сварных швов. Также стоит отметить, что сам процесс сварки занимает немалую долю времени в сборочном процессе [2].

Исходя из вышесказанного, стоит обратить внимание на составление технологического процесса изготовления конструкций, внести коррективы для уменьшения трудоемкости.

Предлагается проводить анализ отдельных деталей и производить их обработку в начальной стадии производства — заготовительной. Это позволит сократить трудоемкость механической обработки конструкций в сборе.

Исходя из номенклатуры имеющегося на предприятии оборудования, можно выделить несколько станков позволяющих обеспечить необходимые условия обработки сварных конструкций в сборе. К таким можно отнести продольно-обрабатывающие станки моделей 6М612МФ4, 6М610МФ4-20, 6М616МФ4 [2].

Оборудование предназначено для комплексной обработки крупногабаритных корпусных деталей методом фрезерования, сверления и растачивания, в том числе деталей с криволинейными поверхностями, из черных и цветных металлов и некоторых видов пластмасс.

Обрабатывающий центр с ЧПУ портального типа имеет следующую компоновку: продольно-подвижный стол с гидростатическими направляющими замкнутого типа и неподвижный портал обеспечивают высокую жесткость, что позволяет вести как черновую, так и чистовую обработку деталей, а также сохранять точность станка в период длительной эксплуатации.

Станки оснащены одной вертикальной фрезерно-расточной ползунковой бабкой и накладной универсальной торцовой поворотной (через 90°) головкой, что позволяет обработать деталь с пяти сторон за одну установку. Вертикальное перемещение бабки осуществляется от электродвигателя М2, а ее горизонтальное перемещение по поперечине — от двигателя М3.

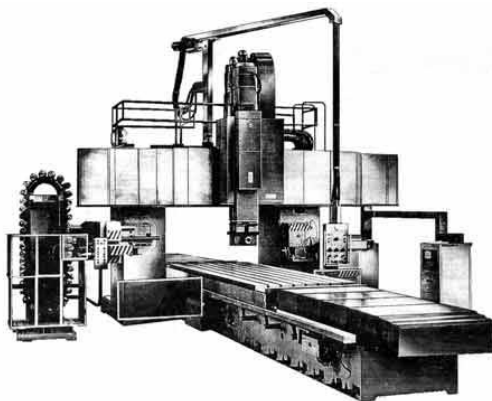


Рис. 1. Общий вид многоцелевого продольно обрабатывающего станка 6М612МФ4

Данные станки используются для обработки сварных рам в сборе и других производственных задач.

Сталкиваясь с проблемой загруженности станков на производстве, стоит принять во внимание вариант обновления парка оборудования или закупки дополнительного оборудования [1].

Исходя из доступного оборудования можно использовать аналоги (рис. 2, 3).



Рис. 2. Портальный обрабатывающий центр KAFO BMC-4122

Портальные обрабатывающие центры фрезерной группы серии BMC представляют собой высокотехнологичное оборудование, созданное с учетом современных мировых тенденций станкостроения. Станки обладают высоким быстродействием в работе, мощным приводом главного движения и подачи, способны в течение всего срока эксплуатации выдерживать высокие динамические нагрузки и сохранять высокую точность и надежность.



Рис. 3. Портальный фрезерный обрабатывающий центр MS-3120

Портальные фрезерные станки серии MS с типичными для продукции особенностями жесткой конструкции и высокой точности, оснащены устройством передачи с прямым приводом и устройством увеличения крутящего момента на оси X, повышают точность перемещения XY и предлагают комбинированное управление скоростью и точностью.

Проблема загруженности станков может создавать задержки в производстве, повышать износ оборудования и увеличивать риск аварийных ситуаций. Это может быть связано с неправильным планированием производственных процессов, недостаточным обслуживанием оборудования или неэффективным использованием рабочей силы [3].

Однако стоит учитывать, что вложение в новое оборудование требует значительных затрат, поэтому необходимо тщательно оценить выгоду от обновления парка станков перед принятием решения. Исходя из этого, стоит обратить внимание на организацию производства. Возможно создание отдельного участка (цеха) по обработке сварных рам в сборе, создание регламента и правил выбора оборудования, основываясь на сварной конструкции, и создание их типизации [4].

Производственный процесс достиг своего максимума и содержит достаточно много устаревших и трудоемких элементов, которые необходимо стараться исключить.

Литература

- [1] *Наукоемкие технологии в машиностроении*. Москва, Машиностроение, 2012, 528 с.
- [2] Аверченков В.И. *Основы научного творчества*. Брянск, Брянский государственный технический университет, 2017, 156 с.
- [3] Мокий М.С. *Методология научных исследований*. Москва, Юрайт, 2019, 255 с.
- [4] *Технология машиностроения (специальная часть)*. Москва, Машиностроение, 1986, 347 с.

Analysis of the production process for the manufacture of welded structures such as frames

Romanov Andrey Valeryevich

romanovav4@student.bmstu.ru

Musokhranov Marcel Vladimirovich

marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The analysis of the production process of manufacturing welded structures of the frame type is carried out. Within the framework of the study, product designs, the main stages of the production process of structures were studied, as well as an analysis of the efficiency and optimization of production operations was carried out. The analysis revealed possible improvements and optimizations of the production process of welded structures in order to improve the quality and efficiency of production. The results of the study will allow us to identify key points for improving the production process and increasing its efficiency.

Keywords: *production process, welded frames, production optimization, multi-purpose machines, production*

УДК 621

Разработка группового производственного процесса изготовления сварных рам для серийных условий

Романов Андрей Валерьевич

romanovav4@student.bmstu.ru

Мусохранов Марсель Владимирович

marsel@bmstu.ru

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

Разработаны план и рекомендации для изготовления сварных рам в условиях серийного производства. Целью является оптимизация производственного процесса, увеличение производительности и сокращение времени выпуска продукции. В ходе исследования были проведены анализ и моделирование текущих процессов, изделий и оснастки, разработаны рекомендации по оптимизации производства и созданы схемы для каждого этапа производства. Реализация данного исследования позволит значительно улучшить эффективность производства и повысить конкурентоспособность предприятия на рынке.

Ключевые слова: *групповой процесс, сварные изделия, серийное производство, групповая оснастка, организация производства*

На предприятиях на основе ГТД (газотурбинный двигатель) все больше и больше появляются агрегаты, служащие для выработки электроэнергии и работающие в самых различных условиях.

При монтаже приводов вентиляторов, маслобака, электродвигателя, редуктора, компрессора, рекуператора, теплообменника, электронасоса, масляных и охлаждающих систем необходимо выдержать определенные требования относительного расположения узлов. Для этого узлы привода устанавливают на сварных рамах или литых плитах, таким образом обеспечивая правильное положение их в течение всего срока эксплуатации. Конструкции рам должны удовлетворять требованиям прочности, жесткости, виброустойчивости, стабильности формы во времени и т. д. В настоящее время рамные конструкции чаще всего выполняют сварными из элементов сортового проката: швеллеров, уголков, полос, листов [1].

При проектировании конструкций необходимо стремиться к ее упрощению и унификации составных частей. Для этого рамы выполняют из прокатного сортамента (балки, уголок, тавр, труба, листовая металл), что упрощает технологию изготовления и сборки рамных конструкций.

Зачастую конструкцию делают сварной, в случае необходимости ее легко исправить — увеличить ее жесткость, дополнительно усилить, изменить форму и размеры. Перед предприятием появляется задача в обработке сварных конструкций в сборе, для обеспечения точного расположения присоединительных отверстий и высокого качества установочных поверхностей.

Для выполнения этой задачи необходимо проанализировать технологический процесс изготовления сварных конструкций, отдельные элементы

конструкции рам и имеющееся оборудование, которое может обрабатывать конструкции различных габаритов. Также стоит провести анализ конструкций рам, вследствие чего возможна замена определенных частей конструкций, что может привести к значительному улучшению технологического процесса, снижению затрат на производство, уменьшению трудоемкости [1].

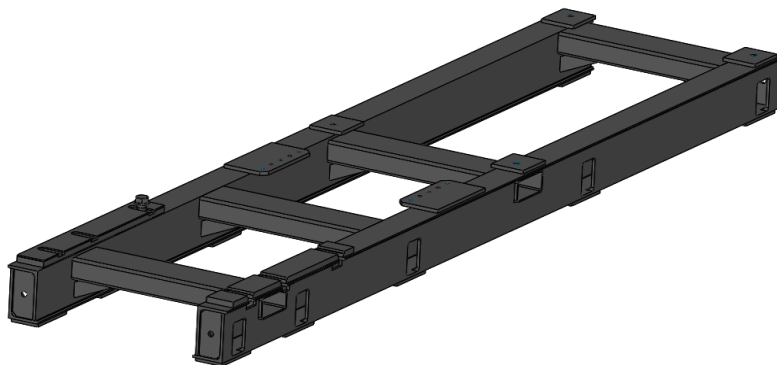


Рис. 1. Типовая конструкция рамы

Технологические достижения и инновации постоянно меняют требования к производственным процессам, что требует постоянной адаптации и улучшения. Кроме того, изменение потребностей и предпочтений потребителей, а также внешние экономические условия часто требуют изменения производственных методов и процессов. Данный производственный процесс достиг своего максимума, поэтому необходимо провести опытно-исследовательские работы по внедрению новых идей и усовершенствованию процесса.

Некоторыми из вариантов изменения конструкций: использование фторки или приварных втулок взамен опорных платиков; использование резьбовых заклепок; использование заклепок.

Анализируя конструкцию, можно найти множество взаимосвязанных отверстий между собой. Они могут быть различного диаметра, точности, качества, с резьбой и без. Но в некоторых случаях те или иные механизмы агрегатов могут стоять на отдельных платиках и плитах, отверстия в которых не связаны с другими частями конструкции Рамы. Таким образом, стоит учесть назначение отдельных частей конструкции, требующих последующей обработки. Первоначально вся конструкция рамы обрабатывается в сборе, в платиках и опорном профиле рамы вскрываются отверстия и нарезается резьба. Такой вариант обработки обеспечивает наилучшую точность взаимного расположения отверстий между собой, а также их качества [2].

Исходя из номенклатуры имеющегося на предприятии оборудования, можно выделить несколько станков позволяющих обеспечить необходимые условия обработки сварных конструкций в сборе. К таким можно отнести продольно-обрабатывающие станки моделей 6М612МФ4, 6М610МФ4-20, 6М616МФ4 [3].

Сталкиваясь с проблемой загруженности станков на производстве, стоит принять во внимание вариант обновления парка оборудования или закупки дополнительного оборудования.

Как уже упоминалось выше, при запуске производства сварных рам в серию, предприятие сталкивается с проблемой загруженности станков.

Проблема загруженности станков может создавать задержки в производстве, повышать износ оборудования и увеличивать риск аварийных ситуаций. Это может быть связано с неправильным планированием производственных процессов, недостаточным обслуживанием оборудования или неэффективным использованием рабочей силы [4].

Однако стоит учитывать, что вложение в новое оборудование требует значительных затрат, поэтому необходимо тщательно оценить выгоду от обновления парка станков перед принятием решения. Исходя из этого, стоит обратить внимание на организацию производства. Возможно создание отдельного участка (цеха) по обработке сварных рам в сборе, создание регламента и правил выбора оборудования, основываясь на сварной конструкции и создание их типизации.

Для оптимизации сборки и сварки изделий предлагается использовать групповую универсальную оснастку.

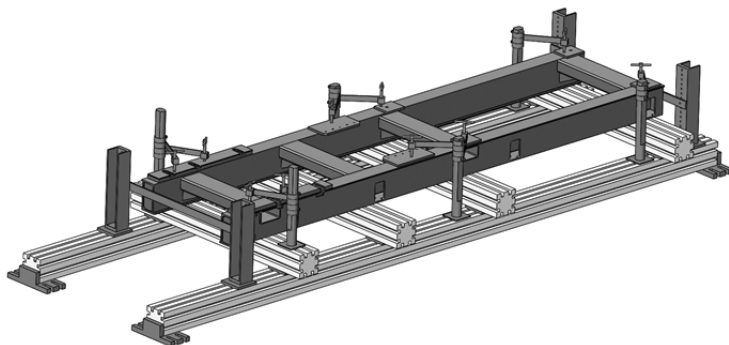


Рис. 2. Групповая оснастка для общей сборки и сварки

Приведены возможные пути усовершенствования технологического процесса изготовления и механической обработки рам, примеры изменения конструктивных элементов конструкции, возможные пути усовершенствования организации производственного процесса.

Литература

- [1] Мокий М.С. *Методология научных исследований*. Москва, Юрайт, 2019, 255 с.
- [2] *Технология машиностроения (специальная часть)*. Москва, Машиностроение, 1986, 347 с.
- [3] *Наукоемкие технологии в машиностроении*. Москва, Машиностроение, 2015, 528 с.
- [4] Бромберг Б.И. *Управление качеством в машиностроении*. Москва, Трудрезервиздат, 1958, 228 с.

Development of a group production process for the manufacture of welded frames for serial conditions

Romanov Andrey Valeryevich

romanovav4@student.bmstu.ru

Musokhranov Marcel Vladimirovich

marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The plan and recommendations have been developed for the manufacture of welded frames in the conditions of mass production. The goal is to optimize the production process, increase productivity and reduce production time. During the research, analysis and modeling of current processes, products and accessories were carried out, recommendations for optimizing production were developed and schemes for each stage of production were created. The implementation of this research will significantly improve production efficiency and increase the competitiveness of the enterprise in the market.

Keywords: group process, welded products, mass production, group tooling, production organization

УДК 621.002.2

Сравнение методов нарезания метрической резьбы

Свинарев Кирилл Дмитриевич

zapzappili0@gmail.com

Бысов Сергей Александрович

bysov.s@bmstu.ru

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

Описаны характерные особенности метрических резьб, и их назначения, сравниваются различные методы их получения, а также характерные особенности и назначение каждого из рассматриваемых способов нарезания резьбы. Рассмотрены преимущества и недостатки их применения относительно друг друга и представлены рекомендации по применению каждого метода для определенного типа производства, а также инструменты, необходимые для обработки каждым представленным методом.

Ключевые слова: метрическая резьба, резьбофрезерование, накатывание резьбы, точение, время обработки

Метрические резьбы, применяемые в крепежных элементах, наносятся на внутренние и наружные поверхности. В область их применения входят детали как из металла различных типов, так и стандартные крепежные изделия. Такие как болты, винты и т. д.

Параметры резьбы определены ГОСТ 9150–59, к ним относят шаг, длину резьбы и ее диаметр. Метрическая резьба характеризуется тем, что форма ее профиля является равнобедренным треугольником с углом при вершине равным 60° . Она нарезается как на наружные, так и на внутренние поверхности крепежных элементов.

Метрические резьбы представляют собой один из наиболее часто используемых типов крепежа, применяемый для создания винтовых пар. Важно, чтобы профиль внутренней и наружной резьбы в такой паре совпадал. Также ГОСТ 9150–59 разделяет их по величине шага на крупные и мелкие с размерами шага 1–600 мм и 1–68 мм соответственно. При этом различие применяется для одного и того же диаметра и относится не только к цилиндрическим, но и коническим деталям.

При нарезании резьбы стоит также учитывать требования к ней. Часто к ним относят требования по точности (6–7) и шероховатости ($Ra = 1,6\text{--}3,2$), но также может требоваться ряд специальных требований для определенной резьбы.

Различают также методы установки заготовок и приспособления для их закрепления на обрабатывающем оборудовании. Например, для нарезания метрической резьбы на внешних поверхностях цилиндрических деталях типа «вал» в качестве приспособлений часто применяют патрон или центра [1].

Но главной проблемой при нарезании резьбы является выбор метода ее получения и соответствующего ему инструмента. Наиболее распространены

методы получения резьбы при помощи токарных резцов, резьбофрезерованием, вихревыми резьбонарезными головками, а также накатыванием.

Далее рассмотрим каждый метод нарезания резьбы по отдельности, выделяя их преимущества и недостатки на фоне других.

Нарезание токарными резцами. Его главная особенность заключается в том, что профиль резца должен совпадать с требуемым профилем впадин на обрабатываемой детали. При этом нарезание может происходить за несколько проходов с небольшими объемами срезаемой стружки. Поэтому данный метод имеет относительно низкую производительность из-за чего рекомендован к применению в единичном и серийном производстве. Этому также способствуют и преимущества данного метода обработки, а именно универсальность, технологичность и простота.

Данный метод позволяет получать не только однозаходные, но и многозаходные резьбы. Они дополнительно характеризуются ходом резьбы, который в однозаходных резьбах равен единице, а в многозаходных, произведению шага резьбы на количество заходов.

Резцы для нарезания резьб являются фасонным инструментом и могут быть различных типов, таких как призматические, круглые и стержневые. Также к ним можно отнести и гребенки, как более производительный метод обработки резьбы токарным инструментом. Они часто применяются для нарезания крепежных элементов с относительно мелким шагом.

Резьбофрезерование различается в зависимости от применяемого инструмента, к которым относят гребенчатые и дисковые фрезы, а также головки для вихревого нарезания резьбы. Данный метод является более производительным, нежели обработка токарными резцами за счет увеличения режущих зубьев, возможности увеличения глубины резания и повышения скорости резания при применении твердых сплавов для режущей части. Но в тоже время является куда более затратным за счет более высокой стоимости инструмента. Что позволяет рекомендовать его для серийного и массового производства.

Гребенчатые фрезы часто применяются для создания резьб с малым шагом (как наружных, так и внутренних) и относительно небольшой глубиной. Конструктивно они напоминают множество соединенных между собой дисковых фрез, чей профиль зуба соответствует профилю нарезаемой резьбы с прорезанными вдоль оси канавками для отвода стружки [2].

Дисковые фрезы, напротив, применяются для нарезания резьб с значительными величинами длины, глубины и диаметра, поэтому нашли широкое применение для обработки червяков, ходовых винтов и т. п. Благодаря своей конструкции дисковые фрезы способны проводить обработку резьбы за один проход, что существенно снижает время обработки. Стоит отметить, что при обработке дисковыми фрезами, их необходимо установить так, чтобы ось оправки дисковой фрезы находилась под углом, равным углу подъема резьбы по отношению к оси заготовки. При этом заготовка будет совершать поступательное и вращательное движение, а вреза только вращательное.

Головки для вихревого фрезерования применяются для крупных резьб в тяжелом машиностроении. Они позволяют нарезать резьбы с диаметром до 1 м и длиной до 10 м. Головки имеют сложную конструкцию и часто устанавливаются на суппорте токарного станка под углом, аналогичным при нарезании дисковыми фрезами. Особенность обработки заключается тем, что вращение головки обеспечивается за счет индивидуального привода, что значительно повышает стоимость оборудования, необходимого для обработки. Редко возможна обработка за два прохода вместо одного. Два последних метода почти не применяются для нарезания метрических резьб.

Резьбонарезные головки представляют собой несколько плашек (круглых или плоских), расположенных в корпусе головки. Они могут быть самоотрывающимися, либо регулируемыми [3].

Их различие в том, что самоотрывающиеся после обработки отводятся, что повышает производительность за счет уменьшения вспомогательного времени. Это является куда более значительным плюсом, чем простота конструкции регулируемых плашек. Благодаря этому самоотрывающиеся плашки получили большее распространение в производстве. Также круглые гребенки получили большее распространение, чем плоские, благодаря их повышенной технологичности, точности и возможности многократной переточки.

Резьбонарезные головки сопоставимы по скорости резания, сложности конструкции и цене с резьбонарезными фрезами и имеют, по большей части, подобные преимущества и недостатки относительно токарных резцов. Основным их преимуществом все также является многолезвийная обработка.

Накатывание резьбы — это процесс пластической деформации поверхности заготовки, при котором деформируемый металл заполняет пространство между витками инструмента, тем самым образуя резьбу [4]. Благодаря высокой производительности, отсутствию стружки, высокой прочности детали, а также малой шероховатости метод нашел широкое применение в крупносерийном и массовом производстве.

Для остальных видов производства данный метод является невыгодным из-за необходимости специального оборудования и инструмента, а также их высокой стоимости.

Для накатывания резьбы применяются комплекты, состоящие из двух плашек — подвижной и неподвижной. Неподвижная устанавливается на стол, а подвижная совершает возвратно-поступательные движения над ней. Таким образом, заготовку прокатывают между ними, формируя резьбу на ее поверхности.

Литература

- [1] Ильицкий В.Б., Микитянский В.В., Сердюк Л.М. *Станочные приспособления. Конструкторско-технологическое обеспечение эксплуатационных свойств*. Москва, Машиностроение, 1989, 208 с.

- [2] Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. *Справочник инструментальщика*. Москва, Машиностроение, 2005, 464 с.
- [3] Балла О.М. *Обработка деталей на станках с ЧПУ. Оборудование. Оснастка. Технология*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 368 с.
- [4] *Режимы резания труднообрабатываемых материалов*. Москва, Машиностроение, 1986, 240 с.

Comparison of metric thread cutting methods

Svinarev Kirill Dmitrievich

zapzappili0@gmail.com

Bysov Sergey Alexandrovich

bysov.s@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article compares various methods of obtaining metric threads, as well as their characteristic features and purpose. The article discusses the advantages and disadvantages of each method relative to each other and recommendations for the application of each method for a certain type of production, as well as the tools necessary for processing each presented method.

Keywords: *metric thread, thread milling, thread rolling, turning, processing time*

УДК 621.2

Выбор рациональных методов изготовления шлицевой поверхности на валу

Костышен Максим Олегович

kostyyshenmo@student.bmstu.ru

Вяткин Андрей Геннадьевич

and-vyatkin@bmstu.ru

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

Рассмотрены методы изготовления шлицевой поверхности на валу и методы чистовой и черновой обработки. Описаны такие методы как фрезерование шлицев дисковой фасонной фрезой, фрезерование шлицев парными дисковыми фасонными фрезами, фрезерование шлицев червячной фрезой, строгание шлицев, протягивание шлицев, холодное накатывание шлицев и шлифование шлицев. Для каждого из выше перечисленных методов даны получаемые критерии, такие как шероховатость и точность обработки. Приведены выводы о наиболее подходящем и производительном методе.

Ключевые слова: обработка шлицев, методы изготовления, шероховатость, точность

Шлицевые соединения валов и втулок — это многошпоночные соединения, у которых шпонки (шлицы) выполнены как одно целое с валом и служат для передачи вращательных движений и крутящих моментов. Шлицы повышают жесткость вала и обеспечивают требуемое направление и легкость перемещения монтируемых на нем деталей машин. Шлицы бывают прямобочными и эвольвентными. Шлицевое соединение с прямобочными шлицами можно выполнить с центрированием втулки по внутреннему и наружному диаметрам вала, а соединение с эвольвентными шлицами центрируют по профилю.

Существуют черновая и чистовая обработки шлицевых поверхностей. К черновой обработке относят такие методы обработки как фрезерование дисковыми фасонными фрезами и фрезерование червячными фрезами [1].

Фрезерование шлицев дисковой фасонной фрезой — это самый простой и затратный способ, который осуществляется на универсальных или специальных фрезерных станках. Обработка проводится цельными быстрорежущими или твердосплавными фрезами, каждый паз обрабатывается за 1 проход, за тем делительная головка смещается на один шлиц. Точность 9–10 квалитет [1].

Фрезерование шлицев парными дисковыми фасонными фрезами — это более производительный метод, чем предыдущий метод. Обработка осуществляется сразу двумя быстрорежущими или твердосплавными фасонными фрезами. Точность 9–10 квалитет. Для увеличения точности по толщине боковые поверхности зубьев обрабатывают специальной торцевой фрезой. Точность размеров $0,03 \pm 0,05$ мм и шероховатость $Ra = 0,8\text{--}1,6$ мкм. При центрировании по внутреннему диаметру необходимо выполнить канавки

комплект из двух дисковых прорезных фрез для выхода шлифовального круга [1].

Фрезерование шлицев червячной фрезой — это наиболее точный и производительный метод, который осуществляется на шлицефрезерных или зубофрезерных станках. Обработка шлицевых валов с прямобочным профилем проводится червячными шлицевыми фрезами различного профиля. При диаметре до 30 мм — за 1 проход, более 30 мм за несколько проходов. Шероховатость $Ra = 1,6\text{--}3,2$ мкм. Точность 9–10 квалитет [1].

Строгание шлицев — это более точный метод, чем фрезерование, который осуществляется на строгальном станке-автомате. Обработка проводится набором специальных резцов в специальной многорезцовой головке. Количество и форма резцов соответствуют числу шлицев и профилю впадины между ними. Количество двойных ходов головки определяется глубиной шлицевой канавки и принятой глубиной резания, допустимой на один рабочий ход. Рабочее движение заключается в перемещении заготовки вверх. При движении вниз инструмент отводится от обрабатываемой поверхности, чтобы избежать трения с обрабатываемой деталью. После каждого двухтактного хода инструмент сводится в радиальном направлении до заданного значения подачи. Точность 7–9 квалитет. Шероховатость поверхности $Ra = 2,5\text{--}0,8$ мкм [2].

Протягивание шлицев — это самый производительный и точный метод обработки, который осуществляется двумя блочными протяжками одновременно двух диаметрально расположенных впадин. Блок протяжки состоит из набора резцов, которые копируют профиль шлицев. Шероховатость поверхности $Ra = 1,6\text{--}0,8$ мкм. Точность 7–8 квалитет [2].

Холодное накатывание шлицев обеспечивает высокую производительность и качество поверхности, которое осуществляется на резбонакатных или шлиценакатных станках. При этом методе образуются эвольвентные шлицы, поверхностный слой которых имеет повышенную износостойкость и прочность. Обкатывают заготовки твердостью не более 220 НВ. Предварительно обрабатывают диаметр заготовки до размера средней арифметической диаметров и впадин. Обработка осуществляется круглыми зубчатыми роликами, плоскими зубчатыми рейками или многороликовой головкой. Ролики устанавливают с постоянным межосевым зазором. Накатывание круглыми зубчатыми роликами осуществляется вращением роликов, при этом перемещается заготовка. Заготовка устанавливается в центрах, при накатывании шлицев плоскими зубчатыми рейками выполняется за 1 рабочих ход. Для многороликовой головки число и профиль роликов должно соответствовать числу и форме поверхности шлицев. Вал устанавливают в центрах и проталкивают между роликами головки, при этом количество рабочих ходов будет зависеть от пластических свойств металла. Точность 7–9 квалитет [3].

Термически обработанные валы, а также валы, центрируемые по внутреннему диаметру, после черновой обработки поверхности шлицев подвергают шлифованию. Обработку производят на универсальных плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом. При центрировании по наружному диамет-

ру шлифуют наружную цилиндрическую поверхность. При центрировании по внутреннему диаметру шлифуют поверхности впадин и боковые поверхности шлицев. Обработка проводится тремя методами: фасонным кругом, за 2 операции, комплектом кругов. Самый производительный метод — фасонным кругом, но он имеет недостаток — неравномерный износ круга. Для уменьшения износа используют метод обработки за 2 операции, но этот метод самый непроизводительный. В связи с этим используют обработку комплектом кругов — это самый сбалансированный метод. Точность 7–8 качества. Шероховатость поверхности $Ra = 0,4\text{--}0,8$ мкм [4].

Анализ процесса изготовления шлицевой поверхности показал, что он применяется для нарезания шлицевых поверхностей на валу на универсальных и специальных станках. Зубофрезерование дисковой фрезой применяется чаще всего при единичном и мелкосерийном производстве. Зубофрезерование червячной фрезой применяется чаще всего при среднесерийном производстве. Шлицестроение, шлицепротягивание и шлиценакатывание применяются чаще всего при массовом и крупносерийном производстве.

Литература

- [1] Щуров И.А. Численные методы моделирования дисковой модульной фрезы. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение*, 2022, № 4, с. 52–62.
- [2] Расторгуев Г.А. Технологии обработки шлицевых поверхностей. *Вестник машиностроения*, 2012, № 8, с. 57–63.
- [3] Сидоренко М.И. Формирование шлицев на валу методом накатки. *Наука и техника*, 2012, № 4, с. 7–12.
- [4] Адакин В.А. Обеспечение точности прямоугольных шлицевых профилей на валах. *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2014, № 5, с. 18–24.

The choice of rational methods of manufacturing the spline surface on the shaft

Kostyshen Maxim Olegovich
Vyatkin Andrey Gennadievich

kostyyshenmo@student.bmstu.ru
and-vyatkin@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article discusses the methods of manufacturing a spline surface on a shaft. The article highlights various methods of finishing and roughing. The article discusses in detail such methods as: milling slots with a disc shaped cutter, milling slots with paired disc shaped cutters, milling slots with a worm cutter, planing slots, stretching slots, cold rolling slots and grinding slots. For each of the above methods, the resulting criteria are given, such as roughness and processing accuracy. The conclusions about the most suitable and productive method are presented.

Keywords: slot processing, manufacturing methods, roughness, accuracy

УДК 621.9.048.7

Усовершенствование технологического процесса путем внедрения в него штамповой оснастки

Талагаев Денис Андреевич

talagaevda@student.bmstu.ru

Малышев Александр Николаевич

malyshev.an@bmstu.ru

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

Исследование направлено на улучшение производственного процесса через использование штамповой оснастки. Анализ двух вариантов технологических процессов для изготовления детали «Уголок» проведен для мелкосерийного производства. Внедрение штамповой оснастки позволит упростить процесс, сократить операции и повысить производительность. Дополнительные затраты на материалы компенсируются уменьшением трудозатрат и повышением качества продукции. Внедрение штамповой оснастки является перспективным решением для оптимизации производства.

Ключевые слова: технологический процесс, оптимизация, штамповая оснастка, вырубка, производство

Внедрение штамповой оснастки в технологический процесс промышленного производства является одной из актуальных тенденций в современной инжиниринговой отрасли. Этот подход позволяет значительно улучшить качество производимой продукции, сократить затраты на производство и повысить его эффективность.

Актуальность проблемы совершенствования технологического процесса изготовления деталей типа «Планка силовая» определяется несколькими факторами.

Во-первых, данная деталь является важным элементом многих механизмов и конструкций, поэтому ее качество и эффективность прямо влияют на работоспособность и безопасность оборудования.

Во-вторых, современные требования к производству все более строгие, и производители постоянно сталкиваются с необходимостью снижения издержек, повышения производительности.

Технологический процесс — это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и определению состояния предмета труда. К предметам труда относят заготовки и изделия [1].

В настоящем исследовании рассматриваются два варианта технологических процессов получения детали «Уголок» (рис. 1), применяемые на предприятии с мелкосерийным типом производства. Для наглядного представления рассмотрим таблицу, приведенную ниже.

Рассмотрим ключевые этапы технологического процесса получения данной детали более подробно. Ленточно-отрезная операция подразумевает отрезание заготовки в размер [2]. Происходит чаще всего это на станках лен-

точнопильной группы [3]. В том случае, когда заготовка является достаточно длинной, используют специальные приспособления — рольганги для подачи и перемещения заготовок. Данный вид оборудования является достаточно производительным и позволяет выдержать допуск на размер рассматриваемой детали.

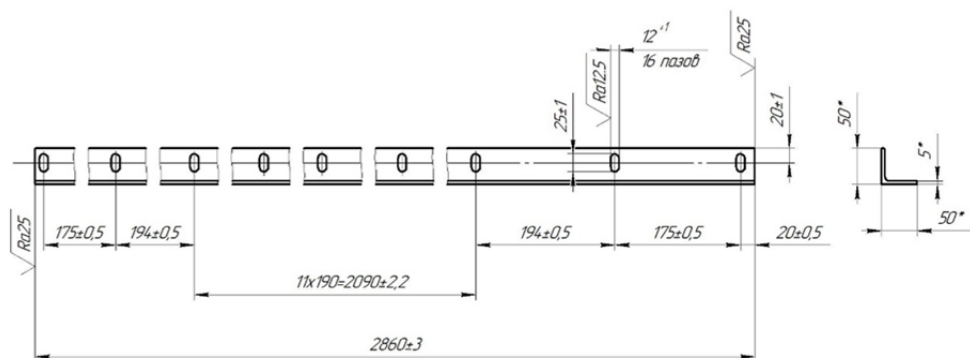


Рис. 1. Чертеж детали «Уголок»

Отличия технологический процессов

Базовый ТП	Усовершенствованный ТП
Ленточно-отрезная	Ленточно-отрезная
Разметочная	Вырубная
Сверлильная	
Фрезерная	
Слесарная зачистка	Слесарная зачистка
Маркирование	Маркирование

Следует уделить большое внимание остальным операциям в совокупности, поскольку они служат для получения пазов на детали. Разметочная операция производится чаще всего вручную и служит для нанесения разметочными инструментами точек или линий, указывающих контур для последующей обработки [4]. Данная операция является не производительной, поскольку для разметки большого количества пазов потребуется много времени, к тому же с каждым последующим нанесением разметочных точек и линий накапливается погрешность расположения будущих пазов. К недостаткам представленного технологического процесса следует отнести:

- для упрощения производства приходится изготавливать деталь из нескольких частей, в этом случае высока вероятность смещения расположения пазов на готовом изделии;
- человеческий фактор играет большую роль на операции разметки;
- зачастую универсальное оборудование следует применять для более сложных задач.

Штучное время достаточно велико.

Видно, что вырубная операция может заменить сразу три других (см. таблицу). Достичь это можно внедрением в технологический процесс штамповой оснастки.

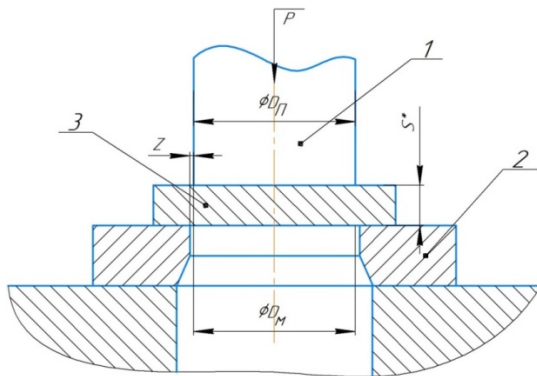


Рис. 2. Схема операции вырубки

Вырубка (пробивка) — операция отделения части заготовки по замкнутому контуру в штампе. Операцию осуществляют в штампе, рабочие органы (рис. 2) которого состоят из подвижного пуансона 1 и неподвижной матрицы 2, на которую кладется заготовка 3.

Внедрение штамповой оснастки в технологический процесс приведет к следующим положительным факторам:

- замена трех операций одной (см. табл.);
- универсальное оборудование будет использовано по назначению, тем самым увеличивается коэффициент загрузки оборудования;
- время получения паза путем вырубки значительно превышает время сверления и последующего фрезерования;
- использование длинных заготовок за счет возможности установить уголок «навывлет» путем применения рольгангов по обе стороны пресса.

В качестве недостатков следует выделить:

- дорогие материалы для составных частей штамповой оснастки;
- процесс изготовления подобной оснастки не всегда возможен на предприятии с мелкосерийным производством.

Внедрение штамповой оснастки уменьшает трудоемкость процесса получения пазов в представленной детали «Уголок». Само проектирование и дальнейшее производство достаточно долгий и тяжелый процесс, ключевая проблема — это высокая цена инструмента — штампа. Однако дальнейшее использование подобной оснастки позволит окупить все затраты. Более того, она снизит затраты на инструмент в универсальном оборудовании, ведь универсальные станки больше не будут использоваться в усовершенствованном технологическом процессе получения требуемой детали.

Литература

- [1] ГОСТ 3.1109–82. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. Москва, Изд-во стандартов, 2012, 15 с.
- [2] Безязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения. Москва, Машиностроение, 2020, 568 с.
- [3] Мокий М.С. Методология научных исследований. Москва, Юрайт, 2019, 255 с.
- [3] Металлорежущие станки. Т. 2. Москва, Машиностроение, 2011, 586 с.
- [4] Безязычный В.Ф., Крылов В.Н., Чарковский Ю.К., Шилков Е.В. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в машиностроении. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 432 с.

Improving the technological process by introducing stamping tooling into it

Talagaev Denis Andreevich

talagaevda@student.bmstu.ru

Malyshev Alexander Nikolaevich

malyshev.an@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The research is aimed at improving the production process through the use of stamping tooling. An analysis of two options for technological processes for manufacturing the “Corner” part was conducted for small-batch production. Implementing stamping tooling will simplify the process, reduce operations, and increase productivity. Additional material costs are offset by reduced labor costs and improved product quality. Implementing stamping tooling is a promising solution for production optimization.

Keywords: technological process, optimization, stamping tooling, punching, production

УДК 621.9

Усовершенствование технологического процесса путем внедрения в него технологии Centerdrill

Талагаев Денис Андреевич

talagaevda@student.bmstu.ru

Малышев Александр Николаевич

malyshev.an@bmstu.ru

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

Рассмотрено улучшение технологического процесса изготовления детали «Усиленный угол» с использованием центрового сверления. Центровое сверление позволяет получать резьбовые отверстия в металле без резки. Преимущества этого метода включают высокую точность, скорость обработки, улучшенное качество поверхности и снижение шума. Однако есть ограничения по размерам отверстий, необходимость специализированного оборудования и возможные сложности при обработке некоторых материалов. Тем не менее, центровое сверление может значительно упростить процесс изготовления детали.

Ключевые слова: оптимизация, технологический процесс, производство, технологии, инновации

Существующий технологический процесс изготовления детали «Уголок ответный» (рис. 1), описанный в таблице, является достаточно трудоемким из-за необходимости приварки гайки к каждому существующему отверстию уголка.

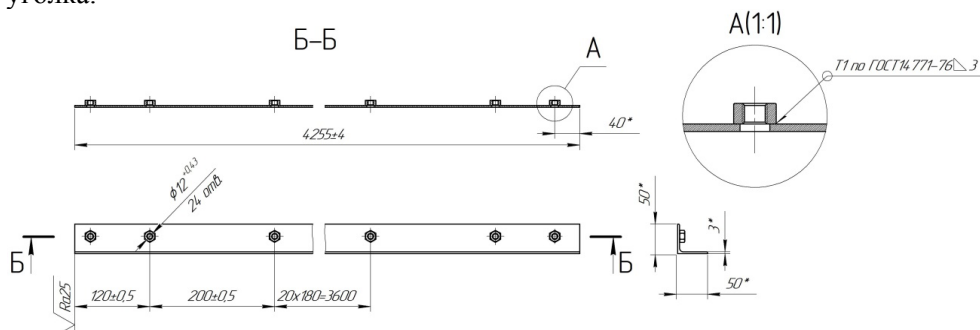


Рис. 1. Чертеж детали «Уголок ответный»

Для усовершенствования технологического процесса рассмотрим получение резьбового отверстия с помощью технологии «Centerdrill». Этот процесс представлен на рис. 2.

Формовка отверстий трением Centerdrill — это процесс, в результате которого получают упрочненные втулки или небольшие отверстия в тонкостенном металле без применения резки [1].

Процесс формовки основывается на разогреве материала под действием трения, возникающего в результате действия комбинации осевой силы пода-

чи и относительно высокой скоростью вращения пуансона. Разогретый металл становится пластичным, что позволяет получать отверстия [2].

Технологические процессы детали «Уголок ответный»

Базовый ТП	Новый ТП
Ленточно-отрезная	Ленточно-отрезная
Разметочная	Технология «Centerdrill» (формовка отверстия и резьбы трением)
Сверлильная	
Сборочно-сварочная	
Слесарная зачистка	Слесарная зачистка
Маркирование	Маркирование

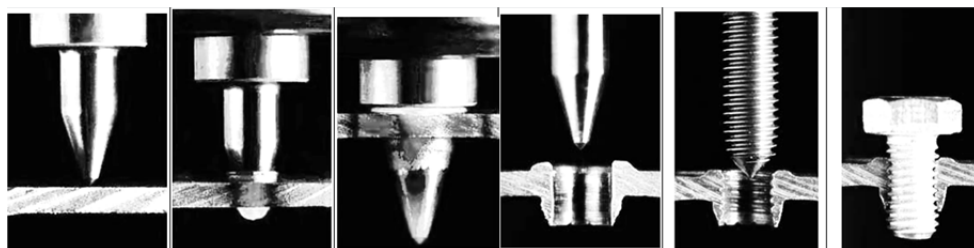


Рис. 2. Последовательность получения резьбового отверстия

Для различных целей разработано несколько стандартных фасонных пуансонов, основанных на этой конструкции. В основном они различаются по длине цилиндрической части и конструкции фланца.

Преимущества:

- высокая точность размеров и геометрии отверстий;
- процесс обработки относительно быстрый и эффективный, что может увеличить производительность производства;
- улучшенное качество поверхности: отверстия имеют хорошую шероховатость и отсутствие заусенцев;
- уменьшение шума и вибрации: в отличие от методов сверления и растачивания, формовка отверстий трением обычно создает меньше шума и вибрации;
- уменьшение трудоемкости процесса изготовления детали.

Недостатки:

- ограниченные размеры отверстий: технология Centerdrill может быть ограничена в диапазоне размеров отверстий, которые могут быть обработаны;
- требует специализированного оборудования: для применения этой технологии требуется специализированное оборудование, которое может быть дорогим;

– применимость к определенным материалам: эта технология может быть менее эффективной для обработки некоторых материалов, по сравнению с другими методами;

– дорогостоящий инструмент.

Формовка резьбы Centertap имеет аналогичные преимущества с процессом формовки отверстий трением. В этом методе материал перемещается из основания резьбы в резьбовые гребенки без образования стружки, что напоминает процесс накатки наружной резьбы [3]. Поскольку материал в поверхностных слоях резьбы уплотняется в ходе формовки, вытягивающее усилие для резьбы, полученной таким образом, больше чем при нарезке. Преимущества формовки резьбы Centertap: [4]

– производственный процесс без резки;

– уплотнение материала при формовке дает резьбу, способную выдерживать большее усилие вытягивания;

– высокая точность резьбы, что предохраняет ее от стачивания;

– меньший износ при многократных соединениях благодаря повышенной жесткости;

– производительность процесса выше в 3–10 раз выше, чем при нарезке резьбы;

– уменьшенное трение, меньшее количество заусенцев и неровностей.

Недостатки формовки резьбы Centertap:

– не подходит для больших деталей: Centertap может быть неэффективен при работе с крупными деталями или труднодоступными местами;

– требует навыков и опыта: использование Centertap требует определенных навыков и опыта, чтобы избежать повреждений детали или инструмента;

– более высокая стоимость: инструменты Centertap могут быть более дорогими по сравнению с другими методами формовки резьбы;

– ограничения по типу резьбы: Centertap может иметь ограничения по типу и размеру резьбы, которую можно формовать.

В свою очередь, технология формовки отверстий трением обладает целым рядом преимуществ, включая высокую точность, улучшенное качество поверхности, быстроту и уменьшение шума и вибрации, к тому же технологический процесс упростится отсутствием слесарно-сборочной операции. Несомненным преимуществом является возможность использования данного типа инструмента на универсальном оборудовании. Единственным недостатком является высокая стоимость инструмента, которая превышает стоимость инструмента, применяемого в базовом технологическом процессе.

Литература

- [1] *Практическое руководство по процессу формовки отверстий трением «Centerdrill»*. URL: <https://tool-24.ru/upload/iblock/ac1/ac18bff6dba91dfb052438634db88729.pdf> (дата обращения 05.04.2024).
- [2] *Технология машиностроения (специальная часть)*. Москва, Машиностроение, 1986, 347 с.

- [3] Смирнов А.М. Сосенушкин Е.Н. *Организационно-технологическое проектирование участков и цехов*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 228 с.
- [4] Демин В.А., Ларин С.Н. Современные направления и перспективы развития технологий обработки металлов давлением в машиностроении. *Научные технологии в машиностроении*, 2021, № 8, с. 3–11.

Improving the technological process by implementing the "Centerdrill" technology into it

Talagaev Denis Andreevich

talagaevda@student.bmstu.ru

Malyshev Alexander Nikolaevich

malyshev.an@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The improvement of the technological process for manufacturing the "Reinforced Angle" detail using center drilling is considered. Center drilling enables obtaining threaded holes in metal without cutting. The advantages of this method include high precision, processing speed, improved surface quality, and reduced noise. However, there are limitations on the hole sizes, the need for specialized equipment, and potential challenges in processing certain materials. Nevertheless, center drilling can significantly simplify the manufacturing process of the detail.

Keywords: *optimization, technological process, production, technologies, innovations*

УДК 621.2

Методы контроля допуска круглости деталей машин

Шинелев Степан Вячеславович

stepan02.02@mail.ru

Мусохранов Марсель Владимирович

marsel@bmstu.ru

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

Статья посвящена изучению методов контроля допуска круглости у деталей машин. Рассмотрены различные способы контроля круглости, включая методы измерения с помощью прецизионного вращения, образцов круглости и прибора для измерения радиального биения. Проанализированы основные принципы и технологии контроля круглости, их преимущества и недостатки. Рассмотрены основные отклонения у детали типа «Полумуфта» и описаны основные методы их контроля.

Ключевые слова: круглость, методы, форма, приборы

Любая деталь, изготовленная на предприятиях, нуждается в должном контроле. Помимо ее изготовления необходимо, чтобы размеры и допуски соответствовали спроектированному чертежу данной детали. Одним из важных допусков является допуск круглости.

Допуск круглости — это величина, определяющая максимально допустимое отклонение формы окружности детали от идеальной круглой формы. Он устанавливается в процессе изготовления детали и является одним из важнейших параметров контроля качества.

Допуск круглости может быть задан в виде значения диаметра, диапазона или отклонения от идеальной формы окружности. В зависимости от требований к точности детали и ее функционального назначения допуск круглости может быть очень малым или, наоборот, довольно большим.

Контроль допуска круглости может проводиться с помощью различных методов, включая применение измерительных инструментов, координатно-измерительных машин, оптических систем, а также специализированных ПО для анализа и обработки результатов измерений. Эффективный контроль допуска круглости позволяет обеспечить высокое качество и надежность деталей машин.

Существует много видов контроля допуска круглости, но самыми распространенными являются: измерение с применением прецизионного вращения, измерение с применением образца круглости, измерение с применением аэростатически-центрированного опорного элемента, измерение прибором для измерения радиального биения, измерение на координатно-измерительных приборах, измерение средствами для измерения диаметра (двухточечное измерение), с применением призмы, с применением седлообразной призмы [1].

Контроль допуска круглости с помощью прецизионного вращения осуществляется с помощью специальных измерительных приборов, таких как

датчики деформации, оптические системы или лазерные интерферометры. Они позволяют измерять диаметр и форму детали во время вращения.

Для контроля допуска круглости применяются специальные образцы круглости. Образец круглости представляет собой калибр, который имеет идеальную форму окружности с заданным диаметром. Обычно образцы круглости изготавливаются из высококачественных материалов, таких как твердосплавы или керамика, чтобы обеспечить высокую точность и долговечность.

Аэростатически-центрированный опорный элемент состоит из двух частей: подушки и опорного кольца. Подушка заполняется сжатым воздухом или газом, создавая поддерживающую силу, которая позволяет установить и центрировать деталь. Опорное кольцо имеет точную круглую форму и служит для определения допуска круглости детали.

Измерение допуска круглости с помощью прибора для измерения радиального биения является одним из наиболее распространенных методов контроля круглости деталей. Данный прибор представляет собой высокоточный измерительный инструмент, способный определять отклонение детали от идеально круглой формы путем измерения радиального биения.

Принцип действия прибора основан на измерении расстояния между поверхностью детали и зонтом при проведении зондирования по всему диапазону детали. При зондировании радиальное биение детали отображается на шкале прибора в виде значения отклонения от идеальной окружности.

Для измерения допуска круглости на КИП используются специальные датчики, такие как тактильные датчики или оптические датчики. При использовании тактильных датчиков, КИП перемещается по поверхности объекта, снимая данные о его форме и координатах. Затем эти данные обрабатываются программным обеспечением, которое вычисляет допуск круглости и отображает результаты на экране.

Для измерения допуска круглости используются специальные средства, в том числе средства для измерения диаметра. Одним из таких средств является микрометр, который позволяет измерять диаметр детали с высокой точностью [2].

Принцип измерения допуска круглости с применением призмы заключается в том, что деталь устанавливается на вертикальной поверхности, затем призма со специальной шкалой опускается на поверхность детали. Призма создает определенный угол обзора, благодаря чему происходит отображение диаметра детали на шкале прибора.

Принцип контроля допуска круглости с помощью седлообразной призмы заключается в том, что световой луч, проходя через седлообразную призму, будет отклоняться в зависимости от формы поверхности обрабатываемого объекта. Если поверхность объекта имеет идеальную круглую форму, то световой луч будет проходить через призму без отклонения. Если поверхность объекта имеет некруглую форму, то световой луч будет отклоняться, и это отклонение может быть измерено и использовано для определения допуска круглости [3].

Таким образом, методы контроля допуска круглости деталей машин играют важную роль в обеспечении качества производства и правильного функционирования технических устройств. Круглость является одним из важных параметров, определяющих соответствие деталей заданным параметрам и функциональным требованиям.

В работе рассмотрены различные методы контроля допуска круглости, такие как измерение средствами для измерения диаметра, с применением призмы и седлообразной призмы. Каждый из этих методов обладает своими особенностями и преимуществами, позволяя эффективно и точно измерять отклонения деталей от идеально круглой формы.

Применение методов контроля допуска круглости позволяет обеспечить высокую точность и надежность производства, а также улучшить качество выпускаемой продукции. Внедрение современных технологий и методов измерения помогает предотвращать возможные дефекты и несоответствия, сокращая издержки и повышая уровень конкурентоспособности предприятия [4].

Литература

- [1] Власкин В.В., Фомин А.И. *Методы и технические средства для контроля качества технологических процессов при техническом сервисе машин*. Саранск, МГУ им. Н.П. Огарева, 2020, 100 с.
- [2] *Метрология, стандартизация и сертификация. Практикум*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 348 с.
- [3] Кайнова В.Н., Зимина Е.В., Кутяйкин В.Г. *Метрологическая экспертиза и нормоконтроль технической документации*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 500 с.
- [4] Мубаракшин Р. М. *Инновационные технологии и оборудование для производства ответственных деталей газотурбинных двигателей*. Санкт-Петербург, Лань, 2024, 372 с.

Methods for controlling the tolerance of roundness of machine parts

Shinelev Stepan Vyacheslavovich

stepan02.02@mail.ru

Musokhranov Marcel Vladimirovich

marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article is devoted to the study of methods for controlling the tolerance of roundness in machine parts. The paper discusses various methods of roundness control, including measurement methods using precision rotation, roundness samples and a device for measuring radial runout. The basic principles and technologies of roundness control, their advantages and disadvantages are analyzed. The main deviations of the "Half Coupling" type part are considered and the main methods of their control are described. The article is of practical importance for specialists in the field of mechanical engineering and product quality control.

Keywords: roundness, methods, shape, devices

УДК 621

Методы бесконтактного контроля износа инструмента

Ремезов Сергей Евгеньевич

rse19km168@student.bmstu.ru

Малышев Евгений Николаевич

malen@bmstu.ru

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

Рассмотрены основные методы бесконтактного контроля износа инструмента. Приводятся описания следующих методов: радиоактивный метод, силовой метод, применение оптических и оптико-электронных устройств контроля износа, вибро-акустические измерения, применение пневматических преобразователей, измерение мощности резания. Представлено подробное описание и ключевые моменты для каждого метода. Также приводятся области применения каждого из методов и примеры их положительного влияния на производственные процессы. Информация, содержащаяся в статье, может быть применена в качестве методических указаний для предотвращения или снижения сильного износа инструмента на металлообрабатывающем оборудовании.

Ключевые слова: металлообработка, износ режущей кромки, контроль износа, бесконтактный контроль, обработка точением

Цель исследования — определить наиболее эффективные методы бесконтактного контроля износа инструмента во время выполнения операции «Точение».

Задачи исследования: подробное описание наиболее эффективных методов бесконтактного контроля износа инструмента при выполнении операции «Точение»; выявление ключевых моментов при использовании того или иного метода; описание преимуществ и области применения методов.

Наиболее эффективные методы бесконтактного контроля износа.

Радиоактивный метод. Данный метод контроля износа использует радиоактивные изотопы для определения степени износа инструмента. На инструмент наносится слой радиоактивного изотопа, который облучается гамма-излучением. При износе толщина слоя радиоактивного изотопа изменяется, что позволяет определить степень износа и необходимость замены инструмента.

Этот метод позволяет оперативно контролировать износ режущего инструмента и своевременно заменять его, что улучшает качество обработки деталей, снижает издержки на производство и увеличивает срок службы инструмента. Однако стоит отметить, что радиоактивные методы контроля могут представлять опасность для здоровья работников и окружающей среды, поэтому необходимо соблюдать все меры предосторожности и нормы безопасности при работе с радиоактивными веществами [1].

Силовой метод основан на измерении сил, которые действуют на инструмент в процессе резания материала. При износе инструмента его режущая

способность снижается, что приводит к увеличению сил резания. Через специальные сенсоры и приборы, установленные на станке или станке ЧПУ, можно измерить изменение этих сил и определить степень износа инструмента. В качестве контролируемого параметра предлагается использовать электрический ток в цепи привода подачи и в электродвигателе главного привода, который пропорционален крутящему моменту.

Метод позволяет оперативно выявлять износ инструмента в процессе обработки, что помогает своевременно проводить замену инструмента, улучшает точность обработки и продлевает срок его службы. Такой метод контроля находит широкое применение при обработке металлических и других материалов [2].

Оптические и оптико-электронные устройства измерения износа. Оптические системы могут использоваться для визуализации режущего инструмента с высоким разрешением и детальностью, что позволяет оператору увидеть даже мельчайшие дефекты и изменения на его поверхности. Также оптические устройства могут использоваться для измерения геометрических параметров инструмента и оценки степени его износа.

Оптико-электронные устройства могут быть также использованы для контроля износа режущего инструмента путем анализа оптических сигналов, например изменений в отраженном свете или спектральных характеристиках поверхности инструмента.

Применение оптических и оптико-электронных устройств для бесконтактного контроля износа режущего инструмента обеспечивает высокую точность, скорость и надежность в определении степени износа инструмента, что позволяет оперативно принимать решения о его замене или обслуживании.

Виброакустические измерения. Метод основан на анализе звуковых и вибрационных сигналов, которые генерируются в процессе резания материала. При износе инструмента изменяются характеристики звуковых и вибрационных сигналов, что позволяет определить степень износа инструмента. Для проведения виброакустического контроля износа режущего инструмента используются специальные датчики, которые регистрируют звуковые и вибрационные колебания при резании. На основе анализа этих сигналов можно определить степень износа инструмента и принять решение о его замене.

Этот метод контроля износа является быстрым, недорогим и эффективным способом определения износа режущего инструмента в реальном времени. Он широко применяется в промышленности для обеспечения качественной обработки материалов и повышения эффективности производства.

Применение пневматических преобразователей. Этот метод контроля основан на изменении характеристик потока воздуха, который идет от пневматического преобразователя к инструменту. При износе инструмента меняется его геометрия и, следовательно, изменяется способ взаимодействия воздуха с поверхностью инструмента. Пневматический преобразователь фиксирует эти изменения и по ним можно судить о степени износа инструмента. Например, при увеличении износа инструмента может измениться

общее давление в пневматической системе, распределение потока воздуха или частота колебаний. Данный метод позволяет оперативно и точно определить необходимость замены режущего инструмента в процессе обработки материалов [3].

Измерение мощности резания. Этот метод основан на измерении мощности, потребляемой режущим инструментом в процессе обработки материала.

Когда режущий инструмент изнашивается, его эффективность уменьшается, что влияет на процесс резания. Когда износ инструмента увеличивается, трение и сопротивление при резании также увеличиваются, что приводит к увеличению потребляемой мощности. Путем измерения этой мощности можно определить уровень износа инструмента.

Бесконтактные методы измерения мощности резания обычно основаны на использовании ультразвукового, акустического или вибрационного анализа процесса резания. Эти методы позволяют непрерывно мониторить мощность резания в реальном времени и своевременно определять необходимость замены или повторной заточки режущего инструмента.

Использование измерения мощности резания для бесконтактного контроля износа режущего инструмента позволяет увеличить производительность, качество обработки и срок службы инструмента за счет оперативного реагирования на изменения в процессе резания. [4].

В результате проведенного исследования, можно сделать вывод о том, что существует шесть наиболее эффективных видов бесконтактного контроля износа режущей кромки токарных резцов, которые могут применяться во время обработки материала точением. В работе представлены подробные описания к каждому из видов. Применение представленных методов, поможет избежать отклонения от необходимого качества 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 имени Т.Ф. Горбачева, 2015, 231 с.
- [2] Григорьев С.Н. *Методы повышения стойкости режущего инструмента*. Москва, Инновационное машиностроение, 2023, 368 с.
- [3] Гусев А.В., Закураев В.В., Хадеев С.И. Обоснование возможности контроля процесса механической обработки. *Машиностроение — традиции и инновации. Всерос. молодежной 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.

Methods of non - contact tool wear control

Remezov Sergey Evgenievich

rse19km168@student.bmstu.ru

Malyshev Evgeny Nikolaevich

malen@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article describes in detail the main methods of non-contact tool wear control. The following methods are described: the radioactive method, the power method, the use of optical and optoelectronic wear control devices, vibroacoustic measurements, the use of pneumatic transducers, and the measurement of cutting power. The paper provides a detailed description and key points for each method. The areas of application of each of the methods and examples of their positive impact on production processes are also given. The information contained in the article can be used as methodological guidelines to prevent or reduce severe tool wear on metalworking equipment.

Keywords: *metalworking, cutting edge wear, wear control, non-contact control, turning processing*

УДК 621.74

Исследование влияния состава и характеристик сплава на литейные свойства при литье в песчано-глинистые формы

Борисов Сергей Андреевич

borisov123467@yandex.ru

SPIN-код: 3493-8290

Бысов Сергей Александрович

bysov.s@bmstu.ru

SPIN-код: 2717-6210

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

Представлена основная информация о способе литья в песчано-глинистые формы. Изложены зависимости характеристик производящихся заготовок от применяемых модельных комплектов, способов формовки и геометрии элементов литниковых систем. Приведены рекомендации по проектированию чаш, стояков, шлакоуловителей, питателей. Рассмотрен физический смысл добавок, включений и основных литейных свойств (ликвация, жидкотекучесть, усадка). Сделаны выводы о влиянии химического состава и характеристик материала на процесс литья.

Ключевые слова: литейное свойство, сплав, влияние на процесс, литье

Литье в песчано-глинистые формы подходит для любых типов производства, позволяет работать с большим количеством материалов и производить заготовки с разнообразными конструктивными элементами, массами и размерами, принадлежащими широкому интервалу значений. Универсальность способа объясняет его широкое применение [1]. В сущности, это процесс перемещения подготовленного (расплавленного) металла в полости песчаных литейных форм.

Формовка «по-сухому» и «с подсушкой» применяется при больших значениях габаритных размеров и особых требованиях к будущему изделию без привязки к массе, «по-сырому» — для производства разнообразных заготовок из цветных сплавов, малогабаритных отливок из чугуна и стали со значением массы менее 100 кг. Деревянные модельные комплекты менее точные. Металлические обеспечивают 14–17 квалитет и уменьшение значений припусков на 10 % [2].

Чаша используется для успокоения поступающего расплава, отсеивания пены и крупногабаритных включений. Важный конструктивный элемент чаш — выходное отверстие, соответствующее ограниченному количеству стояков. Чем больше значение диаметра отверстия стояка, тем менее эффективно всплывает шлак из-за увеличения интенсивности потока.

Самый эффективный сбор шлака и меньший расход тепла обеспечивает трапецидальный шлакоуловитель с круглым поперечным сечением и «тупиком» после завершающего питателя.

Питатель желательно изготавливать с плоским трапецидальным сечением (уменьшения вероятности возникновения литейного дефекта) [3].

Добавки с температурами плавления, соизмеримыми с температурой расплава, являются предпочтительными. Несоблюдение рекомендации влечет за собой их отделение в шлак или переход в газовое агрегатное состояние и окисление. Тугоплавкие добавки увеличивают расход металла и время плавки. Небольшая плотность расплава вводимых элементов увеличивает вероятность их всплытия и перехода в состав шлака. Большая плотность расплава вызывает их оседание и дальнейшее неточное определение степени их растворения.

Химические соединения основного материала с прочими элементами выступают в качестве неметаллических включений, являющихся концентраторами напряжений. Наиболее распространенные — сернистые соединения, силикаты, нитриды и т. д. Неметаллические включения, влияющие на свойства литейного сплава, могут быть экзогенными (элементы шлака, результат процесса эрозии песчано-глинистых форм и т. д.) и эндогенными (продукты химических реакций элементов состава литейного материала с примесями (S), огнеупорным материалом (футеровка печи), газами внешней среды (O_2 , N_2)). Примером влияния химического состава на процесс литья является его влияние на возникновение горячих трещин в отливках, произведенных из сталей, высокопрочного и ковкого чугуна. Рассматриваемые элементы — S (увеличение значения процентного содержания вызывает увеличение значения вероятности образования горячих трещин), P (увеличение значения процентного содержания вызывает менее значительные изменения), Mn/S (увеличение значения Mn/S является более предпочтительным из-за уменьшения количества бракованных заготовок) [4].

Ликвация — неоднородность химического состава в объеме литейного сплава, проявляющаяся в процессе кристаллизации. Чем меньше расстояние между линиями солидуса и ликвидуса, тем меньше ликвация [5].

Жидкотекучесть сплава позволяет ему перемещаться под действием сил тяжести и почти точно повторять внутренние поверхности песчаной формы [6]. Сера (максимум 0,07 %) и фосфор (максимум 0,09 %) увеличивают жидкотекучесть литейных сталей [7]. Минимальная жидкотекучесть характерна для сплавов с предельной растворимостью и максимальным интервалом кристаллизации. Чистые металлы, эвтектические сплавы и интерметаллиды с изотермическим характером кристаллизации обладают наибольшей жидкотекучестью (объясняется преодолением начального участка канала перегретым материалом).

Усадка — процесс изменения значений размеров с эвентуальными сопутствующими дефектами (усадочные пористости и т. д.), зависящий от материала, гетерогенности температуры на поверхностях заготовки, характера их контакта, взаимодействия с поверхностями форм.

При увеличении значения интервала от T_d до T_c значение объема усадочных раковин уменьшается. При $T_{кр} = \text{const}$ объемная усадка кристаллизации преобразуется в усадочные раковины, питание становится простым, раковины перемещаются в прибыль. Отливки с данной характеристикой сплава производить легче. При использовании чистых металлов и эвтектик пори-

стость не прогрессирует: $V_{у.п} = 0$. Сплавы, кристаллизующиеся в интервале температур от T_d до T_c (выделение двухфазной зоны и $\varepsilon_{л-с} > 0$), подвергаются образованию линейной усадочной пористости, ухудшающей механические свойства, уменьшающей герметичность (критично при ранее произведенной обработке резанием). Рассеянная усадочная пористость, существующая в «плотном» материале одновременно с вышеописанной, изменяет те же параметры.

Предусадочное расширение $\Delta l_{пр}$, возникающее вследствие газонасыщенности сплава или температурного увеличения песчано-глинистой формы, присуще любому литейному материалу. Модуль упругости и усадка, наряду с податливостями стержней и форм, оказывают воздействие на значения механических напряжений, образующихся из-за особенностей взаимодействия процесса усадки и вышеупомянутых элементов, подразумевающего существование сопротивления деформированию. Данные напряжения являются главным источником возникновения горячих трещин [4].

Полученные данные могут применяться для определения рационального литейного сплава, обеспечивающего требуемые значения различных параметров отливки.

Литература

- [1] Зубарев Ю.М. *Методы получения заготовок в машиностроении*. Санкт-Петербург, Лань, 2021, 256 с.
- [2] Тюняев А.В. *Основы конструирования деталей машин. Литые детали*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 192 с.
- [3] Чернышов Е.А., Паньшин В.И. *Литейные технологии. Основы проектирования в примерах и задачах*. Москва, Машиностроение, 2021, 288 с.
- [4] Трухов А.П., Маляров А.И. *Литейные сплавы и плавка*. Москва, Academia, 2004, 335 с.
- [5] Бондаренко Г.Г., Кабанова Т.А., Рыбалко В.В. *Основы материаловедения*. Москва, Лаборатория знаний, 2023, 763 с.
- [6] Гетьман А.А. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 492 с.
- [7] Сапунов С.В. *Материаловедение*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 208 с.

Investigation of the influence of the composition and characteristics of the alloy on casting properties when casting into sand - clay molds

Borisov Sergey Andreevich

borisov123467@yandex.ru
SPIN-code: 3493-8290

Bysov Sergey Aleksandrovich

bysov.s@bmstu.ru
SPIN-code: 2717-6210

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The basic information about the method of casting into sand-clay molds is presented. The dependences of the characteristics of the produced casts on the applied gated patterns, molding methods and geometry of the elements of the gating systems are described. Recommendations on the design of pouring basins, sprues, sprue wells, gates are given. The physical meaning of additives, inclusions and basic casting properties (liquation, fluidity, shrinkage) is considered. Conclusions are drawn about the influence of the chemical composition and characteristics of the material on the casting process.

Keywords: casting property, alloy, effect on the process, casting

УДК 621.98

Исследование методов упрочнения конструкционных сталей

Савонов Роман Николаевич

savonov02@mail.ru

Журавлева Татьяна Александровна

juravleva.ta@bmstu.ru

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

Статья посвящена исследованию различных методов упрочнения конструкционных сталей. Рассмотрены основные подходы к упрочнению материалов, такие как холодная деформация, термическая обработка, ультразвуковая обработка и др. Проведен обзор существующих исследований в данной области и представлены результаты исследований, проведенных на различных методах упрочнения сталей. Исследование представляет интерес для специалистов в области материаловедения, металлургии, инженерии и любых других областей, где требуется использование упрочненных материалов.

Ключевые слова: упрочнение, сталь, закалка, отпуск, цементация, азотирование, нормализация, термообработка

В современном промышленном производстве широко применяются конструкционные углеродистые стали благодаря их отличным механическим свойствам, удовлетворяющим требованиям различных отраслей промышленности. Для обеспечения оптимальной прочности и износостойкости изделий из данных материалов необходимо применять методы упрочнения, которые позволяют эффективно увеличить механические характеристики деталей [1].

Изучение и оптимизация методов упрочнения деталей из конструкционных углеродистых сталей является актуальной научно-исследовательской задачей, поскольку позволяет повысить качество и надежность производимой продукции, сократить затраты на ее производство и эксплуатацию, а также расширить область применения материалов.

Термообработка — это процесс изменения структуры и свойств материала, проводимый путем контролируемого нагрева и последующего охлаждения [2]. Этот метод упрочнения широко применяется для конструкционных сталей с целью улучшения их механических свойств, таких как прочность, твердость, устойчивость к износу и др.

Термообработка позволяет достичь необходимых механических свойств стали, улучшить ее характеристики и повысить прочность изделий. Правильный выбор режима термической обработки (закалка, нормализация, отпуск) в зависимости от типа стали, ее начального состава и требуемых характеристик позволяет получить оптимальный результат и обеспечить высокую эффективность упрочнения конструкционных сталей.

Основные этапы термообработки конструкционных сталей обычно включают закалку (возможна с последующим отпуском) и нормализацию.

Закалка — это процесс нагрева стали до определенной температуры, при которой происходит превращение структуры материала (например, переход аустенита в мартенсит) и увеличение его твердости. Затем сталь быстро охлаждают, чтобы «закрепить» изменения в структуре. Для некоторых видов сталей после закалки может проводиться отпуск, который направлен на снятие внутренних напряжений и повышение пластичности материала.

Нормализация — это процесс нагрева стали до критической температуры, за которой последует равномерное охлаждение на воздухе для улучшения механических свойств материала. Этот метод упрочнения применяется для уменьшения размеров зерен структуры стали и улучшения ее обрабатываемости.

Холодная деформация — это процесс, при котором сталь подвергается механическому воздействию при низких температурах. Это может быть прокатка, холодная штамповка, холодное вытягивание и другие методы обработки. При этом происходит уплотнение структуры материала, уменьшение размера зерен, повышение прочности и твердости стали [3].

Химическое упрочнение конструкционных сталей — это процесс добавления различных химических элементов к стали с целью изменения ее механических свойств и улучшения характеристик материала. Основными элементами-упрочнителями, которые могут быть добавлены к сталям, являются никель, хром, молибден, кремний и др.

Химическое упрочнение позволяет значительно улучшить механические свойства стали, такие как прочность, твердость, устойчивость к износу, коррозии и др. Этот метод упрочнения широко применяется в производстве автомобилей, металлоконструкций, машиностроения и других отраслях, где требуются стойкие и надежные материалы с определенными свойствами.

Ультразвуковое упрочнение конструкционных сталей — это процесс, при котором в материал вводятся высокочастотные ультразвуковые волны с целью изменения его структуры и свойств [4]. Этот метод упрочнения обычно применяется для улучшения механических характеристик сталей, таких как прочность, усталостная живучесть, пластичность и др.

Ультразвуковое упрочнение является эффективным методом улучшения свойств конструкционных сталей и его применение широко распространено в различных отраслях индустрии, включая авиацию, автомобильное производство, энергетику и др.

Азотирование — это процесс внедрения азота в поверхностные слои стали для увеличения ее твердости, прочности и износостойкости. Применяется в основном для упрочнения конструкционных сталей.

Преимущества азотирования включают в себя возможность обработки деталей любой формы и сложности, а также невысокую стоимость процесса. Благодаря азотированию, конструкционные стали приобретают значительно лучшие свойства и становятся более долговечными и надежными в эксплуатации.

Цементация — это процесс поверхностного упрочнения конструкционных сталей путем обогащения поверхности углеродом. Цель цементации со-

стоит в создании поверхностного слоя с высоким содержанием углерода, что ведет к улучшению механических свойств стали и повышению ее износостойкости.

Преимущества цементации включают в себя возможность улучшения механических свойств стали, повышение ее износостойкости и увеличение срока службы изделий. Цементация также позволяет улучшить поверхностные свойства стали без увеличения ее общей твердости, что делает материал более прочным и долговечным.

Каждый из методов упрочнения имеет свои преимущества и применим в зависимости от конкретных требований к конечному продукту. Например, холодная деформация обеспечивает увеличение прочности и твердости стали, термическая обработка способствует устойчивости к усталости, а ультразвуковая обработка улучшает микроструктуру материала.

Литература

- [1] Дальский А.М. *Технология конструкционных материалов*. Москва, Машиностроение, 2002, 156 с.
- [2] Адашкин А.М., Зуев В.М. *Материаловедение (металлообработка)*. Москва, Академия, 2012, 288 с.
- [3] Приходько В.М., Петрова Л.Г., Чудина О.В. *Металлофизические основы разработки упрочняющих технологий*. Москва, Машиностроение, 2003, 384 с.
- [4] Дриц М.Е., Москалев М.А. *Технология конструкционных материалов и материаловедение*. Москва, Высш. шк., 1990, 447 с.

Research of methods of hardening of structural steels

Safonov Roman Nikolaevich

savonov02@mail.ru

Zhuravleva Tatyana Alexandrovna

juravleva.ta@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article is devoted to the study of various methods of hardening structural steels. It discusses the main approaches to the hardening of materials, such as cold deformation, heat treatment, ultrasonic treatment and others. An overview of existing research in this field is conducted and the results of research conducted on various methods of hardening steels are presented. The research is of interest to specialists in the field of materials science, metallurgy, engineering and any other fields where the use of hardened materials is required.

Keywords: hardening, steel, quenching, tempering, cementation, nitriding, normalization, heat treatment

УДК 533.69.046

Влияние технологической наследственности на качество деталей в ходе их эксплуатации

Тоиржонов Омадбек Зафаржон угли

omadbek.toirjonov.99@mail.ru

Малышев Евгений Николаевич

malen@bmstu.ru

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

Рассмотрена проблема влияния технологической наследственности на качество деталей. Исследовано влияние наследственности в технологическом процессе на проявление погрешностей форм и размеров обрабатываемого объекта в процессе эксплуатации. Изучены закономерности проявления технологической наследственности для повышения эффективности управления этим процессом и достижения более высокой долговечности и надежности деталей машин. Установлены объективные закономерности обеспечения требуемого качества деталей.

Ключевые слова: коэффициент технологической наследственности, величина погрешности, качество деталей, свойства деталей машин

Технологическая наследственность имеет особое значение для определения качества детали в процессе ее обработки. Унаследованные характеристики, приобретенные деталью в ходе технологических процессов обработки и сборки, проявляются в будущем. Например, две детали с одинаковыми геометрическими параметрами могут претерпевать совершенно разные изменения при эксплуатации в одинаковых условиях. Причины этих явлений в основном объясняются перераспределением напряжений, ползучестью материала и фазовыми превращениями [1].

После многомесячных наблюдений за валами и другими высокоточными деталями, изготовленными по разным технологическим процессам, было обнаружено, что в их поведении есть существенные различия. За это время валы этих компонентов деформировались, сами валы скручивались, а диаметры листовых шеек менялись. Этот процесс изменения не подчиняется линейной зависимости. В результате у станков, собранных с изогнутым валом, уже изменились условия эксплуатации подшипников, что привело к появлению биения. Увеличение диаметра цапфы шпинделя вызывает явление заклинивания после того, как шпиндельный узел уже обработанного и смазанного высокоточного станка некоторое время находился на складе.

Величина погрешностей, возникающих в шпинделях готовых станков, очевидна, и необходимо разработать меры по устранению вредных наследственных явлений. При производстве шпинделей достигается точность размеров в 1–2 мкм, а выявляемые деформации оцениваются в несколько десятков микрометров [2].

Особое внимание следует уделять азотированным деталям, таким как валы. Разница в удельном объеме между азотированным слоем и сердцевиной

приводит к высоким напряжениям в таких деталях. Неравномерность азотированного слоя приводит к короблению шпинделей станков (наблюдения в течение одного года). Наиболее сильное коробление наблюдается в первые три месяца, затем оно замедляется, а после четырех месяцев хранения происходит обратное коробление. Знание закономерностей технологической последовательности позволяет прогнозировать величину и направление деформации деталей и выбирать методы снижения деформации.

Аналогичное явление наблюдается и для таких деталей, как кольца в подшипниках качения. По этой причине диаметр и отклонение формы каждого кольца были измерены заранее для большого количества партий деталей, а также были зафиксированы места, где при шлифовании были сделаны наибольшие припуски. Результат показали, что после трех месяцев хранения в 80 % колец образовались эллипсы, причем главная ось эллипса проходила через центр кольца и место, где был сделан наибольший припуск. Таким образом, ухудшение качества колец подшипников можно объяснить особенностями предыдущего процесса точения и шлифования.

Хотя обработка отдельных деталей в процессе финишной обработки гарантирует чрезвычайно высокую геометрическую точность, такие детали могут вызывать значительный износ других сопряженных деталей в процессе работы. Это объясняется поверхностной интерференцией во время отделочных операций, т. е. прилипанием абразивных частиц, действующих как специальные фрезы, к сопрягаемым деталям. Поэтому качество соединения должно рассматриваться также с наследственной точки зрения. [3].

При организации работ по повышению качества машин на основе явления технологической наследственности следует учесть следующее:

- выявление факта переноса определенных признаков с предыдущей работы на последующую;
- количественные аспекты, характеризующие коэффициентом технологического наследования;
- коэффициент наследственности определяет выбор технологического маршрута. Если значения этого коэффициента постоянны на протяжении всего процесса (например, определенные свойства материала компонента), это можно трактовать положительно, только если унаследованные свойства играют положительную роль в качестве продукции. При изменении коэффициентов наследственности технологические процессы всегда должны оцениваться отрицательно;
- необходимым условием обоснованности процесса является монотонность изменения коэффициента наследования. Негативные признаки, появляющиеся на одной операции технологического процесса, должны систематически устраняться, а коэффициент наследственности должен быть больше единицы для всех смежных пар операций. Положительные черты должны не только сохраняться, но и улучшаться;
- технологические процессы с неблагоприятными признаками должны быть построены таким образом, чтобы они реализовывались с относительно

большим коэффициентом наследственности в начальной (обычно подготовительной) операции и с меньшим коэффициентом в заключительной операции. Это соответствует известному экономическому положению, согласно которому отрицательные признаки целесообразно устранять более интенсивно в первых операциях, а затраты на их реализацию значительно меньше, чем затраты на завершающих операциях технологического процесса [4].

Таким образом, изучение закономерности проявления технологической наследственности позволяет в определенной степени повысить эффективность управления этим процессом, открывая тем самым возможность получения высокой долговечности деталей машин и повышения надежности их работы при снижении себестоимости продукции.

Литература

- [1] Петренко А.П. Технологическая наследственность и ее зависимость от распределения характеристик поверхностного слоя некоторых сталей и сплавов при течении и шлифовании. *Авиационно-космическая техника и технологии*, 2007, № 8, с. 25–30.
- [2] *Технологическая наследственность в машиностроительном производстве*. Москва, Изд-во МАИ, 2000, 364 с.
- [3] *Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей*. Минск, Наука и техника, 1971, 210 с.
- [4] *Технологические основы обеспечения качества машин*. Москва, Машиностроение, 1990, 256 с.

The influence of technological heredity on the quality of parts during their operation

Toirzhonov Omadbek Zafarzhon ugli

omadbek.toirjonov.99@mail.ru

Malyshev Evgeniy Nikolaevich

malen@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The problem of the influence of technological heredity on the quality of parts is considered. Heredity in the technological process, the manifestation of errors in the shapes and sizes of the processed object during their operation. The study of the patterns of manifestation of technological heredity to improve the efficiency of managing this process and achieve higher durability and reliability of machine parts. Objective patterns have been established to ensure the required quality of parts, the need to comprehensively study accuracy and physico-mechanical properties, taking into account the effect of technological heredity.

Keywords: coefficient of technological heredity, margin of error, quality of parts, properties of machine part

УДК 621.91.01

Мобильные приложения для расчета режимов резания при токарной обработке

Германов Даниил Александрович

daniil.germanow@yandex.ru

Малышев Евгений Николаевич

malen@bmstu.ru

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

Представлено сравнение значений режимов резания, которые рассчитаны с помощью справочников и с помощью приложения FSWizard Pro. Цель доклада — определить достоверность информации, предоставляемой приложением FSWizard Pro, для дальнейшего использования в процессе обучения. Определено численное соответствие таких значений как, зависимость скорости резания от диаметра заготовки, зависимость подачи на оборот от диаметра заготовки, зависимость подачи на оборот от глубины резания, зависимость скорости резания от материала заготовки, зависимость подачи на оборот от материала заготовки.

Ключевые слова: режимы резания, мобильные приложения, Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., достоверность аппроксимации

Одной из актуальных научно-технических задач является исследование возможностей мобильных приложений и способности упрощения выполнения задач с их помощью. Выполнение расчетов режимов резания может занимать большое количество времени. В наши дни мобильные приложения стали неотъемлемой частью жизни. Внедрение мобильных приложений в отрасль технологии машиностроения может позволить наиболее эффективно использовать время, отведенное на решение задачи, поскольку отпадает необходимость в глубоком изучении и выполнении расчетов. Также снижается вероятность допущения ошибки, поскольку отсутствует человеческий фактор. Однако это возможно лишь при условии достоверности получаемых данных. Определив, достоверность информации, предоставляемой в приложении, можно сказать о качестве его использования на практике. По итогам проведенного исследования можно сказать, возможно ли использование данного приложения в процессе обучения на кафедре «Технология машиностроения» [1].

На данном этапе работы выполняется сравнение получаемых значений режимов резания для токарной обработки при задании параметров в приложении FSWizard Pro и при выполнении расчетов с помощью справочника «Справочник технолога-машиностроителя» под редакцией Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. [2].

Рассмотрим зависимость режимов резания от изменения диаметра заготовки, используя в качестве материала заготовки Сталь 45, материала режущей кромки — Р6М5, глубина резания — 1 мм. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментов № 1 и № 2

Диаметр заготовки, мм	Данные приложения FSWizardPro		Справочные данные	
	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
50	65	0,44	81	0,7
80	65	0,44	69	1,0
120	65	0,44	64	1,2

Можно заметить, что при расчете режимов резания в приложении FSWizard Pro значение диаметра заготовки не влияет на скорость резания, однако при расчетах с помощью справочника Косиловой — Мещерякова видно, что скорость резания изменяется при различных значениях диаметра. Диаметр заготовки также не влияет на значение подачи на оборот при расчете в приложении, а при расчетах по справочнику влияет [2]. Рассмотрим зависимость параметра подачи при изменении параметра глубины резания, диаметр заготовки — 50 мм, скорость резания — 65 м/с, материал заготовки — Сталь 45, материал режущей кромки Р6М5. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты экспериментов № 3

Глубина резания, мм	Данные приложения FSWizard Pro	Справочные данные
	Подача, мм/об	Подача, мм/об
2	0,43	0,60
3	0,43	0,55
5	0,43	0,50

С помощью справочника Косиловой-Мещерякова нет возможности рассчитать значения подачи для глубин резания ниже 2 мм [2]. При расчетах подачи по справочнику Косиловой — Мещерякова отсутствуют поправочные коэффициенты на подачу, а табличное значение выбирается из интервала значений. Это означает, что результат расчетов в основном зависит от выбора человека, высчитывающего данное значение, и нельзя получить единственный результат. Рассчитаем режимы резания при изменении обрабатываемого материала, диаметр заготовки — 50 мм. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Проверим соответствия получаемых результатов при помощи величины достоверности аппроксимации [3, 4]. Величины достоверности аппроксимации всех опытов отражены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты экспериментов № 4 и № 5

Материал	Твердость, НВ	Данные приложения FSWizard Pro		Справочные данные	
		Скорость резания, м/с	Подача, мм/об	Скорость резания, м/с	Подача, мм/об
C90700(CuSn10)	105	236	0,4846	109,70	0,80
Сталь 45	162	65	0,4392	81,00	0,70
X5M (T5)	235	27	0,3800	78,73	0,65
СЧ30	270	18	0,3286	68,68	0,60

Таблица 4

Результаты достоверности аппроксимации

№ опыта	Достоверность аппроксимации
1	0,78
2	0,18
3	0,70
4	0,42
5	0,03

Было проведено сравнение значений режимов резания, расчеты которых выполнены с помощью справочника и с помощью приложения FSWizard Pro. Также было выявлено численное соответствие этих значений: зависимость скорости резания от диаметра заготовки — 0,78; зависимость подачи на оборот от диаметра заготовки — 0,18; зависимость подачи на оборот от глубины резания — 0,7; зависимость скорости резания от материала заготовки — 0,42; зависимость подачи на оборот от материала заготовки — 0,03. Также была посчитана средняя величина достоверности аппроксимации, которая составила 0,406 при расчете по справочнику [2]. Исходя из значений достоверности аппроксимации, полученных в ходе данного исследования, можно сказать, что использование приложения FSWizard Pro для расчета режимов резания для токарной обработки в рамках обучения на кафедре «Технология машиностроения» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана нецелесообразно, и использование справочников все еще является наиболее достоверным и надежным способом расчета режимов резания.

Литература

- [1] Германов Д.А., Малышев Е. Н. Мобильные приложения для решения технологических задач. *Научно-технологические проблемы приборостроения и развитие инновационной деятельности в вузе. Всерос. науч.-техн. конф.: тез. докл.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, т. 1, с. 10–12.

- [2] Косилова А.Г., Мещеряков Р.К. *Справочник технолога-машиностроителя*. Москва, Машиностроение, 1986, 496 с.
- [3] Байбородова Л.В., Чернявская А.П. *Методология и методы научного исследования*. Москва, Юрайт, 2018, 222 с.
- [4] Дрешицкий В. А. *Методология научных исследований*. Москва, Юрайт, 2019, 274 с.

Mobile applications for calculating cutting modes during turning

Germanov Daniil Aleksandrovich

daniil.germanov@yandex.ru

Malyshev Evgeny Nikolaevich

malen@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

A comparison of the values of the cutting modes, which are calculated using reference books and using the application "FSWizard Pro", is presented. The purpose of the report is to determine the reliability of the information provided by the FSWizard Pro application. The numerical correspondence of such values as the dependence of the cutting speed on the diameter of the workpiece, the dependence of the feed per revolution on the diameter of the workpiece, the dependence of the feed per revolution on the depth of cutting, the dependence of the cutting speed on the material of the workpiece, the dependence of the feed per revolution on the material of the workpiece.

Keywords: *cutting modes, mobile applications, Kosilova A.G., Mesheryakov R. K., approximation reliability*

Секция 2. Технологии и машины сварочного производства

УДК 621.791

Обзор литературных источников по теме «Способы управления фазовым составом и структурой металла, полученного наплавкой»

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 свойств наплавленного металла, полученных покрытыми электродами и порошковой проволокой. Показано, что для повышения износостойкости наплавленного металла количеством аустенита необходимо управлять. Эффективным способом, позволяющим регулировать химический, фазовый составы и свойства наплавленного металла, а также повысить производительность наплавки является дополнительное легирование никелем или марганцем. Легирование данными материалами позволяет получать в структуре металла метастабильный аустенит, который увеличивает долговечность и стойкость покрытия к гидроабразивным воздействиям.

Ключевые слова: восстановительная наплавка, легирование, гидроабразивный износ, восстановление поверхностей, износостойкость, долговечность

В настоящее время в отечественные машиностроительные предприятия все чаще обращаются к ремонту машин и агрегатов различной сложности, а не к полной замене вышедшего из строя узла. Такая тенденция сохранилась и для изделий подверженных гидроабразивному износу. Данный вид износа наблюдается во многих отраслях промышленности и изделиях: рабочих органах землеройных и гидравлических машин, трубопроводах и т. д.

Для восстановления изношенных деталей машин и аппаратов, а также для нанесения покрытий с особыми свойствами применяют различные способы и материалы. Одним из таких способов является наплавка. Это нанесение слоя расплавленного металла на оплавленную металлическую поверхность путем плавления присадочного материала теплотой газового пламени, электрической или плазменной дуги.

В качестве материалов для такой наплавки используются специальные присадочные материалы, обеспечивающие высокую износостойкость и коррозионную стойкость деталей, работающих в условиях гидроабразивного и абразивного износа, за счет чего увеличивается срок службы данного изделия. Анализ литературных источников показывает, что существует большое количество работ, которые рассматривают различные подходы по обеспечению износостойкости изделий путем применения различных механизмов упрочнения поверхностей наплавкой.

В работе [1] рассматриваются способы управления фазовым составом и структурой металла, наплавленного с помощью покрытых электродов

и порошковой проволоки. Авторы ставят перед собой цель показать возможность повышения эксплуатационных свойств наплавленного металла за счет оптимизации химического и фазового составов наплавляемого покрытия. В результате проведения исследования делается заключение, что в зависимости наплавляемого материала, существенно изменяется химический и фазовый состав покрытия, что значительно влияет на износостойкость и долговечность изделия. При исследовании структуры и свойств металла, полученного покрытием электродом, отмечается большое содержание хрома и марганца. За счет повышенного содержания хрома (~16 %) образуются достаточно прочная оксидная пленка, которая, в свою очередь, обеспечивает прочность и износостойкость изделия. В структуре наплавленного покрытия наряду с мартенситом 35 %, который повышает стойкость к гидроабразивному взаимодействию, также содержится 17 % аустенита [2]. При большом количестве аустенита в наплавляемом покрытии твердость уменьшается. Однако в процессе работы детали в нормальных условиях при сухом и влажном трении аустенит полностью превращается в мартенсит деформации, повышая тем самым износостойкость изделия. С точки зрения полезности, аустенит может иметь и полезные свойства, например он повышает такое свойство как разгон стойкости, которое играет ключевую роль в работе роликовых механизмов [3].

При рассмотрении покрытия, полученного порошковой проволокой, можно отметить, что в покрытии содержится 25 % феррита. Феррит по сравнению с мартенситом и аустенитом обладает низкими сопротивлениями к разрушению, а также его присутствие снижает коррозионную стойкость изделия. Чтобы избежать этого авторы предлагают пути решения данной проблемы. Одним из таких вариантов может быть легирование никелем (4–6 %). Аналогом никеля может выступать марганец. Легирование марганцем (~17 %) обеспечивает наличие в структуре наряду с мартенситом метастабильного аустенита, который, в свою очередь, повышает стойкость к гидроабразивным воздействиям [4, 5].

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что применение технологии наплавки различными материалами позволяет не только повышать прочность изделия, но и управлять процентным содержанием аустенита в структуре полученного наплавкой покрытия с целью повышения его свойств. При гидроабразивном износе для повышения прочности необходимо получать в структуре метастабильный аустенит, способный превращаться в мартенсит деформации. Для этого в случае с порошковой проволокой, в сравнении с покрытием электродом целесообразно уменьшить содержание углерода и легировать покрытие никелем или марганцем.

Для повышения долговечности деталей, работающих в условиях гидроабразивного износа, рационально легировать наплавленный слой марганцем, стабилизирующим аустенит, чтобы получать взамен мартенситной или ферритно-мартенситной структуры, характерной для широко применяемых материалов, мартенситно-аустенитную структуру (~14 % γ).

Литература

- [1] Малинов В.Л., Мак-Мак А.С. Управление фазовым составом при дуговой наплавке. *Вестник Брянского государственного технического университета*, 2020, № 1 (2), с. 90–98.
- [2] Ковалев А.А., Краско А.С. Влияние параметров газотермического напыления на прочность сцепления функциональных стойких покрытий. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2021, № 3, с. 31–39.
- [3] Максимов А.Б., Гуляев М.В. Поверхностное упрочнение сталей для изделий шахтного оборудования. *Актуальные проблемы в машиностроении*, 2015, № 2, с. 370–374.
- [4] 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.
- [5] Еремин Е.Н., Лосев А.С., Бородин С.А. Порошковая проволока для наплавки коррозионностойкой и износостойкой стали. *Вестник машиностроения*, 2018, № 7, с. 66–68.

A review of literature sources on the topic methods of controlling the phase composition and structure of a metal obtained by surfacing

Orlik Anton Gennadievich

a.g.orlik@yandex.ru

Orlik Gennady Vladimirovich

G.V.Orlik@yandex.ru

Ivanov Evgeny Ivanovich

ivanovei01@mail.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The paper considers the results of studies of the properties of the deposited metal obtained by coated electrodes and powder wire. It is shown that in order to increase the wear resistance of the deposited metal, the amount of austenite must be controlled. An effective way to regulate the chemical, phase compositions and properties of the deposited metal, as well as to increase the surfacing performance, is additional alloying with nickel or manganese. Alloying with these materials makes it possible to obtain metastable austenite in the metal structure, which increases the durability and resistance of the coating to waterjet effects.

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

УДК 621.791

Особенности изготовления корпусов толстостенных сосудов давления

Чернова Татьяна Георгиевна
Коновалов Алексей Сергеевич

chernova-tg@bmstu.ru
konovalovas@student.bmstu.ru

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

Рассмотрены особенности сварки корпусов толстостенных сосудов давления. Обоснован выбор используемых способов сварки и материалов. Проведен анализ структуры и механических свойств сварных соединений, выполненных автоматической сваркой под флюсом и электрошлаковой сваркой. Сделан вывод, что для производства толстостенных сосудов высокого давления можно использовать как автоматическую сварку под флюсом, так и электрошлаковую сварку.

Ключевые слова: автоматическая сварка под флюсом, электрошлаковая сварка, сосуд давления, механические свойства

Одной из ключевых проблем современного машиностроения наряду с повышением надежности и долговечности является уменьшение металлоемкости конструкций. Известно, что более половины затрат при создании сварных машиностроительных конструкций приходится на материалы. Поэтому наибольший эффект от применения мер, направленных на уменьшение металлоемкости, достигается в тех сферах машиностроения, где производятся крупногабаритные толстостенные конструкции — в газо-нефтехимической и энергетической отраслях промышленности. Чтобы добиться оптимального конструктивного решения и уменьшения металлоемкости, нужны эффективные технологии производства.

При проектировании и производстве изделий ответственного назначения — сосудов высокого давления необходимо учитывать условия их эксплуатации и действующие на них циклические и знакопеременные нагрузки [1]. Основной нормативный документ, определяющий технические требования к конструкции, — ГОСТ 34347–2017 «Сосуды и аппараты стальные сварные».

Расчеты на прочность сосудов и их элементов выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 34233.1–2017 и других нормативных документов на сосуды высокого давления.

Сосуд высокого давления в общем случае состоит из корпуса, патрубков, люков, штуцеров и арматурной обвязки. Основным элементом конструкции является корпус, который состоит из обечаек и днищ, а они, в свою очередь, свариваются между собой кольцевыми и продольными швами.

Выбор материала сосуда давления опирается на условия эксплуатации:

- давление среды — не ограничено;
- температура стенки от -70°C до $+475^{\circ}\text{C}$;
- характеристики окружающей среды, где он будет эксплуатироваться.

Исходя из статических и ударных испытаний по ГОСТ 6996–66 «Сварные соединения. Методы определения механических свойств», механические свойства контрольных сварных соединений должны соответствовать ГОСТ Р 54803–2011:

- временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение при температуре +20 °С и выше — не менее минимально допустимых характеристик для основного металла;
- угол изгиба не менее 100°;
- ударная вязкость при температуре +20 °С и концентраторе КСУ не менее 50 Дж/см², при КСV не менее 35 Дж/см²; ударная вязкость при температуре –20 °С и ниже, при концентраторе КСУ не менее 30 Дж/см², при КСV не менее 20 Дж/см² [2].

В зависимости от категории сосудов и технических требований используют стали: СтЗсп, СтЗкп, 16К, 22К, 09Г2С, 10Г2С1, 16ГС, 17ГС, 10ХСНД, 12ХМ, 12Х2МФА, 12Х18Н10Т, 03Х19АГЗН10 и др.

Из-за более низкой массы и высоких механических свойств для изготовления сосудов высокого давления предпочтительно применять низколегированные стали. Они обладают хорошей свариваемостью, повышенной прочностью, стойкостью к коррозии, имеют низкую степень старения, обеспечивая срок службы свыше 30 лет и более экономичны.

Из вышеперечисленных лучше всего показывает себя сталь 09Г2С, так как соответствует необходимым прочностным и механическим характеристикам (таблица), имеет большой температурный диапазон работы. Также данная сталь имеет необходимый толстолистовой прокат, прочнее и пластичнее своих конкурентов, обладает необходимой коррозионной стойкостью.

Механические свойства стали 09Г2С по ГОСТ 5520–2017

Сортамент	Толщина, мм	Временное сопротивление разрыву, σ_b , МПа	Предел текучести для остаточной деформации, $\sigma_{0.2}$, МПа	Относительное удлинение при разрыве, δ , %	КСУ, Дж/см ²		КСV, Дж/см ²	
					+20 °С	–40 °С	20 °С	0 °С
Лист	32–60	> 450	> 285	Не менее 21	> 59	> 34	> 39	> 29
	60–80	> 440	> 275					
	80–160	> 430	> 265					

Для сварки толстолистовых конструкций (50–100 мм и более) используют автоматическую сварку под флюсом и электрошлаковую сварку, так как оба эти способа имеют высокую погонную энергию, производительны, позволяют получить достаточное проплавление и хорошее качество сварного шва.

Основная задача при сварке корпуса сосуда высокого давления из стали 09Г2С состоит в получении феррито-перлитной структуры металла шва. Для улучшения свойств стали с феррито-перлитной структурой применяются различные методы термообработки, такие как нормализация и отпуск [3].

Установлено, что у сварных соединений, выполненных автоматической сваркой под флюсом, с погонной энергией до 15 МДж/м, формируется благоприятная структура без крупных столбчатых кристаллов с минимальной, не более 1 мм, протяженностью участка перегретых крупных зерен у зоны сплавления. При электрошлаковой сварке данный показатель намного больше, что может привести к появлению трещин. Этого можно избежать дополнительным принудительным охлаждением или термообработкой [4].

При автоматической сварке под флюсом толстолистовых конструкций необходимо выполнять большое количество сварочных проходов. Так, при сварке стенок толщиной 75 мм необходимо около 40 проходов. Технология электрошлаковой сварки позволяет выполнить сварку данной толщины за один проход, что существенно снижает вероятность появления пор и увеличивает производительность.

Сборка под сварку при автоматической сварке под флюсом проще, чем при электрошлаковой сварке. Например, при электрошлаковой сварке основная трудность — при замыкании кольцевых швов требуется применение специальных приемов и, прежде всего, выбор схемы входного и выходного кармана [5]. В то же время электрошлаковую сварку можно осуществлять без разделки, что компенсирует потраченное на сборку кольцевых швов время и необходимость установки дополнительного оборудования.

Оборудование для электрошлаковой сварки позволяет экономить до 20 % электроэнергии, расход флюса для создания сварочной ванны в 15–20 раз меньше по сравнению с автоматической сваркой под флюсом. Также можно добавить, что с увеличением толщины стенки изделия электрошлаковая сварка будет производительней, а себестоимость изделия будет меньше, чем у автоматической сварки под флюсом.

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что с точки зрения качества, производительности и экономичности при изготовлении сосудов высокого давления можно применять как автоматическую сварку под флюсом, так и электрошлаковую сварку. Оба способа являются эффективными и удовлетворяют требуемым условиям. Выбор конкретного способа зависит от производственной программы и окружающей среды — структурной организации производства, технологического оснащения, реализуемых методов обработки. Но еще большую выгоду извлекают производства, которые комбинируют оба метода сварки.

Литература

- [1] Владимиров А.И., Кершенбаум В.Я. *Эксплуатационная надежность и прочностной ресурс сварных стыков технологических трубопроводов*. Москва, Национальный ин-т нефти и газа, 2006, 184 с.

- [2] ГОСТ Р 54803–2011. *Сосуды стальные сварные высокого давления. Общие технические требования*. Москва Изд-во стандартов, 77 с.
- [3] Чернышов Г.Г. *Технология электрической сварки плавлением*. Москва, Академия, 2010, 164 с.
- [4] Полетаев Ю. В. Влияние надреза на склонность сварных соединений к межзеренному разрушению. *Вестник Дон. гос. техн. ун-та*, 2015, т. 15, № 3 (82), с. 28–34.
- [5] Чернышов Г.Г. *Сварочное дело. Сварка и резка металлов*. Москва, Академия, 2007, 496 с.

Features of the manufacture of thick-walled pressure vessel housings

Chernova Tatyana Georgievna

chernova-tg@bmstu.ru

Konovalov Alexey Sergeevich

konovalovas@student.bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The paper considers the features of welding the housings of thick-walled pressure vessels. The choice of welding methods and materials used is justified. The analysis of the structure and mechanical properties of welded joints made by automatic submerged arc welding and electroslag welding is carried out. It is concluded that both automatic submerged arc welding and electroslag welding can be used for the production of thick-walled high-pressure vessels.

Keywords: *automatic submerged arc welding, electroslag welding, pressure vessel, mechanical properties*

Секция 3. Физика
конденсированного состояния
и электронная техника

УДК 621.3.049.77

Алгоритм программы расчета показателей надежности подзатворного диэлектрика МДП-приборов

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 программы для определения параметров надежности подзатворного диэлектрика МДП приборов. Показано, что данная программа может применяться для расчета таких основных показателей надежности, как коэффициент выхода годных, процент дефектных структур, вызванных внешними дефектами, время наработки на отказ и плотность распределения дефектов по пластине. Показана возможность применения данной программы для контроля и оптимизации технологического процесса производства интегральных микросхем.

Ключевые слова: МДП-структура, диэлектрическая пленка, дефектность подзатворного диэлектрика, надежность, МДП-прибор

Контроль надежности в процессе производства интегральных микросхем является важной задачей, от которой зависит время наработки до отказа итоговых полупроводниковых устройств. Значительную роль в этом играет надежность подзатворного диэлектрика, являющегося одним из ключевых элементов МОП-транзисторов [1–7].

Поэтому цель данной работы — создание программы для автоматизации контроля качества подзатворного диэлектрика в МДП-приборах. Использование такой программы позволит контролировать и отслеживать изменение качества подзатворного диэлектрика, выявлять отклонения в технологическом процессе и применять меры для его оптимизации.

Входными данными для программы служат значения заряда, инжектированного в диэлектрик до пробоя, полученные методом управляемой токовой нагрузки. Заряд при этом измеряется при постоянной плотности тока.

Исходные данные задаются в виде csv таблицы (таблица с значениями заданными через запятую) с значениями заряда пробоя в виде чисел с плавающей запятой.

Для зависимости числа образцов от инжектированного заряда в начале строятся гистограммы распределения, а также график плотности вероятности (Probability density function — PDF).

Для создания функции вероятности (Cumulative Distribution Function — CDF), используется интегрирование функции плотности вероятности. Данная функция является основной в процессе определения надежности подзатворного диэлектрика. Ее вид определяется суперпозицией двух функций распределения Вейбулла, каждая из которых отражает влияние внешних и внутренних дефектов диэлектрика.

Точка пересечения данных распределений определяет коэффициент отказов (F), т. е. какой процент дефектов вызван внешними причинами, на которые можно повлиять с помощью оптимизации технологического процесса [8, 9].

Коэффициент выхода годных можно получить, вычитанием значения заряда в точке F из единицы.

Чтобы найти параметры распределений внешних и внутренних дефектов, используется метод наименьших квадратов. В нем проводится линеаризация функции распределения дефектов в логарифмических координатах и осуществляется аппроксимация параметров масштаба и формы распределения Вейбулла для данных функций.

Для аппроксимации распределения двумя прямыми (в логарифмическом масштабе) программе необходимо знать примерную точку их пересечения. Ее координаты вычисляются автоматически, но в целях удобства, пользователь также может ввести свои координаты. Это может быть удобно, если автоматический метод дал слишком большое отклонение.

Параметр формы распределений может служить еще одним индикатором качества диэлектрика — чем он больше, тем меньше разброс значения заряда пробоя диэлектрика и, следовательно, качественнее оксид [10].

Другой не менее важный параметр оценки качества, это среднее значение заряда, инжектированного до пробоя диэлектрической пленки. Его можно определить в точке пересечения прямой аппроксимирующей распределение внутренних дефектов в логарифмических координатах с осью X . Данное значение позволяет определить заряд, при котором происходит примерно 63,2 % отказов. Также с помощью него можно рассчитать среднее время наработки на отказ, разделив данное значение на ток утечки транзистора.

Дополнительно, если известна площадь тестовой структуры, программа может рассчитать плотность распределения дефектов по пластине, исходя из предположения, что они подчиняются распределению Пуассона.

Результатом программы служат: гистограмма распределения, графики PDF и CDF, а также файл с основными параметрами надежности исследуемых структур (параметры распределений Вейбулла для внешних и внутренних дефектов, коэффициент выхода годных, средний заряд до пробоя и плотность распределения дефектов по пластине).

Программа написана на языке Python, так как он предоставляет широкие возможности для обработки данных, с помощью библиотеки NumPy, а также вывод графиков с помощью Matplotlib. Другим важным преимуществом является возможность запуска данной программы на широком спектре устройств и операционных систем без необходимости компиляции.

Данная программа позволяет в автоматическом режиме определить широкий спектр параметров надежности подзатворного диэлектрика, основными из которых являются, коэффициент выхода годных, процент дефектных структур, обусловленных внешними дефектами, время наработки на отказ (через среднее значение заряда пробоя) и плотность распределения дефектов

по пластине. Данные параметры могут использоваться для контроля и оптимизации технологического процесса производства интегральных микросхем.

Литература

- [1] 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., pp. 2100400(1–5). <https://doi.org/10.1002/pssa.202100400>
- [2] Strong A., Wu E., Vollertsen R., Sune J., Rosa G., Rauch S., Sullivan T. *Reliability wearout mechanisms in advanced cmos technologies*. Wiley, IEEE Press Series on Microelectronic Systems, 2009, 624 p.
- [3] 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, p. 4523–4534.
- [4] Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Андреев В.В., Столяров А.А. Повышение зарядовой стабильности пленок подзатворного диэлектрика МДП-структур методом их легирования фосфором. *Перспективные материалы*, 2020, № 7, с. 68–74. <https://doi.org/10.30791/1028-978X-2020-7-68-74>
- [5] 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. 121301 (1–36). <https://doi.org/10.1063/1.2147714>
- [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] Kuznetsov V.V. HBM, MM, and CBM ESD Ratings Correlation Hypothesis. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2018, vol. 60, no. 1, art. 107. <https://doi.org/10.1109/TEM.2017.2700492>
- [8] Сивченко А.С. Методика определения дефектности подзатворного диэлектрика с использованием ускоренных испытаний тестовых структур. *Электроника*, 2015, № 3, с. 304–312.
- [9] Failure Mechanisms and Models for Semiconductor. *JEDEC Standard 122E Devices*, 2009.
- [10] Kim A., Wu E., Li B., Linder B. Transformation of Ramped Current Stress V_{BD} to Constant Voltage Stress TDDDB TBD. *IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS)*, Monterey, CA, USA, 2019, pp. 1–5.

Algorithm for calculating the reliability indicators of the gate dielectric of MIS devices

Kornev Sergey Alexandrovich

s.kornev.tov@gmail.com

Andreev Vladimir Viktorovich

vladimir_andreev@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The algorithm of the program for determining the reliability parameters of the gate dielectric is considered. It is shown that this program can be used to calculate such basic reliability parameters as yield factor, percentage of defective structures caused by external defects, time to failure and defect distribution density on the wafer. Conclusions are drawn about the possibility of using this program for control and optimization of the technological process of integrated circuits production.

Keywords: MIS-structure, dielectric film, gate dielectric defectivity, reliability, MOSFET

УДК 621.791.16

Микроконтактная сварка в микроэлектронике

Ботов Артемий Николаевич

botov-2001@mail.ru

Адарчин Сергей Александрович

adarchin@bmstu.ru

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

Представлена информация об ультразвуковой сварке, которая является одним из самых современных и эффективных методов соединения различных материалов. Ультразвуковая сварка уже успешно применяется в различных отраслях промышленности, включая производство электроники. Выявлены преимущества данного метода: высокая скорость, безопасность и снижение затрат на производство. Приведены недостатки ультразвуковой сварки, которые могут быть выявлены во время производственного процесса. Особое внимание уделено проблемам развития ультразвуковой сварки в России, где этот метод требует значительных вложений в оборудование и обучение персонала.

Ключевые слова: ультразвук, ультразвуковая сварка, вибрации, соединение без припоя, технологии сварки

Введение. Ультразвуковая сварка — это метод сварки, в котором для сварки двух деталей используется ультразвуковая вибрация. Вместо использования тепла в процессе ультразвуковой сварки используется энергия механической вибрации ультразвуковой частоты на заготовке, вызывающая деформацию материала и создание твердотельного сварного шва [1].

Процесс ультразвуковой сварки чаще всего используется для сварки термопластов, но его также можно использовать для некоторых типов металлов. Некоторые металлы, которые можно сваривать с использованием ультразвуковой энергии, включают золото, серебро, медь и алюминий. Ультразвуковая вибрация особенно эффективна при сварке разнородных материалов и пользуется популярностью из-за ее способности соединять детали без болтов, припоя, гвоздей или клея.

Преимущества ультразвуковой сварки. Ультразвуковая сварка нашла широкую популярность во многих отраслях промышленности благодаря возможности использования ее для термопластов и других материалов. Однако существует множество других причин, по которым ультразвуковая сварка может быть предпочтительнее других методов сварки и соединения. Некоторые из этих преимуществ ультразвуковой сварки более подробно объяснены ниже.

1. *Скорость.* Одним из наиболее значительных преимуществ ультразвуковой сварки является то, что это исключительно быстрый процесс. Передача высокочастотных ультразвуковых акустических колебаний через рупор позволяет материалу очень быстро нагреваться, свариваться и охлаждаться. Во многих случаях процесс сварки занимает максимум несколько секунд, что

обеспечивает высокую производительность и короткие сроки выполнения работ [2].

2. *Безопасность.* Использование оборудования для ультразвуковой сварки чрезвычайно безопасно по сравнению с другими методами сварки. Ультразвуковая энергия точно направлена, что снижает риск опасностей из-за избыточной электрической энергии. Кроме того, выделяемое тепло минимально, локализовано и быстро рассеивается, что сводит к минимуму тепловое воздействие на материал и снижает вероятность повреждения окружающего оборудования избытком тепла.

3. *Снижение материальных затрат.* Процесс ультразвуковой сварки очень экономичен с точки зрения использования материала. В этом процессе не используются соединительные болты, припой или клейкий материал, что помогает снизить материальные затраты на проект. Кроме того, поскольку ультразвуковая сварка отличается высокой точностью и обеспечивает высококачественные соединения, брак деталей сводится к минимуму. Возможность свести к минимуму вмешательство человека во время и после процесса сварки также сводит к минимуму трудозатраты.

Недостатки ультразвуковой сварки.

1. *Повреждение деталей.* Использование вибрационной энергии в процессе ультразвуковой сварки может вызвать появление различных дефектов на поверхности изделия, таких как следы от строжки, изменение текстуры, удаление отдельных элементов и обжиг поверхности. Чтобы избежать этих проблем, необходимо привлекать специалистов, которые разбираются в вопросах проектирования, технологических параметрах оборудования и свойствах материала. Другие возможные повреждения включают вибрацию, которая может вызвать холодные сварные соединения, напряжения и трещины, а также отказы электрических компонентов и цепей [3].

2. *Калибровка и точность устройства.* Важно убедиться, что оборудование правильно откалибровано, чтобы обеспечить максимальную точность. Если оборудование не проверяется регулярно, оно может производить сварные швы низкого качества, которые могут не работать должным образом или могут не выдерживать расчетную нагрузку. Еще одна проблема, которая может возникнуть, связана с переменной теплотой, выделяемой во время процесса из-за проблем с питанием или компонентами устройства. Неисправное силовое питание или преобразователь могут повлиять на качество, вызвав нестабильность сварного шва в процессе производства. В результате, даже если два устройства имеют одинаковую конфигурацию, они могут давать разные результаты. Как правило, это указывает на наличие неисправного компонента внутри машины [4].

Проблемы развития ультразвуковой сварки в России. Одной из основных проблем, с которыми сталкивается ультразвуковая сварка в России, является недостаточное распространение этой технологии среди отечественных предприятий. Многие компании предпочитают использовать традиционные методы сварки из-за недостаточной осведомленности о преимуществах

ультразвуковой сварки. Также проблемой является нехватка квалифицированных специалистов, способных работать с ультразвуковым оборудованием. Ограниченное количество обученных кадров может затруднить внедрение этой технологии на предприятиях. Для решения этих проблем необходимо провести информационную работу среди компаний по распространению ультразвуковой сварки, активизировать научные исследования в данной области, а также организовать учебные программы для специалистов. Таким образом можно обеспечить развитие ультразвуковой сварки в России и повысить ее конкурентоспособность на рынке промышленных технологий.

Выводы. В ходе работы был проведен анализ ультразвуковой сварки, рассмотрены преимущества данного метода, были выделены недостатки ультразвуковой сварки и выявлены основные проблемы развития ультразвуковой сварки в России.

Литература

- [1] Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Хмелев С.С., Цыганок С.Н. *Ультразвук. Аппараты и технологии*. Бийск, Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015, 688 с.
- [2] Петухов И.Б., Ланин В.Л., Емельянов В.А. *Технология и оборудование микросварки в производстве изделий электронной техники*. Минск, Интегралполиграф, 2021, 164 с.
- [3] *Технологические процессы и системы в микроэлектронике: плазменные, электронно-ионнолучевые, ультразвуковые*. Минск, Бестпринт, 2009, 202 с.
- [4] *Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Т. 2*. Минск, Бестпринт, 2003.

The development of a small amplitude reference current source with a wide range of supply voltage

Botov Artemy Nikolaevich

botov-2001@mail.ru

Adarchin Sergey Alexandrovich

adarchin@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article presents information about ultrasonic welding, which is one of the most modern and effective methods for connecting various materials. Ultrasound welding is already successfully used in various industries, including electronics production. The advantages of this method were identified: high speed, safety and reduction in production costs. The deficiencies of ultrasonic welding are given, which can be detected during the production process. Particular attention is paid to the problems of the development of ultrasound welding in Russia, where this method requires significant investments in the equipment and training of personnel.

Keywords: *ultrasound, ultrasonic welding, vibrations, solder-free connection, welding technology*

УДК 53.083.9

Некоторые сведения о фильтрации помех при измерении токов трехфазной схемы в микроконтроллерных системах управления

Власовский Алексей Игоревич^{1,2}

tfzmystery6@gmail.com

Пуляев Владислав Аркадьевич^{1,2}

vlad.pulyaev@mail.ru

Андреев Владимир Викторович¹

vladimir_andreev@bmstu.ru

¹ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия² АО «ОКБ МЭЛ», Калуга, Россия

Представлен обзор методов измерения фазных токов в трехфазных системах, а также предложен новый алгоритм работы аналого-цифрового преобразователя микроконтроллерной системы управления, работающего в паре с драйвером трехфазного двигателя, для подавления электромагнитных помех в измерительных цепях. Приведены экспериментальные результаты измерений с использованием различных подходов, каждому способу дана оценка, что позволяет оценить эффективность предложенного метода и его применимость на практике.

Ключевые слова: трехфазная система, микроконтроллер, измерение, метод, аналого-цифровое преобразование, фильтрация, помехи

Измерение токов в трехфазных системах является неотъемлемой частью проектирования, установки и эксплуатации электроэнергетических систем. Трехфазные системы широко используются в промышленных и бытовых приложениях для передачи и распределения электрической энергии [1]. Измерение токов в таких системах требует применения специализированных методов и технологий, которые позволяют обеспечить точность, надежность и безопасность процессов измерения. В данной работе рассмотрены различные способы фильтрации помех [2, 3].

Существует различные подходы к подавлению помех. Например, такие как: экранирование, сведение в общую точку заземления, переход от однофазного подключения к дифференциальному, использование сигнальных фильтров, переход к большему поддиапазону сигнала и другие меры, повышающие помехозащищенность сигнала [4, 5].

Взглянем на результаты измерений без применения средств подавления помех (рис. 1). Схематически измерения проводятся при помощи аналого-цифрового преобразователя (АЦП) последовательного приближения на токоизмерительном резисторе, включенном в цепь нижнего ключа полумостовой схемы.

Видим значительное влияние помех на измерения, что способно привести к критическим сбоям работы системы. Для решения данной задачи был применен математический фильтр. Вместо мгновенных значений получим среднее значение за некоторое количество последовательных измерений. Технически в микроконтроллерных системах это можно реализовать, исполь-

зую оверсэмплинг в модуле аналого-цифровых преобразований. Рассмотрим влияние оверсэмплинга на измерения (рис. 2).



Рис. 1. Измерение фазного тока без фильтрации

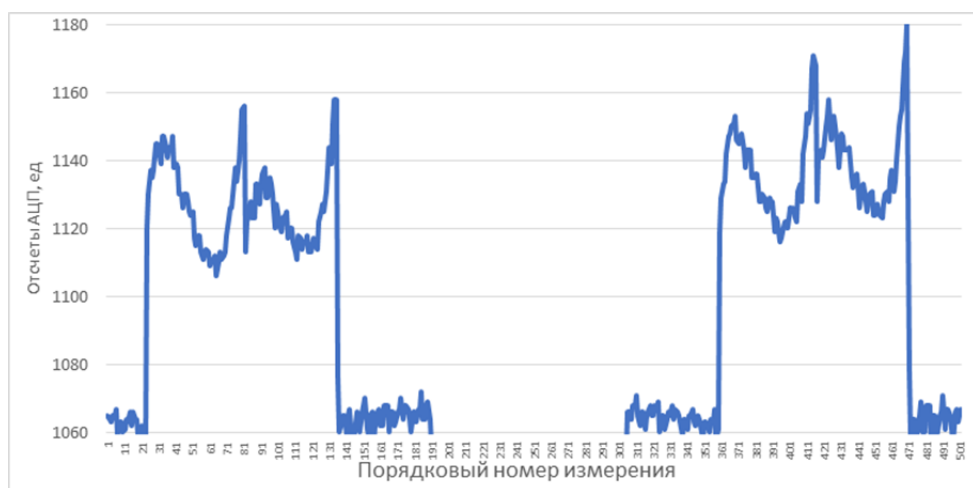


Рис. 2. Измерение фазного тока с фильтрацией оверсэмплингом

Видно, что некоторый эффект подавления помех присутствует. Однако полученные данные все еще сильно искажены, что может привести к некорректной работе системы управления и привести к аварии.

Попробуем определить природу и характерные свойства помех, возникающих в измерительных цепях. Основная доля искажений возникает из-за переходных процессов в момент замыкания и размыкания ключей, коммутирующих большой ток. Помехи такой природы являются гармоническими затухающими [6].

Транзисторы, коммутирующие нагрузку в трехфазных системах, как правило, управляются при помощи широтно-импульсной модуляции (ШИМ). За период ШИМ происходит коммутация тока в момент фронта управляющего сигнала и, соответственно, разрыв цепи в момент спада управляющего сигнала. Оба этих события вызывают гармоническую затухающую помеху в цепях измерения тока.

Общее время преобразования АЦП складывается из времени работы устройства выборки хранения (УВХ), времени для преобразования захваченного потенциала в цифровое значение и количество таких измерений, необходимое для выполнения оверсэмплирования сигнала. Таким образом:

$$T_{\text{АЦП}} = (t_{\text{УВХ}} + t_{\text{преоб}}) \cdot N_{\text{овер}},$$

где $T_{\text{АЦП}}$ — общее время работы АЦП для получения единичного ния; $t_{\text{УВХ}}$ — время работы устройства выборки хранения; $t_{\text{преоб}}$ — время работы преобразователя АЦП; $N_{\text{овер}}$ — количество измерений для оверсэмплирования.

Попробуем наложить дополнительное условие на алгоритм измерения тока. Начало работы модуля аналого-цифрового преобразования должно совпадать с началом периода ШИМ сигнала. Время, необходимое для получения результата измерения с оверсэмплингом сигнала, должно быть равно периоду ШИМ:

$$T_{\text{ШИМ}} = T_{\text{АЦП}},$$

где $T_{\text{ШИМ}}$ — период широтно-импульсной модуляции.

Внесем соответствующие изменения в систему управления и посмотрим результат (рис. 3).



Рис. 3. Измерение фазных токов с предложенным алгоритмом фильтрации

Видим, что предложенный способ позволяет получить сигнал, очищенный от помех, и позволяет оцифровывать значение токов с частотой, равной частоте широтно-импульсной модуляции.

Заключение. Представленные методы измерения токов в трехфазной системе позволяют очистить результаты измерений от помех, вызванных работой ключей, коммутирующих большую мощность. Данный способ значительно увеличивает помехоустойчивость и робастность микроконтроллерной системы управления.

Литература

- [1] Власовский А.И., Ахмелкин Д.М., Андреев Д.В., Мануйлов А.В., Масюк В.М., Андреев В.А. Применение термопластичных полимеров при создании аксиального синхронного электродвигателя для агрессивных сред. *Электронные информационные системы*, 2023, № 4 (39), с. 65–73.
- [2] Воробьев С. Приведение системы электропитания к устойчивому состоянию. *Силовая электроника*, 2016, № 2, с. 41–44.
- [3] Кудряков С.А., Соболев Е.В., Рубцов Е.А. *Теоретические основы фильтрации сигналов*. Санкт-Петербург, Университет гражданской авиации, 2018, 198 с.
- [4] Гутников В.С. *Фильтрация измерительных сигналов*, Ленинград, ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1990, 192 с.
- [5] Новикова А.И. Применение фильтра Калмана для уменьшения погрешности измерения токов утечки. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*, 2017, № 13, с. 463–465.
- [6] Воробьев С. Характеристики электромагнитных помех в системе электропитания и методы борьбы с ними. *Силовая электроника*, 2016, № 61, с. 40–44.

Some information about filtering interference when measuring currents of a three - phase circuit in microcontroller control systems

Vlasovsky Alexey Igorevich^{1,2}

tfzmystery6@gmail.com

Pulyaev Vladislav Arkadevich^{1,2}

vlad.pulyaev@mail.ru

Andreev Vladimir Viktorovich¹

vladimir_andreev@bmstu.ru

¹ Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

² OKB MEL JSC, Kaluga, Russia

The article provides an overview of methods for measuring phase currents in three-phase systems, as well as a new algorithm for the operation of an analog-to-digital converter of a microcontroller control system working in conjunction with a three-phase motor driver to suppress electromagnetic interference in measuring circuits. Experimental measurement results using various approaches are presented, each method is evaluated, which allows us to evaluate the effectiveness of the proposed method and its applicability in practice.

Keywords: *three-phase system, microcontroller, measurement, method, analog-to-digital conversion, filtering, interference*

УДК 621.317

Разработка устройства для измерения входного дифференциального сопротивления и выходного дифференциального сопротивления сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода

Борисов Егор Олегович

borisoveo@student.bmstu.ru

Гришин Григорий Константинович

grishingk@student.bmstu.ru

Андреев Дмитрий Владимирович

dmitrii_andreev@bmstu.ru

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

Разработано устройство для входного дифференциального сопротивления R_i и выходного дифференциального сопротивления R_o сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода. Описаны особенности сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода. Проведена настройка измерений с использованием программы LabVIEW. Приведена последовательность проведения измерения. Сделаны выводы относительно измеренных параметров, которые могут быть использованы для дальнейшей настройки приемопередатчика и улучшения качества передаваемого сигнала.

Ключевые слова: *схема, дифференциальное сопротивление, измерение, манчестерский код*

Введение. Микросхема 5559ИН7Т, 5559ИН8Т — сдвоенный приемопередатчик 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.

В сдвоенной форме манчестерский код представляет собой метод кодирования данных, где каждый бит информации отображается двойными переходами сигнала в определенный временной интервал. Такой подход обеспечивает более надежную передачу данных за счет использования парных переходов, что уменьшает вероятность ошибок при интерпретации сигналов. Система сдвоенного манчестерского кода включает в себя передатчик и приемник, обеспечивая эффективную передачу и прием информации [1, 2].

Трансмиттер, использующий двоичное кодирование по Манчестеру, преобразует цифровые входные данные в последовательность сигналов различной высоты с помощью специального алгоритма. Этот процесс включает определение сигналов, соответствующих логическому «нулю» и «единице», а также управление переходами между уровнями сигнала в зависимости от полученных данных. После этого усилитель увеличивает мощность сигнала перед его передачей по каналу связи для дальнейшей обработки [3].

Получатель двоичного приемопередатчика с манчестерским кодированием выполняет процесс демодуляции и декодирования сигналов, полученных

из канала связи. Демодулятор анализирует изменения сигналов и определяет логические «нули» и «единицы», в то время как декодер преобразует последовательность сигналов обратно в исходные данные, восстанавливая первоначальную последовательность информации.

В данной работе было разработано устройство для измерения входного дифференциального сопротивления R_I и выходного дифференциального сопротивления R_O двоянного приемопередатчика манчестерского кода.

Устройство для измерения входного дифференциального сопротивления R_I и выходного дифференциального сопротивления R_O двоянного приемопередатчика манчестерского кода. Для измерения входного дифференциального сопротивления R_I и выходного дифференциального сопротивления R_O двоянного приемопередатчика манчестерского кода была разработана печатная плата. Электрическая схема представлена на рис. 1.

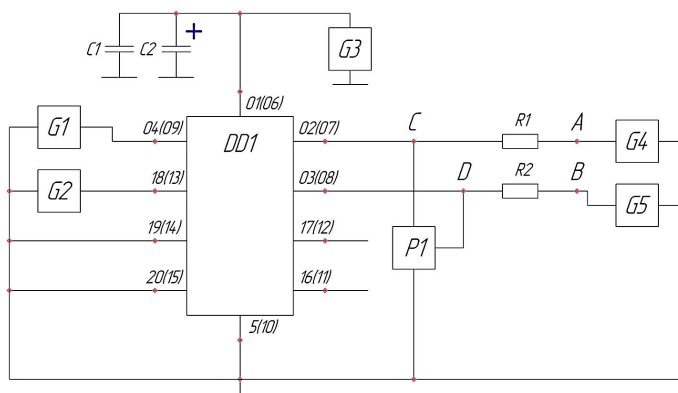


Рис. 1. Электрическая схема оценочной платы приемопередатчика

При разработке схемы платы учитывались особенности, характерные для двойного приемо-передатчика кода Манчестера:

- защита от электромагнитных помех путем правильного размещения и экранирования проводящих элементов на плате;
- учет длины дорожек и времени распространения сигнала для минимизации задержек и искажений в передаче данных;
- керамические конденсаторы были расположены непосредственно возле корпуса микросхемы для оптимизации работы системы.

Результаты измерений. На рис. 2 показан процесс настройки измерений с использованием оборудования от компании National Instruments и программы LabVIEW. В этом процессе производится конфигурация всех измерительных устройств и источников питания, показывается, как сигнал проходит через все элементы устройства.

Приведенные на рис. 3 результаты представляют собой измерения входного дифференциального сопротивления R_I , обозначенного белым и розовым цветом, и выходного дифференциального сопротивления R_O , обозначенного

синим и зеленым цветом, с использованием постоянного уровня сигнала 4,5 В на один вход и 5,5 В на другой вход приемопередатчика. Генератор и осциллограф были настроены для точного отображения результатов [4].

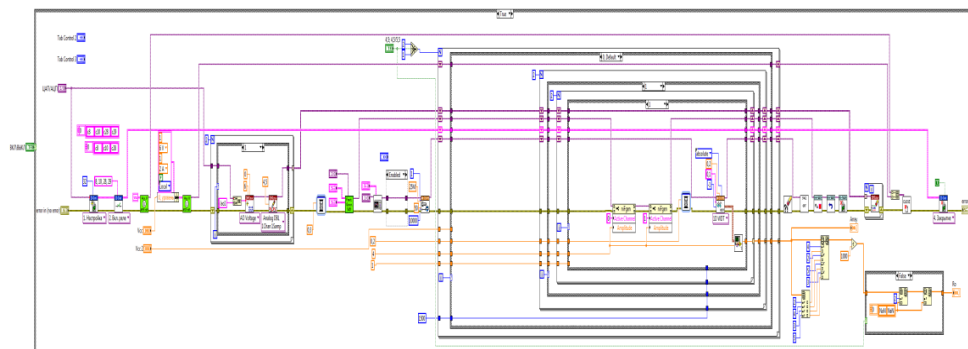


Рис. 2. Алгоритм для измерения входного сопротивления R_i и выходного сопротивления R_o

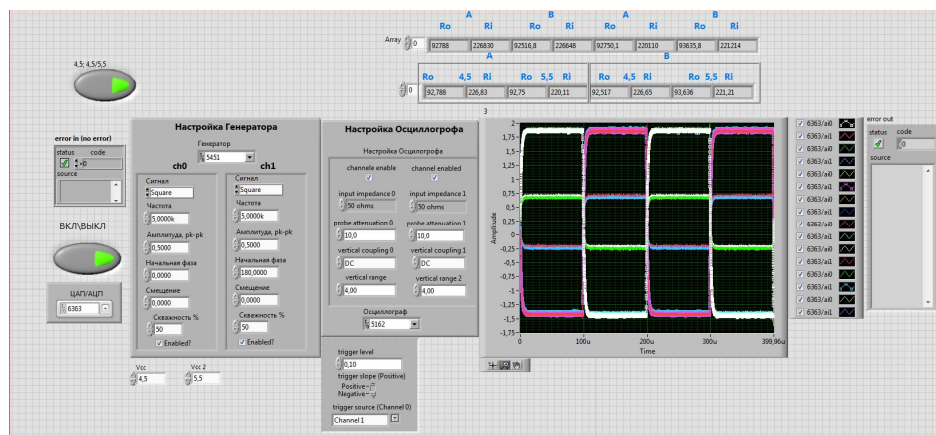


Рис. 3. Временная диаграмма сигналов при измерении входного и выходного дифференциального сопротивления

Заключение. В ходе исследования было разработано электронное устройство для измерения входного сопротивления R_i и выходного сопротивления R_o сдвоенного приемопередатчика с манчестерским кодом. 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, iss. 9, art. 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::AID-SIA593>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9918(199908)28:1<142::AID-SIA593>3.0.CO;2-1)
- [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 the input differential resistance and the output differential resistance of a dual Manchester code transceiver

Borisov Egor Olegovich

borisoveo@student.bmstu.ru

Grishin Grigory Konstantinovich

grishingk@student.bmstu.ru

Andreev Dmitrii Vladimirovich

dmitrii_andreev@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

A device has been developed for the input differential resistance R_I and the output differential resistance R_O of a dual Manchester code transceiver. The features of a dual Manchester code transceiver are described. Measurements were set up using LabVIEW software. The sequence of measurements is given. Conclusions are drawn regarding the measured parameters, which can be used for further tuning of the transceiver and improving the quality of the transmitted signal.

Keywords: *circuit, differential resistance, measurement, Manchester code*

УДК 621.373

Исследование генератора, управляемого напряжением на ультравысоких частотах

Карпухина Мария Валерьевна

karpukhinamv@student.bmstu.ru

Андреев Дмитрий Владимирович

dmitrii_andreev@bmstu.ru

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

Рассмотрено исследование генератора, управляемого напряжением в диапазоне ультравысоких частот (УВЧ). Показан комплексный анализ характеристик и возможностей данного типа устройств. В рамках исследования проводится анализ принципов работы генератора, его основных компонентов и методов управления напряжением. Оценины параметры сигнала, стабильность работы генератора и его чувствительность к изменению напряжения. Результаты исследования позволяют определить преимущества и ограничения генераторов УВЧ.

Ключевые слова: ГУН, УВЧ-диапазон, генератор управляемый напряжением, ультравысокие частоты, принцип работы генератора

Описание принципа работы. Принцип работы генератора базируется на использовании эффекта электронного переключения полосок (ESW) в полупроводниковых приборах. Основные компоненты такого генератора включают в себя источник питания, управляющую схему и генератор УВЧ.

Источник питания. Источник питания обеспечивает необходимое постоянное напряжение для работы управляющей схемы и генератора УВЧ. Обычно используются высокоэффективные источники питания, способные обеспечить стабильное и чистое напряжение [1, 2].

Управляющая схема. Управляющая схема отвечает за генерацию сигнала управления, который подается на генератор УВЧ. Этот сигнал контролирует работу генератора, регулируя его частоту, амплитуду и другие параметры в соответствии с требованиями конкретного приложения.

Генератор УВЧ. Основой генератора УВЧ является специально спроектированная структура полупроводниковых приборов, обеспечивающая эффект электронного переключения полосок. Этот эффект проявляется при наложении переменного напряжения на полупроводниковые области, что приводит к генерации ультравысокочастотного сигнала [1, 3].

Исследование характеристик генератора. Для оценки эффективности работы генератора и его пригодности для конкретных задач рассмотрим основные характеристики.

Фазовый шум. Определяется как случайные флуктуации фазы сигнала относительно идеального источника. Для оценки фазового шума используется параметр $L(f)$, измеряемый в децибелах относительно килогерц (дБ/Гц).

Формула для оценки фазового шума:

$$L(f) = 10 \log_{10} \left(\frac{S_{\varphi}(f)}{P(f)} \right), \quad (1)$$

где $S_{\varphi}(f)$ — спектральная плотность (Вт/Гц); $P(f)$ — мощность сигнала (Вт); f — частота (Гц).

Диапазон характеристик фазового шума исследуемого генератора находится в пределах от -140 до -60 дБ/Гц при частотах от десятков кГц до сотен МГц.

Паразитные составляющие сигнала. Включает анализ нежелательных компонентов, которые могут присутствовать в выходном сигнале помимо основной частоты. Паразитные составляющие могут включать в себя гармоники, интермодуляционные искажения, шум и другие нелинейные эффекты.

Важной характеристикой для анализа паразитных составляющих является коэффициент нелинейности K , который определяется как отношение мощности третьей гармоники к мощности основной частоты.

Формула для расчета коэффициента нелинейности:

$$K_3 = \frac{P_3}{P_{\text{осн}}}, \quad (2)$$

где P_3 — мощность третьей гармоники (Вт); $P_{\text{осн}}$ — мощность основной частоты (Вт).

Диапазон характеристик паразитных составляющих сигнала исследуемого генератора находится в пределах от -80 до -30 дБ для коэффициента нелинейности K_3 и от -60 до -20 дБ для уровня гармоник и интермодуляционных искажений.

Анализ методов управления напряжением в УВЧ — диапазоне. Анализ методов управления напряжением в диапазоне УВЧ позволяет выявить различные подходы и определить оптимальный способ достижения требуемых характеристик сигнала. Необходим для оптимизации производительности, снижения энергопотребления, улучшения качества сигнала и обеспечения надежности работы устройств в этом диапазоне частот. Рассмотрим несколько основных методов.

Прямое управление напряжением. Этот метод предполагает прямое изменение напряжения на генераторе УВЧ обеспечивает простоту и быструю реакцию на изменения параметров, но может вызвать потери энергии и искажения сигнала.

Обратная связь по напряжению. Используется обратная связь для регулирования напряжения на генераторе УВЧ, обеспечивая стабильность выходного сигнала и компенсацию изменений входных параметров или условий эксплуатации. Обратная связь может быть реализована с помощью различных устройств, таких как операционные усилители, компараторы или специализированные интегральные схемы [2, 4].

Управление посредством модуляции. Модуляция является эффективным методом управления сигналом в генераторе УВЧ. Это позволяет изменять различные параметры сигнала, такие как частота, амплитуда и фаза, путем

модуляции некоторого исходного сигнала. Управление посредством модуляции широко используется в системах связи

Автоматическая регулировка. Этот метод включает использование специальных алгоритмов и контрольных цепей для автоматической настройки параметров генератора УВЧ в реальном времени. Автоматическая регулировка может быть основана на обратной связи, измерениях выходного сигнала или других методах обнаружения и анализа.

Выводы. В ходе описания принципа работы генератора УВЧ основное внимание уделено использованию эффекта электронного переключения полюсов (ESW) в полупроводниковых приборах. Основные компоненты генератора включают источник питания, управляющую схему и сам генератор УВЧ. Для оценки эффективности генератора и его пригодности для конкретных задач рассмотрены основные характеристики. Фазовый шум определяется как случайные флуктуации фазы сигнала относительно идеального источника и измеряется с использованием спектральной плотности и мощности сигнала. Паразитные составляющие сигнала могут включать в себя гармоники, интермодуляционные искажения, шум и другие нелинейные эффекты, которые также подвергаются анализу, включая вычисление коэффициента нелинейности.

Анализ методов управления напряжением в УВЧ-диапазоне выявляет различные подходы к достижению требуемых характеристик сигнала. Рассмотрены методы прямого управления напряжением, обратной связи по напряжению, управления посредством модуляции и автоматической регулировки. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки и может быть использован в зависимости от конкретных требований.

Литература

- [1] Rohde U.L., Poddar A.K., Bock G. *The Design of Modern Microwave Oscillators for Wireless Applications*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ, 2005, 543 p.
- [2] Grebennikov A. *RF and Microwave Transistor Oscillator Design*. John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England. The Atrium, Southern Gate Chichester, 2007, 441 p.
- [3] Rhea R.W. *Discrete Oscillator Design*. Boston, London, Artech House, 2010, 450 p.
- [4] Best R.E. *Phase-Locked Loops. Design, Simulation, and Applications*. McGraw Hill, 1997, 365 p.

Research of a generator controlled by voltage at ultra - high frequencies

Karpukhina Maria Valerievna

karpukhinamv@student.bmstu.ru

Andreev Dmitry Vladimirovich

dmitrii_andreev@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The paper examines the study of a voltage-controlled generator in the ultra-high frequency (UHF) range. A comprehensive analysis of the characteristics and capabilities of this type of device is shown. The study includes an analysis of the operating principles of the generator, its main components and voltage control methods. The signal parameters, the stability of the generator and its sensitivity to voltage changes are assessed. The results of the study allow us to determine the advantages and limitations of UHF generators.

Keywords: VCO, UHF range, voltage controlled generator, ultra-high frequencies, principle of generator operation

УДК 681.527.73

Особенности применения оптронов для фильтрации шума

Пиуновский Андрей Романович

piunovskiyar@student.bmstu.ru

Адарчин Сергей Александрович

adarchin@bmstu.ru

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

В современном мире электрические помехи представляют серьезную проблему для разработчиков высокочастотных схем, усложняя передачу данных и возникая в тех же частотных диапазонах, что и нужные сигналы. Оптоны, играющие важную роль в фильтрации таких помех и обеспечении стабильной передачи данных, требуют тщательного изучения своей производительности и характеристик. В работе рассмотрены ключевые аспекты использования оптронов для фильтрации шума в высокочастотных схемах с акцентом на устойчивость к помехам и современные методы улучшения их производительности.

Ключевые слова: *оптрон, устойчивость к синфазным помехам, фотодетектор, фильтрация шума, CMR (Common Mode Rejection)*

Электрические помехи уже давно являются серьезной проблемой для разработчиков высокочастотных схем. Часто этот шум присутствует в тех же частотных диапазонах, что и передаваемые нужные данные, что затрудняет его отфильтровывание [1].

Устойчивость к синфазным помехам, или подавление синфазных помех (CMR), — это способность компонента подавлять сигналы переходных помех. Поскольку шум трудно моделировать и прогнозировать, разработчики часто ищут устройства с самым высоким уровнем подавления синфазных помех. Здесь рассмотрим высокоскоростные оптроны и их характеристики CMR [2].

Оптопара отвечает за передачу данных через изолирующий барьер, одновременно отфильтровывая нежелательные помехи. Неисправность компонента для подавления нежелательных помех может привести к ошибкам при передаче данных. Факторами, влияющими на определение CMR, являются синфазное напряжение (V_{cm}) и время нарастания и спада переходного сигнала (dv/dt). Точка отказа определяется путем увеличения либо V_{cm} , либо dv/dt до тех пор, пока выходной сигнал оптрона не перейдет в противоположное логическое состояние.

Для синфазного низкого напряжения (CML) точкой отказа является точка, в которой выходной сигнал увеличивается от выключенного состояния к включенному. Для этого режима значение $V_0 > 0,8 V$ обычно определяется как точка отказа. Для синфазного высокого напряжения (CMH) точка отказа находится там, где выходной сигнал переходит из включенного состояния в выключенное. Для этого режима значение $V_0 < 2 V$, где V_0 — выходное напряжение.

Производительность устройства будет меняться в зависимости от величины V_{CM} и скорости нарастания или спада переходных процессов. График на рис. 1 иллюстрирует типичную кривую производительности CMR.

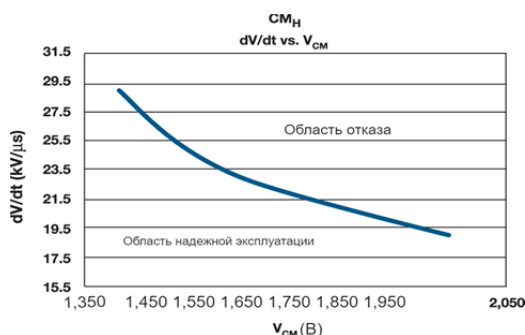


Рис. 1. Зависимость V_{CM} от dv/dt

Как видно из графика, устойчивость устройства к dv/dt зависит от величины V_{CM} . Синфазная помехоустойчивость устройства, как правило, будет хорошей, если значение CM или dv/dt низкое. Это область под кривой. Если dv/dt высокое, но V_{CM} низкое, или V_{CM} высокое, но dv/dt низкое, отказ компонента не произойдет. Однако при достаточно высоких значениях V_{CM} и dv/dt устойчивость схемы к переходным процессам становится критической. На графике ниже эта область обозначена как «область отказа» над кривой.

Характеристики CMR оптронов определяются тремя параметрами: емкостью корпуса, емкостью полупроводниковой матрицы и емкостью, подключенной к нагрузке.

Емкость корпуса определяется его конструкцией. Многие оптроны изготавливаются с использованием технологии «лицом к лицу», при которой светодиод и его выводная рамка обращены вниз от верхней части корпуса над детектором и его выводной рамкой (рис. 2, а).

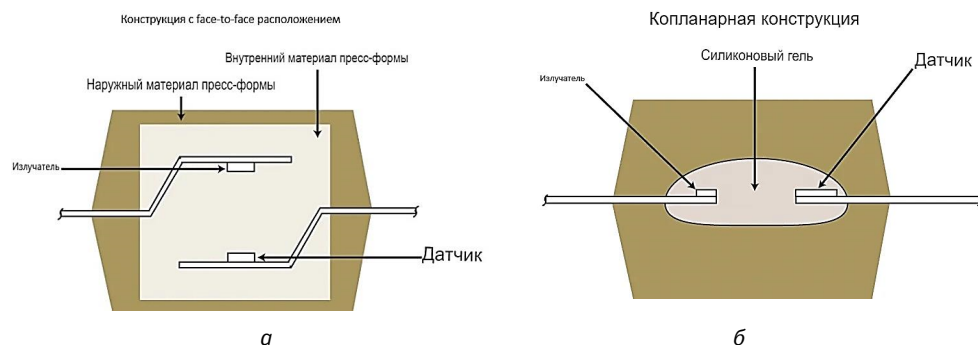


Рис. 2. Конструкция оптрона:

а — с расположением диода и датчика «лицом к лицу»;
б — с копланарным расположением диода и датчика

В этой конфигурации выводные рамки для светодиода и фотодетектора параллельны друг другу. Кроме того, площадь поверхности двух выводных рамок влияет на емкость корпуса, во многом аналогично тому, как определяется конденсатор с параллельными пластинами.

Другая конструкция оптронов представляет собой копланарное расположение датчика и диода. Такая конструкция позволяет расположить светодиод и фотоприемник бок о бок, а не сверху/снизу, как показано на рис. 2, б.

В этой конфигурации площадь поверхности двух выводных рамок, которые влияют на емкость упаковки, равна только толщине и ширине края выводной рамки, тем самым значительно уменьшая значение площади поверхности в приведенном выше уравнении емкости. Кроме того, расстояние между светодиодом и фотоприемником в копланарном корпусе оказывает меньшее влияние на эффективность взаимодействия света по сравнению с верхним/нижним корпусом.

Таким образом, при использовании копланарной конструкции выводные рамки могут быть разделены большим расстоянием для улучшения изоляции. Это также приводит к увеличению расстояния между пластинами в приведенном уравнении, что дополнительно повышает емкость корпуса. Измерения на типичных образцах подтверждают, что конструкция копланарного корпуса имеет емкость примерно на 30 % меньшую, чем у аналогичных устройств, собранных с использованием конструкции «лицом к лицу» [3].

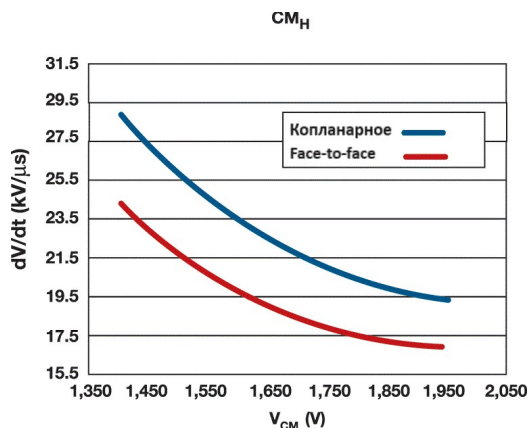


Рис. 3. Сравнение CTR при расположении face-to-face и копланарном

Такая уменьшенная емкость корпуса приводит к повышению производительности СМН. На рис. 3 показано сравнение СМН оптронов в копланарном исполнении с аналогичным устройством расположения face-to-face.

С годами технологии изготовления кремниевых матриц оптронов совершенствовались за счет более эффективной компоновки матрицы фотодетектора, что приводит к уменьшению размера матрицы. Кроме того, более эффективные светодиоды позволили использовать фотодиоды меньшего раз-

мера. Уменьшение емкости матрицы приводит к повышению производительности CMR.

Дополнительное улучшение CMR может быть достигнуто за счет использования устройства с двухтактным выходом, в отличие от устройства с выходом с открытым коллектором. Производительность CMR устройства с выходом с открытым коллектором будет зависеть от размера нагрузочного резистора, подключенного к выходу [4]. Меньшее сопротивление повышает эффективность CMR, но при этом увеличивает ток нагрузки. CMR двухтактного устройства не зависит от нагрузки, что позволяет снизить энергопотребление и при этом повысить эффективность CMR.

Благодаря новейшей технологии CMR-оптронов, самые высокочувствительные устройства вряд ли выйдут из строя даже в промышленных условиях. Методы совершенствования оптронов включают в себя уменьшение размера матрицы для снижения емкости матрицы и двухтактное обнаружение, которое обеспечивает более высокие токи нагрузки.

В статье были рассмотрены возможности использования оптронов для фильтрации шума. Были рассмотрены характеристики устойчивости оптронов к синфазным помехам, а также рассмотрены методы, повышающие эту характеристику.

Литература

- [1] *Фотоника и оптоинформатика. Волоконные брэгговские решетки*. Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023, 94 с.
- [2] Носов Ю.П., Сидоров А.С. *Оптроны и их применение*. Москва, Радио и связь, 1981, 280 с.
- [3] Constantino J., Semiconductor F. *Using optocouplers in industrial applications*. EETimes, 2006.
- [4] Smith J. *Optocouplers: Principles and Applications*. Wiley-IEEE Press, 2018.

Features of the use of optocouplers for noise filtering

Piunovski Andrey Romanovich

piunovskiyar@student.bmstu.ru

Adarchin Sergei Aleksandrovich

adarchin@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

In the modern world, electrical interference is a serious problem for developers of high-frequency circuits, complicating data transmission and occurring in the same frequency ranges as the desired signals. Optocouplers, which play an important role in filtering out such interference and ensuring stable data transmission, require careful study of their performance and characteristics. This paper examines the key aspects of using optocouplers to filter noise in high-frequency circuits, with an emphasis on resistance to interference and modern methods to improve their performance.

Keywords: *optocoupler, Resistance to common-mode interference, photodetector, noise filtering, CDPG (common-mode signal)*

УДК 621.3.049.774

Обработка радиолокационных сигналов: искусственное сжатие и цифровой синтез

Обидина Анастасия Станиславовна

oas18ki123@student.bmstu.ru

Кузнецов Вадим Вадимович

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

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

Обработка радиолокационных сигналов является важным аспектом в области радиотехники и радиолокации. Рассматривается применение искусственного сжатия и цифрового синтеза для улучшения качества обработки радиолокационных сигналов. Искусственное сжатие позволяет уменьшить объем данных, не теряя важной информации, что повышает эффективность обработки. Цифровой синтез, в свою очередь, позволяет генерировать новые радиолокационные сигналы на основе имеющихся данных, что может быть полезно для создания различных радиолокационных систем.

Ключевые слова: обработка сигнала, формирование сигнала, линейно частотная модуляция, сжатие импульсов

Сжатие импульсов — это метод обработки сигналов, который позволяет улучшить разрешающую способность по дальности как для коротких импульсов, так и для импульсов большой длительности для увеличения дальности обнаружения. В современных радиолокационных системах широко используется метод сжатия импульсов с помощью линейной частотной модуляции (ЛЧМ).

Сжатие импульсов используется в обработке сигналов современных радиолокационных систем, где огромная энергия увеличенной длительности импульса сочетается с высокой разрешающей способностью при меньшей длительности импульса, тем самым улучшая возможности обнаружения [1]. Обычно импульс модулируется по частоте или фазе. Радиолокатор сжатия импульсов передает длинные модулированные импульсы и сжимает принятые эхо-сигналы в короткие импульсы на приемнике с согласованным фильтром. Здесь передаваемый импульс модулируется по частоте для увеличения полосы пропускания. Приемопередатчик (транспесивер) — это переключающий элемент для настройки одной и той же антенны как для передатчика, так и для приемника. Согласованный фильтр и его частотная характеристика коррелируют со спектром передаваемого сигнала. Полученные импульсы, характеристики которых сопоставимы с характеристиками передаваемых импульсов, выбираются согласованным фильтром, в то время как другие сигналы относительно пропускаются приемником.

Импульсная радиолокационная система требует высокой мощности импульса для достижения желаемой дальности. В то же время длительность импульса передачи должна быть уменьшена, поскольку это ограничение влияет

на разрешение по дальности. Эти радары должны быть способны генерировать и излучать всю излучаемую мощность всего за несколько микро- или наносекунд. Каждая часть импульса имеет индивидуальную, уникальную частоту; принимаемый эхо-сигнал может быть полностью распределен по частоте и объединен на выходе в импульс меньшей длительности. Таким образом, эхо-сигнал является сжатый по периоду импульса в специальных фильтрах [2].



Рис. 1. Структурная схема сжатия импульса

Хорошее разрешение достигается с помощью коротких импульсов, требующих большой пиковой мощности. Для упрощения конструкции передатчиков и приемников можно использовать импульсное сжатие, преобразуя короткий импульс в длинный с помощью модуляции. Генераторы сигналов ЛЧМ обычно содержат объемные компоненты, но цифровые генераторы не требуют такого оборудования. В статье рассматривается генерация и реализация сигнала ЛЧМ с использованием DDS [3].

Сжатие импульсов в радиолокационных системах увеличивает разрешающую способность и дальность обнаружения за счет сочетания большой энергии длинного импульса с высокой разрешающей способностью короткого импульса. Операция сжатия импульса требует высокой мощности для достижения желаемой дальности, однако длительность импульса передачи должна быть уменьшена для улучшения разрешения по дальности. В результате принимаемый эхо-сигнал сжимается по периоду импульса в специальных фильтрах, что улучшает обработку сигналов и обнаружение целей.

ЛЧМ-сигналы — это сигналы, в которых мгновенная частота линейно меняется во времени в течение импульса. Частота может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от времени. DDS — цифровая технология, генерирующая аналоговый сигнал, обычно синусоидальную волну, путем изменения цифрового сигнала со временем и цифроаналогового преобразования. DDS загружает точки формы сигнала в цифровом формате для генерации формы сигнала. Фазовый накопитель и синусоидальный LUT используются для вычисления адреса фазы и амплитуды, которые затем преобразуются в аналоговую форму через ЦАП [4].

Сумматоры являются неотъемлемой частью каждого процессора. При разработке сумматора генерация переноса играет ключевую роль в снижении энергопотребления в канале передачи данных, при этом необходимо уменьшить общую площадь сумматора.

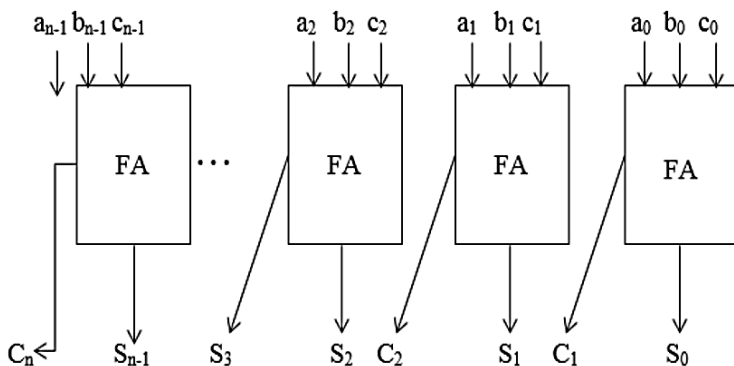


Рис. 2. n -разрядный сумматор с сохранением переноса

На рис. 2 изображен n -разрядный сумматор с сохранением переноса данных. В сумматоре CSA перенос данных не передается поэтапно, а вместо этого перенос, который существует на текущем этапе, также указывается как дополнительный номер на следующем этапе.

Результаты моделирования показывают, что использование CSA для реализации ЛЧМ формы сигналов на ПЛИС позволяет значительно сократить задержку, площадь и рассеиваемую мощность, что в конечном итоге приводит к экономии электроэнергии.

ЛЧМ-сигналы эффективно используются для сжатия импульсов, так как они программно настраиваются для достижения заданных диапазонов и подавления помех. Генерация ЛЧМ-сигналов с использованием цифрового подхода через DDS обеспечивает более высокую производительность по сравнению с аналоговыми методами. Последние достижения в области генерации цифровых сигналов способствуют более интегрированным, экономичным и компактным генераторам сигналов.

Литература

- [1] Сосулин Ю.Г. *Теоретические основы радиолокации и радионавигации*. Москва, Радио извьязъ, 1992, 303 с.
- [2] Гошин Г.Г. *Устройства СВЧ и антенны. Ч. 2. Антенны*. Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012, 160 с.
- [3] Баланис К.А., Иоанидес П.И. *Введение в смарт-антенны*. Москва, Техносфера РИЦ ЗАО, 2012, 2012 с.
- [4] Desai S.S., Josh A.S. DDS architecture for digital frequency 8 generation. *IJAR CET*, 2013, vol. 2, iss. 1, pp. 107–111.

Radar signal processing: artificial compression and digital synthesis

Obidina Anastasia Stanislavovna

oas18ki123@student.bmstu.ru

Kuznetsov Vadim Vadimovich

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Radar signal processing is an important aspect in the field of radio engineering and radar. This topic discusses the use of artificial compression and digital synthesis to improve the quality of radar signal processing. Artificial compression allows you to reduce the amount of data without losing important information, which increases processing efficiency. Digital synthesis, in turn, makes it possible to generate new radar signals based on available data, which can be useful for creating various radar systems.

Keywords: *signal processing, signal generation, linear frequency modulation, pulse compression*

УДК 621.317

Исследование температурной зависимости источника опорного тока REF200

Гришин Григорий Константинович

grishingk@student.bmstu.ru

Борисов Егор Олегович

borisoveo@student.bmstu.ru

Андреев Дмитрий Владимирович

dmitrii_andreev@bmstu.ru

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

Исследовано влияние температуры на схему источника опорного тока. Представлено краткое описание принципиальной электрической схемы, рассмотрены ее функциональные блоки. Проведено исследование температурной стабильности источника опорного тока, результаты которого позволяют понять, как изменения температуры влияют на работу данного источника. Проведено исследование температурной зависимости резистора, получен его ТКС. Выявлено, что резисторы имеют низкое влияние на температурную стабильность схемы.

Ключевые слова: источник опорного тока, температурная стабильность, REF200, температурная компенсация, источник тока на биполярных транзисторах

Введение. В современной электронике точность компонентов является критичной. Источники опорного тока, такие как REF200 занимают важное место в разработке надежных электронных систем [1, 2].

Описание функциональных блоков. Целью данной работы является проведение исследования поведения источника опорного тока в диапазоне температур. Схема источников тока микросхемы REF200 представлена на рис. 1.

Основными блоками являются: токовое зеркало, каскадный отражатель тока, схема запуска, двухполосный генератор тока на ПТ, генератор тока на БПТ. Используя разные включения микросхемы, можно получить выходной ток следующих номиналов: 50, 100, 200, 300 и 400 мкА.

Как видно из рис. 1 питание в схеме разнесено на два вывода V_{cc1} и V_{cc2} , что необходимо для питания двух источников тока, однако необходим условием является совместное соединение микросваркой на одну контактную площадку. Это необходимо для корректного запуска микросхемы. В источниках опорного тока для поддержания стабильного выходного тока, не зависящего от температуры окружающей среды, используются особенные конструкции температурной компенсации [3].

Измерение температурной зависимости источника опорного тока. В данной работе исследована температурная зависимость микросхемы REF200 в диапазоне температур от -60 до 125 °C.

Одновременно было подано напряжение на каждую из контактных площадок питания, но выходные токи каждого из источников измерялись отдельно. На рис. 2 приведен график температурной зависимости каждого из источников.

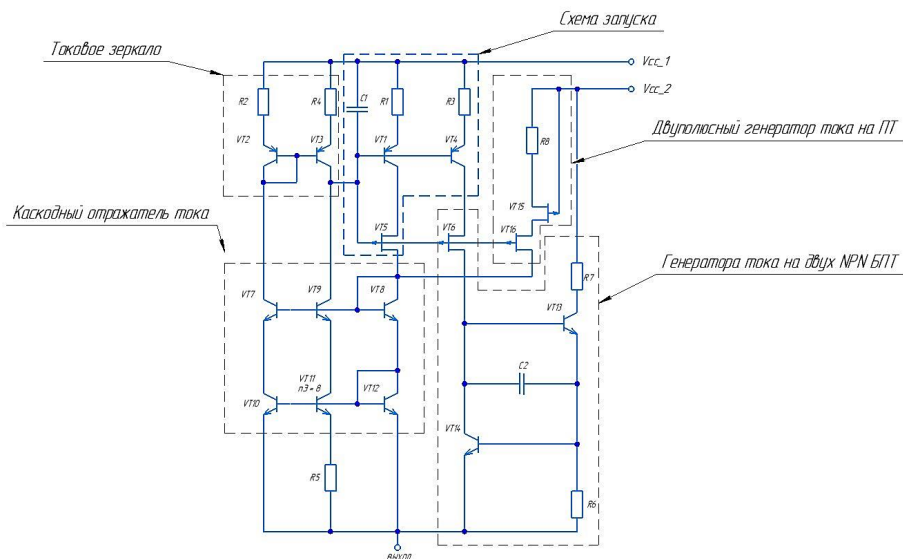


Рис. 1. Схема источников тока в микросхеме REF200

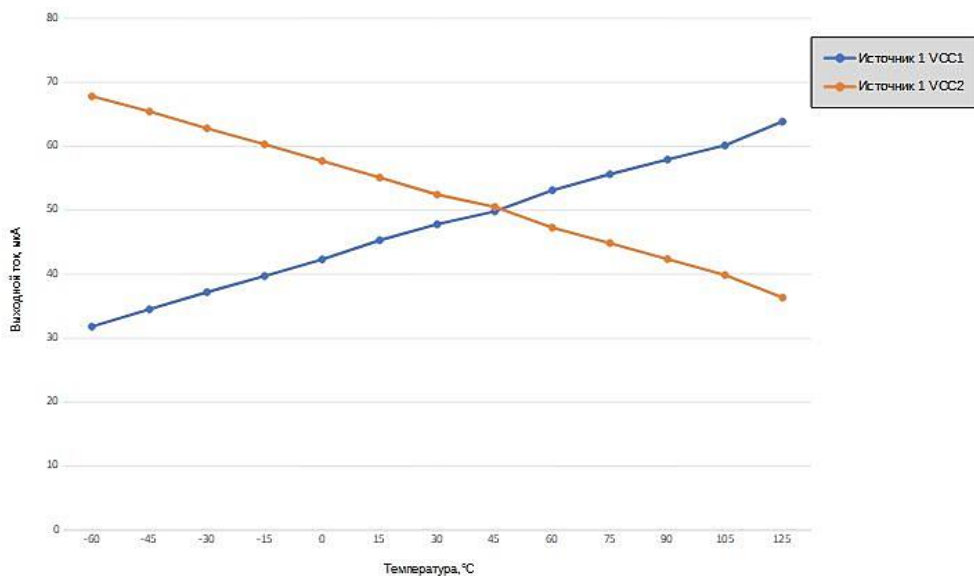


Рис. 2. График температурной зависимости источников тока

Как видно из рис. 2, при повышении температуры выходной ток генератора на двух биполярных транзисторах увеличивается, а выходной ток генератора на полевых транзисторах — уменьшается. При понижении температуры выходной ток генератора на двух биполярных транзисторах уменьшается, а выходной ток генератора на полевых транзисторах увеличивается. Таким

образом, можно сделать вывод, что каскады самокомпенсируются, источник термостабилен в диапазоне температур -60 до 125 °С за счет совместного соединения микросваркой на одну контактную площадку.

Расчет ТКС резистора. Следующим этапом был произведен замер резисторов в диапазоне температур для дальнейшего получения ТКС. Для исследования выбран напыленный тестовый резистор. На рис. 3 приведена фотография резистора с его габаритными размерами. Сопротивление исследуемого резистора — 977 Ом.

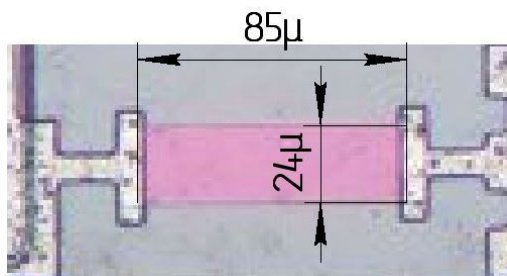


Рис. 3. Фотография исследуемого резистора

Данный резистор имеет прямоугольную форму с длиной 85 мкм и шириной 24 мкм. Используя формулу 1, рассчитывается удельное поверхностное сопротивление. Удельное поверхностное сопротивление — это поверхностное сопротивление плоского участка материала в форме квадрата [4]:

$$\rho_s = R_{TEST} \times \frac{b}{l},$$

где R_{TEST} — сопротивление исследуемого резистора; l — длина резистивной пленки; b — ширина резистивной пленки.

Таким образом, полученное сопротивление квадрата резистивной пленки 275 Ом/кв. На рис. 4 приведена структура напыленного резистора.

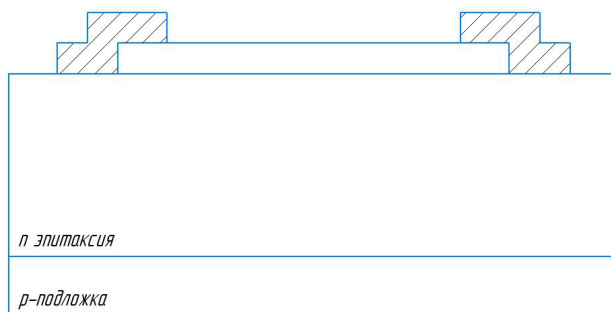


Рис. 4. Структура напыленного резистора

На рис. 5 приведена зависимость сопротивления исследуемого резистора от температуры.

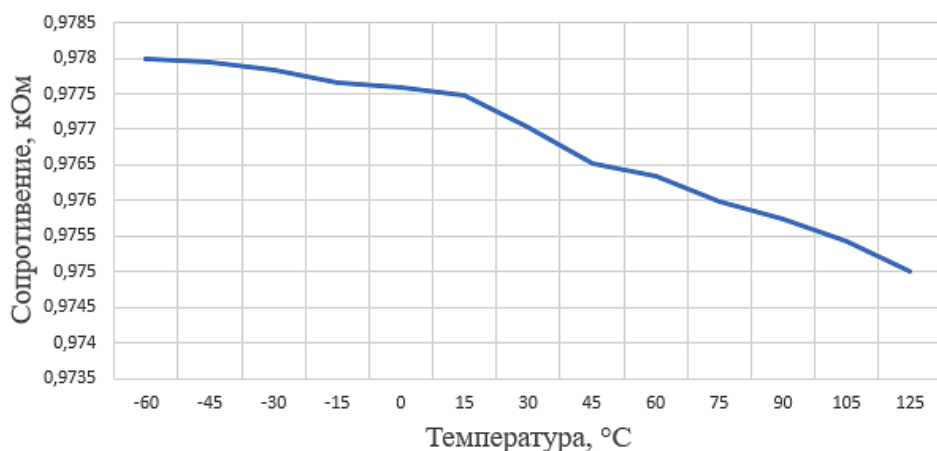


Рис. 5. График зависимости сопротивления исследуемого резистора от температуры

Далее проведен расчет ТКС резистора с использованием формулы

$$\text{ТКС} = \frac{R_2 - R_1}{R_2(T_2 - T_1)} \times 10^{-6},$$

где ТКС — температурный коэффициент сопротивления; R_1 — сопротивление при температуре $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$; R_2 — сопротивление при температуре $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$; T_1 — начальная температура ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$); T_2 — конечная температура ($125\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Таким образом, рассчитанный ТКС $\approx 16,81\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$. Полученное значение ТКС низкое, следовательно, можно сделать вывод, что напыленные резисторы имеют низкое влияние на термостабильность схемы.

Выводы. В ходе работы была описана схема источника опорного тока, исследована температурная стабильность схемы, исследованы температурная зависимость напыленного резистора с целью расчета и оценки его ТКС.

Литература

- [1] REF200 Dual Current Source and Current Sink datasheet (Rev. C). URL: <https://www.promelec.ru/fs/sources/0f/7b/1b/e0/8176680ef6c1f7a50e485c4b.pdf> (accessed 02.04.2024).
- [2] REF200 Dual Current Source and Current Sink. Texas Instruments. URL: <https://static.chipdip.ru/lib/277/DOC012277644.pdf> (accessed 03.04.2024).
- [3] Harrison L.T. *Current Sources and Voltage References: A Design Reference for Electronics Engineers*. Elsevier, 2005.
- [4] Эннс В.И., Кобзев Ю.М. *Проектирование аналоговых КМОП-микросхем: краткий справочник разработчика*. Москва, Горячая линия-Телеком, 2005.

The research of the temperature stability of current reference source REF200

Grishin Grigorii Konstantinovich

grishingk@student.bmstu.ru

Borisov Egor Olegovich

borisoveo@student.bmstu.ru

Andreev Dmitry Vladimirovich

dmitrii_andreev@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The effect of temperature on the circuit of the reference current source is investigated. A brief description of the basic electrical circuit is presented, its functional blocks are considered. A study of the temperature stability of the reference current source has been conducted, the results of which allow us to understand how temperature changes affect the operation of this source. A study of the temperature dependence of the resistor was carried out, its TCS was obtained. It is revealed that the resistors have a low effect on the temperature stability of the circuit.

Keywords: *reference current source, temperature stability, REF200, temperature compensation, current source on bipolar transistors*

УДК 621.317

Разработка устройства для измерения коэффициента влияния неустойчивости питания на напряжение смещения нуля инструментального усилителя

Белинский Дмитрий Николаевич

belinskiydn@student.bmstu.ru

Андреев Дмитрий Владимирович

dmitrii_andreev@bmstu.ru

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

Разработано устройство для измерения коэффициента влияния неустойчивости питания на напряжение смещения нуля (K_{SVR}) инструментального усилителя. Приведена электрическая принципиальная схема измерительного блока. Описано при помощи каких средств блок взаимодействует с измеряемой микросхемой инструментального усилителя. Проведены измерения и расчет коэффициента влияния неустойчивости питания на напряжение смещения нуля (K_{SVR}) на четырех тестовых образцах при помощи программного пакета LabVIEW, а также приведен алгоритм проведения измерений.

Ключевые слова: инструментальный усилитель, напряжение смещения нуля, измерительный блок, влияние неустойчивости

Введение. Микросхемы 5419УС015, 5419УС015А представляют собой инструментальный усилитель, предназначенный для прецизионного усиления напряжения с высокой точностью передачи сигнала.

Кристалл изготавливается по планарной технологии, в основе которой лежат методы эпитаксии и контролируемой диффузии примесей в локальных областях полупроводниковой пластины. Процессы локальной диффузии и эпитаксиального выращивания позволяют сформировать в кристалле p - n -переходы и образовать схему, включающую как активные, так и пассивные элементы. Готовая схема, изготовленная по данной технологии, имеет в целом монокристаллическую структуру. Отличительной чертой планарных структур полупроводниковых микросхем является образование всех элементов и выводов от них с одной стороны полупроводниковой пластины. Сборка микросхемы осуществляется путем монтажа кристалла в основание корпуса на клей (ТОК-2), ультразвуковой разварки проволоочных соединений и герметизации корпуса шовно-роликовой контактной сваркой. Главным преимуществом является возможность регулировки усиления при помощи одного резистора. Используя один потенциометр, можно быстро изменять коэффициент усиления в зависимости от потребностей [1].

Благодаря высокому входному сопротивлению, низкому значению напряжения смещения, точности передачи сигнала и высокой степени подавления синфазных сигналов, микросхема идеально подходит для работы с различными датчиками и преобразователями физических величин в напряжение.

Нестабильность питания может привести к различным проблемам, включая смещение нуля в измерительных устройствах. Для борьбы с этими проблемами разрабатываются специальные устройства, способные измерять коэффициент влияния нестабильности питания на напряжение смещения нуля [2].

Целью данной работы является разработка устройства для измерения коэффициента влияния нестабильности питания на напряжение смещения нуля.

Устройство для измерения коэффициента влияния нестабильности питания на напряжение смещения нуля. Для проведения измерения и расчета коэффициента влияния нестабильности питания на напряжения нуля разработан измерительный блок. Схема электрическая принципиальная представлена на рис. 1 [3].

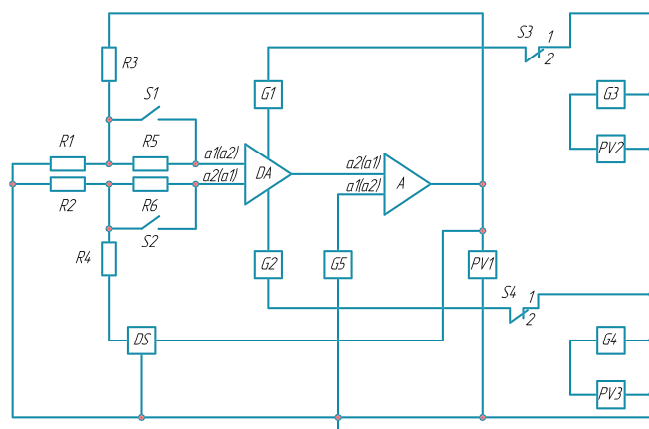


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема измерительного блока

Функционирование блока обеспечивается благодаря тестеру автоматической системы контроля (АСК) на базе оборудования от компании National Instruments и программного пакета LabVIEW [4]. Тестер АСК представляет собой измерительный комплекс, предназначенный для выполнения автоматизированного контроля параметров изделий электронной техники в процессе проведения квалификационных, периодических и приемо-сдаточных испытаний при крайних значениях температуры и в нормальных климатических условиях.

Результаты измерений. Для проведения испытания устройства отображены 4 тестовых образца 5419UC015. Расчет значения коэффициента влияния нестабильности питания на напряжение смещения нуля вычисляется по формуле, приведенной в ГОСТ 23089.7–83 [3]:

$$K_{SVR} = \frac{R_1}{R_1 + R_3} \cdot \frac{|U_{x5} - U_{x6}|}{2 \cdot \Delta U}, \quad (1)$$

где R_1, R_3 — резисторы измерительной системы; $U_{x5} - U_{x6}$ — разница напряжений на выходе ВУБ; ΔU — разность напряжений, подаваемых источниками G3 и G4 на входы усилителя.

Результаты измерений

№ образца	1	2	3	4
K_{SVR} , дБ	108,013	110,328	124,43	105,276

Результаты измерений приведены в таблице.

На рис. 2 приведен алгоритм, в соответствии с которым выполняется начальная настройка и конфигурация измерительных устройств и источников питания, а также отображается ход выполнения измерений и передачи сигнала. На рис. 3 приведен график АЦП с выборкой (в данном случае 900) значений выходного напряжения (U_{x5} , U_{x6}) на ВУБ при заданном значении, подаваемым источниками питания $G3$ и $G4$.

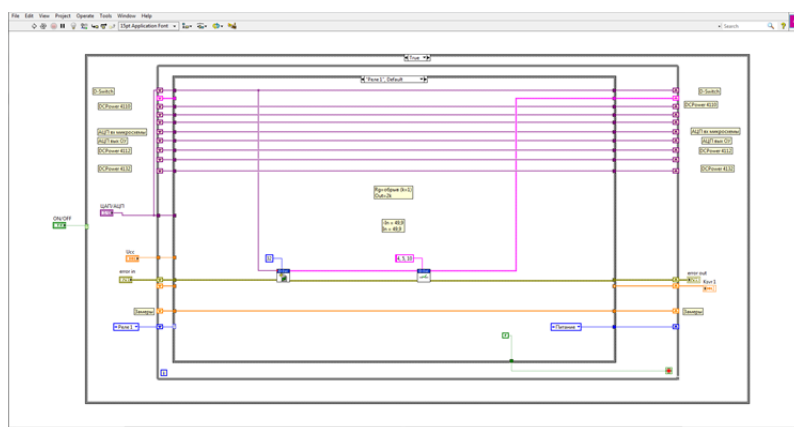


Рис. 2. Алгоритм для измерения коэффициента влияния нестабильности питания на напряжение смещения нуля (K_{SVR})

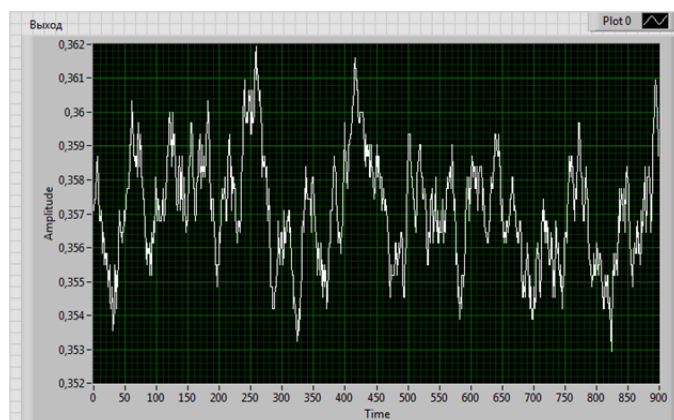


Рис. 3. График АЦП со значениями выходного напряжения на ВУБ

Заключение. Разработан измерительный блок для измерения коэффициента влияния нестабильности питания на напряжение смещения нуля, а также проведены измерения данного коэффициента.

Литература

- [1] Пасынков Ю.А., Лаптев Д.В., Бабичев М.М. *Современная схемотехника. Теория современных операционных усилителей на базе устройств фирмы Analog Devices*. Новосибирск, НГТУ, 2022, 96 с.
- [2] Дракин А.Ю., Зотин В.Ф., Потапов Л.А. Контроль параметров аналоговых микросхем, силовых диодов и транзисторов. Санкт-Петербург, Лань, 2021, 284 с.
- [3] ГОСТ 23089.7–83. *Микросхемы интегральные. Метод измерения коэффициента влияния нестабильности источников питания на напряжение и э.д.с. смещения нуля операционных усилителей*. Москва, Изд-во стандартов, 1992, 10 с.
- [4] Тарасов В.П., Чуйко А.В. *Методы сбора и обработки измерительной информации*. Москва, РТУ МИРЭА, 2020, 33 с.

Development of a device for measuring the coefficient of influence of power instability on the zero offset voltage of instrumental amplifier

Belinskiy Dmitriy Nikolaevich

belinskiydn@student.bmstu.ru

Andreev Dmitrii Vladimirovich

dmitrii_andreev@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article deals with the development of the measuring device for the coefficient of influence of power instability on the zero-offset voltage (K_{SVR}) of an instrument amplifier. The electrical schematic diagram of the measuring unit is given. It is described by what means the unit interacts with the measured chip of the instrument amplifier. Measurements and calculation of the coefficient of influence of power instability on the zero-offset voltage (K_{SVR}) were carried out on four test samples using the LabVIEW software package, and an algorithm for measuring was also given.

Keywords: *instrumental amplifier, zero offset voltage, measurement device, instability coefficient of offset voltage*

УДК 004.736

Сравнительный анализ устройств маршрутизации информации

Шушунов Дмитрий Валерьевич

shushunovdmity@yandex.ru

Адарчин Сергей Александрович

adarchin@rambler.ru

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

Проанализированы возможности устройств маршрутизации информации. Выделены основные функциональные возможности, включая увеличение объема данных, обеспечение безопасности, а также поддержка мобильных устройств. Приведено сравнение устройств маршрутизации информации, отечественных и импортных. Выполнена оценка производительности рассматриваемых устройств. Выделены сильные и слабые стороны устройств маршрутизации информации, их основные параметры и области применения. Обозначены области применения как российских, так и иностранных устройств маршрутизации информации.

Ключевые слова: маршрутизация информации, сетевые протоколы, защита информации, Eltex, Cisco

В мире, где поток данных растет экспоненциально, эффективное управление информацией становится ключом к успешной работе сетей. Сегодня мы обсудим устройства маршрутизации, их актуальность и характеристики, а также различия между российскими и мировыми разработками.

Целью данной работы является сравнение отечественных и зарубежных устройств маршрутизации информации. В соответствии с поставленной целью, необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать как современные устройства маршрутизации, отечественные и импортные решают современные вызовы в информационном пространстве, такие как увеличение объема данных и обеспечение безопасности;
- сравнить характеристики и функциональность российских и мировых маршрутизаторов, включая производительность, надежность и поддержку протоколов.

При анализе адресации вызовов с помощью современных устройств маршрутизации были выделены функциональные возможности:

- увеличение объема данных: современные маршрутизаторы обладают высокой пропускной способностью и масштабируемостью, позволяющей эффективно обрабатывать большие объемы трафика [1]. Также используются технологии сжатия данных и кэширования для оптимизации передачи информации;
- обеспечение безопасности: современные маршрутизаторы оснащены мощными средствами защиты, такими как межсетевые экраны, системы обнаружения вторжений, виртуальные частные сети и средства шифрования данных, чтобы предотвратить несанкционированный доступ и атаки на сеть;

– поддержка мобильных устройств: специальные функции мобильной маршрутизации позволяют устройствам маршрутизации эффективно управлять передачей данных для мобильных устройств, обеспечивая им высокую скорость и стабильность соединения [2].

Сравнение российских и мировых устройств маршрутизации информации требует учета различных аспектов, включая производительность, надежность, поддержку протоколов и соблюдение национальных законодательных требований. При выборе между российскими и мировыми маршрутизаторами необходимо учитывать конкретные потребности сети, требования к безопасности и доступные бюджетные ресурсы. Рассмотрим два конкретных маршрутизатора — отечественный и импортный.

Параметры российского маршрутизатора ESR от компании Eltex

– производительность: обеспечивает умеренную производительность, подходящую для малых и средних сетей;

– надежность: рассчитан на работу в условиях малых и средних офисов, предприятий, учреждений, где требуется стабильное и надежное подключение к интернету [3];

– поддержка протоколов: поддерживает основные сетевые протоколы, такие как IPv4, IPv6, RIP, OSPF;

– политика безопасности: может иметь встроенные средства защиты от сетевых атак и поддержку соблюдения национальных законодательных требований по безопасности данных.

Параметры американского маршрутизатора Cisco ISR 4000 Series:

– производительность: предлагает высокую производительность и масштабируемость, подходящую для крупных корпоративных сетей и телекоммуникационных провайдеров;

– надежность: известен своей высокой надежностью и устойчивостью к отказам, благодаря применению передовых технологий и оборудования;

– поддержка протоколов: полностью совместим с широким спектром сетевых протоколов, включая BGP, MPLS, IPsec, VPN и многие другие, что делает его идеальным для сложных сетевых сред [4];

– политика безопасности: обеспечивает обширные средства защиты данных и сети, включая возможность настройки высокоуровневых политик безопасности и поддержку шифрования, что делает его подходящим для критически важных сред и крупных организаций.

Если обобщить основные особенности, импортные маршрутизаторы в среднем более производительны, но в то же время имеют более высокую цену. Надежность отечественных маршрутизаторов во многом зависит от уровня технического обслуживания и качества использованных компонентов. При этом конкретным поставленным требованиям зачастую будут соответствовать как импортные, так и отечественные маршрутизаторы, а значит и в соотношении цена/качество во многих случаях они в более выигрышном положении.

Из вышесказанного можно с уверенностью сделать вывод, что современные устройства маршрутизации информации, как отечественные, так и им-

портные, успешно справляются с вызовами современного информационного пространства, обеспечивая высокую производительность, надежность и безопасность при поддержке разнообразных типов устройств и услуг.

Литература

- [1] Кутузов О.И., Татарникова Т.М., Цехановский В.В. *Инфокоммуникационные системы и сети*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, с. 66–77.
- [2] Староверова Н.А. *Операционные системы*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, с. 192–198.
- [3] *Сервисные маршрутизаторы ESR*. URL: https://eltex-co.ru/catalog/service_gateways/ (дата обращения 26.04.2024).
- [4] *Cisco 4000 Family Integrated Services Router Data Sheet*. URL: <https://clck.ru/39wM6V> (accessed 26.04.2024).

Comparative analysis of information routing devices

Shushunov Dmitry Valerievich shushunovdmitry@yandex.ru

Adarchin Sergey Aleksandrovich adarchin@rambler.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The capabilities of information routing devices are analyzed. Key functionality is highlighted, including data growth, security, and support for mobile devices. A comparison of information routing devices, domestic and imported, is provided. The performance of the devices in question has been assessed. The strengths and weaknesses of information routing devices, their main parameters and areas of application are highlighted. The areas of application of both Russian and foreign information routing devices are indicated.

Keywords: *information routing, network protocols, information security, eltex, cisco*

УДК 621.3.049.774

Преобразование схемы фильтрации дребезга контактов в код на языке Verilog

Силаев Никита Игоревич

silaev1999@inbox.ru

Андреев Дмитрий Владимирович

dmitrii_andreev@bmstu.ru

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

В работе рассмотрено создание кода на языке Verilog с учетом требований к ПЛИС GW2A-LV18PG256C8/I7. Представлена основная информация о языке и его область применения. Проведен анализ схемы электрической принципиальной ячейки, включающий в себя назначение каждого элемента схемы ячейки. Кроме того, представлен код, реализующий функцию данного блока в указанной ПЛИС. Для более полного понимания процесса создания кода на Verilog было привлечено дополнительное исследование, включая методы оптимизации и проверки корректности кода.

Ключевые слова: Verilog, синтаксис, ПЛИС, GW2A-LV18PG256C8/I7

В настоящее время актуальна проблема доступности различных товаров производства недружественных стран, в частности элементной базы для электронных приборов. Для решения данной проблемы нарастают темпы импортозамещения в различных областях, и часто необходима замена на ближайший доступный аналог.

Целью данной работы является создание версии самой базовой схемы на Verilog (под GW2A-LV18PG256C8/I7) из программного обеспечения, предназначенного для работы с электрическими схемами. В соответствии с заданной целью, необходимо решить задачи:

- понять, что такое Verilog и область его применения;
- разобрать принцип работы переносимой ячейки;
- написать код, реализующий данную ячейку в GW2A-LV18PG256C8/I7.

Verilog — это язык описания аппаратуры, применяемый для моделирования и описания электронных систем. Он используется в проектировании, верификации и реализации аналоговых, цифровых и смешанных электронных систем на разных уровнях абстракции. Отличие между Verilog HDL и VHDL (другим конкурирующим языком) заключается в том, что Verilog HDL чаще всего используется в указанных областях. Его синтаксис сделан очень похожим на язык C, что упрощает освоение. В Verilog есть препроцессор, аналогичный препроцессору языка C, и базовые управляющие структуры, такие как «if» и «while», схожи с соответствующими структурами языка C. Форматирование вывода также аналогично (например, с использованием printf). Описание аппаратуры на Verilog (как и на других HDL-языках) обычно называется «программой», однако в отличие от традиционного понимания программы как последовательности инструкций, здесь программа определяет структуру системы. Термин «выполнение про-

граммы» не применяется к Verilog [1]. На рис. 1 представлена схема, реализующая в устройстве исключениедребезга контактов при нажатии кнопки.

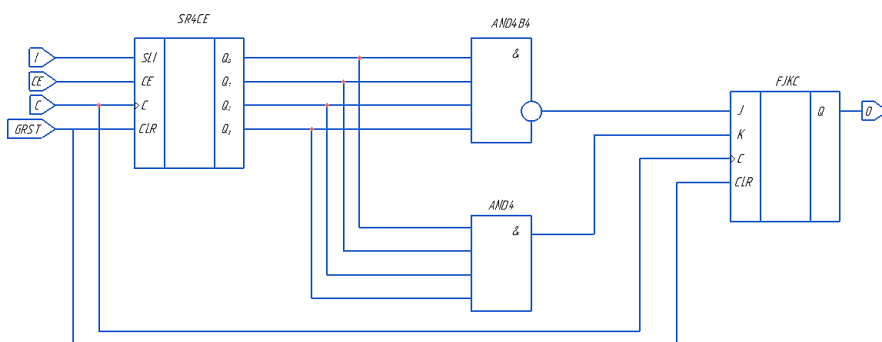


Рис. 1. Схема, реализующая в устройстве исключениедребезга контактов при нажатии кнопки

AND4B4 и AND4 — это логическое «И» с отрицанием и без отрицания соответственно. Логический элемент, выполняющий над входными данными операцию конъюнкции или логического умножения. Данный элемент может иметь от 2 до 8 (наиболее распространены в производстве элементы «И» с 2, 3, 4 и 8 входами) входов и один выход.

SR4CE — это последовательный регистр. Сдвиговые регистры, также известные как последовательные регистры, представляют собой последовательность разрядных схем, связанных цепями переноса. Основной режим их работы заключается в передаче разрядов кода от одного триггера к другому на каждый импульс тактового сигнала. В одноктактных регистрах сдвига на один разряд вправо слово сдвигается при получении тактового сигнала. Вход и выход данных в таких регистрах являются последовательными (англ. Data Serial Right, DSR).

С учетом требований синхронизации, в сдвигающих регистрах, где отсутствуют логические элементы в межразрядных связях, не рекомендуется использовать одноступенчатые триггеры, управляемые уровнем. Это связано с возможностью многократного переключения некоторых триггеров за время действия разрешающего уровня синхросигнала, что является нежелательным. Введение логических элементов в межразрядные связи, а тем более логических схем неединичной глубины, упрощает обеспечение работоспособности регистров и позволяет использовать различные типы триггеров.

Многотактные сдвигающие регистры управляются несколькими синхропоследовательностями. Наиболее известным из них является двухтактный регистр с основным и дополнительным регистрами, построенными на простых одноступенчатых триггерах, управляемых уровнем. В этой схеме по такту C1 содержимое основного регистра копируется в дополнительный, а по такту C2 возвращается обратно в основной регистр, но уже в соседние

разряды, что соответствует сдвигу слова. Этот вариант по затратам оборудования и быстродействию приближается к одноклапному регистру с двухступенчатыми триггерами [2].

FLKC — это JK-триггер с установкой. JK-триггер функционирует аналогично RS-триггеру, но с ключевым отличием: если на оба его входа J и K подать логическую единицу, выход триггера переключится на противоположное значение, т. е. произойдет инверсия. Это отличает его от RS-триггеров с фиксированным состоянием, которые при определенных входных сигналах переходят в состояние логического нуля или единицы без учета предыдущего состояния. Вход J у JK-триггера соответствует входу S RS-триггера, а вход K — входу R. Если на вход J подать единицу, а на K — ноль, выход триггера установится в состояние логической единицы. В обратном случае, когда на вход K подается единица, а на J — ноль, выход будет в состоянии логического нуля. В отличие от RS-триггера, у JK-триггера нет запрещенных состояний для основных входов, но это не решает проблему нарушения правил проектирования логических схем. В реальных условиях используются синхронные JK-триггеры, учитывающие сигналы на входах J и K только в моменты тактирования, например при появлении положительного фронта сигнала на входе синхронизации. Это связано с тем, что асинхронные сигналы не могут быть одновременными в строгом смысле этого слова, что ведет к неопределенности в поведении, подобной гонке состояний, проблемы, которой нет у RS-триггеров, поскольку они не выполняют инверсию, а следуют за приоритетным сигналом [3].

В заключение при помощи синтаксиса языка Verilog и основных принципов функционирования ячейки, реализуемой на GW2A-LV18PG256C8/I7, мы получили соответствующий код [4].

Литература

- [1] *Verilog*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Verilog> (дата обращения 08.04.2024).
- [2] *Регистр (цифровая техника)*. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Регистр_\(цифровая_техника\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Регистр_(цифровая_техника)) (дата обращения 08.04.2024).
- [3] *Триггер*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Триггер> (дата обращения 08.04.2024).
- [4] Ушенина И.В. *Проектирование цифровых устройств на ПЛИС*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 408 с.

Converting a contact bounce filtering circuit into Verilog code

Silaev Nikita Igorevich

silae1999@inbox.ru

Andreev Dmitrii Vladimirovich

dmitrii_andreev@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The work examines the creation of code in the Verilog language, taking into account the requirements for the GW2A-LV18PG256C8/I7 FPGA. Basic information about the language and its scope of application is presented. An analysis of the electrical circuit diagram of a basic cell was carried out, including the purpose of each element of the cell circuit. In addition, code is presented that implements the function of this block in the specified FPGA. To more fully understand the process of creating Verilog code, additional research was involved, including methods for optimization and verification of code correctness.

Keywords: verilog, syntax, FPGA, GW2A-LV18PG256C8/I7

УДК 621.375.121

Влияние температуры на выход годных микросхемы четырехканального широкополосного усилителя

Двухшерстнова Яна Владимировна^{1,2}

yana_melnikova_2016@bk.ru

Андреев Владимир Викторович¹

vladimir_andreev@bmstu.ru

¹ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия² АО «Восход» — КРЛЗ, Калуга, Россия

С помощью компьютерного моделирования определен параметр p-n-p транзистора, оказывающий негативное влияние на работу широкополосного усилителя при критически низкой температуре. Установлено минимальное допустимое значение коэффициента усиления транзистора. Скорректирован технологический маршрут формирующих отжигов областей базы и эмиттера, обеспечивающий получение p-n-p транзистора с коэффициентом усиления больше минимально допустимого значения.

Ключевые слова: широкополосный усилитель, p-n-p-транзистор, коэффициент усиления, формирующий отжиг эмиттера

В настоящее время для использования в аппаратуре специального назначения широко используется микросхемы широкополосных усилителей [1–3]. Для повышения надежности интегральных микросхем и увеличения выхода годных при проектировании кристаллов стремятся использовать элементы, обеспечивающие работу при воздействии различных внешних факторов [4, 5].

Одним из главных факторов, определяющих выход годных микросхем широкополосных усилителей, является температура. Поэтому является актуальной задачей: определение основных параметров элементов, входящих в состав данной схемы, для обеспечения высокого выхода годных в широком диапазоне температуры, определяющим техническим заданием.

Данная работа посвящена определению элементов, ответственных за обеспечение работоспособности микросхем при крайних температурных режимах. В качестве объекта исследования был выбран широкополосный усилитель, построенный по биполярной технологии, реализованный на кремнии эпитаксиальном со скрытыми слоями, имеющий следующие основные технические характеристики:

Коэффициент передачи по напряжению для каждого канала — от 1 до 30 В. В зависимости от кодовой комбинации, поданной на входы.

Максимальное выходное напряжение каждого канала — 6 В.

Скорость нарастания выходного напряжения каждого канала усиления — 300нс и другие.

Проведенные исследования показали, что основной проблемой снижения выхода годных данных микросхем является критическое отклонение от требуемых параметров при низких температурах.

Для детального исследования данной проблемы была разработана модель широкополосного усилителя с помощью OrCAD, представленная на рис. 1.

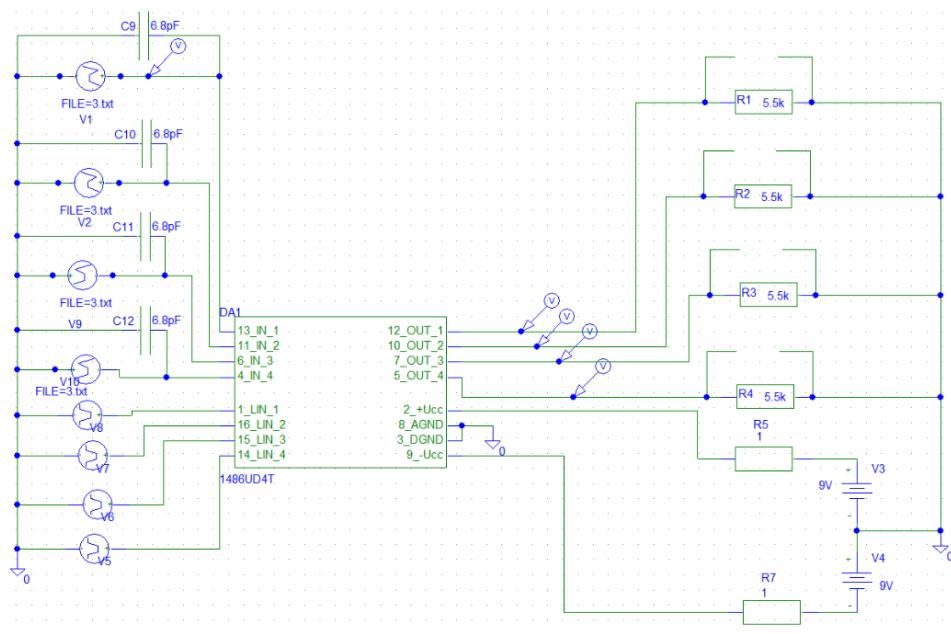


Рис. 1. Схема включения широкополосного усилителя при измерении коэффициента усиления

Данная модель учитывает реальные параметры входящих в него элементов. Результаты моделирования показали, что основной причиной отказа микросхем при низкой температуре является недопустимое снижение коэффициента усиления микросхемы широкополосного усилителя.

Результаты моделирования представлены на рис. 2, на котором показаны зависимости входного напряжения от выходного. Согласно которому рассчитывается коэффициент усиления $K_U = \frac{U_{\text{Вых}}}{U_{\text{Вх}}}$ [6].

Проведенный анализ позволил установить, что ответственный за снижение коэффициента является p-n-p транзистор. На основе полученных данных была скорректирована технология изготовления данных микросхем, заключающаяся в корректировке ФОЭ, и установлен минимальный коэффициент усиления для тестовых транзисторов K_U [7].

На основе этих рекомендаций была запущена партия пластин, которая разбивалась на несколько групп, имеющих разные коэффициенты усиления p-n-p транзистора. Группы приведены в таблице.

Результаты испытаний данных групп, изготовленных в одной партии, показали, что наибольший выход годных имеет пластина с номером 03.

Данные результаты позволили подтвердить моделирование и скорректировать технологический процесс изготовления.

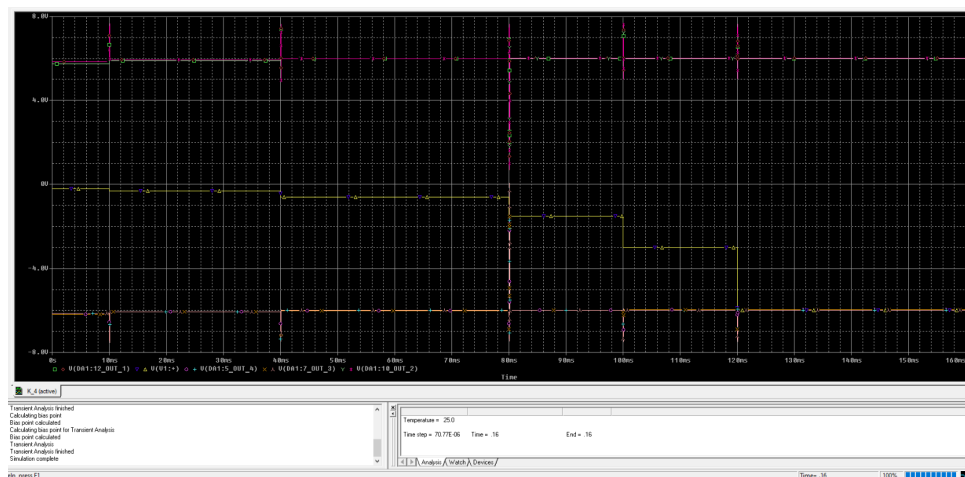


Рис. 2. Результаты моделирования коэффициента усиления микросхемы

Технологические режимы и параметры пластин с разными коэффициентами усиления

Номер пластины	K_u	Доза активной базы,	Доза пассивной базы,	Режимы ФОБ ¹	Глубина базы активной / пассивной, мкм	Доза эмиттера	Режимы ФОЭ ¹	Глубина эмиттера, мкм
-01	60	$0,7 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	1120 С°, 126 мин	1,6 / 2,0	1100	1000 С°, 3 мин	1,9
-02	80	$0,7 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	1120 С°, 126 мин	1,6 / 2,0	1100	1000 С°, 5 мин	2,0
-03	100	$0,7 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{14}$	1120 С°, 126 мин	1,6 / 2,0	1100	1000 С°, 8 мин	2,2

Примечание. Указанное время ФОБ и ФОЭ учитывается только внутри печи. Время загрузки, нагрева, охлаждения и выгрузки не учитывается.

Закключение. В результате проведенных исследований были скорректированы технологические режимы, формирующих отжигов базы и эмиттера, которые позволили увеличить коэффициент $p-n-p$ -транзистора и в целом коэффициент усиления микросхемы, что позволило обеспечить стабильную работу микросхемы при низкой температуре минус 60 °С.

Литература

- [1] Рабаи Ж.М., Чандракасан А., Николич Б. *Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования*. Москва, ООО «И.Д. Вильямс», 2007, 912 с.
- [2] Скрипник Н. Высокочастотные компоненты фирмы Тусо Electronics M/A (COM: широкополосные транзисторные усилители. *Компоненты и технологии*, 2006, № 10, с. 1–3.
- [3] Campbell C. A Wideband Power Amplifier MMIC Utilizing GaN on SiC HEMT Technology. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2008, vol. 43, no. 10, pp. 2640–2643.
- [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, iss. 9, art. 2100400(1–5). <https://doi.org/10.1002/pssa.202100400>
- [5] 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.
- [6] Strong A., Wu E., Vollertsen R., Sune J., Rosa G., Rauch S., Sullivan T. *Reliability Wearout Mechanisms in Advanced CMOS Technologies*. IEEE Press Series on Microelectronic Systems, Wiley, 2009, 624 p.
- [7] Тогонский Л.А. *Проектирование интегральных микросхем и микропроцессоров*. Томск, ТУСУР, 254 с.

The influence of temperature on the output of a four-channel broadband amplifier microcircuit

Dvuhsherstnova Yana Vladimirovna^{1,2}

yana_melnikova_2016@bk.ru

Andreev Vladimir Victorovich¹

vladimir_andreev@bmstu.ru

¹ Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

² JSC Voskhod — KRLZ, Kaluga, Russia

Using computer modeling, a p-n-p transistor parameter was determined that has a negative impact on the operation of a broadband amplifier at a critically low temperature. The minimum permissible gain of the transistor is set. The technological route for formative annealing of the base and emitter regions has been adjusted, ensuring the production of a p-n-p transistor with a gain greater than the minimum permissible value.

Keywords: broadband amplifier, p-n-p transistor, gain, emitter annealing forming factor

УДК 621.3.049.774

Влияния прогиба кремниевой полупроводниковой пластины с диэлектрической изоляцией на качество фотолитографии

Перевозчикова Дарья Сергеевна

perevozcikovadara10888@gmail.com

Андреев Владимир Викторович

vladimir_andreev@bmstu.ru

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

Рассмотрены особенности применения кремниевых структур с диэлектрической изоляцией (КСДИ) в технологии производства интегральных микросхем. Исследован процесс формирования КСДИ структур и причины отклонения получаемых полупроводниковых пластин от плоскостности. Произведена оценка влияния прогиба кремниевых пластин с диэлектрической изоляцией на качество выполнения фотолитографических процессов и возникновение погрешностей.

Ключевые слова: КСДИ структура, фотолитография, прогиб пластины, интегральная микросхема

Отклонение геометрических форм полупроводниковой пластины от заданных значений плоскостности важнейший параметр, который играет решающую роль в воспроизведении топологического рельефа на поверхности пластины путем применения методов фотолитографии [1, 2]. КСДИ, т. е. кремниевые структуры с диэлектрической изоляцией имеют прогиб значительно больший, чем, например, структуры монокристаллического кремния. Однако кремниевые структуры с диэлектрической изоляцией обширно применяются в микроэлектронике, поскольку обеспечивают хорошую изоляцию элементов кристалла микросхемы, что позволяет значительным образом снизить паразитные эффекты, такие как ток утечки [3–5].

Исходными материалами для создания, рассматриваемых КСДИ структур, являются рабочая и опорная пластины. Исходным материалом рабочего слоя является монокристаллический кремний ориентации (100), а опорная пластина представляет собой монокристаллический кремний ориентации (111). Для формирования кремниевых структур с диэлектрической изоляцией производится процесс окисления рабочей пластины, после чего проводится процесс фотолитографии для вскрытия окон под разделительные канавки. Далее путем анизотропного травления получают разделительные вертикальные канавки, которые впоследствии будут изолировать элементы микросхемы друг от друга. В объем разделительных канавок при пониженном давлении осаждают слой поликристаллического кремния. Угол наклона стенок канавок выполняется около 85° , для того чтобы при заполнении объема поликристаллическим кремнием не возникало пустот. Поликристаллический кремний окисляют и с помощью стеклокристаллического диэлектрика соединяют опорную пластину с рабочей. Под воздействием температуры стеклокристаллический диэлектрик кристаллизуется, скрепляя пластины между со-

бой. Проводится процесс утонения пластины до вскрытия разделительных канавок [1]. Образованные карманы хорошо справляются с изоляцией рабочего объема элементов от остальной схемы и подложки [6]. Типовая схема представлена на рис. 1 [1].

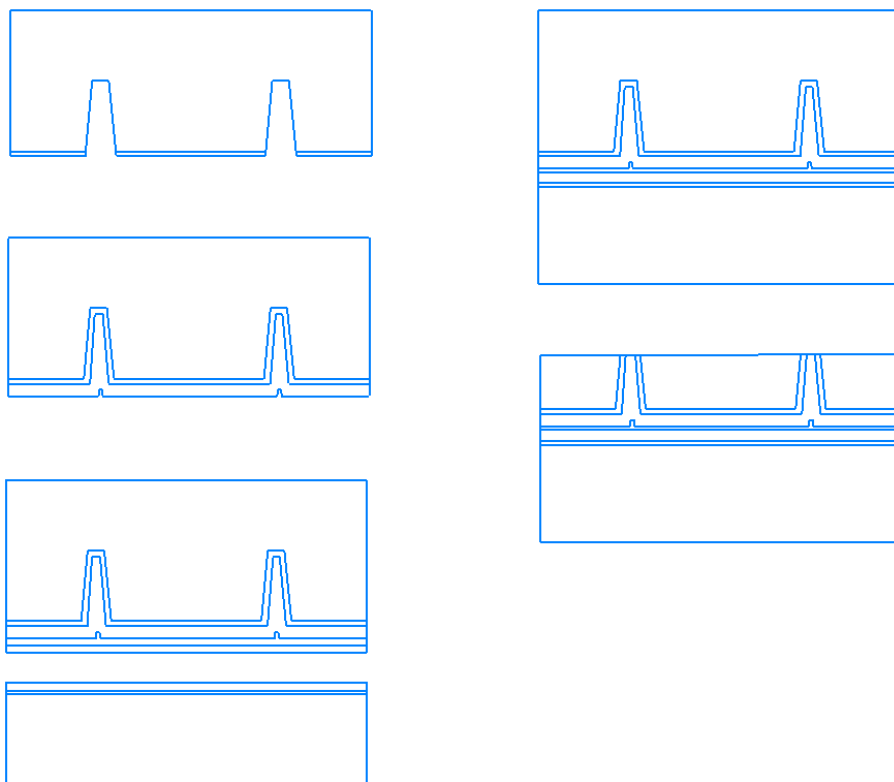


Рис. 1. Процесс создания КСДИ структуры

Основной недостаток кремниевых структур с диэлектрической изоляцией — значительное прогибание пластины. Это связано с высокой восприимчивостью коэффициента теплового линейного расширения к колебаниям температурных режимов, что обусловлено нахождением нескольких кристаллических фаз в закристаллизованной пластине. Отклонение коэффициента теплового линейного расширения кремния от коэффициента теплового линейного расширения поликристаллического кремния и стеклокристаллического диэлектрика приводит к появлению внутренних напряжений и дислокации кремния и, вследствие, к деформации кремниевых пластин [2]. Величина прогиба КСДИ структур существенным образом изменяется при проведении термических операций (например, таких, как диффузия и окисление), что усложняет проведение качественной фотолитографии. Также изначальный прогиб пластины усугубляется при дальнейшем наслаивании топологического рельефа.

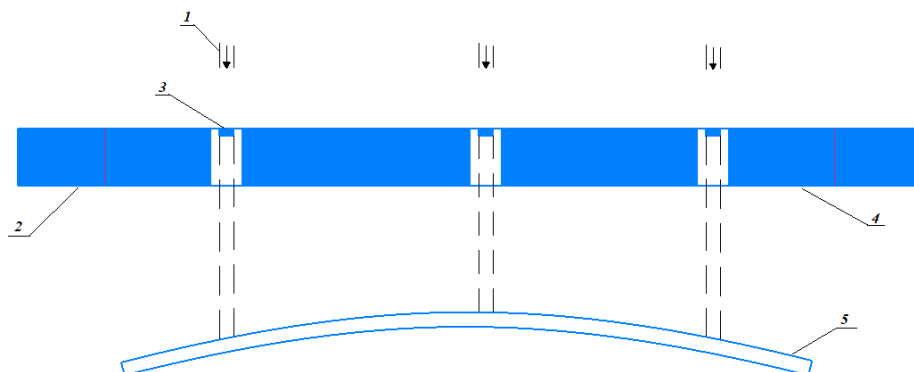


Рис. 2. Перенос топологического рисунка с фотошаблона на пластину со структурой КСДИ:

1 — ультрафиолетовые лучи; 2 — нерабочая зона фотошаблона; 3 — светонепроницаемая зона топологического рисунка; 4 — фотошаблон

Снижение качества фотолитографического процесса на структурах КСДИ возникает из-за появления таких дефектов как затертости и рассовмещение.

Совмещение фотошаблона с подложкой происходит на определенном зазоре, который определяется оператором, исходя из глубины фокуса микроскопа, требуемой точности размеров элементов и плоскостности пластины [7]. Если изгиб пластины велик, то происходит контакт фотошаблона с пластиной, вследствие чего пластина затирается, также может появиться дефект в фотошаблоне, который может в последствии образовывать дефекты при дальнейшем экспонировании партии.

Рассовмещение на пластинах КСДИ возникает из-за искажения изображения, переносимого с фотошаблона на пластину, вследствие ухода параметра плоскостности за оптимальные пределы [8]. Поскольку пластина имеет определенный изгиб, то при переносе рисунка с фотошаблона на пластину возникает уход элементов по краям пластины. В связи с этим возникает рассовмещение данного топологического слоя относительно топологического рельефа, созданного на предыдущих фотолитографиях.

Выводы. Прогиб кремниевых структур с диэлектрической изоляцией, возникает вследствие нахождения в объеме с КСДИ структуры нескольких кристаллических фаз, которые имеют разные коэффициенты теплового линейного расширения. Величина прогиба существенно влияет на качество проведения фотолитографического процесса, поскольку большая величина прогиба способствует появлению дефектов фотолитографии, таких как рассовмещение и затертость поверхности пластины.

Литература

- [1] Брюхно Н.А. *Способ изготовления кремниевых структур с диэлектрической изоляцией*. Патент № 2783769РФ, 2022.
- [2] Кошелев Н.И., Ермолаева А.И., Петрова В.З. *Стекло для стеклокристаллического диэлектрика для структур кремний-на-изоляторе*. Патент № 2083515 РФ, 1995.
- [3] Strong A., Wu E., Vollertsen R., Sune J., Rosa G., Rauch S., Sullivan T. Reliability Wearout Mechanisms in Advanced CMOS Technologies. IEEE Press Series on Microelectronic Systems, Wiley, 2009, 624 p.
- [4] 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.
- [5] 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, iss. 9, art. 2100400(1–5). <https://doi.org/10.1002/pssa.202100400>
- [6] Черняев В.Н. *Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров*. Москва, Радио и связь, 2007, 464 с.
- [7] *Базовые технологические операции фотолитографии и оборудование для их реализации*. Минск, БГУИР, 2017, 72 с.
- [8] Трапашко Г. Контроль микроразмеров в производстве ИС задачи и особенности. *Электроника, наука, технология, бизнес*, 2011, № 3, с. 96–103.

Effects of deflection of a silicon semiconductor wafer with dielectric insulation on the quality of photolithography

Perevozchikova Darya Sergeevna

perevozcikovadara10888@gmail.com

Andreev Vladimir Victorovich

vladimir_andreev@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The features of the application of silicon structures with dielectric insulation (SOI) in the production technology of integrated circuits are considered. The process of formation of SOI structures and the reasons for the deviation of the obtained semiconductor wafers from flatness are investigated. The influence of deflection of silicon wafers with dielectric insulation on the quality of photolithographic processes and the occurrence of errors is estimated.

Keywords: *SOI structure, photolithography, plate deflection, integrated circuit*

УДК 537.221

Способ локализации мест статического пробоя с помощью тепловизора в микроэлектронике

Ефременко Егор Иванович

efremenko.egor@bk.ru

Кузнецов Вадим Вадимович

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

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

Представлены проблемы выявления электростатического пробоя, его визуализации для проведения анализа на производстве. Рассмотрены сложности анализа микросхем со статическим пробоем. Приведен пример установки и как с ее помощью микросхемы на производстве проходят проверку статического электричества. Приведены примеры микросхем с повреждениями в результате электростатического пробоя и его последствия в виде изменения параметров схемы и визуальных повреждений на кристалле. Предложен метод по ускорению локализации статического пробоя с помощью тепловизора.

Ключевые слова: статический пробой, анализ, визуализация, отказ, безопасность

Введение. Электростатический разряд является распространенным фактором, приводящим к выходу из строя интегральной схемы, и стал большой проблемой для надежности изделия. Статическое электричество присутствует повсюду во время изготовления, тестирования, упаковки и использования микросхемы [1]. Когда электростатический разряд достигает определенной степени, он может легко повредить микросхему. Сообщалось, что около 40 % отказов продуктов вызвано статикой. Таким образом, анализ отказов является фундаментальным и неоценимым для методологии проектирования и разработки устойчивых к статике продуктов.

Поиск проблемы. Не всегда можно сказать, что отказ изделия происходит именно из-за статического пробоя, поскольку визуально его очень тяжело заметить даже под большим увеличением. Зачастую пробой происходит даже не на поверхности схемы, а может случиться в глубине кристалла [2]. Для того чтобы исследовать схемы на вероятность такой неисправности на ее выводах подают заряженный потенциал по модели «человеческого тела». Для такого исследования используют такие установки как СИСЭ-5 (рис. 1).

В ходе работы установка была использована для имитации воздействия электростатического разряда. На исследуемые схемы подавалось напряжение выше разрешенного по ТУ начиная с небольших увеличений на 100–200 и доходя до превышения в 5–6 раз [3]. В таблице приведены параметры измерения одной из схем до пробоя и после. При этом визуально под микроскопом модели ММН-2 с максимальным увеличением $\times 400$ на схеме не было никаких повреждений даже после подачи на нее напряжения. Это говорит о сложности анализа браков при серийном производстве. Также стоит учесть размеры схемы и визуально поиск проблемы может занять долгое время. Иногда пробой

можно заметить и визуально, что помогает сделать верные выводы. На рис. 2 представлен статический пробой с небольшим потемнением элементов схемы. На рис. 3 транзисторы с пробоем с еле заметными «нитеями».



Рис. 1. Установка СИСЭ-5

Параметры исследуемой схемы

Параметр	Единица	Не менее	Не более	Фактич. до	Фактич. после
U4	B	3,6	5,0	4,391	2,305
U5	B	3,6	5,0	4,477	5,955
U10	B	1,5	2,9	2,261	2,259
U11	B	1,5	2,9	2,261	2,257
U13	B	0,5	2,0	1,188	1,293
U14	B	0,2	1,0	0,450	0,550
Icc	mA	—	3,0	2,137	2,763
Scon	mA/B	10	—	13,451	0,123

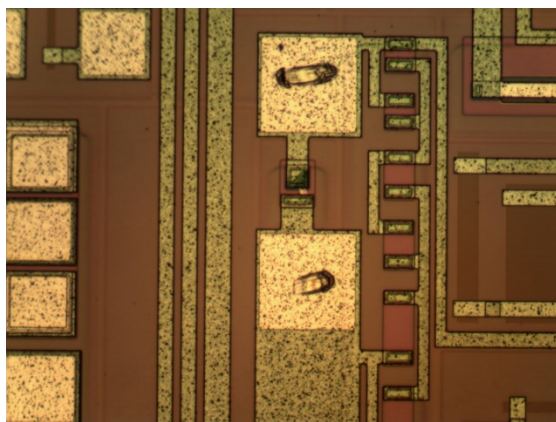


Рис. 2. Схема с пробоем и последствиями

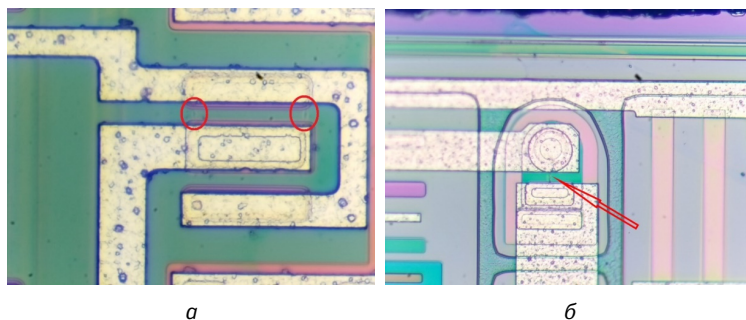


Рис. 3. Транзистор:
a — с пробоем № 1; *б* — с пробоем № 2

На рис. 4 самые характерные пробои, которые встречаются чаще всего «нити» белого цвета.

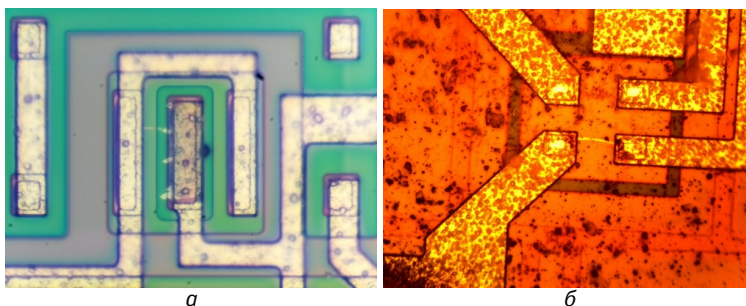


Рис. 4. Часто встречающиеся пробои: *a* — пробои № 1; *б* — пробои № 2

Для ускорения анализа и поиска статического пробоя можно использовать тепловое изображение. На рис. 5 представлена поврежденная схема под микроскопом, а на рис. 6 — она же, но уже под тепловизором.

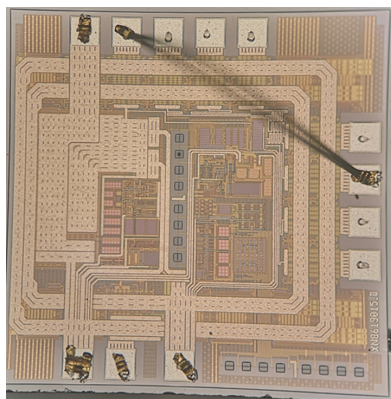


Рис. 5. Поврежденная микросхема под микроскопом

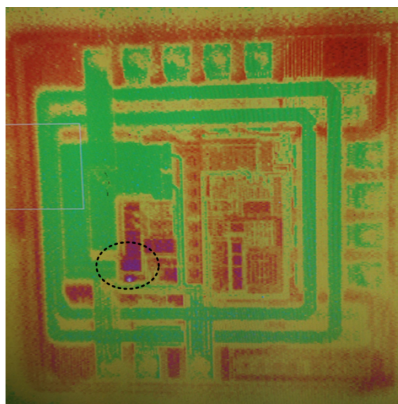


Рис. 6. Поврежденная микросхема под тепловизором

Таким образом, под тепловизором сразу заметна точка статического пробоя схемы, что позволяет сделать вывод о том, что он послужил причиной ухода параметров и отказа схемы [4].

Выводы. Найти визуально статический пробой и понять, что отказ схемы произошел именно из-за него достаточно сложно, учитывая внешний вид и природу его возникновения. В ходе работы было выявлено, что для обнаружения статического пробоя можно использовать тепловизор. Благодаря ему можно сразу обнаружить источник пробоя и не тратить время на визуальный поиск еле заметных дефектов, это, в свою очередь, ускоряет анализ отказов схем на производстве.

Литература

- [1] Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. *Защита электронных средств от воздействия статического электричества*. Москва, Издательский Дом «Технологии», 2018, 352 с.
- [2] Максимов Б.К. *Статическое электричество в промышленности и защита от него*. Москва, Энергоатомиздат, 2000, 93 с.
- [3] Fan L., Wei H., Huang X., Ma C., Liu Z., Failure analysis of a PLL ESD structure design defect. *Proceedings of IEEE International Symposium on the Physical & Failure Analysis of Integrated Circuits*, 2017, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/IPFA.2017.8060133>
- [4] Максимов И.В., Кузнецов В.В., Андреев В.В. Исследование модернизированной схемы защиты от электростатического разряда КМОП ИМС серии 1564. *Технологии электромагнитной совместимости*, 2017, № 4, с. 35–41.

A method for localizing static breakdown sites using a thermal imager in microelectronics

Efremenko Egor Ivanovich

efremenko.egor@bk.ru

Kuznetsov Vadim Vadimovich

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The paper considers the problems of detecting electrostatic breakdown, its visualization for analysis in production. The difficulties of analyzing chips with static breakdown are considered. An example of an installation is given and how chips in production are tested for static electricity with its help. Examples of microcircuits with damage as a result of electrostatic breakdown and its consequences, in the form of changes in circuit parameters and visual damage on the chip, are given. A method is proposed to accelerate the localization of static breakdown using a thermal imager.

Keywords: static breakdown, analysis, visualization, failure, safety

УДК 621.317

Влияние паразитных формирований в теле резистора

Чубурков Александр Евгеньевич

chuburkov2015@mail.ru

Сегодин Павел Станиславович

cool.saga233@icloud.com

Кузнецов Вадим Вадимович

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

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

Представлено значение точности измерений в современной электронике и роль резисторов как ключевых компонентов в различных схемах. Несмотря на технический прогресс, они по-прежнему остаются важнейшими элементами, выполняющими такие функции как, ограничение тока и создание необходимого сопротивления в электрических цепях. Исследуется влияние паразитных образований внутри резисторов, таких как емкость, индуктивность и полное сопротивление. Представлена эквивалентная электрическая схема, представляющая эти параметры. Также обсуждается понятие импеданса резистора, играющее значительную роль в электронике и электротехнике, и его потенциальное отличие от номинального значения в высокочастотных цепях и сигналах. Сделан вывод о том, что параметры резисторов оказывают большое влияние в различных аспектах электрических цепей, влияя на работу электронных устройств и требуя глубоких знаний в области электротехники.

Ключевые слова: импеданс, емкость резистора, паразитные компоненты, сопротивление, частота

В современной электронике одной из ключевых задач обеспечивающей выполнение критериев годности является точность измерений. Достоверность и надежность таких измерений напрямую зависят от правильного выбора и использования компонентов, включенных в измерительные цепи. Несмотря на прогресс в разработке новых технологий, резисторы до сих пор играют роль ключевых элементов во множестве схем, выполняя функцию ограничения тока или создания нужного сопротивления в электрической цепи.

Хотя резисторы являются довольно популярными компонентами, они могут стать причиной возникновения нежелательных эффектов при измерениях. Любой компонент в электрической цепи обладает паразитными параметрами, которые не свойственны типу этого компонента. В статье рассмотрено влияние паразитных формирований в теле резистора, таких как емкость, индуктивность и импеданс [1].

Рассмотрим основные паразитные параметры. Индуктивность появляется вследствие создания током магнитного поля. Емкость неизбежно возникает между выводами и другими частями сопротивления. В результате сопротивление можно представить эквивалентной схемой, приведенной на рис. 1, где L — эквивалентная индуктивность, образующая магнитное поле, вследствие проходящего по сопротивлению тока, а C — эквивалентная сосредоточенная емкость, включенная параллельно выводам сопротивления и действующая

так же, как и действительные связанные с сопротивлением распределенные емкости. Схема на рис. 1 представляет параллельный резонансный контур с низким Q [2].

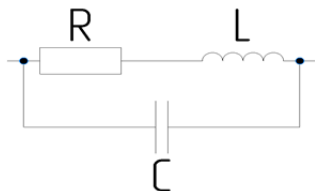


Рис. 1. Эквивалентная схема сопротивления, учитывающая влияние связанных с сопротивлением индуктивности и емкости

Когда требуется снизить влияние индуктивности необходимо: $R \ll \omega L$ и $R \gg 1/\omega C$. При этих условиях схему можно рассматривать как эквивалентное сопротивление $R_{\text{эк}}$, включенное последовательно с эквивалентной индуктивностью $L_{\text{эк}}$, где

$$R_{\text{эк}} = R[1 + \omega^2 C(2L - R^2 C)]; \quad (1)$$

$$L_{\text{эк}} = L - R^2 C. \quad (2)$$

Эти формулы показывают, что если $2L = R^2 C$, то эквивалентное сопротивление $R_{\text{эк}}$ равно действительному и емкость и индуктивность не вносят никакой погрешности в эквивалентное последовательное сопротивление (при условии, что $R \gg \omega L$ и $R \ll 1/\omega C$). Сопротивление, однако, при этих условиях ведет себя так, как если бы оно обладало последовательной индуктивностью — L , т. е. фазовый угол получится емкостный. С другой стороны, когда $L = R^2 C$, эквивалентное реактивное сопротивление становится равным нулю, но при возрастании частоты активное сопротивление увеличивается в соответствии с формулой $R_{\text{эк}} = R[1 + \omega^2 L C]$. При $L > R^2 C$ (случай малых сопротивлений) получается индуктивное реактивное сопротивление, а при $L < R^2 C$ преобладает емкостный эффект [3].

Импеданс резистора — это важное понятие в области электроники и электротехники. Импеданс представляет собой сопротивление электрическому току, учитывающее как активное сопротивление (сопротивление постоянному току), так и реактивное сопротивление (сопротивление переменному току) элемента. Для резистора, который является чисто активным элементом, импеданс равен его активному сопротивлению. Следует отметить, что импеданс резистора не зависит от частоты переменного тока и является постоянным значением. Но при рассмотрении схемы резистора, между двумя концевыми электродами или резисторами с подстроечными канавками имеется емкость. Резисторы с подводящими проводами, спиральные резисторы и проволочные резисторы имеют индуктивность. Альтернативная схема резистора приведена на рис. 1 [4].

В высокочастотных цепях и сигналах переменного тока/напряжения, содержащих высокочастотные компоненты, импеданс резистора может отличаться от его номинального значения, что может существенно влиять на работу цепи. На рис. 2 показаны частотные характеристики резистора. В частности, при значениях от 1 МОм и выше импеданс может начать изменяться до достижения частоты 100 кГц, которая используется в качестве частоты переключения в импульсных источниках питания. С увеличением частоты важность частотных характеристик становится ключевым аспектом, которым нельзя пренебрегать.

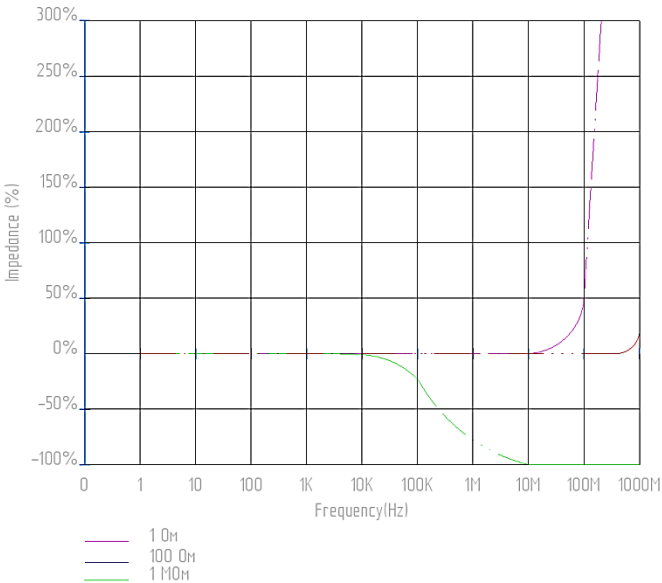


Рис. 2. Моделирование частотной характеристики резистора 0,25 Вт с подводящими проводами

В таблице приведена сравнительная характеристика импеданса (в %) при различной мощности резистора при сопротивлении 1 МОм.

Зависимость частотной характеристики от мощности резистора, %

Сопротивле- ние R, МОм	Частота F, Гц	Мощность P, Вт			
		0,25	0,5	1	2
1	100 Гц	–	–	–	–
1	120 Гц	–	–	–	–
1	1 кГц	–	–	–	–
1	10 кГц	1	1	1	0,7
1	40 кГц	6	7	7	5
1	100кГц	21	25	25	22

На основе полученных данных приведенных в таблице, сделан вывод, что частотная характеристика не зависит от номинала мощности резистора. В целом все эти параметры резистора играют важную роль в различных аспектах электрических схем. Они могут влиять на работу электронных устройств, довольно сложны в исследованиях и требуют глубоких знаний в области электротехники.

Литература

- [1] Salman E. *Switching noise and timing characteristics in nanoscale integrated circuits*. Proquest, Umi Dissertation Publishing, 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, 524с.
- [4] Пасынков В.В., Сорокин В.С. *Материалы электронной техники*. Санкт-Петербург, Лань, 2002, 481с.

The influence of parasitic formations in the body of the resistor

Chuburkov Alexander Evgenyevich

chuburkov2015@mail.ru

Segodin Pavel Stanislavovich

cool.saga233@icloud.com

Kuznetsov Vadim Vadimovich

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article examines the importance of measurement accuracy in modern electronics and the role of resistors as key components in various circuits. Despite technological progress, they still remain the most important elements performing functions such as current limitation and creating the necessary resistance in electrical circuits. The influence of parasitic formations inside resistors, such as capacitance, inductance and impedance, is investigated. The article presents an equivalent electrical circuit representing these parameters. The concept of resistor impedance, which plays a significant role in electronics and electrical engineering, and its potential difference from the nominal value in high-frequency circuits and signals is also discussed. The study concludes that the parameters of resistors have a great influence in various aspects of electrical circuits, affecting the operation of electronic devices and requiring in-depth knowledge in the field of electrical engineering.

Keywords: *impedance, resistor capacitance, parasitic components, resistance, frequency*

УДК 621.3.049.77

Влияние теплового режима на работоспособность микросхемы одноконтурного таймера

Радзышевская Виктория Витальевна

vikuharad13@gmail.com

Андреев Владимир Викторович

vladimir_andreev@bmstu.ru

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

Рассмотрено функциональное строение и область применения интегральных таймеров общего применения. Проанализирована связь отказов элементов с протекающими внутри процессами внутри микросхем под действием различных температур. Представлены результаты исследования зависимости влияния повышенных и пониженных температурных режимов на надежность и работоспособность интегральных микросхем. Даны рекомендации по усовершенствованию микросхем для их применения в различных температурных условиях с целью сохранения точности параметров и корректной работы устройства.

Ключевые слова: одноконтурный таймер общего применения, микросхема, тепловой режим, моделирование

Одна из ключевых проблем полупроводниковых электронных компонентов — особая чувствительность к температурным режимам. Практически все поломки электронных компонентов напрямую связаны с перегревом и сгоранием. Это может стать результатом как внутренних, так и внешних воздействий и влиять на надежность и работоспособность устройства [1].

Цель работы — проследить зависимость параметров интегральных таймеров общего применения при воздействии различных температур.

Электронный таймер — это устройство, предназначенное для формирования импульсов, интервалов времени, управления процессами в различных отраслях промышленности.

Универсальный таймер NE555 — устройство для формирования одиночных и повторяющихся импульсов со стабильными характеристиками. Используется в построении различных модуляторов, генераторов, реле времени и другой электронной аппаратуре. Интегральный таймер NE555 является аналогом отечественного одноконтурного таймера общего применения, который представляет собой времязадающее устройство, формирующее импульсы напряжения разной длительности. Применяется для стабильных датчиков времени, генераторов импульсов, ШИМ, фазовых модуляторов, преобразователей напряжения, ключевых схем, преобразователей сигналов, исполнительных устройств, схем для промышленной, бытовой электроники и устройств автоматики. Выполнена на биполярных транзисторах с изоляцией $p-n$ -переходом.

Строение таймеров практически одинаковое и состоит из четырех функциональных узлов: двух компараторов напряжения на входе, RS-триггера

и инвертирующего усилителя мощности на выходе (рис. 1). Внутренний резисторный делитель задает пороговые напряжения, равные $2U_{\text{вх}}/3$ для первого компаратора и $U_{\text{вх}}/3$ для второго. Длительность генерируемых выходных импульсов устанавливается внешней времязадающей цепью. Для достижения стабильности основных параметров преобразования при воздействии внешних факторов резисторы, образующие делитель, размещены на кристалле интегральной микросхемы.

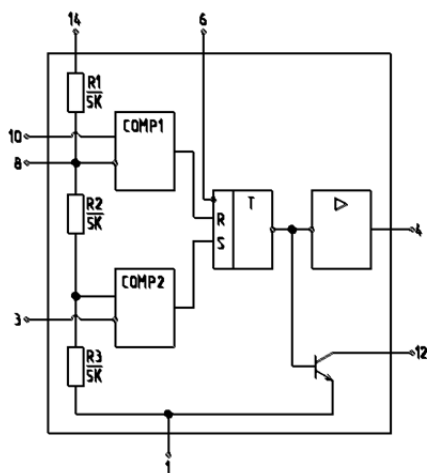


Рис. 1. Схема электрическая функциональная одноканального таймера общего применения

Функциональное назначение выводов схемы

Номер вывода	Функциональное назначение	Номер вывода	Функциональное назначение
1	GND (Общий)	8	CONT (Контроль делителя)
3	TRIG (Запуск)	10	THRES (Срабатывание)
4	OUT (Выход)	12	DISCH (Цепь разряда)
6	RESET (Сброс)	14	Напряжение питания

Отказы элементов могут быть внезапными или постепенными (параметрическими). Причиной вторых являются медленно протекающие процессы внутри компонентов. Возникновение параметрических отказов — медленный процесс, который вызван физико-химическими факторами, такими как старение и износ. При воздействии высоких температур на интегральную микросхему происходит увеличение процесса диффузии примеси и зарядов на поверхности, повышается выделение изделием влаги и газов, ускоряется процесс старения сплавов [2–4]. Низкие температурные режимы могут привести к ухудшению герметичности и прочности соединений устройства (рис. 2).

В производстве интегральных микросхем часто применяется процесс термоциклирования — быстрое и частое изменение температуры окружающей среды от пониженных до повышенных значений с целью выявления брака [5, 6].

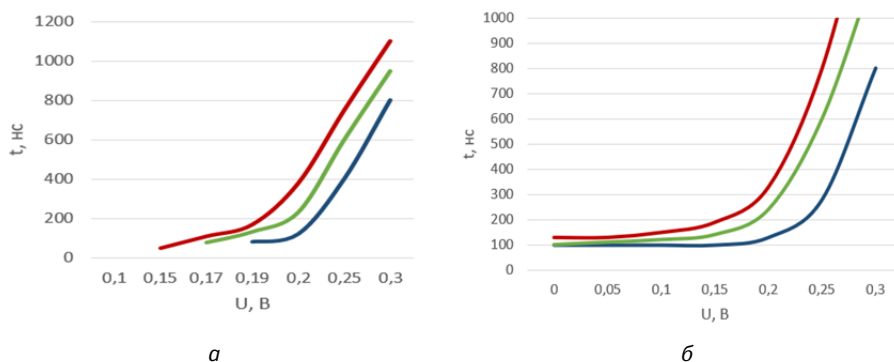


Рис. 2. График зависимости длительности импульса выходного напряжения от соотношения входного напряжения низкого уровня к напряжению питания от температуры одноконтного таймера общего применения (а) и его аналога NE555 (б):
красный цвет — при температуре +70 °С; зеленый — при температуре +25 °С; синий — при температуре –45 °С

Схемы электрические принципиальные у обоих таймеров практически не отличаются на графиках присутствуют лишь незначительные отличия.

Выводы. Проанализировав зависимость микросхем можно сделать вывод о том, что тепловой режим оказывает существенное влияние на параметры и работоспособность устройства, так как их задача состоит в формировании импульсов с определенными параметрами и если тепловой режим будет подобран неправильно, то устройство будет работать неточно, что может сказаться не только на самой микросхеме, но и всем приборе в целом, составе которого она может находиться. Для определенных условий эксплуатации микросхем их можно конструктивно преобразовать или применять более стойкие к температурному влиянию компоненты, необходимые для решения поставленных задач, чтобы ее параметры были точнее, а работа корректнее.

Литература

- [1] Чеканов А.Н. *Расчеты и обеспечение надежности электронной аппаратуры*. Москва, КНОРУС, 2012, 440 с.
- [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] 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 SiO₂ films doped with phosphorus. *High Temperature Material Processes: An International Quarterly of High-Technology Plasma Processes*, 2019, vol. 23, iss. 4, pp. 303–312.
<https://doi.org/10.1615/HighTempMatProc.2019031840>

- [4] Семенов С.Г., Юркевич Е.В., Воронцова Т. Е. Системы обеспечения функциональной надежности технологических процессов с помощью активного гашения акустических полей. *Надежность*, 2012, № 2, с. 56–64.
- [5] Строгонов А.В. Долговечность субмикронных БИС и ПЛИС. *Микроэлектроника*, 2005, т. 34, № 2.
- [6] Строгонов А.В. Оценка долговечности БИС по результатам ускоренных испытаний. *Технологии в электронной промышленности*, 2007, № 3.

Effect of thermal mode on the performance of a single-cycle timer chip

Radzyshevskaya Victoria Vitalievna

vikuharad13@gmail.com

Andreev Vladimir Victorovich

vladimir_andreev@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The functional structure and application area of integrated timers of general use are considered. The connection of element failures with processes inside microcircuits under the influence of different temperatures is analysed. The results of research of dependence of influence of increased and decreased temperature modes on reliability and operability of integrated circuits are presented. Recommendations are given on improvement of microcircuits for their application in different temperature conditions in order to preserve the accuracy of parameters and correct operation of the device.

Keywords: *single-cycle timer of general application, microcircuit, thermal mode, modelling*

Секция 4. Тепловые двигатели и гидромашины

УДК 621.65.03

Исследование влияния радиального и межвинтового зазора на утечки в трехвинтовом насосе

Азаренко Никита Александрович

azarenko_2016@list.ru

Шитохина Ольга Григорьевна

shitohina@bmstu.ru

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

Исследовано влияния радиального и межвинтового зазора на утечки в трехвинтовом насосе с использованием метода CFD в программе SOLIDWORKS Flow Simulation. Рассмотрены виды зазоров в трехвинтовом насосе. Отмечена важность влияния зазоров на объемный КПД насоса. Описана расчетная модель. Сделаны выводы, что наибольшее влияние на утечки, а, следовательно, на объемный КПД насоса, оказывает радиальный зазор, чем межвинтовой зазор. Отмечено, что использование CFD моделей облегчает проектирование и оптимизацию трехвинтовых насосов.

Ключевые слова: винтовой насос, трехвинтовой насос, утечки в насосе, объемные потери

Трехвинтовые насосы применяются в системах автоматического регулирования и защиты паротурбинных установок в виде пусковых насосов, а также трехвинтовые насосы применяются в системах смазки и регулирования машин, в системах гидроприводов, для перекачивания вязких жидкостей и т. д. [1]. Преимуществами трехвинтовых насосов являются: низкие пульсации, большая величина подачи, низкий уровень шумности и вибраций, малые габариты.

Одним из главных факторов, определяющих объемные потери в насосе, являются утечки подаваемой жидкости через зазоры между винтами и цилиндрическими поверхностями обоймы и винтов из камеры нагнетания в камеру всасывания (рис. 1). Радиальный зазор — это зазор между вершиной зуба винта и внутренней стенкой обоймы насоса. Межвинтовой зазор — это зазор между ведущим и ведомым винтами в зоне зацепления, а боковой зазор — это зазор между зубьями, распределенный вдоль линии контакта между поверхностями зубьев винта в зоне зацепления [2]. Утечка трехвинтового насоса в основном вызвана радиальным и межвинтовым зазором [3].

Жидкость на входе попадает в локальное пространство низкого давления, создаваемое движением зацепления между винтами через торцевую поверхность. По мере вращения винта жидкость постепенно заполняет это пространство. Из-за зазора, жидкость, попадающая в винтовой насос путем всасывания, не полностью подается в выходной патрубок, тем самым снижает объемный КПД насоса [4].

Характеристики утечек в трехвинтовом насосе в реальных рабочих условиях были изучены с помощью методов CFD в программе SOLIDWORKS Flow Simulation. Модель винтового насоса была создана в программном

обеспечении SOLIDWORKS. Канал потока был смоделирован с внешней поверхностью обоймы в качестве внутренней границы. На входе добавлен патрубок, увеличивающий длину прямолинейного участка. Это сделано как для повышения степени реалистичности модели, так и для уменьшения вероятности появления вихрей, пересекающих грань с граничным условием в виде назначенного давления. В противном случае сходимость процесса может радикально ухудшиться. Из-за сложности поверхности винтов, по периметру винтов была создана более плотная сетка. Задаем уровень глобальной сетки равный 7 и также выбираем функцию улучшения канала. Уровень дробления ячеек в текучей среде 7 и уровень дробления ячеек на границе раздела твердого тела с текучей средой 6. В результирующей сетке получилось 2422657 жидкостных ячейки и 220431 частичных ячеек.

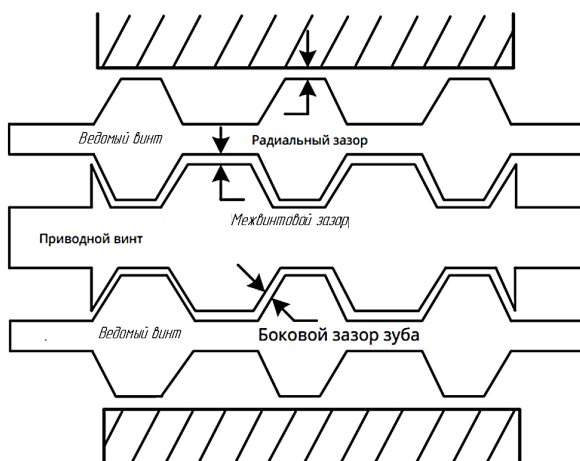


Рис.1. Схематический чертеж зазоров в трехвинтовом насосе

Граничными условиями модели были следующие: давление на входе и выходе, которые задавались равными 0,1 МПа и 1 МПа соответственно. Кроме того, задавалась рабочая жидкость, турбинное масло Т-30 с плотностью 890 кг/м^3 и динамической вязкостью $0,046 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Заданная частота вращения ведущего винта 1450 об/мин, ведомых винтов — 1450 об/мин. Движение жидкости в зазорах представляет собой турбулентный поток. Использована модель турбулентности k -эпсилон (k - ϵ). Минимальная величина зазора выбрана 0,01 мм. В зазоре выбран максимальный уровень дробления каналов 9.

Для исследования влияния зазора на объемный КПД трехвинтового насоса, проводилось моделирование при различных значениях радиального и межвинтового зазоров, изменяемых в пределах от 0,1 до 0,4 мм. Графики зависимости объемных утечек q от межвинтового и радиального зазора δ приведены на рис. 2.

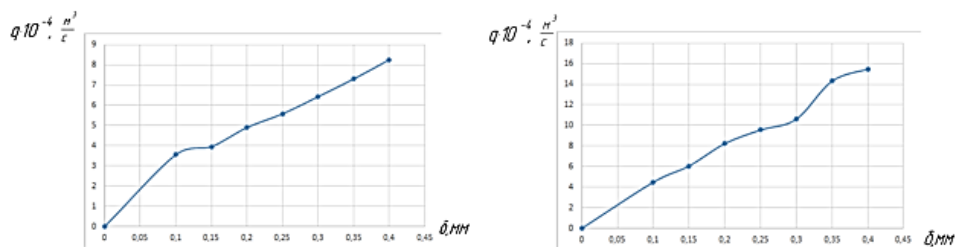


Рис. 2. Графики зависимости объемных утечек q от межвинтового и радиального зазора δ

Результаты показывают, что при постоянной скорости вращения и увеличении межвинтового зазора с 0,1 до 0,4 мм подача трехвинтового насоса снижается на 4 % при разности давлений 0,9 МПа. При увеличении радиального зазора с 0,1 до 0,4 мм подача снизилась на 15 % при разности давления 0,9 МПа. Из результатов моделирования следует, что наибольшее влияние на утечки, а, следовательно, на объемный КПД насоса, оказывает радиальный зазор. Использование метода CFD для проектирования и оптимизации насосов является одним из перспективных направлений развития в энергомашиностроении.

Литература

- [1] Чиняев И.А. *Роторные насосы (справочное пособие)*. Москва, Машиностроение, 1969, 216 с.
- [2] Балденко Д.Ф., Бидман Г.М., Калишевский В.К. *Винтовые насосы*. Москва, Машиностроение, 1982, 224 с.
- [3] Кулагин А.В., Демидов С.Ю., Прокофьев В.Н., Кондаков Л.А. *Основные теории и конструирование объемных гидropередач*. Москва, Высш. шк., 1968, 391 с.
- [4] Zhao Y., Zhu B. Performance analysis of embedded tri-screw pump based on computational fluid dynamics. *Journal of Mechanical Science and Technology*. URL: <https://www.extrica.com/article/22005> (accessed 25.10.2023).

Study of the influence of radial and interscrew clearance on leaks in a three-screw pump

Azarenko Nikita Alexandrovich

azarenko_2016@list.ru

Shitohina Olga Grigorievna

shitohina@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The creation of radial and inter-screw leakage clearance in a three-screw pump was studied using the CFD method in SOLIDWORKS Flow Simulation. The types of gaps in a three-screw pump are considered. Compliance with all clearances for the positive displacement pump was noted. The calculation model is described. It was concluded that the radial clearance has the greatest influence on leakage, and, consequently, on the positive displacement pump efficiency, than the inter-screw clearance. It is noted that the use of CFD models contributes to the design and optimization of three-screw pumps.

Keywords: screw pump, three-screw pump, pump leaks, volumetric losses

УДК 621.165

Использование КОМПАС - 3D для параметрического построения профилей рабочих лопаток турбин

Шевелев Денис Владимирович

denis.v.shevelev@bmstu.ru

Жариков Артем Андреевич

artemzhrk@gmail.com

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

Известно, что лопаточный аппарат турбоустановки является его неотъемлемой частью, профилирование — трудоемкий процесс, имеет итерационный характер и требует высокой квалификации инженера-конструктора и значительных временных затрат. Рассмотрена возможность применения САПР для ускорения построения профиля пера при профилировании рабочей лопатки турбины. Представлен вариант использования параметризации для построения бесконечного числа профилей, отличающихся характерными параметрами. Сделаны выводы, что параметрический режим построения САПР можно применять при профилировании лопаток турбин, ведь он существенно позволяет сократить затраченное время.

Ключевые слова: турбина, КОМПАС-3D, параметризация, построение профиля рабочей лопатки турбины

Турбиной называется лопаточная машина, преобразующая внутреннюю, потенциальную и кинетическую энергию рабочего тела в механическую работу на валу. В теплоэнергетике широкое распространение получили осевые паровые турбины, лопаточный аппарат которых обтекается потом водяного пара [1]. Паровые турбины имеют, как правило, многоступенчатую конструкцию, структурным элементом которой является ступень — последовательная совокупность двух лопаточных решеток: неподвижной — соплового аппарата, и вращающейся — рабочего колеса.

В ходе термогазодинамического расчета ступени по средней линии тока, определяются ее геометрические характеристики: высота и осевая протяженность лопаточных решеток, число лопаток, углы входа и выхода потока и др. Сложная пространственная структура потока и желание получить высокий КПД ступени турбины, вызывает необходимость изменения геометрических характеристик лопаточного аппарата ступени по его высоте — от корневого к периферийному сечению, согласно тому или иному выбранному закону профилирования турбины.

Для построения пера лопатки турбины, зачастую, требуется выполнить ее профилирование на 8–12 радиусах. Профиль лопатки на заданном радиусе, может быть выбран, например, из атласа профилей [2]. Однако количество представленных там вариантов профилей ограничено, и не позволяет охватить все возможные комбинации возникающих в ходе расчета геометрических характеристик. В этом случае выполняется построение профиля по той или иной методике [3]. Данный процесс даже для одного радиуса довольно

трудоемкий, имеет итерационный характер и требует высокой квалификации инженера-конструктора и значительных временных затрат. Ускорить процесс построения профиля возможно средствами параметрического моделирования, которые предоставляют современные САПР, например КОМПАС-3D [4].

КОМПАС-3D — это российская импортонезависимая система трехмерного проектирования. САПР широко используется для проектирования изделий основного и вспомогательного производств в таких отраслях промышленности, как машиностроение (транспортное, сельскохозяйственное, энергетическое, нефтегазовое, химическое и т. д.), приборостроение, авиастроение, судостроение, станкостроение, вагоностроение, металлургия, промышленное и гражданское строительство, товары народного потребления и т. д.

Параметрический режим — это режим создания и редактирования геометрических объектов и объектов оформления, в котором параметрические ограничения накладываются автоматически.

Ассоциативные объекты «помнят» о своей принадлежности к базовому объекту (отрезку, окружности, другому размеру и т. д.) или к нескольким объектам. При редактировании параметризованных и ассоциативных объектов перестроение изображения происходит таким образом, что соблюдаются все наложенные на объекты ограничения.

В качестве взаимосвязей объектов построения в данной работе выступают такие ограничения как: «Зафиксировать точку», «Касание», а также угловые, диаметральные и линейные размеры [5].

С использованием возможностей параметрического проектирования реализована методика построения профиля пера лопатки турбины, изложенная в работе [6].

Переменными параметризации для построения профиля пера лопатки являются размеры: осевая протяженность хорды профиля $b_{ал}$, угол установки профиля $\gamma_{уст}$, угол входа потока $\beta_{1л}$ угол и выхода $\beta_{2л}$, диаметр входной и выходной кромки $d_{вх}$, $d_{вых}$, углы касательной к вогнутой поверхности профиля $\gamma_{1к}$, $\gamma_{2к}$, углы касательной к выпуклой поверхности профиля $\gamma_{1с}$, $\gamma_{2с}$ (рис. 1).

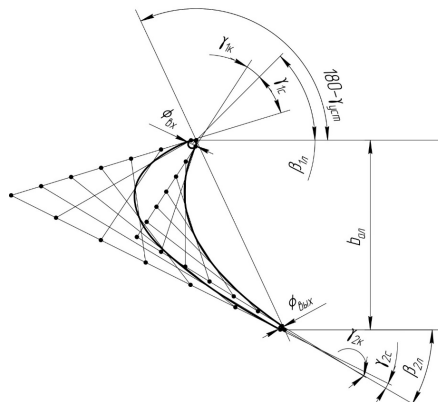


Рис. 1. Параметризация профиля пера лопатки

Данная параметрическая модель профиля лопатки позволяет осуществлять автоматическое перестроение при изменении одного или нескольких геометрических параметров в широком диапазоне значений. Так, на рис. 2 представлены варианты профиля для различных геометрических углов входа.

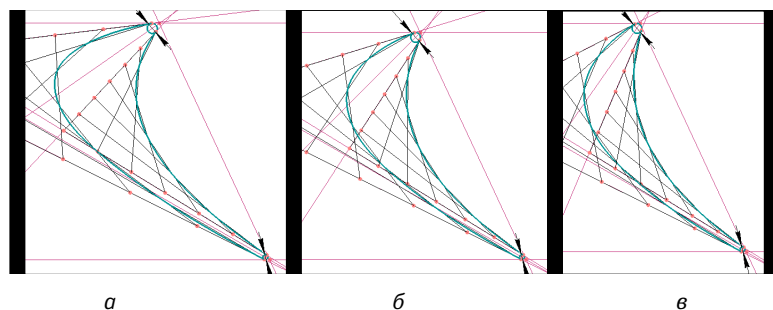


Рис. 2. Варианты профиля лопатки при различных β_1 ($\beta_2 = \text{const}$):

а — $\beta_1 = 35^\circ$; б — $\beta_1 = 45^\circ$; в — $\beta_1 = 55^\circ$

Построение 3D-модели пера лопатки методами лофтинга по нескольким сечениям с профилями с параметрическими параметрами, позволит, в перспективе, построить полностью параметрическую модель лопатки. Это сократит период разработки турбины и выпуска конструкторской документации.

Литература

- [1] Шляхин П.Н. *Паровые и газовые турбины*. Москва, Энергия, 1974.
- [2] Дейч М.Е., Филиппов Г.А., Лазарев Л.Я. *Атлас профилей решеток осевых турбин*. Москва, Машиностроение, 1965, 96 с.
- [3] Кириллов И.И. *Теория турбомашин*. Ленинград, Машиностроение, 1972.
- [4] КОМПАС-3D. URL: <https://kompas.ru/kompas-3d/about/> (дата обращения 09.04.24).
- [5] Большаков В.П. *Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D*. Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2010.
- [6] Михальцев В.Е. *Методика расчета и основы проектирования проточной части газовой турбины*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1971, 172 с.

Using COMPASS - 3D for parametric construction of turbine blade profiles

Shevelev Dtnis Vladimirovich

denis.v.shevelev@bmstu.ru

Zharikov Artem Andreevich

artemzhrk@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

It is known that the turbine turbine blade is an integral part of it, profiling is a laborious process, has an iterative character and requires highly qualified design engineer and significant time costs. The possibility of using CAD to accelerate the construction of a pen profile when profiling a turbine blade is considered. A variant of using parameterization to build an infinite number of profiles with different characteristic parameters is presented. It is concluded that the parametric CAD construction mode can be used for profiling turbine blades, because it significantly reduces the time spent.

Keywords: turbine, COMPASS-3D, parameterization, profile construction of the turbine blade

УДК 621.18

Разработка и оптимизация конструкции парогенератора для паротурбиной установки на пентафторпропане

Ганков Максим Сергеевич

gankovms@student.bmstu.ru

Ильичев Владимир Юрьевич

ilyichev.vyu@bmstu.ru

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

Рассмотрены основные типы конструкций, используемых в качестве парогенераторов. Произведен оптимизационный расчет парогенератора турбоустановки, работающей на органическом рабочем теле — пентафторпропане. Описана последовательность этапов проектирования, которая привела к достижению минимальной длины трубок секций. Представлен эскизный проект, а также компоновка трубных пучков секций. Спроектированный парогенератор имеет единый корпус и минимальные габариты, что является необходимым требованием, предъявляемым к установкам контейнерного типа.

Ключевые слова: парогенератор, пентафторпропан, оптимизация конструкции, органический цикл Ренкина

В паротурбинных установках, работающих по органическому циклу Ренкина, подвод теплоты в цикле осуществляется в парогенераторах, которые в большинстве случаев представляют собой кожухотрубные теплообменные аппараты, конструкции которых представлены в работах [1–3] или же ребойлеры [4], которые наиболее распространены в химической промышленности. Наиболее часто встречающиеся парогенераторы представляют собой несколько теплообменных аппаратов в отдельных корпусах. Целью данной работы является разработка эскизного проекта и компоновки парогенератора на пентафторпропане (R245fa) и оптимизация его размеров на основе исходных данных, полученных при расчете тепловой схемы ПТУ, использующей в качестве первичного теплоносителя воду из геотермального источника.

На начальном этапе проектирования расчет парогенератора производился из схемы течения «противоток», при которой греющая среда — вода, протекающая внутри трубок 16х2, а нагреваемая среда — пентафторпропан, осуществляет движение в межтрубном пространстве. Определение теплофизических свойств теплоносителей производилось при помощи набора функций CoolProp [5]. Расход греющей воды определялся из условия его минимума при заданном минимальном температурном напоре $\Delta t_{min} = 10^\circ\text{C}$, а число трубок для всех секций (экономайзера, испарителя и пароперегревателя) считалось постоянным. В результате такого расчета были получены длины трубок экономайзера $l_e = 10,2$ м, испарителя $l_u = 1,23$ м и пароперегревателя $l_m = 0,42$ м. Для данной схемы течения была предпринята попытка увеличения числа теплообменных трубок за счет снижения скорости движения первично-

го теплоносителя. Это привело к существенному росту числа трубок, однако длина экономайзера уменьшилась всего лишь до 8,86 м.

После этого было решено увеличить температурный напор и расход греющей среды за счет повышения минимального температурного напора до $\Delta t_{\min} = 18$ °С. Данное решение способствовало снижению длины трубок до $l_3 = 6,25$ м. Из анализа полученных данных было установлено, что проектирование парогенератора по данной схеме течения теплоносителей не имеет смысла по причине неудовлетворительно большой длины трубок экономайзера, в то время как остальные секции имеют сравнительно небольшие размеры.

На следующем этапе была предпринята попытка перехода к перекрестной схеме течения в экономайзере за счет установки в нем ряда поперечных перегородок, при сохранении противоточного течения в остальных секциях. По методике, изложенной в работе [6], была определена поправка среднего логарифмического температурного напора на перекрестный ток, которая составила $\varepsilon_{\Delta t} = 1$ при определенных в ходе расчета температурах теплоносителей на входе и выходе в экономайзер. Компоновка пучка труб была выбрана шахматной с поперечным шагом $s_1 = 0,022$ м, а продольным — $s_2 = 0,018$. При такой разбивке и малом числе перегородок межтрубный теплоноситель имеет низкие скорости, что не способствует значительному увеличению коэффициента теплоотдачи с его стороны.

При увеличении числа перегородок и уменьшении скорости первичного теплоносителя с целью увеличения теплообменной поверхности и интенсификации теплообмена со стороны пентафторпропана. В результате скорость движения греющей воды в экономайзере была снижена до 0,47 м/с, что при массовом расходе $G_1 = 19,5$ кг/с привело к увеличению числа трубок до 340 штук. При числе перекрестных участков, равном 19, длина трубок экономайзера составила $l_3 = 1,22$ м, что является допустимым для проектируемой конструкции парогенератора для ПТУ контейнерного типа.

На заключительном этапе оптимизации парогенератора из конструктивных соображений возможности компоновки трубного пучка был выбран внутренний диаметр парогенератора $D_{\text{внут}} = 0,6$ м, а также определялось необходимое число труб секций испарителя и пароперегревателя из условия их размещения в выбранном кожухе при длине трубок этих секций, равной или близкой к длине трубок экономайзера. Итоговые результаты многовариантного расчета приведены в таблице.

Результаты расчетов секций парогенератора

Параметр	Экономайзер	Испаритель	Пароперегреватель
Число трубок, шт	340	72	110
Длина трубок l , м	1,22	1,22	0,71
Скорость воды в трубках c_l , м/с	0,47	1,88	1,75
Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² · °С)	1317	5188	591

Эскиз компоновки трубных пучков представлен на рис. 1.
 Эскиз конструкции парогенератора представлен на рис. 2.

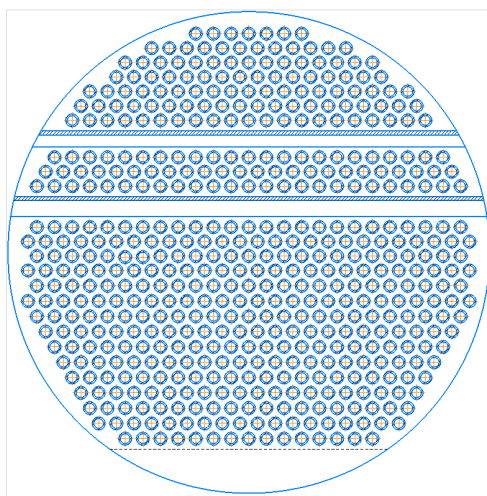


Рис.1. Эскиз трубных пучков

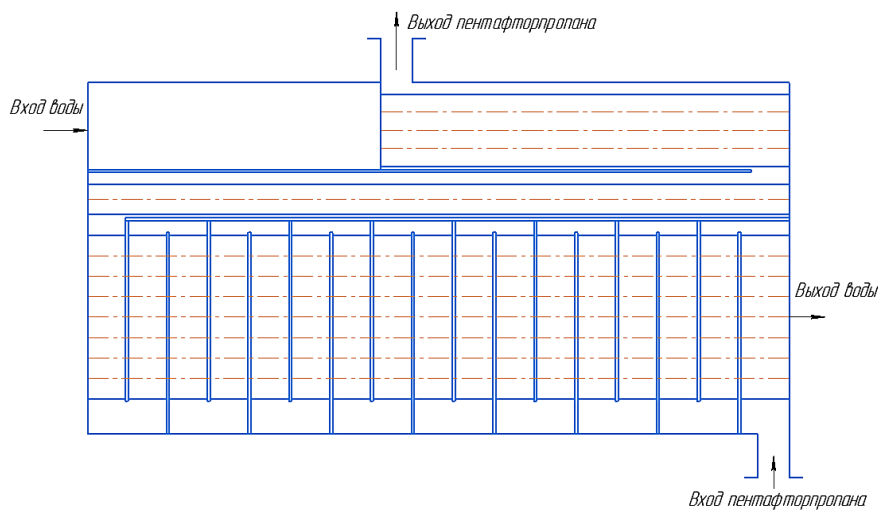


Рис. 2. Эскиз конструкции парогенератора

По полученным результатам стоит отметить, что секция пароперегревателя получилась меньше, чем секции экономайзера и испарителя. Это связано с тем, что в данной секции для увеличения длины трубок необходимо увеличивать скорость греющей воды в них на величину значительно больше допустимой, хотя это приводит к уменьшению числа трубок секции. Таким образом, была достигнута цель данной работы, заключавшаяся в разработке

и оптимизации конструкции парогенератора на пентафторпропане R245fa. На основе полученного эскизного проекта может быть произведена проработка его конструктивного исполнения.

Литература

- [1] Серегина Ю.С., Щукина Т.В., Мохаммед Е.А. К вопросу выбора сточно-фреонового теплообменника для парокомпрессионного насоса. *Экология и промышленность России*, 2018, т. 22, № 8, с. 4–7.
- [2] Антаненкова И.С., Сухих А.А., Ежов Е. В. Теплотехнические характеристики испарителя и конденсатора ТНУ на R22 с поверхностями, обработанными по технологии деформирующего резания. *Холодильная техника*, 2016, № 10, с. 30–37.
- [3] Хуотари Ю., Хонкатукия Ю. *Способ нагрева и/или испарения органической среды и теплообменный блок для извлечения теплоты от потока горячего газа*. Патент № 2403522 РФ, 2010.
- [4] Ясашин В.А., Демиденко М.С. Анализ качественных характеристик кожухотрубчатого испарителя (ребойлера) в производственном цикле сжиженного природного газа. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*, 2020, № 2 (116), с. 42–47.
- [5] *CoolProp*. URL: <http://www.coolprop.org> (дата обращения 14.03.2024).
- [6] Березин В.И., Аронсон К.Э., Блинов С.Н. *Теплообменники энергетических установок*. Екатеринбург, Изд-во Сократ, 2003, 968 с.

Development and optimization of the design of a steam generator for a pentafluoropropane steam turbine plant

Gankov Maksim Sergeevich

gankovms@student.bmstu.ru

Ilyichev Vladimir Yurievich

ilyichev.vyu@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The main types of structures used as steam generators are considered. An optimization calculation of the steam generator of a turbine unit operating on an organic working medium — pentafluoropropane has been performed. The sequence of design stages is described, which led to the achievement of the minimum length of the tube sections. A preliminary design is presented, as well as the layout of the tube bundles of sections. The designed steam generator has a single body and minimal dimensions, which is a necessary requirement for container-type installations.

Keywords: *steam generator, pentafluoropropane, design optimization, organic Rankine cycle*

УДК 621.165-155

Результаты численного моделирования высокооборотной центростремительной турбины на фреоне R245fa в пакетах FloEFD и Ansys CFX

Шевелев Денис Владимирович¹

denis.v.shevelev@bmstu.ru

Ганков Максим Сергеевич¹

gankovms@student.bmstu.ru

Шифрин Борис Аронович²

bshifrin@mail.ru

Картуесова Анна Юрьевна²

turbocon@kaluga.ru

¹ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия² ЗАО НПВП «Турбокон», Калуга, Россия

Приведен сравнительный анализ результатов численных газодинамических расчетов в FloEFD и Ansys CFX на модели ступени центростремительной турбины на органическом рабочем теле (фреон R245fa). Описаны особенности задания рабочего тела в выполненных расчетах. Получены значения параметров, которые позволяют судить об эффективности спроектированной ступени, а также о корректности применения использованных расчетных пакетов. Установлено, что расчеты в Ansys CFX более достоверны и физичны.

Ключевые слова: центростремительная турбина, фреон R245fa, численное моделирование, уравнения состояния, FloEFD, Ansys CFX

Утилизация низкопотенциального тепла является одной из актуальных задач современной энергетики. С целью ее решения создаются установки, работающие по органическому циклу Ренкина (ОЦР), в которых в качестве рабочего тела используются низкокипящие рабочие тела (НРТ), имеющие температуру кипения ниже, чем у воды. В связи с рядом преимуществ, могут применяться центростремительные турбины.

Был выполнен расчет цикла паротурбинной установки мощностью нетто 200 кВт, или же 256 кВт на валу, использующей в качестве рабочего тела фреон R245fa с температурой $t_0 = 120$ °С и давлением $p_0 = 1,68$ МПа на входе, а давление на выходе — $p_1 = 0,2023$ МПа. При данных параметрах расход рабочего тела составляет $G = 7,92$ кг/с. В виду небольшой мощности установки, предлагается использование центростремительной турбины, рабочее колесо которой было рассчитано и спроектировано по методикам, описанным в [1, 2]. Для уменьшения диаметра колеса, а также увеличения высоты сопловых лопаток, была выбрана частота вращения $n = 19\,000$ об/мин. Трехмерная модель ступени турбины представлена на рис. 1.

Для данной модели ступени турбины были произведены численные исследования в пакетах численного моделирования FloEFD [3] и Ansys CFX [4] с целью определения действительной мощности на валу.

При создании расчетной модели в FloEFD изначально была выбрана модель фреона R245fa, описываемая уравнениями состояния, которые исполь-

зуются в NIST REFPROP [5]. По результатам численного расчета получено, что расход на выходе из рабочего колеса составил 8,19 кг/с, а крутящий момент на колесе $M = 99,96 \text{ Н} \cdot \text{м}$, что соответствует мощности на валу $N = 198,89 \text{ кВт}$. Разница в мощности составила 22,3 %. Также в процессе расчета производилось наблюдение за изменениями параметров полного и статического давления на входе в рабочее колесо. Значение статического давления перед рабочим колесом, осредненное по расходу, оказалось ниже расчетного $p_l = 0,56 \text{ МПа}$ на 5,57 %, в то время как полное давление с каждой последующей итерацией изменялось в интервале от 1–1,4 МПа до 10^5 МПа , что не соответствует предположению, что полное давление в любой точке в турбине не может превышать полное давление на ее входе.

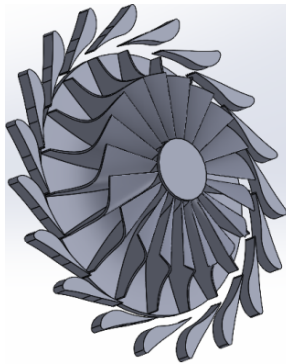


Рис. 1. Модель ступени центробежной турбины

Помимо модели реального газа NIST REFPROP была произведена попытка моделирования течения газа в FloEFD с использованием модели реального газа Редлиха — Квонга. В процессе расчета также производилось наблюдение за изменением параметров среднерасходного полного и статического давления, определенных по среднему расходу. При данной модели реального газа статическое давление на входе в рабочее колесо составило $p_l = 0,517 \text{ МПа}$, что меньше на 7,68 %. При этом полное давление на входе в рабочее колесо установилось в окрестности $p_l^* = 0,967 \text{ МПа}$, что не противоречит физике процесса, но свидетельствует о значительных потерях в сопловой решетке. Момент на рабочем колесе составил в данном случае $M = 94,66 \text{ Н} \cdot \text{м}$, что соответствует мощности $N = 188,3 \text{ кВт}$ на валу с отклонением в 26,4 % в меньшую сторону от номинальной мощности при расходе через турбину 8,094 кг/с. Проанализировав полученные данные двух расчетов, можно сделать вывод, что ни один расчет в FloEFD не привел к получению необходимой мощности исследуемой модели турбин, но стоит отметить, что несмотря на меньшие отклонения при расчете на модели реального газа NIST, полное давление в ходе расчета изменяется мало понятным образом, что не дает возможности судить о корректности использования данной модели в данном пакете численного моделирования.

Модель центростремительной турбины также была исследована в пакете вычислительной гидрогазодинамики Ansys CFX. Расчетная сетка для данной модели подготавливалась в генераторе сеток Turbogrid. Модель рабочего тела описывалось уравнением состояния реального газа Пенга–Робинсона на основе параметров, определенных с помощью NIST REFPROP. В отличие от FloEFD, в данном CFD пакете была произведен расчет одного межлопаточного канала ступени турбины с наложением условия периодичности на осесимметричные границы соплового аппарата и рабочего колеса. В результате расчета крутящий момент составил $M = 149,66$ Н·м, что соответствует мощности на валу 297,6 кВт при расходе через ступень 8,01 кг/с. Отклонение от расчетной мощности составляет 16,3 % в большую сторону. Полное давление на входе в рабочее колесо составило $p_1^* = 1,56$ МПа, что соответствует весьма малым потерям в сопловых аппаратах центростремительных турбин, а статическое $p_1 = 0,499$ МПа, что отличается от расчетного на 10,9 %. Картина распределения линий тока, полученной в результате расчета в Ansys CFX представлена на рис. 2.

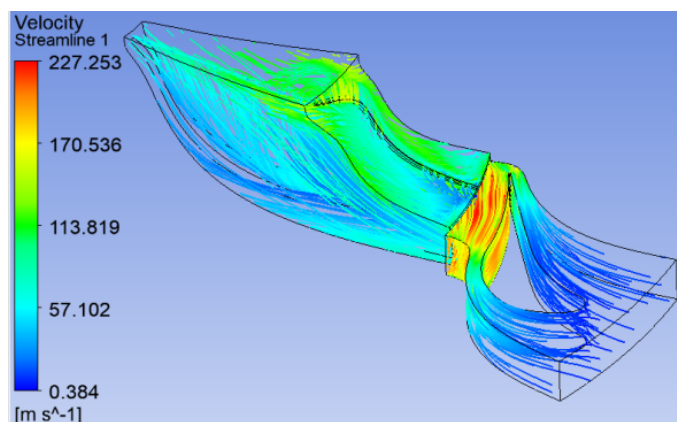


Рис. 2. Распределение линий тока по расчету в Ansys CFX

На основе проведенных расчетов можно сделать вывод, что для данной задачи наиболее точное описание течения в ступени центростремительной турбины имеет расчет, проведенный в Ansys CFX. При этом расчеты, проводимые в FloEFD в зависимости от выбранной модели реального газа R245fa, либо не позволяют проводить корректную оценку уровня потерь элементов ступени, либо сильно завышают потери в сопловом аппарате.

Литература

- [1] Митрохин В.Т. *Выбор параметров и расчет центростремительной турбины на стационарных и переходных режимах*. Москва, Машиностроение, 1974, 228 с.
- [2] Зарянкин А.Е., Шерстюк А.Н. *Радиально-осевые турбины малой мощности*. Москва, Машгиз, 1963, 248 с.

- [3] Официальный сайт Siemens FLOEFD. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/fluids-thermal-simulation/floefd/> (дата обращения 10.04.2024).
- [4] Официальный сайт Ansys. URL: <https://www.ansys.com/> (дата обращения 10.04.2024).
- [5] Официальный сайт NIST. URL: <https://www.nist.gov/srd/refprop> (дата обращения 10.04.2024).

Results of numerical modeling of the high-speed centripetal turbine on freon R245fa in the FloEFD and Ansys CFX packages

Shevelev Denis Vladimirovich¹

denis.v.shevelev@bmstu.ru

Gankov Maksim Sergeevich¹

gankovms@student.bmstu.ru

Shifrin Boris Aronovich²

bshifrin@mail.ru

Kartuyesova Anna Yurievna²

turbocon@kaluga.ru

¹ Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

² SPIE "Turbocon", Kaluga, Russia

A comparative analysis of the results of numerical gas dynamic calculations in FloEFD and Ansys CFX on a model of a centripetal turbine stage on an organic working fluid (freon R245fa) is presented. The features of the working fluid assignment in the performed calculations are described. As a result of calculations, parameter values were obtained that allow us to judge the effectiveness of the designed stage, as well as the correctness of the application of the used calculation packages. It is established that the calculations in Ansys CFX are more reliable and physical.

Keywords: *centripetal turbine, freon R245fa, numerical modeling, equations of state, FloEFD, Ansys CFX*

УДК 621.565.3

Исследование и оптимизация процесса шоковой заморозки свиных полутуш в холодильной камере воздушно-холодильной машиной

Алферин Даниил Борисович

dan.alf@mail.ru

Шевелев Денис Владимирович

denis.v.shevelev@bmstu.ru

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

Шоковая заморозка является эффективным методом сохранения качества продуктов питания. Применение численного моделирования может оптимизировать этот процесс за счет изучения сложных взаимодействий между воздушным потоком, теплопередачей и геометрией охлаждаемого продукта. В данной статье представлено численное моделирование обтекания свиных полутуш воздушным потоком в камере шоковой заморозки с использованием программного пакета Siemens FloEFD. Целью исследования было найти время, необходимое для охлаждения полутуш от начальной температуры $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до конечной $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Были рассмотрены три варианта расположения воздухоподводящих каналов. Установлено, что минимальным временем охлаждения обладает вариант, при котором воздухопроводы расположены сверху под углом 90 градусов. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании воздушно-холодильных машин и холодильных камер для шоковой заморозки мяса.

Ключевые слова: воздушно-холодильная машина, шоковая заморозка, свиные полутуши, нестационарный теплообмен

Шоковая заморозка — это быстрый и эффективный метод заморозки продуктов питания, при котором температура продукта быстро снижается до очень низкого уровня (обычно $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ или ниже) в течение короткого периода времени. Этот процесс позволяет сохранять качество продукта, продлить его срок годности и обеспечить безопасность пищевых продуктов [1].

Традиционные методы заморозки часто требуют много времени и энергии, а также могут приводить к неравномерному замораживанию и повреждению структуры продуктов. Шоковая заморозка преодолевает эти недостатки, замораживая продукты намного быстрее, что приводит к образованию более мелких кристаллов льда и меньшему повреждению клеток. В результате продукты имеют высокое качество, длительный срок годности и лучшую текстуру после размораживания [2, 3].

Шоковая заморозка находит применение в различных отраслях пищевой промышленности, включая переработку мяса, рыбы, фруктов, овощей и готовых блюд. А также используется для заморозки фармацевтических препаратов и других, чувствительных к температуре материалов.

Для шоковой заморозки туш КРС требуются морозильные камеры значительных размеров, обдуваемые значительными объемами хладоносителя.

Хладоноситель — охлажденный атмосферный воздух, получение которого возможно с помощью воздушно-холодильной машины (ВХМ), схема которой представлена на рис. 1 [4].

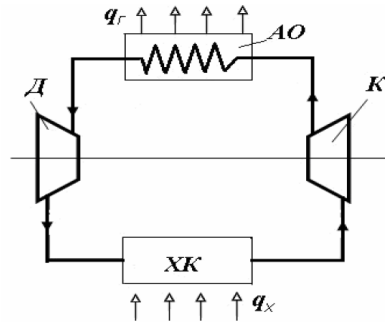


Рис. 1. Схема ВХМ:

Д — детандер; К — компрессор; ХК — холодильная камера;
АО — атмосферный теплообменник

Воздух, компримированный в компрессоре, охлаждается в воздушном или водовоздушном теплообменном аппарате и далее расширяется в детандере, на выходе из которого он приобретает значительную отрицательную температуру. Холодный воздушный поток подается в холодильную камеру, где, обдувая мясную продукцию, охлаждает ее.

Важной задачей является рациональная организация подачи воздушных потоков в холодильную камеру, обеспечивающая минимальное время заморозки мясной продукции.

Численное моделирование обтекания хладагентом охлаждаемой продукции в холодильной камере может быть мощным инструментом для оптимизации процесса шоковой заморозки. Используя средства вычислительной гидродинамики (CFD), возможно изучение и анализ сложных взаимодействий между воздушным потоком, теплопередачей и геометрией охлаждаемого продукта. Это позволяет оптимизировать условия заморозки.

В данной работе представлено численное моделирование обтекания мясных полутуш воздушным потоком в камере шоковой заморозки в программном пакете Siemens FloEFD [5].

Объект шоковой заморозки — свиные полутуши, задавался на основании осредненных свойств полученных согласно [6]: плотность $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$; изобарная теплоемкость $c_p = 3570 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$; коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,437 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Свойства хладагента (атмосферного воздуха) задавались из базы данных FloEFD, его температура $t = 160 \text{ К}$ и расход $G = 8,5 \text{ кг/с}$ получены из расчета термодинамического цикла ВХМ.

Расчетная модель холодильной камеры, включающая в себя геометрию стен, потолка, пола, воздухопроводов и т. д., позволяет разместить 12 свиных полутуш массой 100 кг каждая.

Для моделирования обтекания полутуш воздушным потоком были заданы граничные условия, определяющие ввод хладагента в холодильную камеру и отвод его. Расположение воздухопроводов было задано на основе различных конфигураций, которые обычно используются в камерах шоковой заморозки.

Рассмотрены три варианта конфигураций расположения воздухоподводящих в холодильную камеру каналов (рис. 2).

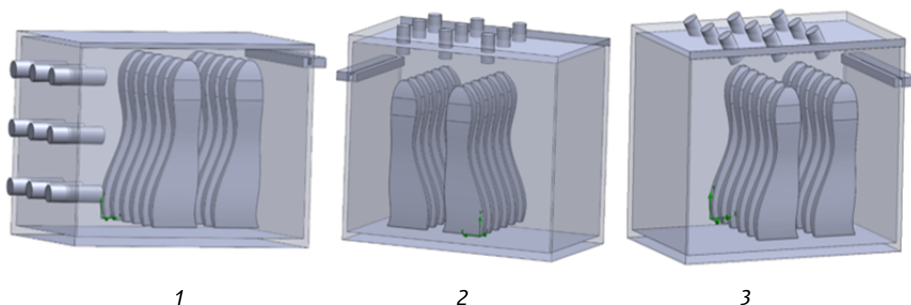


Рис. 2. Варианты расположения воздухоподводящих в холодильную камеру каналов:

1 — воздухопроводы расположены спереди; 2 — воздухопроводы расположены сверху под углом 90° ;

3 — воздухопроводы расположены сверху под углом 30°

Целью исследования являлось нахождение времени, за которое охладятся 12 свиных полутуш от начальной температуры $+30^\circ\text{C}$ до конечной -40°C .

В ходе расчета средствами FloEFD моделировалось обтекание полутуш холодным воздухом с решением задачи нестационарного теплообмена. Критерием остановки расчета являлось достижение средней температуры свиных полутуш -40°C . Картина течения хладагента в холодильной камере, соответствующая варианту 1 расположения подводящих воздухопроводов, представлена на рис. 3.

Результаты моделирования, согласно рассмотренным вариантам, приведены в таблице.

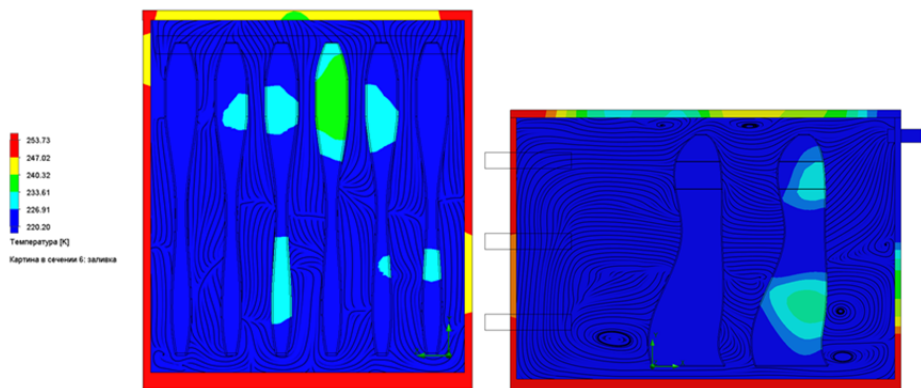


Рис. 3. Линии тока хладагента в холодильной камере

Результаты моделирования

Номер варианта	1	2	3
Т, час	2,7	2,2	3

Установлено, что минимальным временем охлаждения мясных полутуш обладает вариант 2. Данный вариант лучше всего подходит для шоковой заморозки мяса. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании ВХМ и холодильных камер.

Литература

- [1] Кирюхина А.Н. *Исследование влияния технологических факторов на товароведные свойства замороженных тестовых полуфабрикатов и булочных изделий из них*. Дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2005, 177 с.
- [2] Leygonie C., Britz T.J., Hoffman L.C. Impact of freezing and thawing on the quality of meat. *Meat Sci*, 2012, pp. 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.013>
- [3] Крал М., Хонзиркова К., Поспич М. Влияние традиционного или шокового замораживания на потери при размораживании и структурно-механические характеристики говядины. *Теория и практика переработки мяса*, № 1, 2016, с. 6–9.
- [4] Ибраев А.М., Сагдеев А.А. *Теоретические основы холодильной техники*. Нижнекамск, НХТИ, 2012, 124 с.
- [5] *Официальный сайт Siemens FLOEFD*. URL: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/fluids-thermal-simulation/floefd/> (дата обращения 24.10.2023).
- [6] Веретов Л.А. Научные и практические аспекты переработки замороженного мяса. *Мясные технологии*, 2012, № 12, с. 46–50.

Research and optimization of the shock freezing process of pork carcasses in a refrigeration chamber of an air cooling machine

Alferin Daniil Borisovich

dan.alf@mail.ru

Shevelev Denis Vladimirovich

denis.v.shevelev@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Blast freezing is an effective method of preserving the quality of food. The use of numerical simulation can optimize this process by studying the complex interactions between airflow, heat transfer, and the geometry of the product being cooled. This article presents a numerical simulation of air flow around pork sides in a blast freezing chamber using the Siemens FloEFD software package. The purpose of the study was to find the time required to cool half carcasses from an initial temperature of +30°C to a final temperature of –40°C. Three options for the location of air supply channels were considered. It has been established that the minimum cooling time is achieved by the option in which the air ducts are located at the top at an angle of 90 degrees. The results of the study can be used in the design of air-cooling machines and refrigeration chambers for blast freezing of meat.

Keywords: air-cooling machine, blast freezing, pork half-carasses, non-stationary heat exchange

УДК 621.67

Особенности проектирования лопастных насосов с низким коэффициентом быстроходности

Иванов Марк Александрович

m19m075@yandex.ru

Вашенко Анастасия Витальевна

nastya.vashenko.97@mail.ru

Савин Владимир Юрьевич

savin.study@yandex.ru

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

Рассмотрена актуальность использования лопастных насосов с низким коэффициентом быстроходности. Предложена актуализированная методика определения основных размеров рабочего колеса насоса с низким коэффициентом быстроходности. На основании уравнения Эйлера получены выражения для определения окружной скорости рабочего колеса. Выделен предварительный расчет параметров колеса и проверочный расчет. Рассмотрен пример определения параметров колеса по актуализированной методике. Уточнен коэффициент окружной скорости для насосов указанного типа.

Ключевые слова: лопастной насос, коэффициент быстроходности, рабочее колесо, КПД насоса

Рабочие колеса насосов с низким коэффициентом быстроходности широко применяют в водоснабжении и в нефтедобывающем производстве для подачи нефти из скважин, в которых необходимо создание больших напоров. Тихоходные колеса нашли применение в области пищевого производства, где часто требуется подача небольшого количества жидкости при относительно большом напоре. Использование центробежных насосов в этих целях приводит к применению тихоходных машин.

Стандартная методика расчета лопастного насоса не учитывает особенности насосов с низким коэффициентом быстроходности. Рассмотрим особенности расчета насоса с низким коэффициентом быстроходности на примере насоса на следующие параметры: подача $Q = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$; напор $H = 80 \text{ м}$; частота вращения $n = 2900 \text{ об/мин}$.

На первом этапе определяем коэффициент быстроходности по формуле

$$n_s = 3,65n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}. \quad (1)$$

Из этого выражения следует, что коэффициент быстроходности при заданном постоянном числе оборотов тем больше, чем меньше напор и больше подача насоса. При малых Q и больших H (малое значение n_s) колеса имеют узкую проточную часть и самое большое отношение диаметра колеса к диаметру горловины, достигающее до отношения $D_2/D_0 = (2,5-3)$.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что тихоходные колеса возможно применять, чтобы создавать большие напоры при относительно малых

подачах. Используя приведенные исходные данные, получаем коэффициент быстроходности $n_s = 32,98$.

Ряд источников, где приведены методики расчета насосов не предусматривают расчет насоса с коэффициентами быстроходности $n_s = 30\text{--}40$. Между тем, в работе [1] отмечено, что насосы с такими коэффициентами могут изготавливаться, если КПД насоса не является главным фактором при его эксплуатации. Кроме того, анализ эксплуатирующегося насосного оборудования привел к выводу о широком использовании таких насосов в промышленности.

Наружный диаметр рабочего колеса D_2 определяем исходя из окружной скорости u_2 рабочего колеса на выходе

$$D_2 = \frac{60u_2}{\pi n}. \quad (2)$$

Окружную скорость рабочего колеса в первом приближении удобно определять по ее соотношению с окружной составляющей абсолютной скорости жидкости v_{u2} (далее — окружной скорости жидкости). Исходя из треугольника скоростей на выходе из рабочего колеса, значение окружной скорости жидкости является определенной составляющей значения окружной скорости рабочего колеса. В связи с этим вводится понятие коэффициента окружной скорости на выходе из колеса:

$$K_{u2} = \frac{v_{u2}}{u_2}. \quad (3)$$

В первом приближении принимаем $K_{u2} = 0,5$. Т. е. принимаем такое соотношение скоростей, при котором окружная скорость жидкости равна половине окружной скорости рабочего колеса.

Многие формулы в методиках расчета рабочего колеса представлены как эмпирические или полуэмпирические и не всегда отражают физический смысл происходящих явлений. Таким выражением является и формула для определения окружной скорости на выходе из рабочего колеса в работе [2]. При этом выражение для определения значения окружной скорости жидкости на выходе из рабочего колеса удобно вывести из частного вида уравнения Эйлера.

Подводы многих конструкций, приведенные в работе [3], например прямоосный конфузор, не закручивают поток и момент скорости: $v_{u1}R_1 = 0$. В этом случае

$$H = \frac{\omega}{g} v_{u2} R_2. \quad (4)$$

Выражая окружную скорость жидкости на выходе из рабочего колеса, получим:

$$v_{u2} = \frac{Hg}{\omega R_2}. \quad (5)$$

Произведение в знаменателе данного выражения — это ни что иное как окружная скорость рабочего колеса на выходе. Получаем

$$v_{u2} = \frac{Hg}{u_2}. \quad (6)$$

Переносим окружную скорость колеса в левую часть, и, с учетом коэффициента окружной скорости, получаем

$$v_{u2}u_2 = Hg; \quad (7)$$

$$K_{u2}u_2^2 = Hg. \quad (8)$$

Откуда

$$u_2 = \sqrt{\frac{Hg}{K_{u2}}}. \quad (9)$$

В нашем случае рассчитанная окружная скорость колеса в первом приближении равна 39,6 м/с.

Тогда наружный диаметр колеса, в первом приближении, согласно формуле равен $D_2 = 0,26$ м.

Предварительное значение объемного КПД, рассчитанного по формуле [2]

$$\eta_{об} = \frac{1}{1+0,68n_s^{-2/3}}, \quad (10)$$

равно 0,938.

Действительная подача с учетом объемных потерь $Q_p = 0,0074037$ м³/с.

Исходя из уравнения неразрывности, определяем диаметр D_0 :

$$D_0 = \sqrt{\frac{4Q_p}{\pi v_0}}. \quad (11)$$

Значение v_0 , определенное по формуле С.С. Руднева [2] составило $v_0 = 0,404$ м/с. Тогда $D_0 = 0,153$ м.

Исходя из равенства площадей входа и выхода, получаем ширину канала на выходе

$$b = \frac{D_0^2}{4D_2} = 0,225 \text{ м}. \quad (12)$$

Одним из важнейших вопросов проектирования рабочего колеса является выбор угла установки лопасти на выходе β_2 (рис. 1). В работе [2] приведена методика определения угла β_2 , исходя из соотношения относительных скоростей жидкости и угла установки лопасти на входе. Рассчитанный по этой методике угол составил $\beta_2 = 14,83^\circ$.

Данное значение полученного угла β_2 не согласуется с опытными данными, представленными в различных работах, например в работе [1]. Для близких коэффициентов быстроходности предлагается использовать значение угла β_2 в пределах от 30° до 36° , указанное в работе [4]. Анализируя данное несоответствие можно отметить, что для насосов с таким низким коэффициентом быстроходности одним из определяющих факторов является наружный диаметр рабочего колеса, в свою очередь определяющие прочностные харак-

теристики колеса. При увеличении угла β_2 в соответствии с преобразованным уравнением Эйлера [2] диаметр рабочего колеса уменьшается. Это важно именно для колес с таким низким коэффициентом быстроходности, уже имеющих чрезвычайно высокие относительные наружные диаметры.

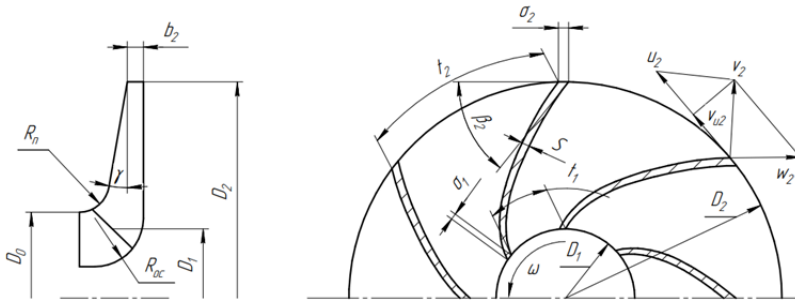


Рис. 1. Основные размеры рабочего колеса

Таким образом, произведя проверочный расчет в соответствии с преобразованным уравнением Эйлера [2]:

$$u_2 = \frac{v_{2m}}{2\operatorname{tg}\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{v_{2m}}{2\operatorname{tg}\beta_2}\right)^2 + gH_{T\infty} + u_1v_0\cos\alpha_1}, \quad (13)$$

где v_{2m} — меридианная скорость потока на выходе; $H_{T\infty}$ — теоретический напор при бесконечном числе лопастей; α_1 — угол установки лопастей на входе.

Получена скорость u_2 , равная 35,6 м/с. В соответствии с этим, диаметр рабочего колеса составил 226 мм. Исходя из указанных соотношений можно рекомендовать коэффициент окружной скорости k_{u2} , равный 0,62.

Таким образом, предложенная актуализированная методика позволяет рассчитать основные параметры рабочих колес насосов с входом в виде прямоосного конфузора с низким коэффициентом быстроходности.

Литература

- [1] Руднев С.С., Матвеев И.В. *Методическое пособие по проектированию лопастных насосов*. Москва, Изд-во МВТУ, 1974, 32 с.
- [2] Михайлов А.К., Малюшенко В.В. *Лопастные насосы. Теория расчет и конструирование*. Москва, Машиностроение, 1977, 288 с.
- [3] *Насосы для водо-теплоснабжения и коммунального хозяйства*. Каталог ОАО «ЭНА». Щелковский насосный завод. URL: <https://www.ena.ru/products/> (дата обращения 15.10.2023).
- [4] *Гидравлика, гидромашины и гидроприводы*. Москва, Машиностроение, 1982, 423 с.

Design features of vane pumps with a low coefficient of speed

Ivanov Mark Alexandrovich

m19m075@yandex.ru

Vaschenko Anastasia Vitalievna

nastya.vashenko.97@mail.ru

Savin Vladimir Yurievich

savin.study@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The relevance of using vane pumps with a low coefficient of speed is considered. An updated method for determining the basic dimensions of the impeller of a pump with a low coefficient of speed is proposed. Expressions for determining the circumferential velocity of the impeller are obtained based on the Euler equation. A preliminary calculation of the wheel parameters and a verification calculation are highlighted. An example of determining the parameters of a wheel using an updated method is considered. The circumferential velocity coefficient for pumps of the specified type has been clarified.

Keywords: vane pump, speed coefficient, impeller, pump efficiency

УДК 621.438

Анализ методов расчета изоэнтропных процессов в воздухе при термодинамическом расчете газотурбинной установки

Шевелев Денис Владимирович

denis.v.shevelev@bmstu.ru

Апокин Игорь Александрович

igorek_apokin@mail.ru

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

Обусловлена необходимость на этапе проектирования газотурбинного двигателя (ГТД) корректного подбора метода термодинамического расчета сжатия воздуха в таком ключевом элементе тепловой схемы ГТД как компрессор. Произведены расчеты изоэнтропного процесса сжатия воздуха в компрессоре ГТД по четырем различным математическим моделям. Осуществлен сравнительный анализ полученных результатов и сделан вывод относительно каждого из них. Рекомендован один из наиболее точных и подходящих методов расчета для использования в термодинамическом расчете ГТД.

Ключевые слова: термодинамический расчет, ГТД, WaterSteamPro, Coolprop, компрессор

Создание нового газотурбинного двигателя (ГТД) начинается с формулировки исходных данных и завершается сертификационными испытаниями опытного образца. Даже при применении передовых CAD/CAM/CAE систем, на появление нового двигателя уходят годы. Следует отметить, что процесс разработки ГТД является относительно небольшим по продолжительности, но чрезвычайно важным, так как именно на этом этапе определяются основные параметры и характеристики как двигателя в целом, так и отдельных его элементов [1].

Одним из первых этапов проектирования является этап термогазодинамического расчета тепловой схемы ГТД, на котором определяются важнейшие параметры рабочего процесса — температура газа перед турбиной, степень повышения давления компрессора, расход воздуха на входе в двигатель и расход того или иного топлива, КПД и т. п. От обоснованности выбора на этом этапе методик расчета и наиболее рациональных решений, во многом зависит судьба всего процесса разработки ГТД.

В основу термодинамического расчета тепловой схемы должна быть положена математическая модель двигателя, которая описывает условия совместной работы его ключевых элементов: входного устройства, компрессора, камеры сгорания, турбины, выхлопной системы. В рамках отдельного элемента ГТД, закладывается своя математическая модель, описывающая тот или иной рабочий процесс с привлечением базовых законов сохранения энергии и расхода. Так, в случае термодинамического расчета процесса сжатия воздуха определяются, при заданной степени повышения давления, термоди-

намические свойства воздушного потока на выходе из компрессора, точность определения которых, во многом, будет зависеть от принятых моделей термодинамического процесса и нахождения свойств рабочего тела.

На процесс сжатия воздуха влияет множество факторов, которые обусловлены как термодинамическими особенностями процесса (состав и параметры воздуха на входе, степень повышения давления), так и потерями (газодинамическими и механическими), особенностями конструкции (теплоотводом в окружающую среду, утечками и отборами воздуха) и пр. Так как полный учет всего набора влияющих факторов на этапе термодинамического расчета невозможен, то делаются неизбежные упрощения и допущения, принимаются упрощенные модели.

В основу математической модели положен изоэнтропный процесс, методика расчета которого хорошо отражена в работе [2]. Так, в этом случае начальные и конечные термодинамические параметры воздушного потока связаны уравнением

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad (1)$$

а работа процесса сжатия может быть определена как

$$l_{ks} = c_p T_1 \left(\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right). \quad (2)$$

Для корректного использования уравнений (1) и (2), необходимо знать такие теплофизические свойства воздуха, как газовая постоянная R и показатель изоэнтропы k . В данной работе сравниваются 4 расчетные модели изоэнтропного процесса сжатия воздуха.

Модель 1. Является наиболее простой, основана на принятии фиксированных значений теплофизических свойств воздуха. Согласно рекомендациям [2]: $k=1,4$, $R=287$ Дж/(кг·К).

Модель 2. Является наиболее точной и отражает свойства воздуха как реального сжимаемого газа. Расчет изоэнтропного сжатия воздуха здесь осуществляется с помощью таблиц стандартных справочных данных [3], которые наиболее точно отражают изменение его свойств от давления и температуры.

Модель 3. Является упрощенной разновидностью модели 2. Установлено, что при параметрах воздуха характерных для газотурбинных установок, его свойства близки к идеальному газу и можно принять однопараметрическую модель изменения его свойств от только температуры [4]. Экспериментальные данные о теплофизических свойствах воздуха в зависимости от температуры аппроксимированы полиномами, которые реализованы в компьютерных программах WaterSteamPro [5] (модель 3.1) и Coolprop [6] (модель 3.2).

Модель 4. В ряде случаев, атмосферный воздух целесообразно представить не как среду фиксированного состава, а как смесь молярных газов, например азота N_2 и кислорода O_2 в массовой пропорции 77:23. Это может

быть необходимым для расчета элементного состава и теплофизических свойств продуктов сгорания, при термодинамическом расчете ГТД. В этом случае расчет процесса сжатия может выполняться по отдельности для каждого из элементов, а итоговые свойства газовой смеси находится по методу аддитивности. В данной работе модель 4 реализовывалась средствами CoolProp.

Для сравнения данных методик был произведен расчет сжатия в компрессоре со степенью повышения давления характерной для современных энергетических ГТУ — $\pi_k=20$ [7]. Начальные параметры воздуха принимались одинаковыми: $T_1 = 290$ К, $p_1 = 100$ кПа. Результаты расчета изобэнтронной работы сжатия приведены в таблице.

Результаты расчета изобэнтронной работы

Параметр	Модель 1	Модель 2	Модель 3.1	Модель 3.2	Модель 4
l_s кДж/кг	391,5	393,8	392,2	393,4	394,8
δ , %	0,584	0	0,406	0,102	0,254

Анализ данных, представленных в таблице, позволил установить, что наименьшей точностью обладает модель 1, в которой не учитывается изменение теплофизических свойств воздуха в процессе сжатия. Наибольшей точностью обладает модель, реализованная в программе Coolprop (модель 3.2), расхождение результатов по сравнению со справочными данными составляет около 0,1 %. Достаточной для инженерных расчетов точностью обладает модель 4, где воздух представлен как смесь молярных газов упрощенного состава. В этом случае, расхождение со справочными данными составляет около 0,25 %. Данную модель можно рекомендовать для использования в термодинамическом расчете ГТД, так как она, помимо своей точности, позволяет гибко учитывать изменение состава свойств рабочего тела по проточной части ГТД.

Литература

- [1] *Проектирование авиационных газотурбинных двигателей*. Москва, Машиностроение, 2000, 454 с.
- [2] Нашокин В.В. *Техническая термодинамика и теплопередача*. Москва, Машиностроение, 1975.
- [3] Сычев В.В., Вассерман А.А., Козлов А.Д., Спиридонов Г.А., Цымарный В.А. *Термодинамические свойства воздуха*. Москва, Издательство стандартов, 1978.
- [4] Ривкин С.Л. *Термодинамические свойства газов. Справочник*. Москва, Энегтоатомиздат, 1987.
- [5] *Официальный сайт WaterSteamPro*. URL: <http://www.wsp.ru/ru/> (дата обращения 08.04.2024).
- [6] *Официальный сайт CoolProp*. URL: <http://www.coolprop.org/> (дата обращения 08.04.2024).
- [7] *Газотурбинные энергетические установки*. Москва, Издательский дом МЭИ, 2011.

Analysis of methods for calculating isotropic processes in air during thermodynamic calculation of a gas turbine installation

Shevelev Denis Vladimirovich

denis.v.shevelev@bmstu.ru

Apokin Igor Alexandrovich

igorek_apokin@mail.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article substantiates the necessity of correct selection of the thermodynamic calculation method for air compression in a compressor, which is a key element of the gas turbine engine (GTE) heat scheme, at the GTE design stage. Calculations of the isentropic air compression process in the GTE compressor were performed using four different mathematical models. A comparative analysis of the obtained results was carried out, and a conclusion was drawn regarding each of them. One of the most accurate and suitable calculation methods for use in thermodynamic calculation of GTE is recommended.

Keywords: *thermodynamic calculation, GTD, WaterSteamPro, Coolprop, compressor*

УДК 621.4

Особенности теплоутилизационной энергоустановки на органическом цикле Ренкина

Жинов Андрей Александрович
Кочетов А.А.

azhinov@bmstu.ru
kochetoff.artem@yandex.ru

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

Большое количество низкопотенциального и бросового тепла может быть полезно использовано в геотермальных и гелеотермальных установках, установках утилизирующих тепло выхлопа двигателей, теплоутилизаторах промышленных печей, металлургических и химических установок. В последнее время в теплоутилизующих системах стали использовать органический цикл Ренкина с нетипичными рабочими телами: фреонами, хладонами, углеводородами и их смесями. Представленная работа посвящена особенностям, сравнению и оценке работы различных органических рабочих тел в цикле Ренкина в установке, утилизирующей тепло выхлопных газов газотурбинного двигателя газоперекачивающего агрегата.

Ключевые слова: органический цикл Ренкина, ОЦР, теплоутилизация, рабочее тело, низкопотенциальное тепло

Проблемы эффективного использования энергоресурсов и теплоутилизации стоят в современном мире чрезвычайно остро. Например, надстройка над существующими энергоустановками теплоутилизующих контуров [1, 2] позволяет полезно использовать «бросовое» тепло промышленных предприятий, тепло выхлопа двигателей, технологических установок, печей и т. п. Большое внимание сегодня уделяется также использованию низкопотенциального тепла геотермальных и гелеотермальных источников, солнечных энергоустановок. Часто в таких теплоутилизующих системах применяют установки с органическим циклом Ренкина (ОЦР) [2–6] и нетипичными для «большой» энергетики рабочими телами, такими как фреоны, хладоны, углеводороды и их смеси, с общим названием — органические рабочие тела (ОРТ). При относительно низких температурах источников тепла теплоутилизационных установок, ОРТ имеют ряд существенных преимуществ [2, 4].

В данной работе исследовалась теплоутилизационная энергоустановка на ОРТ, работающая по циклу Ренкина (см. рисунок). Установка утилизирует тепло выхлопа газотурбинного двигателя газоперекачивающего агрегата ГПА-25 «Ладога» линейной газокомпрессорной станции и позволяет получать около 4,5 МВт дешевой электроэнергии.

Работает представленная схема следующим образом: в утилизирующем теплообменнике «бросовое» тепло выхлопа газотурбинного двигателя передается жидкому ОРТ, который кипит, после чего полученный насыщенный пар направляется в паровую турбину, где вырабатывает полезную мощность на валу. Отработавший в турбине пар ОРТ, находящийся в перегретом состо-

янии [7], направляется в регенератор-газоохладитель, а затем в конденсатор, где конденсируется и с помощью насоса подается в регенератор. После регенератора жидкое ОРТ идет в питательный насос и цикл замыкается [5, 7].

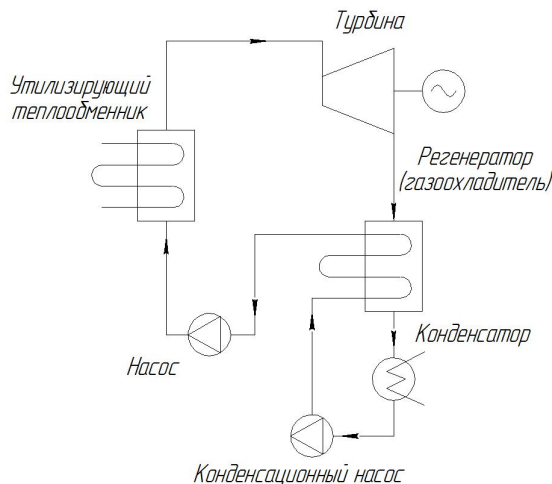


Схема теплоутилизационной установки с ОЦР

Свойства большинства ОРТ, пригодных для работы в теплоутилизационных установках таковы, что процесс расширения пара в турбине ОЦР проходит в области перегретого пара. Для повышения невысокого термического КПД таких установок (в связи с низкими температурами подвода тепла в цикле) требуется использование на выходе турбины регенератора-газоохладителя, возвращающего часть тепла конденсату, что приводит к увеличению термической эффективности установки [7].

Особенностью ОРТ являются также низкая теплота парообразования, это при относительно небольших мощностях позволяет иметь достаточные расходы рабочего тела в цикле, что благоприятно сказывается на конструкции проточной части турбины.

Небольшой теплоперепад на турбину в установках ОЦР позволяет сделать конструкцию турбины простой и, соответственно, более дешевой. У теплоутилизационных установок на ОРТ есть еще ряд существенных преимуществ [7]. Но есть у таких установок и ряд недостатков: ОРТ разлагаются при относительно низких температурах с резким изменением теплофизических свойств, они более вязкие, чем вода, они дороги, часто неэкологичны, требуют особых конструкций уплотнений и т. д.

Проанализировав характеристики современные и перспективных газотурбинных установок газоперекачивающих агрегатов, была рассмотрена возможность применения ОЦР-технологии для утилизации тепла выхлопа ГПА-25 «Ладога», мощностью 25 МВт. Были рассмотрены и просчитаны различные варианты теплоутилизационной установки для этого агрегата, более

подробно исследована схема, представленной на рис. 1. Исследовались характеристики установки при использовании различных ОРТ и различных параметрах цикла. Рассматривалась возможность введения дополнительного промежуточного контура для передачи тепла от котла-утилизатора к теплообменнику ОЦР.

Исследования показали, что фреоны R123, R124, R245fa нецелесообразно использовать в цикле рассмотренной установки. Фреон R600 предпочтительней использовать в качестве рабочего тела ОЦР. Также для безопасной работы энергоустановки на ОЦР, использован промежуточный теплообменный контур, работающий на термическом масле, который передает тепло от котла-утилизатора к утилизирующему теплообменнику ОЦР.

В результате анализа получено, что данная энергоустановка будет вырабатывать мощность, по ОЦР порядка 4,7 МВт с внутренним термическим КПД 17,8 %.

Для рассмотренной схемы спроектирована осевая 4-ступенчатая энергетическая турбина, работающая при частоте вращения ротора 3000 об/мин, монтируемая на общей раме с электрогенератором.

Предварительно расчеты показали, что конструкция регенератора-газоохладителя рассмотренной энергоустановки будет иметь довольно большие габариты, и, как следствие, большую металлоемкость.

Большое количество преимуществ использования органического цикла Ренкина, особенно в теплоутилизационных установках ГТУ и установках, использующих другое низкопотенциальное тепло, представляется очень перспективным. Особенно когда речь идет о простых, модульных, полностью автоматических установках небольшой мощности (до нескольких МВт). Для получения больших единичных мощностей, при высоких параметрах пара, предпочтительным остается регенеративный цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара на традиционном рабочем теле — воде.

Литература

- [1] Zhinov A.A., Shevelev D.V., Karyshev A.K., Anan'ev P.A. The numerical research of the gas flow in the exhaust duct of the gas turbine with a waste heat boiler. *Ain Shams Engineering Journal*, 2018, vol. 9, iss. 4, pp. 1325–1334. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.08.007>
- [2] Жинов А.А., Железнов А.П. Возможность использования различных низкокипящих рабочих тел для утилизации тепла газоперекачивающего агрегата. *Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе. Всерос. науч.-техн. конф.: сб. тр.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019, т. 1, с. 114–117.
- [3] Шубаров Н.С. Сравнение органического и парового циклов Ренкина. *Молодой ученый*, 2017, № 21 (155), с. 160–163. URL: <https://moluch.ru/archive/155/43752/> (дата обращения 15.04.2024).
- [4] Гринман М.И., Фомин В.А. Перспективы применения энергетических установок малой мощности с низкокипящими рабочими телами. *Энергомашиностроение*, 2006, № 1, с. 63–69.
- [5] Белов Г.В., Дорохова М.А. Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2014, № 2. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21693099_81156747.pdf (дата обращения 15.04.2024).

- [6] Крупин Д.Ф., Суворов Д.М. Общие вопросы использования установки на базе органического цикла Ренкина. *Общество, наука, инновации: сб. ст.* Киров, Вятский государственный университет, 2016, с. 1662–1665.
- [7] Кочетов А.А., Жинов А.А. Особенности и преимущества энергоустановок на органическом цикле Ренкина при утилизации низкопотенциального тепла. *Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе. Всерос. науч.-техн. конф.: сб. тр.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, т. 2, 409 с.

Features of the heat recovery power plant on the organic Rankine cycle

Zhinov Andrey Alexandrovich

azhinov@bmstu.ru

Kochetov A.A.

kochetoff.artiom@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

A large amount of low-potential and waste heat can be usefully used in geothermal and geothermal installations, installations that utilize engine exhaust heat, heat exchangers of industrial furnaces, metallurgical and chemical installations. Recently, the organic Rankine cycle with atypical working bodies has been used in heat recovery systems: freons, refrigerants, hydrocarbons and their mixtures. The presented work is devoted to the features, comparison and evaluation of the work of various organic working bodies in the Rankine cycle in an installation that recycles heat from exhaust gases of a gas turbine engine of a gas pumping unit.

Keywords: organic Rankine cycle, ORC, heat recovery, working fluid, low-potential heat

***Секция 5. Методы теории
автоматического управления;
автоматизация и управление
технологическими
процессами и производствами***

УДК 004.934

Разработка системы аугментации данных для анализа речи

Корлякова Мария Олеговна

mkorlyakova@yandex.ru

Васенков Павел Андреевич

pavelvasenkov@yandex.ru

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

Рассмотрены методы аугментации аудиоданных, разработана библиотека функций для расширения данных в речевом анализе. Проведена оценка скорости формирования примеров с аугментацией и сформированы датасеты аугментированных данных в соответствии с требованиями прикладной задачи. Предложены методы ускорения работы процедуры аугментации. В работе использованы датасеты Dusha, RESD и датасет шумов разного типа. Все формируемые примеры гарантировано содержат речь человека и контролируемый уровень зашумления.

Ключевые слова: аугментация данных, распознавание речи, анализ звука, машинное обучение

В последние годы активно внедряется использование машинного обучения в коммерческие продукты, и одной из наиболее частых и актуальных проблем в области нейронных сетей и машинного обучения является недостаток входных данных для обучаемых моделей. Их отсутствие может привести к переобучению и неустойчивости модели к новым данным, что отражается на качестве выдаваемых моделью результатов. Решением данной проблемы является увеличение объема данных, которое возможно выполнить за счет синтеза примеров через механизм аугментации [1].

Аугментация данных — это создание новых обучающих примеров путем внесения изменений в существующие данные. Цель аугментации данных состоит в увеличении разнообразия тренировочного набора и улучшения обобщающей способности модели машинного обучения. Наиболее распространенными сферами применения аугментации данных являются: компьютерное зрение, обработка естественного языка, звуковая обработка для улучшения моделей распознавания.

Рассмотрим особенности аудиоданных и их аугментацию. Каждый аудиосигнал имеет свои определенные характеристики, такие как частота, амплитуда, длительность. Аудиозапись является цифровым представлением физического звука, частота которого находится в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. Звуковые записи доступны во многих форматах, таких как mp3, wma, wav, что позволяет специалисту их анализировать. На рис. 1 приведен пример временной картины звука, записанного в формате wav. На рис. 1, а — чистая речь человека, на рис. 1, б — речь с наложенным шумом.

Процесс аугментации сложный и во время решения задач можно столкнуться с трудностями: аудиоданные имеют временную структуру, и их изменение может существенно влиять на восприятие звука, аудиосигналы содер-

жат высокочастотные компоненты, ввиду этого могут быть чувствительны к искажениям, изменения в звуковых данных могут влиять на восприятие звука. При аугментации аудиоданных необходимо учитывать психоакустические особенности человеческого слуха. Рассмотрим методы аугментации аудиосигналов.

1. Изменение скорости воспроизведения и высоты звука.
2. Добавление шума, что может повысить их устойчивость к различным условиям, включая шум говорящего.
3. Применение эффектов: реверберация, эхо и фазовые искажения.
4. Сдвиг частоты: изменение частоты аудиофайла с целью изменению его тональности.
5. Обрезка и растяжение: изменение длительности аудиофайла искусственным увеличением или уменьшением продолжительности
6. Случайные искажения: добавление случайных искажений, таких как изменение громкости, фильтрация и др.

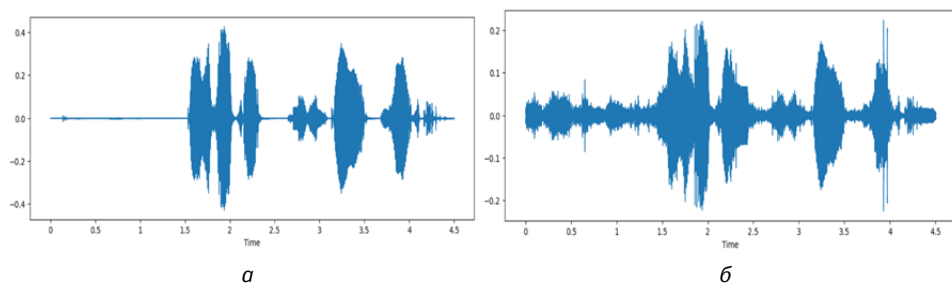


Рис. 1. Аудиосигнал в виде звуковой волны

В большинстве случаев задача распознавания аудиосигналов решается на уровне спектрограмм. Спектрограмма — это представление спектра частот сигнала, изменяющегося со временем. Показывает зависимость спектральной плотности мощности сигнала от времени. Для анализа речи обычно используют форму мел-кепстрального анализа. Примеры результатов мел-кепстрального анализа представлены на рис. 2.

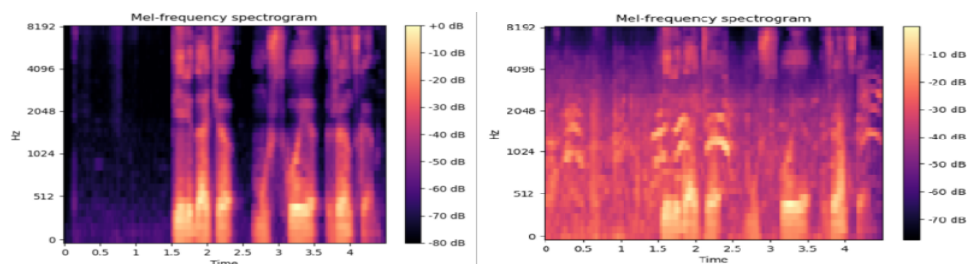


Рис. 2. Примеры результатов мел-кепстрального анализа

Для аугментации аудиоданных часто используются пакеты FFmpeg [2] и Xvid [3]. Сравнительная характеристика данных пакетов приведена в таблице. На основании перечисленных выше сведений для нашей задачи предпочтительным вариантом является FFmpeg. Анализ методов аугментации для формирования данных для обучения и тестирования алгоритмов шумоподавления потребовал обеспечить возможность манипулирования параметрами аугментации для стороннего пользователя.

Сравнительная таблица характеристик пакетов FFmpeg и Xvid

Характеристика	FFmpeg	Xvid
OpenSource	Да	Да
Качество	При сжатии качество не снижается	При сжатии может снизиться качество
Совместимость	Высокая совместимость	Наиболее совместим со старыми устройствами
Мощность декодирования	Декодируемый кодек	Преимущественно не декодируемый кодек
Скорость кодирования	Ниже	Выше
Сжатие	Высокое	Низкое
Кросс-платформенность	Да	Да
Поддерживаемые форматы	Широкий набор форматов	Преимущественно в виде файлов DivX

В качестве базовых датасетов с идеальными речевыми отрезками использовался от компании Сбер — Dusha [4], а также датасета RESD (Open Source) [5]. Для формирования библиотеки шумов использован датасет AudioNoise [6]. Общий объем датасетов составляет более 30 ГБ, содержит более 1 млн размеченных и около 200 тыс. уникальных треков аудио. Каждому треку соответствует его текстовая интерпретация, оценка эмоциональности, длительность и уникальные характеристики аннотатора. Была проведена очистка и подготовка данных. Предполагается, что пользователь может произвольно устанавливать длительность формируемых отрезков, выбирать количество микшируемых данных, определять предпочтительные группы зашумляющих и зашумляемых треков. Результатом работы является сформированный прикладной датасет с полной разметкой по всем категориям необходимых в текущей задаче. С помощью пакета FFmpeg [2] была создана библиотека функций для микширования аудиотреков по заданным параметрам: громкость каждого трека, частота дискретизации, громкость шума и разработан скрипт, позволяющий пользователям интерактивно управлять сборкой датасета. В настоящее время данные размещены на удаленном диске, к которому обеспечен доступ для всех заинтересованных пользователей. С целью повышения производительности применены средства распараллеливания процесса сбор-

ки датасета в стандартных библиотеках Python. Контролируемое добавление шума к аудиофайлам позволяет определить границы применимости различных алгоритмов шумоподавления. В дальнейшем предполагается сформировать механизм автоматической настройки процедуры сборки датасета для конкретной формы зашумления.

Литература

- [1] *Conditional Generative Data Augmentation for Clinical Audio Datasets*. URL: <https://arxiv.org/pdf/2203.11570.pdf> (дата обращения 11.04.2024).
- [2] FFmpeg. A complete, cross-platform solution to record, convert and stream audio and video. URL: <https://ffmpeg.org/documentation.html> (дата обращения 11.04.2024).
- [3] *This is Xvid*. URL: <https://www.xvid.com/> (accessed 10.04.2024).
- [4] *Dusha dataset*. URL: <https://github.com/salute-developers/golos/tree/master/dusha#dusha-dataset> (accessed 10.04.2024)
- [5] *RESD dataset*. URL: <https://huggingface.co/datasets/Aniemore/resd> (accessed 11.04.2024)
- [6] *AudioNoise. Collection of noises*. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/kpriyanshu256/audionoise> (accessed 11.04.2024)

Development of data augmentation system for speech analysis

Korlyakova Maria Olegovna

mkorlyakova@yandex.ru

Vasenkov Pavel Andreyevich

pavelvasenkov@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Methods of audio data augmentation are considered, a library of functions for data augmentation in speech analysis is developed. The speed of augmentation examples generation is evaluated and datasets of augmented data are formed according to the requirements of the applied task. Methods for speeding up the augmentation procedure are proposed. Dusha, RESD and noise datasets of different types are used in the work. All generated examples are guaranteed to contain human speech and controlled noise level.

Keywords: *data augmentation, speech recognition, sound analysis, machine learning*

УДК 004.855.5

Обучение модели NLP для классификации эмоциональной окраски текста на основе датасета Dusha от Сбера

Сухацкий Максим Олегович

loxterpoi@gmail.com

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

Рассмотрены три способа классификации: логистическая регрессия, LGBMClassifier, а также переобучение модели BERT для заданного датасета Dusha от Сбера. С последующим сравнением полученных моделей по нескольким параметрам: качество обучения (точность предсказания), время затраченное на обучение, а также сложность построения модели. Цель доклада — изучить современные возможности эмоциональной оценки текстов разной направленности.

Ключевые слова: NLP, Machine Learning, датасет Dusha, классификация, эмоциональная оценка текста, BERT

Использование систем обработки естественного языка (NLP) стало повседневной реальностью, несмотря на то что история этой области насчитывает всего полвека. Мы сталкиваемся с NLP ежедневно, когда используем поисковые системы, переводчики и чат-боты. NLP возникло на пересечении искусственного интеллекта и лингвистики, науки, изучающей языки во всех их аспектах: от семантики и фонетики до синтаксиса [1].

Ноам Хомский — известный ученый, который перевернул мир лингвистики. Он создал новую систему описания грамматики, которая помогает компьютерам лучше понимать язык. Это делает его работу очень важной для развития современных технологий [2].

NLP можно разделить на две части: понимание естественного языка (NLU) и генерацию естественного языка (NLG). В контексте нашей задачи нас интересует NLU. Наша цель — научить машину понимать текст и делать выводы из предложенного материала. NLU позволяет машинам понимать и анализировать естественный язык, извлекать концепции, сущности, эмоции, ключевые слова и т. д. Он используется в приложениях по обслуживанию клиентов для понимания проблем, о которых клиенты сообщают устно или письменно [1, 3].

Обработка естественного языка (NLP) — это область, которая изучает, как компьютеры могут понимать человеческий язык. Это началось с машинного перевода в 1950-х г., когда IBM и Джорджтаунский университет создали программу для перевода русских предложений на английский. В 1960-х годах Т. Виноград создал SHRDLU — программу, которая могла отвечать на вопросы и учитывать новые факты. Р. Шанк и У. Вудс продолжили эту работу, создавая системы, которые могли лучше понимать смысл текста. С тех пор, как искусственный интеллект стал основываться на нейронных сетях, машинное обучение и NLP начали развиваться быстрее, особенно благодаря Big

Data и глубокому обучению. Сегодня, благодаря корифеям в этой области, мы имеем более современные модели NLP, такие как BERT, GPT-3 и GPT-4, которые используются во многих приложениях, от поисковых систем до чат-ботов. Эти модели были разработаны под руководством таких ученых, как Й. Бенджио, Ян Леун и Дж. Хинтон, которые являются ведущими исследователями в области глубокого обучения, ключевого элемента современных систем NLP [2–4].

Теперь перейдем к описанию некоторых моделей машинного обучения.

Логистическая регрессия — это статистическая модель, используемая для прогнозирования вероятности возникновения некоторого события путем его сравнения с логистической кривой (логистический сигмоид). Модель выражается формулой:

$$P(Y = 1|X) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}},$$

где $P(Y = 1|X)$ — вероятность того, что переменная Y будет равна 1 при заданном значении X ; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ — параметры модели, которые необходимо определить в ходе обучения модели [5].

Градиентный бустинг — это метод машинного обучения для задач классификации и регрессии, который строит модель предсказаний в форме ансамбля слабых предсказательных моделей, обычно деревьев решений. Он производит новую модель, которая предсказывает ошибки предыдущей модели, затем добавляет эти новые предсказания к окончательному ответу [6].

BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) — это модель машинного обучения, основанная на трансформаторах, которая используется в NLP. BERT уникален тем, что он обрабатывает данные в обоих направлениях, т. е. это значит, что при обработке входной последовательности все токены могут использовать информацию друг о друге (в отличие от более раннего трансформера GPT), что позволяет ему лучше понимать контекст слова. BERT был представлен в 2018 г. и с тех пор стал основой для многих других моделей NLP [7–9].

В ходе эксперимента за основу был взят датасет Dusha от Сбера. Данный датасет, поделенный на 2 части, — *podcast* (самая маленькая, собранная из русскоязычных подкастов) и *crowd* (основная рабочая часть, много больше *podcast*). В любой из частей главными для данной работы были 2 столбца *speaker_text* (признак) и *annotator_emo* (целевое свойство). *Annotator_emo* имеет всего 5 уникальных значений типа объект, а именно: *angry*, *neutral*, *other*, *positive*, *sad*. Следовательно, надо использовать классификацию на 5 классов. Длина всех предложений в предложенном датасете не превышает 8 слов для *crowd* и 5 для *podcast*. В работе, прежде всего, идет распаковка датасета и его разбиение на признак и целевое свойство с преобразованием данных в форму, подходящую для обучения моделей: в целевом свойстве замена слов на цифры по следующей схеме: 'angry': 0, 'neutral': 1, 'other': 2, 'positive': 3, 'sad': 4, а для признака необходимо выполнить векторизацию с предварительной лемматизацией с помощью библиотек *numpy*, *pandas*, *os*,

sklearn, nltk и joblib для распараллеливания вычислений и ускорения работы кода. Далее идет подбор наилучших гиперпараметров для моделей логистической регрессии и градиентного бустинга с помощью библиотек huggingface и sklearn. После этого непосредственное обучение моделей логистической регрессии и градиентного бустинга по лучшим гиперпараметрам, полученным в предыдущем пункте. Для переобучения была взята модель с сайта huggingface.co — seara/rubert-tiny2-ru-go-emotions. Все, что необходимо было сделать для переобучения это изменить выходной слой с 27 классов на 5, а векторизация данных была осуществлена векторизатором самой модели. Переобучение самой модели велось в течении 10 эпох по избежание переобучения. Сравнить полученные результаты можно по таблице [10].

Сравнение полученных результатов

	LogisticRegression	LGBMClassifier	rubert-tiny2-ru-go-emotions (переобученная)
accuracy	0.64611411612041	0.64594709185050	0.63801986304009

Исходя из всего вышесказанного можно смело заявить, что любая из построенных моделей имеет право на жизнь, так как каждая модель дала сравнительно хорошее значение ассурасу. Каждая из моделей хороша по своему. LogisticRegression является самой простой в плане классификации, LGBMClassifier является ансамблем решающих деревьев и дает за счет этого хороший показатель потерь. BERT является самой сложной и продуманной с точки зрения классификационных задач NLP, поскольку способна находить те зависимости, которые не способна заметить ни одна из выше представленных моделей, но в то же время BERT требует куда более тщательной настройки и долго обучения.

Литература

- [1] *Как машины учатся эмоциональному поведению*. URL: <https://habr.com/ru/companies/sberdevices/articles/551522/> (дата обращения 11.03.2024).
- [2] *Краткая история NLP — Natural Language Processing*. URL: <https://habr.com/ru/articles/713804/> (дата обращения 11.03.2024).
- [3] Yordanov V. *Introduction to Natural Language Processing for Text*. URL: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-natural-language-processing-for-text-df845750fb63> (accessed 11.03.2024).
- [4] Косырев Е. *Языковые модели*. URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/yazykovye-modeli> (дата обращения 11.03.2024).
- [5] Губко П., Горчаков А., Буркина М. *Метрики классификации и регрессии*. URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/metriki-klassifikacii-i-regressii> (дата обращения 11.03.2024).
- [6] Елистратова Е., Лунев К. *Градиентный бустинг*. URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/gradientnyj-busting> (дата обращения 11.03.2024).

- [7] Рябинин М. *Трансформеры*. URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/transformery> (дата обращения 11.03.2024).
- [8] Кравцов А. *Классификация текста с использованием моделей трансформеров*. URL: <https://newtechaudit.ru/klassifikaciya-teksta-s-ispolzovaniem-modelej-transformerov/> (дата обращения 11.03.2024).
- [9] *Tfidfvectorizer, BERT, LASER: векторизация данных и кластерный анализ для улучшения рекомендательной системы*. URL: <https://habr.com/ru/companies/lanit/articles/594759/> (accessed 11.03.2024).
- [10] *Гиперпараметрический поиск и оптимизация моделей*. URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/754402/> (дата обращения 11.03.2024).

Training an NLP model for classifying emotional coloring of text based on Sber's Dusha dataset

Sukhatsky Maxim Olegovich

loxterpoi@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Three methods of classification are considered: logistic regression, LGBMClassifier, as well as retraining of BERT model for a given dataset Dusha from Sber. With the subsequent comparison of the obtained models by several parameters: quality of training (prediction accuracy), time spent on training, as well as the complexity of model building. The aim of the paper is to study the current possibilities of emotional evaluation of texts of different orientation.

Keywords: *NLP, Machine Learning, Dusha dataset, classification, emotional evaluation of text, BERT*

УДК 5805

Программирование OLED-дисплея с использованием микроконтроллера

Кирсанов Тимофей Владимирович

kirsanovtv@student.bmstu.ru

Барков Даниил Алексеевич

barkovda@student.bmstu.ru

Койда Сергей Александрович

koydasa@student.bmstu.ru

Корлякова Екатерина Юльевна

korliakova@bmstu.ru

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

Рассмотрен процесс программирования OLED-дисплея с использованием микроконтроллера. Проведено ознакомление с микроконтроллерами, со средой программирования Arduino IDE. Проведена разработка простой программы вывода на рассматриваемый в работе дисплей информации следующих типов: текст, изображение, анимация. Цель работы — изучение среды разработки, технической литературы микроконтроллера, выбранного для рассматриваемой задачи, разработка алгоритмов вывода информации различного типа на OLED-дисплей.

Ключевые слова: система управления, OLED-дисплей, Arduino UNO, алгоритм вывода информации

Современные системы контроля и управления полагаются как на высокоуровневые интеллектуальные среды и системы, так и на работу микроконтроллеров. Одним из методов контроля является вывод информации на дисплей устройства. Для ряда подобных задач достаточно возможностей микроконтроллеров, что обеспечивает автономность таких систем, упрощает передачу данных и автоматизирование управления.

Рассмотрим процесс программирования OLED-дисплея 0,96" 128×64, I2C с использованием микроконтроллера и среды разработки Arduino IDE для программы вывода информации на дисплей. Сформулированы следующие задачи:

- выбор микроконтроллера и оборудования, подходящего для рассматриваемой задачи;
- разработка алгоритма программы;
- реализация программы на выбранном микроконтроллере;
- анализ работы программы.

Для задачи программирования дисплея был выбран контроллер Arduino Uno [1, 2], построенный на базе микроконтроллера ATmega328. В его преимущества входят небольшой размер, множество библиотек и примеров кода, возможность работы «из коробки». Существующие аналоги, например Arduino Mega, существуют в той же экосистеме Arduino, но обладают большей стоимостью и избыточным функционалом. Альтернативные микроконтроллеры (AtMega1281) требуют более сложной настройки для работы.

Arduino Uno предоставляет пользователю 14 цифровых и 6 аналоговых выводов. Цифровые выводы имеют нумерацию от 0 до 13 и способны работать в двух направлениях, т. е. каждый из них может быть как входом, так и выходом.

USB-разъем Arduino Uno выполняет две функции. Первая — организация канала обмена данными между микроконтроллером и ПК и вторая — запись прошивки в ATmega328.

Посредником между ATmega328 и компьютером выступает отдельно установленный микроконтроллер ATmega16. Его специальная прошивка позволяет определять плату Arduino Uno как виртуальный COM-порт, когда та подключается к ПК.

Пользователь получает в свое распоряжение три типа памяти: FLASH-память, энергонезависимая память EEPROM, оперативная память SRAM.

Для программирования микроконтроллера использовалась среда разработки Arduino IDE [3]. Arduino IDE позволяет составлять программы в удобном текстовом редакторе, компилировать их в машинный код и загружать на все версии платы Arduino. Интерфейс Arduino IDE сравнительно простой в освоении, его основой является СИ-подобный язык программирования с предопределенными функциями. Эта среда разработки поддерживает широкий спектр микроконтроллеров, в том числе Arduino UNO

В качестве дисплея вывода выбран OLED-дисплей 0,96" 128×64, I2C. Для работы с дисплеем необходимы подключаемые библиотеки Adafruit_GFX, Adafruit_SSD1306.

Таким образом, использованы плата Arduino IDE, дисплей 0,96" 128×64, I2C и среда разработки Arduino IDE, основной язык программирования — C.

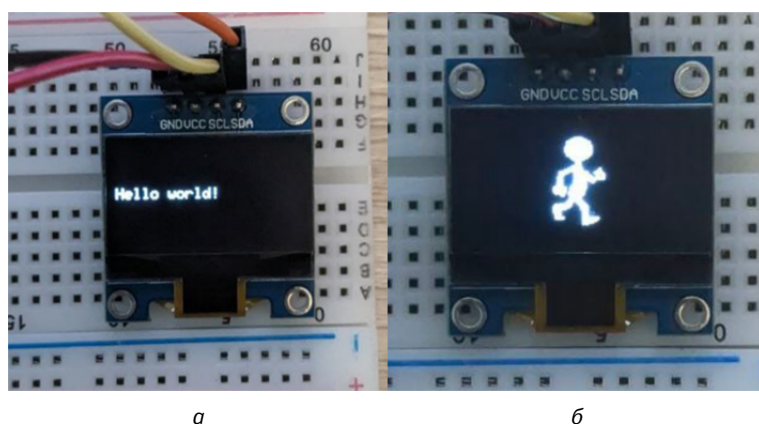
Информация для вывода на экран может быть трех типов: текст и числа; изображения и анимация. Для вывода каждого типа был разработан свой алгоритм.

Алгоритм вывода текста на OLED-дисплей: система поддерживает передачу символьных значений из памяти микроконтроллера на дисплей. Алгоритм включает в себя блок подключения экрана и очистки буфера данных; блок формирования информационной строки; блок передачи строки на дисплей. Реализация алгоритма представлена на рис. 1, а.

Алгоритм вывода изображения на OLED-дисплей: изображение рассматривается как список данных с закодированными значениями каждого пикселя изображения. Алгоритм включает в себя блок подключения экрана и очистки буфера данных; блок формирования изображения как списка данных; блок передачи изображения на дисплей.

При реализации алгоритма вывода изображения была выявлена проблема отображения данных на экране. Выводимое изображение отображалось в разрешение 128×32, когда алгоритм предполагал вывод в разрешении 128×64. В результате изображение обрезалось и выводилось не полностью. Данная проблема была решена внесением изменений в подключенную библиотеку Adafruit_SSD1306. Реализация алгоритма на рис. 1, б.

Алгоритм вывода анимации на OLED-дисплей. Анимация — это набор изображений, последовательно сменяющих друг друга. Алгоритм полагается на использование блоков алгоритма вывода изображения на OLED-дисплей с учетом изменения поступающих данных в зависимости от номера кадра. Для каждого кадра создается свой список с кодировкой пикселей. Ограничения используемого микроконтроллера оказывают влияние на объем памяти и, следовательно, предельное количество используемых кадров. В ходе экспериментов было выяснено, что Arduino UNO при использовании текущей реализации алгоритмов позволяет хранить и выводить на экран не более 20 кадров, каждый из которых занимает память в 1600 б. Это соответствует объему памяти микроконтроллера в 32 000 б.



Примеры вывода информации на OLED-дисплей:
а — символьной; б — графической

Существуют различные методы уменьшения занимаемой кадрами анимации памяти. Это алгоритмы предобработки и сжатия, кодирования информации или методы функционального представления изображений [4]. В следующих работах методы уменьшения памяти будут рассмотрены подробнее.

Таким образом, были изучены возможности микроконтроллеров и использованной среды программирования, сформулированы основные алгоритмы вывода информации на экран и определены существующие проблемы, связанные как со средой программирования, так и с характеристиками оборудования. Это, прежде всего, ограниченный функционал существующих библиотек и объем доступной памяти микроконтроллера.

Литература

- [1] *Arduino Uno: описание, подключение, схема*. URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-platy/arduino-uno/> (дата обращения 02.03.2024).
- [2] *Arduino Uno. Аппаратная платформа*. URL: <https://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno> (accessed 02.03.2024).

- [3] *Arduino IDE что это за программа?* URL: <https://blog-programmista.ru/post/80-arduino-ide-cto-eto-za-programma.html> (accessed 02.03.2024).
- [4] *Оптимизация кода.* URL: <https://alexgyver.ru/lessons/code-optimisation/> (дата обращения 02.03.2024).

Programming an OLED display using a microcontroller

Kirsanov Timofey Vladimirovich

kirsanovtv@student.bmstu.ru

Barkov Daniil Alekseevich

barkovda@student.bmstu.ru

Koida Sergey Aleksandrovich

koydasa@student.bmstu.ru

Korlyakova Ekaterina Yulievna

korliakova@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The paper discusses the process of programming an OLED display using a microcontroller. An introduction to microcontrollers and the Arduino IDE programming environment was carried out, and a simple program was developed to display the following types of information on the display considered in the work: text, image, animation. The purpose of the work is to study the development environment, technical literature of the microcontroller selected for the task under consideration, and develop algorithms for displaying various types of information on an OLED display.

Keywords: control system, OLED display, Arduino UNO, information output algorithm

УДК 004.934

Автоматическое распознавание речи для специализированной области

Лысенко Олег Дмитриевич

olegkeatzin@yandex.ru

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

Автоматическое распознавание речи (ASR) — это технология, которая преобразует речь в текст. Чтобы обучить модель ASR, нужно подготовить набор данных, содержащий аудиозаписи человеческой речи и соответствующие им текстовые расшифровки. Модель обучается на этом наборе данных, чтобы научиться сопоставлять звуки речи с буквами и словами. Однако перед использованием модель необходимо настроить на конкретную задачу или область применения. Рассмотрен принцип работы автоматического распознавания речи и настройки на специализированные проблемы распознавания. Экспериментальная проверка автоматического распознавания речи и сравнение метрик позволяет сравнить модели и выделить лучшую. Проведен fine-tuning лучшей модели.

Ключевые слова: Automatic Speech Recognition, fine-tuning, модели Automatic Speech Recognition, сравнение моделей

В современном мире технологии развиваются с невероятной скоростью, и одной из самых удивительных и перспективных областей является автоматическое распознавание речи (Automatic Speech Recognition, ASR). Эта технология позволяет компьютерам понимать и интерпретировать человеческий язык, преобразуя речь в текст. ASR находит широкое применение в различных сферах. ASR реализуется при помощи нейронных сетей. Нейросеть обучается находить закономерности между входными и выходными данными на основе размеченных данных. В данном случае, вход — аудиосообщение, а выход — текстовый перевод аудиосообщения. При обучении модели программист сталкивается с множеством проблем: правильная разметка данных, выделение информативной части данных. Эти проблемы помогает решить визуализация данных. Временная область (рис. 1) помогает разметить данные; мэл-спектрограмма — выделяет в сообщении частоты человеческой речи (сравнивая с обычной спектрограммой, можно увидеть выделение определенных частот) (рис. 2) [1].

Для обучения моделей ASR лучше всего использовать разнообразные и репрезентативные наборы данных, которые охватывают широкий спектр условий записи и стилей речи. Это включает в себя различные акценты, шумы окружающей среды, разные скорости речи и различные темы разговоров. Важно, чтобы данные были сбалансированы по гендеру и возрасту говорящих, а также содержали достаточное количество примеров для каждого типа звука и контекста. Модели, обученные таким образом хорошо распознают «базовую» речь, но, если дать им послушать рабочие диалоги медиков —

может возникнуть проблема понимания моделью терминов. Именно здесь может помочь fine-tuning.

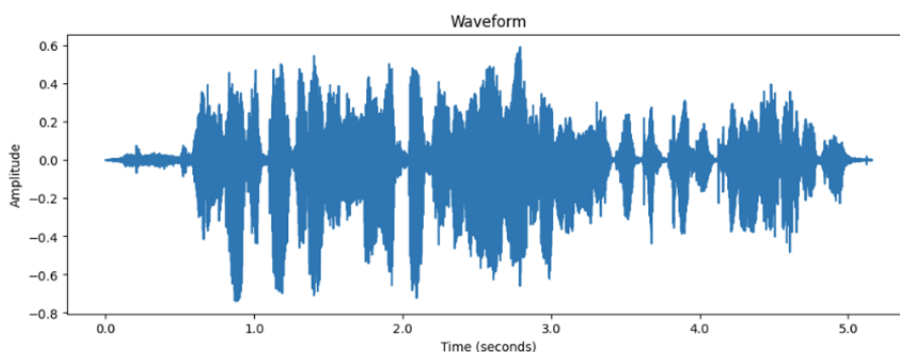


Рис. 1. Временная область

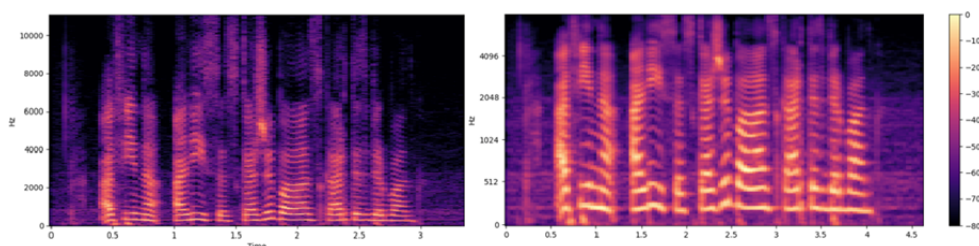


Рис. 2. Спектрограмма и мэл-спектрограмма

Fine-tuning моделей ASR необходим для адаптации предварительно обученных моделей к специфическим задачам и доменам. Это позволяет значительно улучшить точность распознавания речи в конкретных областях, где стандартные модели могут показывать низкую эффективность. Например, в медицине, где требуется высокая точность распознавания медицинских терминов, или в автомобильной индустрии, где важно распознавание команд водителя. Исследователи и разработчики обычно используют общедоступные датасеты для предварительного обучения моделей, а затем применяют fine-tuning для адаптации к конкретным задачам и доменам. Это позволяет эффективно использовать существующие ресурсы и знания, накопленные в области машинного обучения, для достижения высокой точности распознавания речи в специализированных областях [2].

Взято несколько предобученных моделей, чтобы выбрать наиболее подходящую для тонкой настройки: Whisper-small; wav2vec2-xls-r-300m-Russian-small [4]; seamless-m4t-v2-large [5].

Для сравнения моделей использована метрика Word Error Rate. Word Error Rate (WER) — процент неправильно распознанных слов. Метрика WER

представляет собой «стоимость» для преобразования одной строки (эталонной) во вторую (гипотеза) [6]:

$$WER = \frac{S+D+I}{T} = \frac{S+D+I}{S+D+H},$$

где S — количество операций замены слов; I — количество операций вставки слов, D — количество операций удаления слов, T — количество слов в эталонной фразе, H — количество верно распознанных слов.

Чем метрика WER ближе к нулю, тем выше точность распознавания. Упрощенно метрику WER можно понимать, как количество ошибок в словах (это не совсем так). Например, WER = 50 % — это половина слов распознана неверно, WER = 10 % — каждое десятое слово распознано неверно.

Для теста использовался датасет sberdevices_golos_10h_crowd [7]. Из него выбрано 128 аудиозаписей, и просчитан WER для каждой модели (см. таблицу).

Сравнение WER разных моделей

Модель	WER
Whisper-small	0.6770929202031564
wav2vec2-xls-r-300m-Russian-small	0.6276851757166719
seamless-m4t-v2-large	0.5866666666666667

Рассмотрим конкретные примеры.

```
Ожидание: шестнадцатая часть сезона пять сериала лемони сникет тридцать три несчастья
Ответ модели: [' 16 часть, сезона 5 сериала, лемма нестики, 33 несчастья.']
Ожидание: три ангела на смотрешке
Ответ модели: [' Три Ангела на Смотрёжке.']
Ожидание: цветущая парочка цветущие влюбленные восьмой сезон
Ответ модели: [' Цветущая парочка, цветущие влюбленные, 8 сезон.']
Ожидание: афина алиса скажи баланс карты сбербанк
Ответ модели: [' Афина, Алиса, скажи баланс карты Сбербанк.']
Ожидание: фильмек стэнли кубрика борджа
Ответ модели: [' Фильмек стенле кубрика Борджа']
```

Рис. 3. Ответы Whisper-small

```
Ожидание: шестнадцатая часть сезона пять сериала лемони сникет тридцать три несчастья
Ответ модели: шестнадцатая часть изон опять в сириала леманистике трицатриной частия
Ожидание: три ангела на смотрешке
Ответ модели: три анвило на смотрежке
Ожидание: цветущая парочка цветущие влюбленные восьмой сезон
Ответ модели: тветущая парочка тветущай облюбленные восьмо съзон
Ожидание: афина алиса скажи баланс карты сбербанк
Ответ модели: фина ализа скажи поланска артойс бербанк
Ожидание: фильмек стэнли кубрика борджа
Ответ модели: фильмеец стенли кубрика борджа
```

Рис. 4. Ответы wav2vec2-xls-r-300m-Russian-small

```
Ожидание: шестнадцатая часть сезона пять сериала лемони сникет тридцать три несчастья
Ответ модели: Шестнадцатая часть сезона Пять сериала Лемонистики тридцать три несчастья.
Ожидание: три ангела на смотрёшке
Ответ модели: три ангела на смотрёшке
Ожидание: цветущая парочка цветущие влюбленные восьмой сезон
Ответ модели: Цветущая Парачка, Цветущий Влюбленный, восьмой Сезон.
Ожидание: афина алиса скажи баланс карты сбербанк
Ответ модели: Афина, Алиса, скажи баланс карты Сбербанк.
Ожидание: фильм стэнли кубрика борджиа
```

Рис. 5. Ответы seamless-m4t-v2-large

В модели wav2vec2-xls-r-300m-Russian-small отсутствует слой проверки орфографии, из-за чего ответы выглядят сильно хуже конкурентов (рис. 4). В модели Whisper-small (рис. 3) и seamless-m4t-v2-large (рис. 5) ситуация намного лучше. В использованном датасете sberdevices_golos_10h_crowd числительные пишутся в виде слов, а Whisper-small переводит числительные в цифры, что мешает правильной оценки метрик, и, в свою очередь, делает fine-tuning менее точным. Лучшей моделью по WER оказалась seamless-m4t-v2-large, поэтому в дальнейшем для файн-тюнинга будет использована именно она.

Дальнейшая работа предполагает проведение тонкой настройки модели seamless-m4t-v2-large на конкретном датасете с оценкой метрики WER.

Литература

- [1] Gandhi S., Hollemans M., Khalusova M., Srivastav V. *Preprocessing an audio dataset*. URL: <https://huggingface.co/learn/audio-course/chapter1/preprocessing> (accessed 11.04.2024).
- [2] Gandhi S., Hollemans M., Khalusova M., Srivastav V. *Fine-tuning the ASR model*. URL: <https://huggingface.co/learn/audio-course/en/chapter5/fine-tuning> (accessed 11.04.2024).
- [3] OpenAI. URL: <https://huggingface.co/openai/whisper-small> (accessed 11.04.2024).
- [4] Emre. URL: <https://huggingface.co/emre/wav2vec2-xls-r-300m-Russian-small> (accessed 11.04.2024).
- [5] Facebook. URL: <https://huggingface.co/facebook/seamless-m4t-v2-large> (accessed 11.04.2024).
- [6] NTA. *Оценка качества работы систем Speech to Text*. URL: <https://vc.ru/newtechaudit/721148-ocenka-kachestva-raboty-sistem-speech-to-text> (дата обращения 11.04.2024).
- [7] Bond005. URL: https://huggingface.co/datasets/bond005/sberdevices_golos_10h_crowd (accessed 11.04.2024).

Automatic speech recognition for a specialized area

Lysenko Oleg Dmitrievich

olegkeatzin@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Automatic Speech Recognition (ASR) is a technology that converts speech into text. To train the ASR model, you need to prepare a dataset containing audio recordings of human speech and their corresponding text transcripts. The model is trained on this dataset to learn how to match speech sounds with letters and words. However, before using the model, you must configure it for a specific task or application. The principle of operation of automatic speech recognition and adjustment to specialized recognition problems are considered. Experimental verification of automatic speech recognition and comparison of metrics allows you to compare models and identify the best one. Fine-tuning of the best model was carried out.

Keywords: *Automatic Speech Recognition, fine-tuning, Automatic Speech Recognition models, model comparison*

УДК 004.93'1

Распознавание лиц с помощью нейросети FaceNet

Щеглов Владислав Андреевич

shcheglovvladislav@mail.ru

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

Рассмотрены подходы к распознаванию лиц в режиме реального времени, и разработано серверное приложение. Проведен экспериментальный анализ качества работы сверточной нейросети FaceNet в составе серверного приложения для идентификации лиц. В ходе исследования были изучены различные методы и алгоритмы распознавания лиц, а также их применимость в реальных условиях. Разработанное серверное приложение позволяющее обрабатывать видеопоток в режиме реального времени и идентифицировать лица с использованием сверточной нейросети. Экспериментальный анализ показал, что сверточная нейросеть FaceNet обеспечивает высокую точность распознавания лиц в различных условиях освещения и ракурсах.

Ключевые слова: face ID, распознавание лиц, нейронная сеть, метрика

Технология распознавания лиц становится все более популярной в последние годы, находя применение в системах безопасности, социальных медиа и других областях. Распознавание лиц — это процесс идентификации и верификации личности на основе черт лица. Он включает захват изображения или видеокadra с лицом и сравнение его с базой данных известных лиц. Распознавание лиц в реальном времени стремится выполнять эту задачу мгновенно, что делает его подходящим для контроля доступа, видеонаблюдения и персонализированных пользовательских интерфейсов. Проблема распознавания: много классов, мало эталонов. С этой проблемой позволяет справиться метрическое обучение. Метрическое обучение — это область машинного обучения, которая занимается разработкой алгоритмов для определения расстояния между объектами и их классификации на основе этих расстояний. Есть два основных подхода.

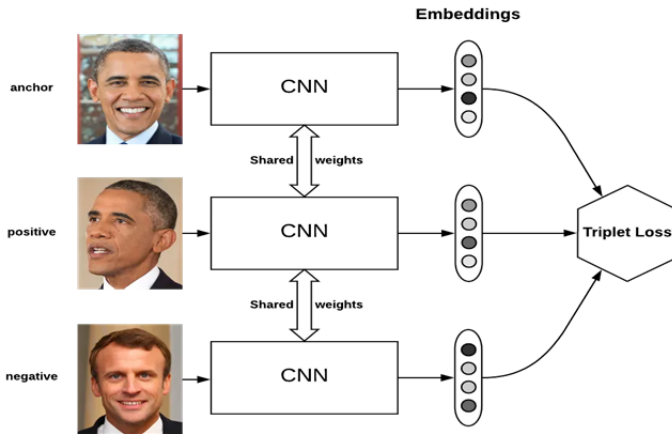
Сиамская нейросеть: нейронная сеть принимает на вход два объекта и возвращает вероятность, что они совпадают или похожи (в зависимости от постановки задачи). Данную вероятность можно использовать как меру похожести или «расстояние».

Representation learning: нейронная сеть принимает на вход один объект и возвращает вектор, представляющий этот объект в некотором векторном пространстве. Далее между векторами вычисляется классическое расстояние, например, евклидово.

В данной работе используется первый подход — сиамская нейронная сеть.

Триплетные потери (Triplet Loss) минимизирует расстояние между якорем и позитивом, оба из которых имеют одинаковую идентичность, и максимизирует расстояние между якорем и негативом другого идентификаторах

[1]. Система распознавания основана на сравнении эталонного вектора и векторов приходящих извне (вычисляем расстояния). Используемая метрика для оценки — косинусное сходство — мера сходства между двумя векторами внутреннего пространства, которая используется для количественной оценки, как эти векторы ориентированы относительно друг друга.



Работа сиамской нейронной сети

Вычисляем попарное косинусное подобие [2]:

$$s_{\cos}(x, y) = \frac{\langle x, y \rangle}{\|x\| \cdot \|y\|} = \frac{\sum_{d=1}^D x_d \cdot y_d}{\sqrt{\sum_{d=1}^D x_d^2} \cdot \sqrt{\sum_{d=1}^D y_d^2}}$$

Если значение равно нулю, вектора ортогональны или независимы, если 1, то прослеживается высокое сходство. Сверточные нейронные сети (CNN) часто используются для задач, связанных с изображениями, такими как распознавание лиц. Популярные архитектуры включают VGG, ResNet и Inception. Перенос обучения позволяет использовать предварительно обученные модели на больших наборах изображений и донастраивать их для распознавания лиц.

Первый шаг в создании системы распознавания лиц — сбор эталонных фотографий лиц. Датасет должен включать изображения разных людей, сделанных в разных условиях (освещение, углы, выражения), а также аннотации (метки), указывающие на личность каждого человека, которые необходимы для обучения с учителем. Техники предобработки, такие как изменение размера, нормализация и аугментация данных, улучшают качество датасета.

Будем использовать датасет (CelebA) [3] — набор данных, который содержит изображения лиц знаменитостей и их атрибутов.

Характеристика датасета:

– изображения: 202 599 изображений лиц знаменитостей в анфас;

- размер изображений: 64x64 пикселей;
- формат изображений JP.

Используемая в приложении модель построена на основе сверточной нейросети FaceNet, одного из самых мощных инструментов в этой области. Это глубокая нейросеть, способная проецировать лица в многомерное пространство, где лица одного и того же человека находятся близко друг к другу, а лица разных людей — далеко друг от друга. FaceNet применяет архитектуру Inception ResNet, которая объединяет модуль Inception и резидуальные блоки. Эта конструкция позволяет сети обучаться и создавать представления лиц в форме числовых вложений. Эти вложения — это многомерные векторы, которые отражают уникальные особенности лица человека. С помощью косинусного сходства системы распознавания лиц могут определить, принадлежат ли два лица одному и тому же человеку.

Реализация. Для работы с FaceNet для начала импортирована библиотека facenet-pytorch [4], она содержит уже предварительно обученные модели обнаружения лиц Pytorch [5] — MTCNN и распознавания лиц — Inception-Resnet. Для тестирования эффективности моделей, были использованы изображения из датасета CelebA. Также было взято несколько фотографий собственного лица чтобы сравнить их с фотографиями из датасета. Сравняться будут уже готовые векторы — эмбединги изображений при помощи косинусного подобия. Результат функции косинусного подобия представляет собой тензор — значение, находящееся в диапазоне $[-1, 1]$. Значение -1 будет указывать на сильно противоположные векторы, т. е. на отсутствие подобия. Нуль обозначает независимые (или ортогональные) векторы. Значение 1 указывает на высокое сходство.

Результаты тестирования модели FaceNet

Персона 1	Персона 2	Среднее расстояние	Дисперсия среднего расстояния
Эталон 1	Фото эталона 1	0,7900	0,06000
Эталон 1	Фото не эталона 1	0,1428	0,01246

Исходя из таблицы можно понять, что в первом случае изображение эталона подобно фото персоны 2, значение косинуса приближенно 1 , что логично, так как это два идентичных изображения. Во втором случае, вектор эталона ортогонален фото персоны 2, косинус почти равен 0 , на изображениях два разных человека.

В данном исследовании описан метод распознавания лиц в Python и протестирована модель FaceNet при помощи некоторого количества изображений. Проведено сравнение на подобие фотографий из датасета CelebA с эталонным изображением себя, также проведено сравнение эталонного изображения с изображениями себя под разными ракурсами и с разными эмоциями. Сделан вывод на основе сравнений.

Литература

- [1] Реализация функции потерь Triplet Loss в Python (функция тройных потерь). URL: <https://habr.com>_(дата обращения 11.06.2024).
- [2] Косинусное подобие — документация по PyTorch-Metrics 0.9.1. URL: <https://torchmetrics.readthedocs.io>_(дата обращения 11.06.2024).
- [3] Датасет CelebA для обучения. URL: <https://kaggle.com>_(дата обращения 11.06.2024).
- [4] Библиотека facenetpytorch. URL: <https://github.com/timesler/facenet-pytorch.git> (дата обращения 11.06.2024).
- [5] Библиотека pytorch. URL: <https://pytorch.org/> (дата обращения 11.06.2024).

Face recognition using FaceNet

Shcheglov Vladislav Andreevich

shcheglovvladislav@mail.ru

Approaches to face recognition in real-time mode were considered, and a server application was developed. An experimental analysis of the performance of the convolutional neural network Facenet as part of the server application for face identification was carried out. During the study, various methods and algorithms for face recognition were studied, as well as their applicability in real conditions. The developed server application allows you to process the video stream in real time and identify faces using a convolutional neural network. The experimental analysis showed that the convolutional neural network Facenet provides high accuracy of face recognition in various lighting conditions and angles.

Keywords: *faceID, face recognition, neural network, metric*

УДК 556.3.06

Разработка нейросетевой модели для прогнозирования поведения тепловой установки

Корлякова Мария Олеговна

mkorlyakova@ya.ru

Лашкевич Даниил Михайлович

daniilLashckevitch@yandex.ru

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

Изучено применение различных методов машинного обучения для прогнозирования поведения газотурбинной установки. Объект исследования представляет собой комплексное техническое сооружение, состоящее из нескольких основных элементов. Экспериментальный стенд функционирует по определенному принципу, который включает в себя работу вентилятора, трубчатого электронагревателя и других компонентов. Рассмотрены нейросетевые модели, включая MLP и Transformer, а также классические методы, такие как LSTM, BI-LSTM и LinReg. Проведен сравнительный анализ эффективности и точности каждого метода на данных о работе газотурбинной установки. Для оптимизации гиперпараметров нейросетевых моделей была использована библиотека Optuna.

Ключевые слова: нейросетевая модель, газотурбинная установка, прогнозирование, MLP, Transformer, LSTM, Optuna

Газотурбинные установки являются важным элементом в энергетической отрасли, их эффективная работа требует точного прогнозирования поведения системы. В работе исследованы различные методы машинного обучения, такие как нейросетевые модели и классические алгоритмы для прогнозирования работы газотурбинных установок. Проведено сравнение эффективности и точности различных моделей на основе данных о работе газотурбинной установки. Также были оптимизированы гиперпараметры нейросетевых моделей [1–9].

Исследуемый объект. Исследуемый объект — это газотурбинная установка. Вентилятор стенда осуществляет проток атмосферного воздуха через теплообменную поверхность. При наличии расхода воздуха осуществляется подача напряжения на трубчатый электронагреватель (ТЭН), который передает тепло фреону и доводит его до кипения. Пар фреона, поднимаясь к трубному пространству теплообменника, сообщает тепло потоку воздуха и конденсируется. Конденсат фреона возвращается в парогенератор самотеком (рис. 1). Список исходных данных приведен в табл. 1.

Для оценки качества предсказаний используют следующие метрики [10]:

– MAPE (средняя абсолютная процентная погрешность):

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100 \% \quad \text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где n — количество наблюдателей; y_i — фактическое значение для i -го наблюдения; $\hat{y}_i$ — прогнозируемое значение для i -го наблюдения; $\left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$.

Таблица 1

Исходные данные газотурбинной установки (рис. 1)

Датасеты			Обозначения	Пояснения
Data_3	Data_2	Data_1	$\phi_{\text{вх}}, \%$	Относительная влажность воздуха на входе в ПК
			$T_{\text{вх}}, ^\circ\text{C}$	Температура воздуха на входе в ПК
			$T_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$	Температура воздуха на выходе из вентилятора
			$U_{\phi A}, \text{В}$	Напряжение А
			$I_{\phi A}, \text{А}$	Ток А
			$U_{\phi B}, \text{В}$	Напряжение В
			$I_{\phi B}, \text{А}$	Ток В
			$U_{\phi C}, \text{В}$	Напряжение С
			$I_{\phi C}, \text{А}$	Ток С
			$T_{1\text{в}}, ^\circ\text{C}$	Местная температура воздуха на выходе из теплообменника ПК
			$T_{2\text{в}}, ^\circ\text{C}$	Местная температура воздуха на выходе из теплообменника ПК
			$T_{3\text{в}}, ^\circ\text{C}$	Местная температура воздуха на выходе из теплообменника ПК
			$T_{4\text{в}}, ^\circ\text{C}$	Местная температура воздуха на выходе из теплообменника ПК
			$P_1, \text{кПа}$	Статический перепад давлений воздуха на теплообменнике ПК
			$P_2, \text{кПа}$	Статический перепад давлений воздуха на 2-й ступени каплеуловителя ПК
			$P_{\text{пг}}, \text{кПа}$	Давлением пара фреона на входе в теплообменник ПК
			$P_{\text{к}}, \text{кПа}$	Давление конденсата фреона на входе в парогенератор ПК
			$F_{\text{пч}}, \text{Гц}$	Частота вращения частотного преобразователя

Таблица 2

Сравнение библиотек для оптимизации

Параметр сравнения	Hyperopt	Optuna	BayesianOptimization	Scikit-Optimize
Преимущества	Поддержка различных алгоритмов оптимизации; простота использования	Автоматическое обнаружение гиперпараметров; поддержка распределений параметров; Параллельная итерация	Использование байесовской оптимизации; поддержка пользовательских функций потерь	Простота использования; использование различных методов оптимизации; интеграция с библиотеками машинного обучения

Окончание табл. 2

Параметр сравнения	Hyperopt	Optuna	BayesianOptimization	Scikit-Optimize
Недостатки	Скорость работы; не всегда эффективный выбор гиперпараметров	Сложность настройки	Ограниченный выбор алгоритмов; требования к вычислительным ресурсам	Не всегда оптимальный выбор гиперпараметров; ограниченная поддержка алгоритмов оптимизации

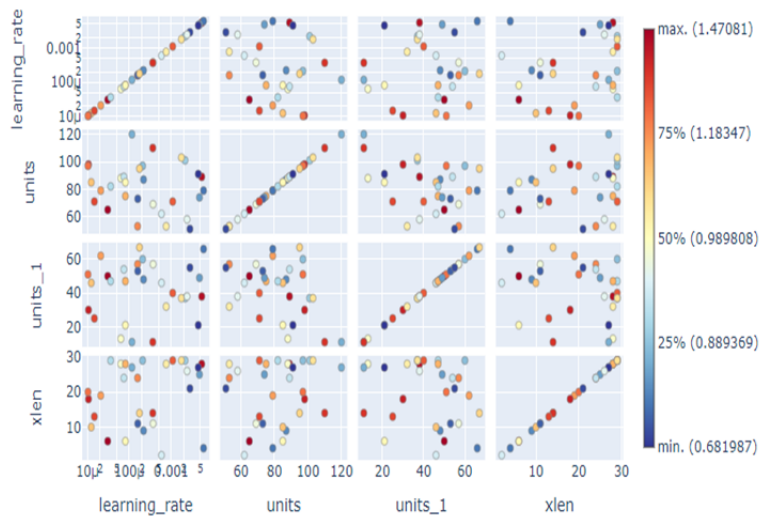
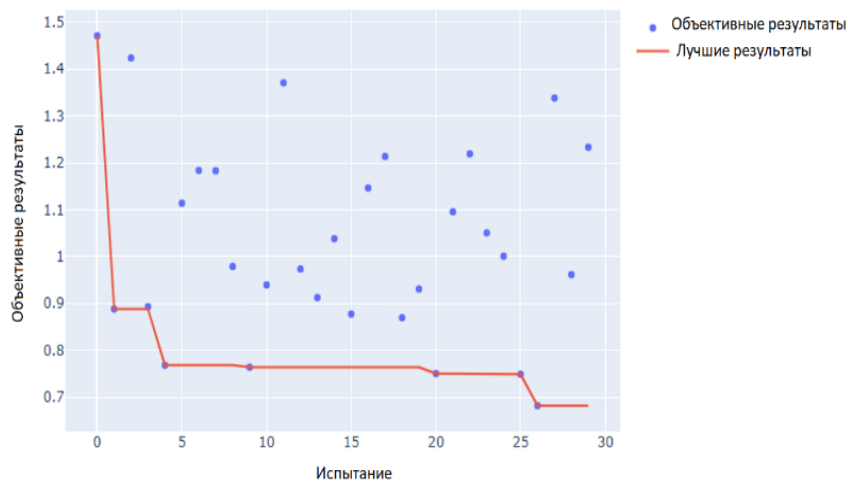


Рис. 2. Подбор оптимальных гиперпараметров

После подбора наилучших гиперпараметров и проведения ряда экспериментов, можно сделать вывод о том, что для выбранного объекта лучше всего себя показывает линейная регрессия (табл. 3).

Таблица 3

Результаты экспериментов

	h (мин)	LinReg			LSTM			Bi_LSTM			MLP			Transform		
		1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10	1	5	10
Data_1	R2	0,995	0,958	0,898	0,943	0,898	0,795	0,965	0,830	0,692	0,972	0,919	0,895	0,959	0,934	0,79
	MAPE	1,290	4,449	7,558	4,194	7,088	10,18	4,69	9,100	14,80	4,37	7,252	8,275	3,79	5,595	9,752
Data_2	R2	0,995	0,964	0,893	0,94	0,845	0,790	0,96	0,822	0,763	0,982	0,942	0,798	0,94	0,904	0,749
	MAPE	1,185	3,813	7,411	5,62	9,064	10,82	4,29	10,33	12,20	2,55	5,318	10,19	5,74	6,635	10,89
Data_3	R2	0,994	0,954	0,896	0,902	0,844	0,665	0,826	0,650	0,256	0,98	0,937	0,744	0,92	0,899	0,663
	MAPE	1,421	4,360	6,708	6,532	8,327	14,88	10,58	16,45	24,38	3,454	5,684	11,06	7,86	8,169	15,04

Литература

- [1] Барский А.Б. *Логические нейронные сети*. Москва, Бином, 2013, 352 с.
- [2] Галушкин А.И. *Нейронные сети: основы теории*. Москва, РиС, 2014, 496 с.
- [3] Галушкин А.И., Цыпкин Я.З. *Нейронные сети: история развития теории*. Москва, Альянс, 2015, 840 с.
- [4] Редько В.Г. *Эволюция, нейронные сети, интеллект*. Москва, Ленанд, 2015, 224 с.
- [5] Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы*. Москва, РиС, 2013, 384 с.
- [6] Ширяев В.И. *Финансовые рынки: Нейронные сети, хаос и нелинейная динамика*. Москва, Д Либроком, 2016, 232 с.
- [7] Яхьяева Г.Э. *Нечеткие множества и нейронные сети*. Москва, БИНОМ. ЛЗ, ИНТУ-ИТ.РУ, 2012, 316 с.
- [8] Суворцев И.С., Клюкин В.И., Пивоварова Р.П. *Нейронные сети*. Воронеж, ВГУ, 1994, 224 с.
- [9] Уоссермен Ф. *Нейрокомпьютерная техника: теория и практика*. Москва, Мир, 1992.
- [10] Яндекс.Образование. *Метрики классификации и регрессии*. URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/metriki-klassifikacii-i-regressii> (дата обращения 20.09.2023).
- [11] Scaler Academy *LSTM в PyTorch: Руководство по использованию*. Scaler. URL: <https://www.scaler.com/topics/pytorch/lstm-pytorch/> (дата обращения 20.09.2023).
- [12] Кузнецов А. *LSTM — сети долгой краткосрочной памяти*. URL: <https://itnan.ru/post.php?c=1&p=331310> (дата обращения 18.09.2023).
- [13] Colah's Blog. *Understanding LSTM Networks*. URL: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/> (дата обращения 20.09.2023).
- [14] Агладкий А. *Нейронные сети: какой архитектуры используются?* URL: <https://agladky.ru/kod/11/nejronnye-seti-kakoj-arhitektury-ispolzujutsja> (дата обращения 20.09.2023).

Development of a neural network model to predict the behavior of a thermal installation

Korlyakova Maria Olegovna

mkorlyakova@ya.ru

Lashkevich Daniil Mikhailovich

daniilLashkevitch@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article explores the application of various machine learning methods to predict the behavior of a gas turbine installation. The object of research is a complex technical structure consisting of several basic elements. The experimental stand operates according to a certain principle, which includes the operation of a fan, a tubular electric heater and other components. We have reviewed neural network models, including MLP and Transformer, as well as classical methods such as LSTM, BI-LSTM and LinReg. A comparative analysis of the efficiency and accuracy of each method based on data on the operation of a gas turbine installation is carried out. The Optuna library was used to optimize the hyperparameters of neural network models.

Keywords: neural network model, gas turbine installation, forecasting, MLP, Transformer, LSTM, Optuna

УДК 51

Применение метода наименьших квадратов для анализа рынка квартир в Калуге

Романов Егор Сергеевич

romanoves@student.bmstu.ru

Поляков Вадим Николаевич

pvn23ki195@student.bmstu.ru

Качанов Александр Ильич

kachanovai@student.bmstu.ru

Финошин Александр Викторович

finoshin@bmstu.ru

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

Рассмотрен процесс программирования метода наименьших квадратов с использованием среды программирования MATLAB. Проведено ознакомление с методом наименьших квадратов, со средой программирования MATLAB, также проведена разработка программы анализа рынка квартир в г. Калуга с помощью метода наименьших квадратов. Целью работы является изучение среды разработки, метода наименьших квадратов и способов его применения для анализа данных, выбранного для рассматриваемой задачи.

Ключевые слова: метод наименьших квадратов, линейная зависимость, экспоненциальная зависимость, анализ данных

Метод наименьших квадратов (МНК) — математический метод, применяемый для решения различных задач, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений некоторых функций от экспериментальных входных данных. Он может использоваться для «решения» переопределенных систем уравнений для поиска решения в случае обычных нелинейных систем уравнений для аппроксимации точечных значений некоторой функции.

Задача заключается в нахождении коэффициентов линейной зависимости, при которых функция двух переменных $F(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2$ принимает наименьшее значение. Т. е., при данных a и b сумма квадратов отклонений экспериментальных данных от найденной прямой будет наименьшей. В этом вся суть метода наименьших квадратов.

Решение задачи сводится к нахождению экстремума функции двух переменных. Составляется и решается система из двух уравнений с двумя неизвестными. Находим частные производные функции $F(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2$ по переменным a и b , приравниваем эти производные к нулю:

$$\begin{cases} \frac{\partial F(a, b)}{\partial a} = 0, & \begin{cases} -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))x_i = 0, \\ -2 \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b)) = 0. \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n b = \sum_{i=1}^n y_i, \end{cases} \quad \begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n b = \sum_{i=1}^n y_i, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i, \\ a \sum_{i=1}^n x_i + nb = \sum_{i=1}^n y_i. \end{cases} \quad (3)$$

Решаем полученную систему уравнений любым методом и получаем формулы для нахождения коэффициентов по методу наименьших квадратов (МНК):

$$\begin{cases} a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \\ b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - a \sum_{i=1}^n x_i}{n}. \end{cases}$$

При данных a и b функция $F(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - (ax_i + b))^2$ принимает наименьшее значение.

Приведем экспоненциальную зависимость к линейному виду, прологарифмировав функцию и воспользовавшись свойствами логарифма.

$$y = be^{ax};$$

$$\ln(y) = \ln(be^{ax});$$

$$\ln(y) = \ln(b) + \ln(e^{ax});$$

$$\ln(y) = ax + \ln(b);$$

Заменим в системе (1) $y = \ln(y)$, $b = \ln(b)$:

$$\begin{cases} a \sum x_i^2 + \ln(b) \sum x_i = \sum x_i \ln(y_i), \\ a \sum x_i + \ln(b)n = \sum \ln(y_i), \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i \ln(y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n \ln(y_i)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}, \\ \ln(b) = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(y_i) - a \sum_{i=1}^n x_i}{n}, \end{cases} \quad (5)$$

$$b = e^{\ln(b)}. \quad (6)$$

Возьмем функцию $y = e^{5x}$, добавляем шумы с помощью функции `gandn`, применяем метод наименьших квадратов и находим коэффициенты a и b по формулам (5) и (6) получаем $a = 4,9955$ и $b = 1,0305$, используя их, получаем линию, которая показывает наилучшее соответствие заданным точкам данных.

Использование МНК для анализа рынка квартир в г. Калуга. Путем использования данного метода можно провести анализ зависимости продаж квартир по датам от площади квартиры, также можно выявить самые продаваемые квартиры в г. Калуга и оценить пик продаж.

Возьмем красные точки — это цена за 1 м² (см. таблицу). Находим коэффициенты a и b по формулам (2) и (3), используем их и получим синюю линию, которая показывает наилучшее соответствие между ценой и временем продажи.

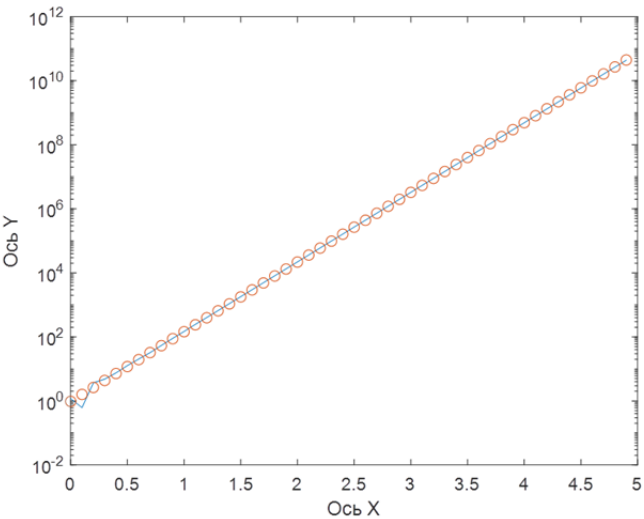


Рис. 1. График экспоненциального МНК

Динамика средних цен по г. Калуга

Даты	Квартиры (вторичный рынок) за м ² , руб.
22 февраля 2024	101 008
08 февраля 2024	101 057
...	...
20 апреля 2023	94 825,5
06 апреля 2023	94 690,8

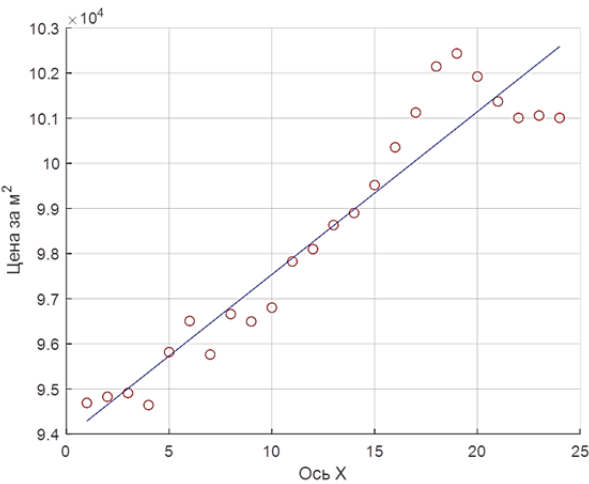


Рис. 2. График анализа рынка квартир в г. Калуга

Таким образом, были изучены метод наименьших квадратов и способы его применения для анализа рынка квартир в г. Калуга.

Литература

- [1] *Метод наименьших квадратов: суть, методы применения*. URL: http://www.mathprofi.ru/metod_naimenshih_kvadratov.html (дата обращения 12.03.2024).
- [2] *Метод наименьших квадратов: обоснование, формулы*. URL: <http://www.cleverstudents.ru/articles/mnk.html> (дата обращения 12.03.2024).
- [3] *Экспоненциальная и Линейная регрессия: суть, способы решения*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_наименьших_квадратов (дата обращения 12.03.2024).
- [4] *Динамика цен продажи квартир в Калуге*. URL: <https://kaluzhskaya-oblast.restate.ru/graph/ceny-prodazhi-kvartir/> (дата обращения 12.03.2024).

The application of the least square's method for the analisys of the apartment market in Kaluga

Romanov Egor Sergeevich

romanoves@student.bmstu.ru

Polyakov Vadim Nikolaevich

pvn23ki195@student.bmstu.ru

Kachanov Alexander Ilyich

kachanovai@student.bmstu.ru

Finoshin Alexander Viktorovich

finoshin@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The paper considers the process of programming the least squares method using the MATLAB programming environment. Familiarization with the least squares method, with the MATLAB programming environment, and the development of a program for analyzing the apartment market in Kaluga using the least squares method was also carried out. The purpose of the work is to study the development environment, the least squares method and how it can be used for data analysis selected for the task under consideration.

Keywords: *least squares method, linear dependence, exponential dependence, data analysis*

УДК 004.52

Анализ методов шумоподавления

Безлюдов Михаил Дмитриевич

bezlyudovmd@student.bmstu.ru

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

Рассмотрена ключевая задача в процессе распознавания речи — задача подавления шума. Рассмотрена актуальность проблемы удавления шума, а также сферы применения и математический аппарат данного процесса. Отдельное внимание уделено спектральному анализу как основе большинства алгоритмов удаления шума. Рассмотрен как классический вид спектрограммы, так ее разновидность с применением параметра tel , коррелирующий с частотой колебаний. Манипуляции с данными спектрограммами проведены с применением преобразований Фурье. Также на предмет эффективности проведен сравнительный анализ трех основных алгоритмов шумоподавления — на основании преобразования Фурье, на основе преобразований tel -спектрограммы, а также с применением нейронной модели RNNNoise. Анализ проведен с применением численных метрик, а также эмпирической проверкой результатов шумоподавления.

Ключевые слова: шумоподавление, преобразование Фурье, спектральный анализ, анализ метрик

Задача шумоподавления (англ. denoising) в аудиотехнике — это процесс выделение полезного сигнала из смеси полезного сигнала и шума.

Подавление фонового шума в речи беспокоит людей уже очень давно. Еще до появления интернета человечество разрабатывало способы оградить себя от лишних звуковых событий. Различные методы их подавления применяются во многих сферах: строительстве, производстве аудио- и видеоконтента и т. д. (примером тому являются инструменты по удалению шума в программе Audacity [1]). С приходом мессенджеров, приложений для конференций и явления удаленной работы потребность в совершенствовании методов шумоподавления возросла многократно. Через интернет проходит все больше разговоров, а поэтому современные программные продукты должны быть способны в режиме реального времени избавлять аудиоинформацию от лишних помех (пример — стороннее программное обеспечение Kgris, применяемое в мессенджере Discord [2]).

Различные наработки в области шумоподавления известны по крайней мере с 70-х годов прошлого века, и с тех пор было реализовано множество их вариаций, в том числе с применением моделей глубокого обучения. Тем не менее, их основа, а именно техника спектральной оценки, осталась практически неизменной. Техника спектральной оценки полагается на анализ спектра — набора синусоидальных волн, которые, будучи надлежащим образом скомбинированы, дают изучаемый нами сигнал во временной области.

Спектр [3] можно представить в виде спектрограммы — изображения, показывающего зависимость амплитуды сигнала во времени на различных частотах. Один столбец в спектрограмме соответствует спектру короткого участка исходного сигнала, более теплые и яркие тона означают большее значение. Одной из разновидностей спектрограммы является мел-спектрограмма. Мел [4] (от англ. *melody*) — количественная оценка звука по высоте, основанная на статистической обработке большого числа данных о субъективном восприятии высоты звука. Результаты исследований показали, что высота звука связана главным образом с частотой колебаний. Эта зависимость может быть описана соотношением

$$m = 1125 \ln \left(1 + \frac{f}{700} \right),$$

где f — частота колебаний.

Подобные единицы измерения часто используют при решении задач распознавания речи, так как они позволяют наиболее точно приблизиться к механизмам человеческого восприятия звука.

Вне зависимости от того, какая разновидность спектра анализируется, большинство преобразований осуществляется с помощью преобразований Фурье [5, 6]. Преобразование Фурье предполагает, что сигнал является стационарным. В случае если сигнал нестационарный, он разбивается на отдельные отрезки, называемые окнами. Выбор размера окна зависит от типа исследуемого сигнала. В среднем размер окна, который используется в преобразованиях Фурье, составляет около 25–50 мс для звукового сигнала (меньшие значения — для человеческой речи, большие — для музыки). Однако применять преобразование Фурье к окнам напрямую нельзя, так как в этом случае некорректно обрабатываются граничные области окон. Для решения этой проблемы сигнал предварительно умножают на специальную весовую функцию, называемую «оконной».

Далее выполняется непосредственно преобразование Фурье, которое дает в результате спектр сигнала, т. е. значение комплексной амплитуды для различных диапазонов частот, из чего следует вычесть спектр шума. Из модуля комплексной амплитуды сигнала вычитается модуль комплексной амплитуды шума, умноженный на некий коэффициент, если результат отрицательный, он заменяется на нуль. Фазовый компонент спектра оставляется нетронутым. К результату вычитания можно применить обратное преобразование Фурье, таким образом удалив шум из записи. Итоговый алгоритм шумоподавления при наличии известного образца шума:

- разделение спектра сигнала на окна;
- применение оконного преобразования Фурье к окнам;
- вычитание по модулю спектра амплитуды шума из спектра амплитуды сигнала;

$$A = \max (A_c - kA_{ш}),$$

где k — коэффициент, подбираемый опытным путем;

– применение обратного преобразования Фурье к результату.

Размер окна, перекрытие окон, тип применяемой оконной функции подбираются опытным путем.

Также стоят отдельного внимания алгоритмы шумоподавления, основанные на моделях глубокого обучения. Одним из представителей таких алгоритмов является решение от компании Mozilla под названием RNNoise [7]. В отличие от большинства аналогичных проектов, проект Mozilla менее ресурсозатратный ввиду использования гибридного подхода к построению модели. Например, модель RNNoise не работает напрямую со спектром и сэмплами, а с диапазонами в соответствии с человеческим восприятием звука на слух. Именно поэтому данный алгоритм, а также алгоритмы, основанные на анализе спектрограмм (в том числе и мел-спектрограммы), были выбраны для сравнительного анализа эффективности алгоритмов в решение задачи denoising.

На вход каждого алгоритма подается аудиозапись в формате wav. Далее она подвергается обработке алгоритмами шумоподавления, а также вычисляются численные метрики, свидетельствующие о том, насколько качественно алгоритм проработал аудиозапись. Также после обработки полученный результат отдельно прослушивается. Для численной оценки результатов шумоподавления используются следующие метрики [8, 9]:

1) Word Error Rate (WER) — доля (процент) неправильно распознанных слов:

$$WER = \frac{S + D + I}{T} = \frac{s + D + I}{S + D + H},$$

где S — наименьшее число операций замены слов; D — наименьшее число операций удаления слов; I — наименьшее число операций вставки слов;

2) Signal-to-Noise Ratio (SNR) — соотношение мощности (амплитуды) полезного сигнала к мощности (амплитуде) шума

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{A_{signal}^2}{A_{noise}^2},$$

где P — средняя мощность; A — среднеквадратичное значение амплитуды. Оба сигнала измеряются в полосе пропускания системы.

Обычно отношение сигнал/шум выражается в децибелах (дБ).

Численные результаты работы алгоритмов шумоподавления приведены в таблице.

Результаты работы алгоритмов шумоподавления

Метод подавления шума	WER, %	CNR, dB
Преобразование Фурье	33	16,7
Мел-преобразование	28	18,3
Нейросетевой алгоритм (RNNoise)	24	20,4

Стоит отметить, что благодаря своему устройству RNNoise смог практически полностью удалить шум во время разговора, что позволило заметно снизить WER метрику и, как итог, конечный результат шумоподавления.

В заключении следует отметить, что нейронная модель очистки звука от шумов RNNoise может быть дополнительно обучена, так как сбор материалов для обучения проводится в открытом доступе, что позволяет лучше адаптировать его к выполнению задачи шумоподавления в реальном времени.

Литература

- [1] *Noise Reduction*. URL: https://manual.audacityteam.org/man/noise_reduction.html (дата обращения 09.04.2024).
- [2] *ЧаВо по Krisp*. URL: <https://support.discord.com/hc/ru/articles/360040843952-ЧаВо-по-Krisp> (дата обращения 09.04.2024).
- [3] *Разбираемся, как подавить шум в речи с помощью глубокого обучения и OpenVINO*. URL: <https://habr.com/ru/companies/intel/articles/558224/> (дата обращения 06.04.2024).
- [4] *Мел (высота звука)*. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Мел_\(высота_звуча\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Мел_(высота_звуча)) (дата обращения 06.04.2024).
- [5] *Введение в аудиоданные*. URL: https://huggingface.co/learn/audio-course/ru/chapter1/audio_data (дата обращения 07.04.2024).
- [6] *Алгоритмы активного шумоподавления*. URL: <https://ru.stackoverflow.com/questions/790343/Алгоритмы-активного-шумоподавления> (дата обращения 08.04.2024).
- [7] *RNNoise: Learning Noise Suppression*. URL: <https://jmvalin.ca/demo/rnnoise/> (дата обращения 07.04.2024).
- [8] *Оценка качества работы систем Speech to Text*. URL: <https://newtechaudit.ru/ocenka-kachestva-raboty-sistem-speech-to-text/> (дата обращения 10.04.2024).
- [9] *Signal to Noise Ratio (SNR)*. URL: <https://github.com/hrtlacek/SNR> (дата обращения 10.04.2024).

Analysis of denoising methods

Bezlyudov Mikhail Dmitrievich

bezlyudovmd@student.bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article considers a key problem in the process of speech recognition — the problem of noise suppression. The relevance of the problem of noise strangulation, as well as the scope and mathematical apparatus of this process are considered. Special attention is paid to spectral analysis as the basis of most noise removal algorithms. It is considered as a classical type of spectrogram, since it is a variant with the mel parameter correlating with the frequency of oscillation. These spectrograms are manipulated using Fourier transformations. Three major noise reduction algorithms are also being compared for efficiency: the Fourier transform, the mel-spectrogram transformation, and the RNNoise neural model. The analysis is carried out using numerical metrics as well as empirical checking of noise reduction results.

Keywords: noise reduction, Fourier transform, spectral analysis, metric analysis

УДК 621.6

Разработка системы контроля и диагностики состояния среды газораспределительной станции

Мартынов Никита Андреевич

nikita-martynov1002@mail.ru

Финошин Александр Викторович

finoshin@bmstu.ru

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

Статья представляет собой описание системы контроля и диагностики состояния газораспределительной станции (ГРС), объединяющей данные с различных приборов для обеспечения безопасности и эффективности работы. Описывается интеграция информации с термохимического датчика, манометра, прибора пожарной безопасности и сигнализатора загазованности в единую систему контроля. Рассмотрена автоматизация реакций на опасные ситуации. Особое внимание уделено выбору микроконтроллера и разработке программного обеспечения для сбора и обработки данных. Цель работы — описание разработки и реализации системы контроля и диагностики состояния ГРС для повышения безопасности и эффективности ее работы. В результате разработки система демонстрирует потенциал для значительного улучшения безопасности эксплуатации станции и оперативного реагирования на потенциальные угрозы. Это направление может обеспечить безопасность и эффективность работы ГРС.

Ключевые слова: газораспределительная станция (ГРС), система контроля и диагностики, автоматизация работы, реакция на угрозы, эффективность работы

Газораспределительная станция (ГРС) — 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 определяется и контролируется на основе различных приборов. В данной статье интересуют конкретные: термохимический датчик, манометр, приемно-контрольный прибор пожарной безопасности и сигнализатор загазованности в помещении. Данные с этих приборов можно объединить в одну систему, которая упростит контроль над ними — «Система контроля и диагностики состояния среды газораспределительной станции». Ранее данные приборы не были объединены одной системой контроля, а работали в большей мере обособленно друг от друга. Данный комплекс позволит осуществлять контроль за работой станции. С помощью такой системы реакция на опасную для работы станции ситуацию может быть произведена как человеком, так и автоматически. Система предназначена для контроля одной газораспределительной станции.

Целью поддержания работы системы является: наладка системы, разработка тестовых данных для проверки системы, сбор сведений об уязвимостях и критических значениях. Назначение и функционал проектируемой системы:

- интеграция полученных данных с приборов в систему контроля и диагностики. Обработка полученных данных;

- автоматизация работы станции. Заключается в автоматическом реагировании с помощью системы диагностики и контроля, в таких ситуациях как пропускание газа в окружающую среду, распространение открытого пламени или превышении давления газа. В данных ситуациях решение нужно принимать моментально, чтобы такая опасная ситуация не вылилась в полную остановку работы станции;

- взаимодействие оператора со станцией. Возможно получение данных срабатываний тех или иных приборов и систем безопасности. Также возможность отключения необходимой системы безопасности вручную при необходимости;

- проведение тестов, основанных на потенциальных ситуациях. Последующая обработка полученных результатов и доработка в соответствии с этими результатами.

К настоящему моменту совершены следующие действия:

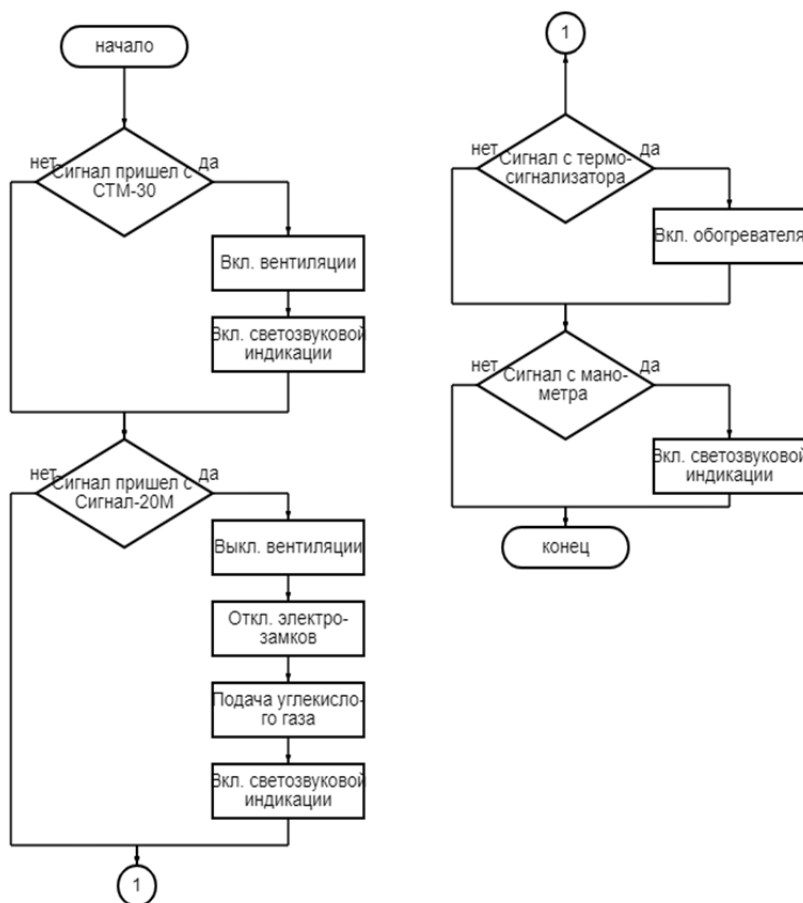
- сбор информации на предприятии о необходимых приборах для системы диагностики и контроля. Также данные приборы были изучены для дальнейшего выбора пути сбора данных с них;

- выбор микроконтроллера ATmega328P для сбора информации обоснован на основе его функциональных возможностей, которые оцениваются в контексте требований, предъявляемых к данной системе. Архитектура и характеристики ATmega328P позволяют успешно реализовать задачи, связанные с сбором и обработкой данных без значительных трудностей [1];

- написан скрипт для микроконтроллера на языке программирования C++. Данный скрипт постоянно опрашивает заданные входы и выходы для дальнейшей их обработки. На вход поступает дискретный сигнал в каком состоянии находится прибор, находится ли он в режиме срабатывания тревоги или же в нормальном состоянии работы. Если же на заданных входах происходят изменения, то следует реакция. Далее на рисунке приведена блок-схема реакции микроконтроллера на определенное воздействие [2];

- написан скрипт получения и обработки данных с микроконтроллера. Он опрашивает порт с частотой раз в 30 с, на данном этапе разработки требуется проведение частых опросов с использованием микроконтроллера ATmega328P в связи с необходимостью выявления возможных ошибок и недоработок в системе. Такой подход обеспечивает активное сбор и анализ данных, что позволяет оперативно выявлять и исправлять проблемы в функционировании системы, а также оптимизировать ее работу в процессе разработки. Информация, получаемая с микроконтроллера, проходит процесс обработки, после чего данные заносятся в базу данных. Работа с базой данных обеспечивает постоянный доступ к актуальным данным без необходимости приостанавливать выполнение программы, что позволяет эффективно управлять информацией и проводить оперативную аналитику. В рамках обработки исключений осуществляется анализ данных на предмет нештатных ситуаций

или ошибок, что позволяет системе реагировать на них адекватно и принимать соответствующие меры для их устранения или предотвращения [3]. На рисунке СТМ-30 — прибор загазованности помещения, сигнал-20М — прибор пожарной безопасности.



Блок-схема программы микроконтроллера

Закключение. В результате проведенной работы была разработана система контроля и диагностики состояния среды газораспределительной станции, объединяющая данные с различных приборов и обеспечивающая автоматизацию работы станции. Эта система позволяет реагировать на опасные ситуации как автоматически, так и оператором, что существенно повышает безопасность эксплуатации станции. Важным шагом является интеграция данных с приборов в единую систему, что ранее отсутствовало для данных приборов.

Литература

- [1] Bloom J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. John Wiley & Sons, 2013.
- [2] Носов Т. Программирование на СИ для PIC. URL: https://pic-project.ucoz.ru/_ld/0/16_C_for_PIC.pdf (дата обращения 10.04.2024).
- [3] McKinney W. Python for Data Analysis. Beijing, O'Reilly, 2012.

Development of a system for monitoring and diagnosing the state of the gas distribution station environment

Martynov Nikita Andreevich

nikita-martynov1002@mail.ru

Finoshin Alexander Viktorovich

finoshin@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article is a description of a system for monitoring and diagnosing the condition of a gas distribution station (GDS), combining data from various devices to ensure safety and operational efficiency. The integration of information from a thermochemical sensor, a pressure gauge, a fire safety device and a gas alarm into a single control system is described. Automation of reactions to dangerous situations is also considered. Special attention is paid to the choice of a microcontroller and the development of software for data collection and processing. The purpose of the work is to describe the development and implementation of a system for monitoring and diagnosing the state of the GDS to improve the safety and efficiency of its operation. As a result of the development, the system demonstrates the potential to significantly improve the safety of plant operation and rapid response to potential threats. This direction can ensure the safety and efficiency of the GDS operation.

Keywords: *gas distribution station, monitoring and diagnostic system, automation of work*

УДК 5874

Разработка Telegram -бота для автоматизации доступа к учебному расписанию

Кундик Елизавета Александровна

kea23ki132@student.bmstu.ru

Савосина Вера Алексеевна

sva23ki219@student.bmstu.ru

Финошин Александр Викторович

finoshin@bmstu.ru

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

Рассмотрен процесс создания бота, предоставляющего доступ к учебному расписанию в мессенджере Telegram. Основной результат направлен на реализацию возможности быстрого отображения расписания с двумя различными вариантами запросов к нему — по названию группы и по временному промежутку, выбранному пользователем. Запрошенное расписание будет представлено в виде текстового сообщения. Практическая значимость заключается в упрощении организационных процессов за счет сокращения времени на получение необходимых сведений. Разработанная система уже используется обучающимися ИУКЗ. Для улучшения работоспособности бота проводится его тестирование и оптимизация.

Ключевые слова: автоматизация доступа, Telegram-бот, расписание учебных занятий

Цель работы — разработка и реализация алгоритма, обеспечивающего доступ к учебному расписанию в мессенджере Telegram с помощью бота. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- ознакомиться с уже существующими способами решения поставленной проблемы и выявить наиболее эффективный метод;
- разработать алгоритм доступа к расписанию;
- выбрать язык программирования и необходимые библиотеки для написания кода;
- написать программу, реализующую обозначенный алгоритм для работы бота;
- произвести тестирование и оптимизацию бота.

С каждым годом информационные технологии все чаще применяются в решении различных задач, возникающих в самых разных областях жизни современного общества, в том числе и в сфере высшего образования, ведь одним из важных аспектов организации образовательного процесса в университете является составление расписания занятий. При этом необходимо уделить внимание тому, как студенты получают информацию о расписании, насколько оно удобно для просмотра и навигации. Данные факторы, несомненно, влияют на качество организации образовательного процесса.

В большинстве вузов информация о расписании в цифровом формате представляется в виде веб-страницы, что, в частности, предполагает переход на сайт университета и лишь потом непосредственный поиск расписания. Помимо этого, в МГТУ им. Н.Э. Баумана расписание изменяется согласно четно-

сти недели: четная неделя предполагает обучение по расписанию «знаменателя», нечетная — по «числителю»; в связи с этим у пользователя возникает необходимость в самостоятельном наблюдении за кратностью номера недели.

Таким образом, становится актуальным создание дополнительного инструмента для просмотра расписания учебных занятий. В качестве такого инструмента предлагается рассмотреть Telegram-бот.

В результате анализа данной предметной области на наличие схожих концепций найдены работы [1], описывающие программные разработки в виде Telegram-бота для помощи студентам в получении быстрых ответов на вопросы, связанные с расписанием занятий и учебным планом.

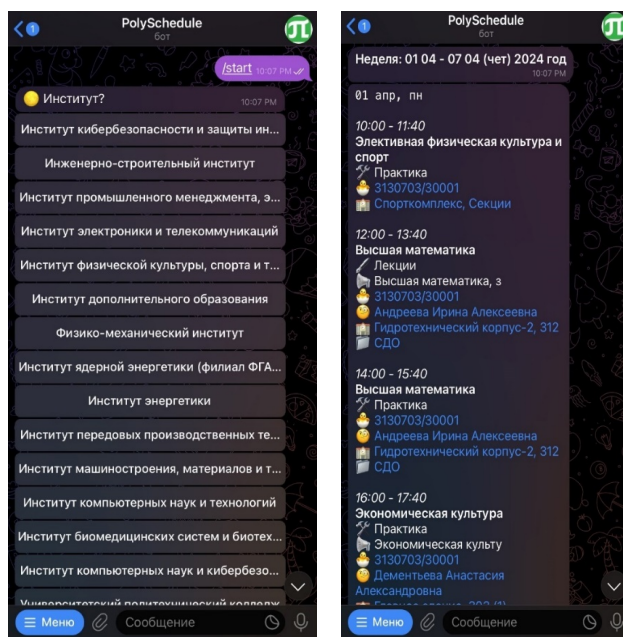


Рис. 1. Пример аналогичного Telegram-бота

В большинстве своем описывается созданный Telegram-бот с возможностью просмотра расписания преподавателя, группы или аудитории по данным, извлекаемым из веб-страницы с официальным расписанием университета. Недостатком данного решения является существенная зависимость от структуры сайта.

Предлагаемая разработка направлена на создание Telegram-бота — дополнительной системы для повышения оперативности уведомления участников образовательного процесса об изменениях в расписании учебных занятий. Задача состояла в разработке инструмента, реализующего следующую функциональность:

- выбор расписания группы по названию;

– выбор расписания на определенный временной промежуток (день, неделя);

– выбор расписания на числитель или знаменатель.

Источником информации для наполнения бота послужило официальное расписание с сайта КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана [2].

В работе описано разработанное приложение — Telegram-бот, необходимое для устранения недостатков существующего способа получения сведений о графике учебных занятий. Основная проблема заключалась в необходимости использовать браузер и каждый раз заново искать нужное расписание через навигацию. Решением стало создание дополнительного инструмента (бота), встраиваемого в популярный мессенджер Telegram [3]. Разработанное решение позволяет находить нужное расписание по номеру группы, что существенно сократит время на его поиски.

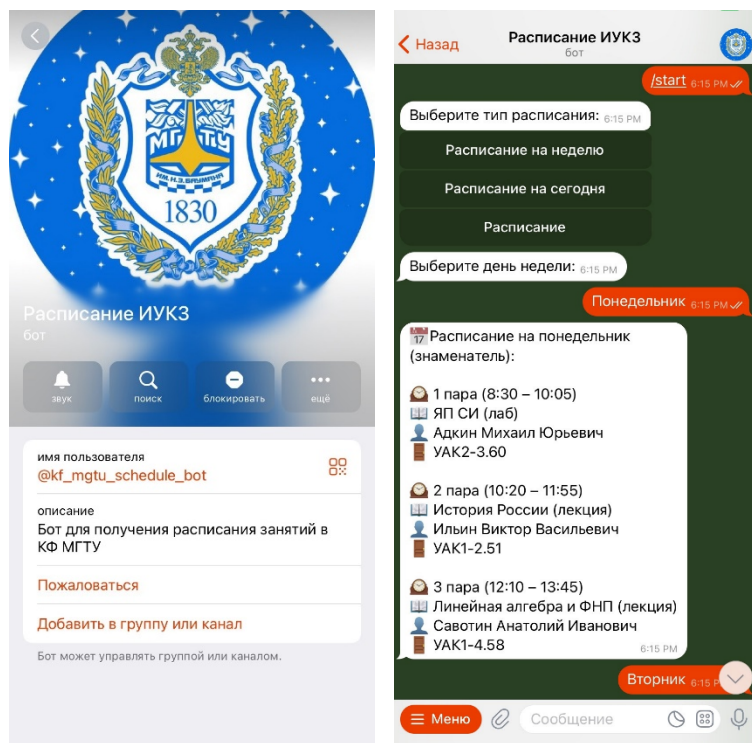


Рис. 2. Пример работы созданного бота

Разработка Telegram-бота велась на языке программирования Python с применением расширений и библиотек [4]. В данной работе были использованы следующие библиотеки: telebot, datetimes, а также официальный бот Telegram — BotFather, который помогает создавать и управлять другими ботами на платформе [5]. Он предоставляет разработчикам доступ к API Tele-

gram для создания различных ботов. BotFather также позволяет настраивать параметры для каждого бота и помимо этого предоставляет инструменты для управления и мониторинга их работы.

В качестве дальнейших направлений улучшения могут быть рассмотрены задачи по созданию таких возможностей бота, как:

- использование бота различными курсами и направлениями;
- расширение функциональности бота с помощью добавления заметок и напоминаний;
- внедрение методов искусственного интеллекта;
- найти подходящий хостинг для размещения на нем программы и настроить его для работы.

Литература

- [1] Санкт-Петербургский политехнический университет. URL: https://t.me/poly_schedule_support_bot (дата обращения 24.04.2024).
- [2] Официальный сайт КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. URL: <https://kf.bmstu.ru/schedule> (дата обращения 24.04.2024).
- [3] Общая информация про Telegram. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Telegram_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Telegram_(software)) (дата обращения 24.04.2024).
- [4] API на Python для создания Telegram бота. URL: <https://github.com/eternnoir/pyTelegramBotAPI> (дата обращения 24.04.2024).
- [5] Официальный сайт Python. URL: <https://www.python.org/> (дата обращения 24.04.2024).

Development of a Telegram bot for automating access to school schedules

Kundik Elizaveta Aleksandrovna

Savosina Vera Alekseevna

Finoshin Alexander Viktorovich

kea23ki132@student.bmstu.ru

sva23ki219@student.bmstu.ru

finoshin@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This paper discusses the process of creating a bot that provides access to the schedule in the messenger Telegram. The main result is aimed at realizing the ability to quickly display the schedule with two different options for querying it — by group name and by time period selected by the user. The requested schedule will be presented as a text message. The practical significance lies in the simplification of organizational processes by reducing the time for obtaining the necessary information. The developed system is already used by the students of both groups. In order to improve the performance of the bot, its testing and optimization is carried out. Thus, the purpose of this paper is to develop a Telegram bot with a schedule of classes for students with an intuitive interface.

Keywords: access automation, Telegram bot, class schedule

УДК 004.896

Динамическое моделирование контура регулирования уровня в конденсаторе - сепараторе

Решетников Георгий Александрович¹

generalreshetnikov@gmail.com

Порываев Олег Павлович¹

olegporывaev@inbox.ru

Милосердов Владислав Олегович^{1,2}

miloserdovvo@bmstu.ru

SPIN-код: 1394-4940

¹ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия² ЗАО НПВП «Турбокон», Калуга, Россия

Рассмотрено моделирование динамической модели контура регулирования уровня конденсата в конденсаторе-сепараторе турбины. В ходе исследования применяются результаты вычислительного эксперимента, чтобы оценить эффективность принимаемых технических решений. Основное внимание уделено моделированию различных узлов контура. В отдельности рассмотрены конденсатор-сепаратор, конденсатные насосы, регулирующий и подпиточный клапаны. Моделирование позволяет изучить динамику работы этих компонентов и прогнозировать их воздействие на уровень конденсата в турбине. Использование вычислительного эксперимента позволяет оценить не только работу отдельных компонентов системы, но и влияние различных технических решений на эффективность работы контура и на его быстродействие. Такой подход помогает оптимизировать процессы регулирования и повышает эффективность энергетической установки в целом.

Ключевые слова: конденсатор-сепаратор, теплообмен, регулирование, автоматизация, ПИ-регулятор, математическая модель

В современном инженерном мире эффективное регулирование уровня жидкости в технологических процессах играет ключевую роль в обеспечении стабильности и оптимальной работы системы. Поддержание гидравлического уровня теплообменного оборудования необходимо не только для обеспечения требуемого теплового режима, но также для обеспечения безопасной эксплуатации, например для поддержания требуемого кавитационного запаса насосного оборудования, предупреждения затопления технологических отборов смежных систем и т. д.

При проектировании системы управления подобным технологическим оборудованием необходимо не только учитывать тепловую и гидравлическую инерцию, но и правильно оценить требуемое быстродействие исполнительных механизмов для обеспечения требуемых показателей качества управления [1].

Контур регулирования уровня конденсата в конденсаторе-сепараторе представляет собой комплекс взаимосвязанных элементов, обеспечивающих стабильное поддержание требуемого уровня жидкости. Основные компоненты функциональной схемы включают в себя:

- конденсатор-сепаратор;
- конденсатные насосы (НК1, НК2);
- регулирующий клапан (КР2);
- клапан подпитки (К6).

Моделирование гидравлического контура выполнялось в среде динамического моделирования SimInTech и состояло из разработки следующих элементов.

1. Модель конденсатора-сепаратора рассматривается как вертикальный цилиндр определенной высоты и диаметра с учетом его геометрических параметров [2]. В процессе моделирования на каждом расчетном шаге решается уравнение

$$\frac{dV_F}{dt} = v_F \left(\sum G_{in_F} - \sum G_{out_F} - V_F \frac{d\rho_F}{dt} \right),$$

где v_F — удельный объем жидкости, м³/ч; V_F — объем жидкости, м³; $\sum G_{in_F}$ — сумма входящих в сепаратор расходов жидкости, кг/с; $\sum G_{out_F}$ — сумма выходящих из бака расходов жидкости, кг/с; ρ_F — плотности жидкости, кг/м³.

2. Модель конденсатных насосов будет представлять собой расчетный узел, создающий напор в гидравлическом контуре в соответствии с его расходно-напорной характеристикой. Напорно-расходная характеристика насосов будет задана в качестве аппроксимирующих полиномов второй степени по паспортной характеристике.

3. Модель клапана представляет собой расчетный узел, создающий гидравлическое сопротивление в гидравлическом контуре в соответствии с его характеристикой.

Пропускная характеристика клапана определялась по паспортным показателям согласно формуле Дарси — Вейсбаха и определена в качестве аппроксимирующего выражения коэффициента местного сопротивления [3]. Результат изменения коэффициента гидравлического сопротивления в зависимости от степени открытия регулирующего клапана для реализации линейной характеристики регулирующего клапана представлен на рис. 1.

4. Модель электромагнитного клапана К6 будет представлять собой расчетный узел, создающий гидравлическое сопротивление в контуре в открытом положении, согласно его пропускной способности. Электромагнитный клапан обладает достаточно большим быстродействием, поэтому скоростью его открытия будем пренебрегать.

Основной задачей при моделировании гидравлического контура является соблюдение геометрических размеров оборудования для расчетов адекватных коэффициентов местного сопротивления, скоростей и пр. Типовое оборудование будет описано эмпирическими формулами собранными и представленными в справочнике [4]. Общий вид модели гидравлического контура с моделями исполнительных механизмов представлен на рис. 2.

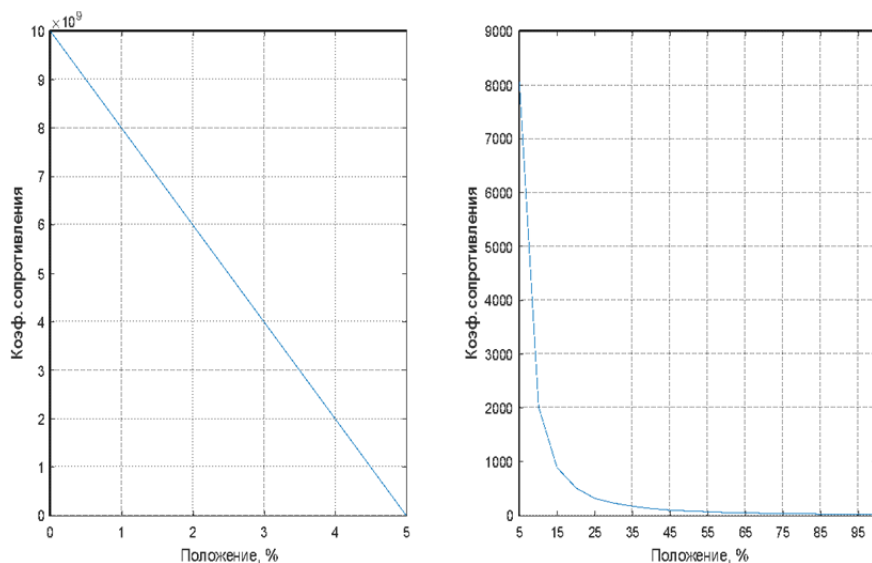


Рис. 1. Коэффициент местного сопротивления клапана в зависимости от положения плунжера

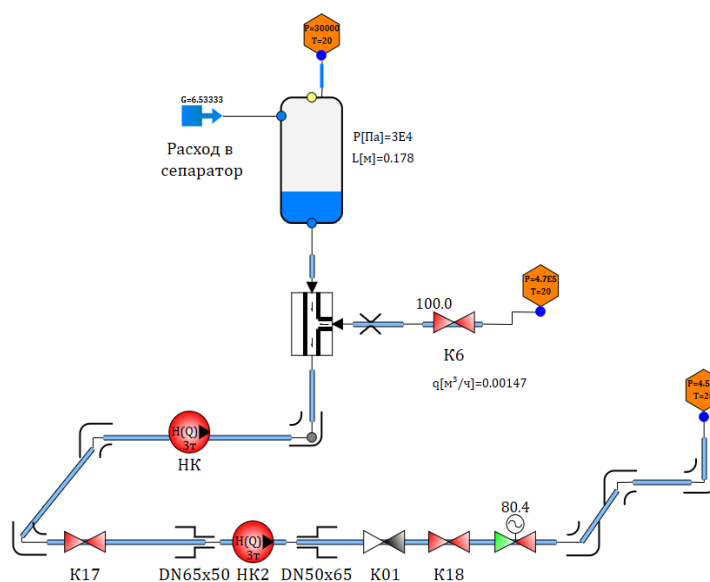


Рис. 2. Общий вид модели гидравлического контура

Полученная расчетная модель позволяет моделировать различные эксплуатационные режимы, оценить динамические параметры контура, уточнить, скорректировать и оценить заложенные технические решения. Для выполнения

функций регулирования уровня в конденсаторе-сепараторе был синтезирован ПИ-регулятор с применением эвристического метода Циглера — Николса [5].

Регулятор поддерживает уровень в сепараторе по показаниям датчика индикатора уровня на требуемом значении. Регулирование осуществляется по закону ПИ-регулирования в пределах установленного диапазона регулирования. Управляющее воздействие формируется по сигналу невязки уровня, выходным сигналом является положение регулирующего клапана КР2.

Результаты вычислительного эксперимента представлены на рис. 3 и 4. В ходе эксперимента оценивалось качество переходных процессов при ступенчатом внешнем возмущении, в ожидаемых пределах.

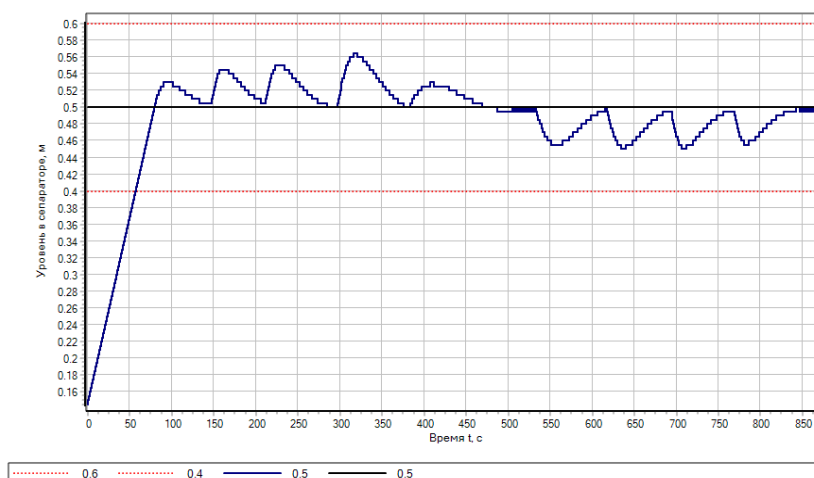


Рис. 3. График изменения уровня в сепараторе (красными пунктирными линиями отображаются границы диапазона регулирования)

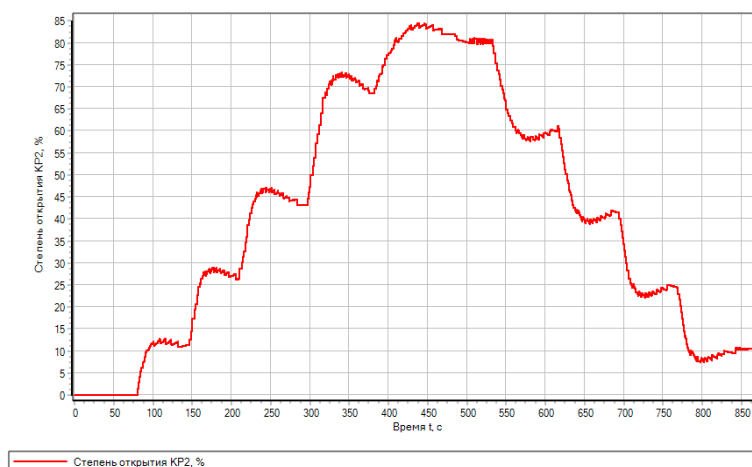


Рис. 4. График степени открытия регулирующей арматуры КР2

В ходе выполнения вычислительного эксперимента была выполнена оценка динамических свойств контура регулирования, оценка требуемого быстродействия регулирующего клапана, при котором обеспечивается заданное качество управления в условиях ожидаемых внешних возмущений.

Заключение. По результатам моделирования динамической модели контура регулирования и исполнительных механизмов можно сделать вывод о том, что разработанные математические модели позволяют эффективно управлять уровнем конденсата в конденсаторе-сепараторе. Полученные результаты также позволяют формировать рекомендации по управлению, включая выбор электроприводов с определенными скоростями, процедуры пуска, условия внешних возмущений и другие аспекты.

Литература

- [1] Зиновьев В.В., Стародубов А.Н., Николаев П.И. *Моделирование процессов и систем*. Кемерово, КузГТУ, 2016, 146 с.
- [2] Карташов Б.А., Шабаетов Е.А., Козлов О.С., Щекуратов А.М. *Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования*. Москва, ДМК Пресс, 2017, 424 с.
- [3] Кухлинг Х. *Справочник по физике*. Москва, Мир, 1985, 520 с.
- [4] Идельчик И.Е. *Справочник по гидравлическим сопротивлениям*. Москва, Машиностроение, 1992, 672 с.
- [5] Васильев В.А., Воевода А.А. Цифровые регуляторы: целевые функции настройки, выбор метода интегрирования, аппаратная реализация. *Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета*, 2006, № 4 (46), с. 3–10.

Dynamic modeling of the level control circuit in a capacitor separator

Reshetnikov Georgy Alexandrovich¹

generalreshetnikov@gmail.com

Poryvaev Oleg Pavlovich¹

olegporyvaev@inbox.ru

Miloserdov Vladislav Olegovich^{1,2}

miloserdovvo@bmstu.ru

¹ Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

² ZAO NVP "Turbokon", Kaluga, Russia

In this article, the modeling of a dynamic model of the condensate level control circuit in a turbine separator condenser is considered. In the course of the study, the results of a computational experiment are used to evaluate the effectiveness of the technical decisions made. The main focus of the article is on modeling various contour nodes. Separately, the condenser separator, condensate pumps, control and make-up valves are considered. The simulation allows us to study the dynamics of these components and predict their impact on the condensate level in the turbine. The use of a computational experiment makes it possible to evaluate not only the operation of individual components of the system, but also the impact of various technical solutions on the efficiency of the circuit and its performance. This approach helps to optimize the regulatory processes and increases the efficiency of the power plant as a whole.

Keywords: condenser-separator, heat transfer, regulation, automation, PI-regulator, mathematical model

Секция 6. Экология и безопасность

УДК 628.543.15:628.34

Характеристика производства каустической соды. Анализ методов и схем очистки ртутьсодержащих сточных вод

Готвальд Елена Дмитриевна

lena.gotvald@icloud.com

Яковлева Ольга Владимировна

yakowlewaolga24@mail.ru

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

Исследована возможность повышения эффективности очистки ртутьсодержащих сточных вод на основании проведенного анализа использования передовых методов и схем очистки стоков. Показано, что при ртутном методе получения каустика, основанного на процессе электролиза с ртутным катодом, наиболее стабильным методом очистки сточных вод, позволяющим использовать воду в оборотной системе предприятия, является обратный осмос.

Ключевые слова: производство каустической соды, ртутьсодержащие сточные воды, методы очистки и схемы, обратное водоснабжение

Каустическая сода — один из важнейших видов продукции химической промышленности. Однако предприятия, специализирующиеся на производстве каустической соды, являются источником загрязнения сточных вод веществами, оказывающими негативное влияние на качество стока. В связи с этим в настоящее время актуален вопрос об очистке сточных вод данного химического производства.

Цель работы — выявление наиболее перспективных методов и схем очистки ртутьсодержащих сточных вод производства каустической соды.

Технология производства каустической соды. Каустическую соду (гидроксид натрия) в промышленности получают химическими и электрохимическими методами. К химическим методам получения гидроксида натрия относятся пиролитический, известковый, ферритный. Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день эти методы почти полностью вытеснены электрохимическими методами производства. Едкая щелочь и хлор вырабатываются тремя электрохимическими методами: электролиз с твердым катодом (диафрагменный и мембранный методы) и электролиз с жидким ртутным катодом (ртутный метод).

В настоящее время наиболее часто используется ртутный метод получения каустика, основанный на процессе электролиза с ртутным катодом, в результате которого получается едкий натр без примесей (рис. 1).

С помощью ртутного электролизера производят коммерческую (с концентрацией до 50 %) каустическую соду (NaOH) на выходе [1].

Исследование показало, что сточные воды производства каустической соды содержат взвешенные вещества, гидроксиды и хлориды натрия, но наибольшую опасность среди этого перечня представляет ртуть, образующаяся при электролизе с ртутным катодом.

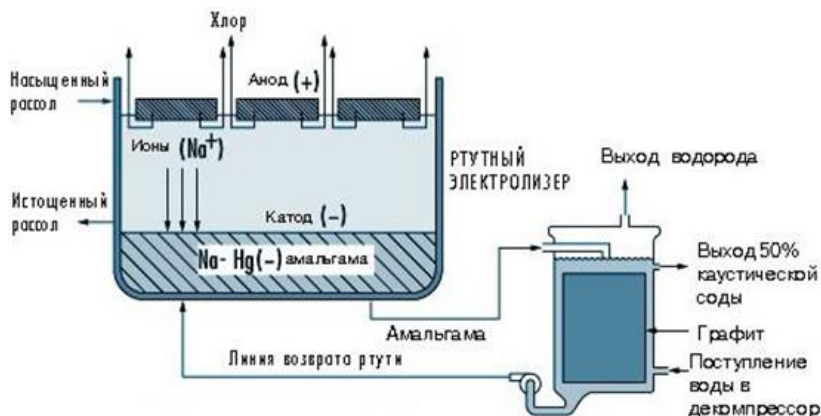


Рис. 1. Схема процесса получения гидроксида натрия ртутным методом [1]

Ртуть — вещество, относящееся к первому классу опасности, в связи с этим сток нуждается в тщательной многоэтапной очистке (ПДК_{рыб.хоз.} ртути в воде составляет 0,00001 мг/л, а для использования воды в производственном процессе концентрация ртути в ней не должна превышать 0,005 мг/л) [2].

Применяемые методы и схемы очистки ртутьсодержащих стоков.

В ходе исследования было выявлено, что для очистки сточных вод от ртути применяют различные методы, наиболее часто используемыми и эффективными из которых являются: реагентная очистка, сорбционная очистка, ионообменная очистка, электрокоагуляция, обратный осмос.

При проведенном анализе применяемых методов и схем очистки ртутьсодержащих сточных вод выявились их преимущества и недостатки. Так, при использовании реагентного метода очистки для осаждения ртути в виде труднорастворимого сульфида ртути HgS в сточную воду добавляют сульфид натрия Na_2S . Затем воду обрабатывают коагулянт (хлоридом железа FeCl_3) для удаления тонкодисперсных коллоидных частиц сульфида ртути HgS [3]. Выявлено, что использование реагентного метода очистки позволяет очищать сточные воды до необходимых требований, однако в очищенном стоке повышается солесодержание, что усложняет дальнейшее его использование. Схема очистки достаточно громоздка.

В настоящее время перспективными технологиями извлечения соединений ртути из водных растворов являются технологии, основанные на использовании полимерных синтетических сорбентов. Новая технология извлечения ртути из водных растворов основана на применении разработанного типа сорбентов — серосодержащих полимеров, в состав которых помимо полисульфидных цепочек входят фрагменты, содержащие тройную связь $\text{C}\equiv\text{C}$. При очистке сточных вод от ртути с концентрацией, превышающей 0,5 г/л, схема включает два адсорбера. Один из них работает в режиме смешения с использованием псевдоожиженного слоя сорбента, другой — в динамическом режиме [4]. При использовании метода нужно отметить повышенные экономические показатели.

ли (цена сорбента), а также необходимость восстановления использованного сорбента. Отмечается некоторая нестабильность процесса.

Ионообменный способ очистки сточной воды от тяжелых металлов обеспечивает высокий (около 100 %) эффект очистки. В качестве ионитов чаще всего используют синтетические ионообменные смолы. При применении метода ионного обмена получаемое качество очистки позволяет использовать очищенные воды в оборотном водоснабжении.

Основными недостатками метода ионного обмена являются значительный расход реагентов, необходимость восстановления сорбционной способности ионитов [5]. Метод часто относят к реагентным методам.

Преимуществом электрокоагуляции перед реагентными методами очистки воды, как показало исследование, является возможность отказа от строительства громоздких очистных сооружений, занимающих значительные площади. Недостатки метода — повышение расхода электроэнергии и металла на единицу обрабатываемой воды [5].

Проведенное исследование показало, что наиболее эффективным методом очистки ртутьсодержащих сточных вод является обратный осмос. Используемые для процесса очистки мембраны позволяют получать самый высокий результат очистки независимо от изменения первоначальной концентрации поступающего загрязнения. Пример схемы очистки представлен на рис. 2.

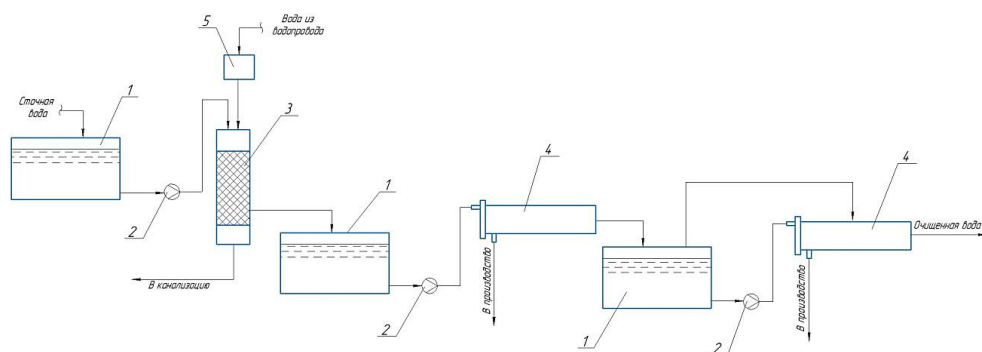


Рис. 2. Схема очистки ртутьсодержащих сточных вод методом обратного осмоса:

1 — накопитель стоков; 2 — насос; 3 — механический фильтр; 4 — мембранный модуль;
5 — сборник воды на промывку

Получаемые стабильные результаты очистки по данной технологии позволяют обеспечить организацию оборотного водоснабжения. Схемы очистки стоков достаточно компактны.

Проведенный сравнительный анализ применяемых для очистки ртутьсодержащих сточных вод методов очистки и схем позволяет сделать вывод о том, что при использовании ртутного метода получения каустика, основанного на процессе электролиза с ртутным катодом, наиболее эффективным методом очистки стоков, позволяющим обеспечить стабильное оборотное водоснабжение на производстве, является метод обратного осмоса.

Литература

- [1] *Производство хлора и каустической соды*. URL: <http://base.safework.ru/iloenc?navigator&spack=010LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857200175%26listid%3D010000000100%26listpos%3D0%26lsz%3D5%26nd%3D857200175%26nh%3D1%26> (дата обращения 20.03.2024).
- [2] *Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315-03*. Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Москва, 2003, 153 с.
- [3] Ильин А.В., Голованчиков Б.А., Субботин В.Е. *Очистка сточных вод в промышленности Волгоградской области*. Волгоград, ВолгГТУ, 2002, 67 с.
- [4] Рединова А.В., Грабельных В.А., Леванова Е.П., Гозбенко В.Е. Новая технология извлечения ионов ртути (II) из водных растворов. *Химия в интересах устойчивого развития*, 2012, № 2, 199 с.
- [5] Яковлева О.В. *Системы водоподготовки и технологии очистки сточных вод: конспект лекций*. Калуга, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019, 95 с.

Characterization of caustic soda production. Analysis of methods and schemes of mercury-containing wastewater treatment

Gotvald Elena Dmitrievna

lena.gotvald@icloud.com

Yakovleva Olga Vladimirovna

yakowlewaolga24@mail.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The possibility of increasing the efficiency of treatment of mercury-containing wastewater based on the analysis of the use of advanced methods and wastewater treatment schemes was investigated. It has been shown that when using the mercury method of producing caustic based on the electrolysis process with a mercury cathode, reverse osmosis is a more stable method of treating wastewater, which allows using water in the recycling system of the enterprise.

Keywords: *production of caustic soda, mercury-containing wastewater, treatment methods and schemes, recycled water supply*

УДК 574

Анализ тенденции качества воды на основных водных объектах реки Волги в Тульской области

Заверткин Евгений Александрович

zavertkin8910@gmail.com

Анфилов Константин Львович

anfilov@bmstu.ru

Зубарев Даниил Юрьевич

zubarev.daniil2001@gmail.com

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

Рассмотрены экологические показатели, характеризующие качество природных вод Тульской области. В качестве объектов исследования были выбраны объекты, входящие в бассейн р. Волга, а именно р. Ока в г. Белев, р. Ока в г. Алексин и р. Уна в п. Ломинцевский. Проведен анализ динамики состояния изучаемых объектов в период 2020–2022 гг. включительно. Сделаны выводы, что для региона на конец рассматриваемого периода исследования остается актуальная проблема по превышению допустимых концентраций таких веществ, как нитритный и аммонийный азот, органические вещества по БПК₅ и ХПК.

Ключевые слова: водоочистка, мониторинг, анализ, сбросы

Цель работы — анализ тенденции качества воды на основных водных объектах р. Волга в Тульской области. Качественные показатели воды р. Ока в г. Белев на момент 2021 г. в каждом из створов осталось на уровне 2020 г. Статус загрязненности — 3А «Загрязненная». Увеличение показателя предельной допустимой концентрации были зафиксированы по 5–6 критериям из 14, определяющих качество воды, самый большой вклад в характеристику загрязненности водного объекта вносят органические вещества по БПК₅. Существует загрязнение вод, такими веществами, как нитрит азота и органические вещества по ХПК, степень загрязненности классифицируется как низкоуровневая. В процессе мониторинга концентрации кислорода, его количественный показатель не снижался меньше значения 10,6 мг/дм³ [1].

Характеристика качественных показателей воды р. Ока населенном пункте г. Алексин в 2021 г. по сравнению с 2020 г. имеет тенденцию к улучшению в каждом из створов. Таким образом, улучшив разряд уровня загрязненности, разряд загрязненности поднялся с 3Б «Очень загрязненная» на разряд 3А «Загрязненная». Рост значений ПДК был отмечен по 5–6 показателям качества из 14. Основной урон водоему в данном случае наносят органические вещества по ХПК, а также соединения железа. Показатель загрязненности для г. Алексин характеризуется, как средний или устойчиво низкий. На створах образовалась следующая ситуация: содержание органических веществ по ХПК снизилось, показатели соединений железа и БПК₅ не изменились, концентрация аммонийного азота снизилась на каждой из точек отбора. Концентрация О₂ снизилась до 11,1 мг/дм³.

Качественный состав вод р. Упа п. Ломинцевский на момент 2021 г. улучшился. Классификация в верхнем створе получила положительную тенденцию и из разряда 3Б «Очень загрязненная» перешла в разряд 3А «Загрязненная», что касается нижнего створа, то ситуация здесь также идет на улучшение качества водных ресурсов, класс изменился с 4А «Грязная» на класс 3А «Загрязненная». Нарушения показателей предельной допустимой концентрации зафиксированы по 6–7 показателям из 14. Растворы меди, органические вещества по БПК₅ и ХПК, а также соединения нитритного азота являются главными веществами, оказывающими негативное влияние на воды р. Упа п. Ломинцевский. В данном случае степень загрязненности можно расценивать как среднюю или устойчиво низкую. Повышение качества воды в водном объекте обусловлено уменьшением ХПК и БПК₅. Содержание раствора О₂ в воде не опускалось ниже 10,6 мг/дм³.

Ориентируясь на 2020 г., отчетный период 2021 г. продемонстрировал динамику повышения качества водных ресурсов р. Упа в г. Тула в каждом из трех створов. Класс качества воды для верхнего створа изменился в лучшую сторону и перешел из разряда 4А «Грязная» в разряд 3А «Загрязненная». На нижнем створе, расположенном в удалении от верхнего на 1,3 км относительно того места, где впадает р. Воронка, и аналогично на третьем створе, характеристика качества воды изменилась, за счет чего повысился разряд, характеризующий ее качество. Таким образом, водные ресурсы р. Упа в г. Тула на 2 и 3 створах перешли из разряда 4Б «Грязная» в разряд 4А «Грязная». Выход за границы предельно допустимых концентраций наблюдаются по 6–9 показателям из 14. На каждом из имеющихся створов определяющее влияние на качество протекаемых вод оказывают такие загрязнители, как нитритный и аммонийный азот, органические вещества по БПК₅ и ХПК, медь. Данная степень загрязненности классифицируется как среднего и низкого уровня.

Качественные показатели водных ресурсов р. Ока в г. Белев, на конец 2022 г. в фоновом створе снизили содержание вредных веществ и таким образом повысили класс качества с 3А «Загрязненная» на 2 «Слабо загрязненная», показания на контрольном створе — без изменений. Нарушение предельно допустимых концентраций допущено по 5–6 показателям качества водных ресурсов из 14. Загрязнение, оказывающее определяющую долю негативного влияния на водный объект: органические вещества по БПК₅. Загрязненность характеризуется как среднего уровня. Содержание нитритного азота и органических веществ ХПК характеризуются как устойчиво невысокого уровня. Содержание О₂ не опускалось ниже 10,6 мг/дм³. Показатели, характеризующие качество воды р. Ока в г. Алексин на момент отчетности в 2022 г. в фоновом створе повысились, в результате разряд снизился и перешел из 3А «Загрязненная» в разряд 3Б «Очень загрязненная». Показания на контрольной точке отбора не изменились, и присвоен разряд 3А «Загрязненная». Выход за уровни предельно допустимых концентраций отметились по 6 критериям из качества из 14. Оценка загрязненности по следующим ве-

ществам: органические вещества по БПК₅ и по ХПК, общее железо; классификация: среднего или устойчивой низкого уровня.

Качество воды р. Упа п. Ломинцевский в 2022 г. осталась без изменений в обоих створах: 3А «Загрязненная». Превышения ПДК отмечены по 6–7 критериям из 14 [2].

В отчетном году, в сравнении с 2021 г., качество воды р. Упа в г. Тула в фоновом створе ухудшилось и перешло из разряда 3А «Загрязненная» в 3Б «Очень загрязненная».

Таким образом, можно сделать вывод, что в период за 2020–2022 гг. включительно состояние водных объектов ухудшилось по таким показателям, как нитритный и аммонийный азот, органические вещества по БПК₅ и ХПК. Данные загрязнения поступили в водоемы в результате некачественной очистки сточных вод промышленных объектов региона, вследствие чего рекомендуется предприятиям, где образуются стоки подобного характера, провести модернизацию действующих аппаратов водоочистки для получения показателей сбросов в соответствии с значениями установленными Постановлением правительства РФ от 22.05.2020 № 728 Приложение № 5 «Правила холодного водоснабжения и водоотведения» [3, 4].

Литература

- [1] *Доклад министерства Тульской области об экологической ситуации в Тульской области за 2021 г.* Тула, 2021, 107 с. URL: <https://npatula.ru/storage/files/205752367-205754416.pdf> (дата обращения 14.04.2024).
- [2] *Доклад министерства Тульской области об экологической ситуации в Тульской области за 2022 г.* Тула, 2022, 91 с. URL: <https://npatula.ru/storage/files/257494475-257494536.pdf> (дата обращения 14.04.2024).
- [3] Ветошкин А.Г. *Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод.* Вологда, Изд-во Инфра-Инженерия, 2016, 296 с.
- [4] *Правила холодного водоснабжения и водоотведения.* Постановление Правительства РФ от 22.05.2020 г. № 728 (приложение № 5). URL: <http://government.ru/docs/all/128166/> (дата обращения 14.04.2024).

Analysis of the trend in water quality at the main water bodies of the Volga river in the Tula region

Zavertkin Evgeny Alexandrovich

zavertkin8910@gmail.com

Konstantin Lvovich Anfilov

anfilov@bmstu.ru

Zubarev Daniil Yurievich

zubarev.daniil.2001@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

In the relevant material, environmental indicators characterizing the quality of natural waters of the Tula region were considered. The objects of the study were selected objects belonging to the Volga River basin, namely the Oka River in the city of Belev, the Oka River in the city of Aleksin and the Upa River in the village of Lomintsevsky. Based on the available data, an analysis of the dynamics of the state of the studied objects in the period 2020-2022 inclusive was carried out. It is concluded that for the region at the end of the study period under review, there remains an urgent problem of exceeding permissible concentrations of substances such as nitrite and ammonium nitrogen, organic substances according to BPK₅ and COD.

Keywords: water treatment, monitoring, analysis, discharges

УДК 504.062

Оценка негативного воздействия полигонов твердых коммунальных отходов на компоненты окружающей среды

Зубарев Даниил Юрьевич

zubarev.daniil.2001@gmail.com

Заверткин Евгений Александрович

zavertkin8910@gmail.com

Жукова Юлия Михайловна

zjuliam@hotmail.com

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

Рассмотрены серьезные экологические проблемы, связанные с утилизацией разнообразных твердых коммунальных отходов на полигонах. Основное внимание уделено анализу воздействия отходов на компоненты окружающей среды, в частности на почвенные и водные ресурсы. Выявлено, что потенциальная опасность воздействия полигонов на состояние окружающей среды связана с чрезвычайно высокими концентрациями тяжелых металлов. Помимо химического загрязнения, идет также биологическое за счет активного разложения отходов. Совокупность загрязнений создает серьезные угрозы для биоразнообразия и здоровья человека.

Ключевые слова: полигон ТКО, отходы, захоронение, фильтрат, загрязнение почвенного покрова, загрязнение водных ресурсов, агенты-загрязнители, химическое и биологическое загрязнение

Одним из известных и наиболее распространенных методов обращения с отходами является их захоронение на специализированных полигонах. Этот метод получил широкое распространение ввиду его простоты, малых инвестиций, большой пропускной способности и низких эксплуатационных расходов [1]. При размещении отходов с разнообразным составом на полигонах происходит взаимодействие между ними и окружающей геологической средой, что приводит к сложным химическим и биохимическим преобразованиям. В результате возникают и выделяются новые соединения в твердом, жидком и газообразном состояниях [2].

Ущерб почвенному покрову значительно увеличивается за счет загрязнения почвы тяжелыми металлами, такими как свинец, цинк, ртуть, никель и пр. Эти металлы, проникая в почву, подвергаются абсорбции растениями и, в конечном итоге, могут проникать через пищевые цепочки, представляя серьезную опасность для животных и человека. Тяжелые металлы не подвергаются биохимическому разложению и могут служить источником загрязнения водных ресурсов, расположенных рядом с полигонами [3].

Не менее значима угроза биологического загрязнения почв, вызванного активностью полигонов ТКО. Личинки, яйца насекомых и паразитирующие микроорганизмы представляют потенциальный источник инфекционных заболеваний среди населения [4].

Длительное присутствие в почве и на ее поверхности отходов приводит к тому, что она становится долговременным источником вторичного загряз-

нения окружающей среды. Прежде всего, зараженными становятся, живущие в почве микроорганизмы, что приводит к нарушению естественного равновесия между отдельными их группами, изменению отдельных стадий процесса круговорота биогенных элементов, причиной деградации почв и нарушению их экологической плодородной функции [1, 4].

Полигоны твердых коммунальных отходов оказывают существенное воздействие на водную среду. Основной фактор этого воздействия — фильтрат, представляющий собой мутную, неприятно пахнущую темно-коричневую жидкость, содержащую разнообразные загрязняющие вещества, включая нефтепродукты, амины, спирты, кислоты, тяжелые металлы, ароматические углеводороды и хлоруглероды. Проникновение загрязненных стоков из полигонов в прилегающие водные объекты приводит к существенным изменениям их химического и бактериологического состава [5]. Особое внимание заслуживает фильтрат, формирующийся внутри тела свалки в результате взаимодействия отходов с атмосферными осадками. Он содержит многочисленные компоненты разложения органических и минеральных веществ.

Сроки выделения фильтрата в водные объекты варьируются от 1 до 25 лет в зависимости от гидрогеологических условий местности (от песчаных до глинистых грунтов) [1]. Особенно подвержены загрязнению фильтратом зоны активного водообмена, расположенные в верхней части водоносного горизонта, в частности грунтовые воды.

На территории средней полосы России каждый гектар, занятый для складирования ТКО, выделяет значительные объемы фильтрата, содержащего токсичные вещества в десятки и сотни раз превышающие предельно допустимые нормы. Отсутствие систем сбора и обработки фильтрата способствует быстрому загрязнению всех компонентов окружающей среды [1, 2].

Полигоны ТКО могут наносить существенный экологический ущерб как почвенным, так и водным ресурсам. Загрязнения могут быть не только химического, но и биологического характера, что требует большей регламентации предельных показателей экологического вреда, при которых должны реализовываться мероприятия по обеспечению экологической безопасности эксплуатации полигонов.

Литература

- [1] Аганов А.А., Глухов С.Ю., Журкович В.В., Пименова М.А., Хайдаров А.Г. *Обращение с твердыми коммунальными и промышленными отходами. Вопросы моделирования и прогнозирования*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 352 с.
- [2] Коротаев В.Н., Слюсарь Н.Н., Жилинская Я.А., Ильиных Г.В., Филькин Т.Г. *Управление техногенными отходами*. Санкт-Петербург, Лань, 2016, 390 с.
- [3] Ладонин Д.В. *Формы соединений тяжелых металлов в техногенно-загрязненных почвах*. Москва, Изд-во МГУ имени М.В. Ломоносова, 2019, 312 с.
- [4] Уваров Г.И. *Экологические функции почв*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 296 с.
- [5] Бешенцев В.А. *Поиски и разведка подземных вод и мероприятия по их охране от загрязнения и истощения*. Тюмень, Изд-во ТИУ, 2023, 137 с.

Assessment of the negative impact of municipal solid waste landfills on environmental components

Zubarev Daniil Yurievich

zubarev.daniil.2001@gmail.com

Zavertkin Evgeny Aleksandrovich

zavertkin8910@gmail.com

Zhukova Yulia Mikhailovna

zjuliam@hotmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The current work highlights the serious environmental problems associated with the disposal of a variety of municipal solid waste in landfills. The main attention is paid to the analysis of the impact of waste on environmental components, in particular on soil and water resources. It has been revealed that the potential danger of landfills affecting the environment is associated with extremely high concentrations of heavy metals. In addition to chemical pollution, there is also biological pollution due to the active decomposition of waste. The combination of pollutants poses serious threats to biodiversity and human health.

Keywords: MSW landfill, waste, burial, filtrate, soil pollution, water pollution, pollutants, chemical and biological pollution

УДК 504.064

Экологический мониторинг фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов как инструмент по предотвращению загрязнения окружающей среды

Зубарев Даниил Юрьевич

zubarev.daniil.2001@gmail.com

Заверткин Евгений Александрович

zavertkin8910@gmail.com

Жукова Юлия Михайловна

zjuliam@hotmail.com

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

Рассмотрена возможность применения экологического мониторинга фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов для предотвращения последующего загрязнения окружающей среды. В настоящее время мониторинг полигонов представляет из себя контроль параметров компонентов окружающей среды. Модернизация системы производственного экологического мониторинга играет важную роль в достижении цели минимизации негативного воздействия полигонов твердых коммунальных отходов на компоненты окружающей среды.

Ключевые слова: полигон твердых коммунальных отходов, экологический мониторинг, фильтрат, защита окружающей среды

Захоронение твердых коммунальных отходов (ТКО) представляет собой наиболее широко распространенную в мире стратегию управления отходами. Несмотря на ее широкое использование, следует обратить внимание на одну из ключевых проблем, связанных с этим методом, а именно — формирование фильтрата, являющегося результатом разнообразных химических, физических и биологических процессов, происходящих на полигоне. Необходимо отметить, что даже после закрытия полигона ТКО, на протяжении 30–50 лет он будет продолжать выделять загрязненный фильтрат, который представляет серьезную экологическую проблему [1].

Химический состав фильтрата полигона обычно включает в себя широкий спектр опасных органических и неорганических соединений, тяжелые металлы, а также ксенобиотики, которые могут причинить серьезный вред окружающей среде. Состав фильтрата подвержен изменениям в зависимости от сезонных факторов и продолжительности эксплуатации полигона [2].

Воздействие полигонов твердых коммунальных отходов на компоненты окружающей природной среды является актуальной и важной проблемой, требующей комплексного подхода для минимизации его негативных последствий. Модернизация системы производственного экологического мониторинга становится ключевым аспектом в достижении поставленной цели по снижению воздействия полигонов твердых коммунальных отходов на окружающую среду.

Одним из основных отличий между российской и зарубежными системами мониторинга является отсутствие в России четкого регламента, регулирующего процесс мониторинга фильтрата, образующегося на полигонах. В от-

личие от многих других стран, где проведение мониторинга качественного и количественного состава фильтрата является обязательным, в России такой вид мониторинга не стандартизирован [3]. Однако проведение мониторинга фильтрата могло бы значительно улучшить понимание негативного воздействия полигонов на подземные и поверхностные воды. Полученные данные о составе фильтрата позволили бы выявить возможные загрязнения и оценить их влияние на качество водных ресурсов.

Как отмечалось ранее, проведение систематического мониторинга качественного и количественного состава фильтрационных вод, образующихся на полигоне, играет ключевую роль в оценке воздействия данного объекта на окружающую среду. Этот мониторинг позволяет выявить основные параметры, которые наиболее чувствительны к воздействию конкретного полигона на подземные воды. При этом следует учитывать уникальный состав фильтрата на каждом полигоне, чтобы разработать оптимальный набор показателей для мониторинга подземных вод [1, 3].

Каждый полигон ТКО характеризуется своим уникальным составом фильтрата. Опираясь на сведения о составе на конкретном полигоне, можно выработать оптимальный набор показателей мониторинга подземных вод для каждого конкретного полигона [4].

Рациональное оценивание негативного воздействия полигона необходимо также учитывать влияние естественных факторов, которые могут привести к изменениям концентрации веществ в фоновых скважинах. В случае, когда полученные значения концентраций анализируемых веществ в контрольной скважине превышают фоновые значения, стоит проанализировать имеющиеся колебания концентраций этих веществ за последние несколько месяцев в фоновой скважине. Если подобные превышения наблюдаются и в фоновых скважинах, это может указывать на естественные изменения в окружающей среде, которые необходимо учитывать при оценке воздействия полигона на подземные воды [5].

В России в основном используется индекс загрязнения воды (ИЗВ). Этот индекс вычисляется как отношение полученного значения концентрации вещества к ПДК этого вещества. Из-за того, что нормативов ПДК для грунтовых и дренажных вод полигонов нет, использование этого индекса для оценки их качества неуместно [5].

В случае отсутствия фоновых данных, рекомендуется обратить внимание на динамику изменений концентраций загрязняющих веществ в грунтовых водах. Постоянные превышения уровней концентрации могут указывать на воздействие полигона твердых коммунальных отходов.

Применение такого вида экологического мониторинга позволит провести объективную и рациональную оценку воздействия фильтрата полигонов ТКО на грунтовые и поверхностные воды, а также определить его масштаб. Модернизация системы производственного экологического мониторинга играет важную роль в достижении цели минимизации негативного воздействия полигонов твердых коммунальных отходов на окружающую среду.

Литература

- [1] Аганов А.А., Глухов С.Ю., Журкович В.В., Пименова М.А., Хайдаров А.Г. *Обращение с твердыми коммунальными и промышленными отходами. Вопросы моделирования и прогнозирования*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 352 с.
- [2] Коротаев В.Н., Слюсарь Н.Н., Жилинская Я.А., Ильиных Г.В., Филькин Т.Г. *Управление техногенными отходами*. Санкт-Петербург, Лань, 2016, 390 с.
- [3] Дмитренко В.П., Сотникова Е.В., Черняев А.В. *Экологический мониторинг техносферы*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 364 с.
- [4] Жигарев Д.В. *Безопасное обращение при работе с опасными отходами*. Санкт-Петербург, Лань, 2020, 136 с.
- [5] Бешенцев В.А. *Поиски и разведка подземных вод и мероприятия по их охране от загрязнения и истощения*. Тюмень, Изд-во ТИУ, 2023, 137 с.

Environmental monitoring of the filtrate of municipal solid waste landfills as a tool to prevent environmental pollution

Zubarev Daniil Yurievich

zubarev.daniil2001@gmail.com

Zavertkin Evgeny Aleksandrovich

zavertkin8910@gmail.com

Zhukova Yulia Mikhailovna

zjuliam@hotmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

In this paper, the possibility of using environmental monitoring of the filtrate of municipal solid waste landfills to prevent subsequent environmental pollution is considered. Currently, polygon monitoring consists of monitoring the parameters of environmental components. Modernization of the industrial environmental monitoring system plays an important role in achieving the goal of minimizing the negative impact of municipal solid waste landfills on environmental components.

Keywords: *municipal solid waste landfill, environmental monitoring, filtrate, environmental protection*

УДК 691.57:697.941

Современные тенденции увеличения безопасности лакокрасочных производств

Никишкина Анастасия Алексеевна

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 и здоровье человека, а также вещества, выделяющиеся на лакокрасочных производствах, проанализированы современные тенденции увеличения безопасности лакокрасочных производств. Цель работы — изучение проблемы загрязнения окружающей среды отходящими газами лакокрасочного производства и негативное влияние на здоровье работников. На сегодняшний день проблема загрязнения атмосферы отходящими газами лакокрасочного производства является актуальной.

Ключевые слова: загрязненный воздух, лакокрасочное производство, негативное влияние, увеличение безопасности

Лакокрасочные производства играют ключевую роль в нашей современной жизни, обеспечивая широкий спектр продуктов, — от автомобилей до мебели. Однако вместе с этими преимуществами, существуют и потенциальные опасности для здоровья работников и окружающей среды, связанные с использованием химических веществ и процессами производства.

Одним из основных загрязняющих веществ, выделяемых на лакокрасочных производствах, являются органические растворители. Эти химические соединения используются для разведения красок, лаков и других покрытий. Тяжелые металлы также являются значимыми загрязняющими веществами на лакокрасочных производствах. Некоторые краски и лаки содержат металлы, такие как свинец, кадмий, хром и ртуть, которые могут попадать в окружающую среду в виде аэрозолей или в сточные воды. Формальдегид и другие альдегиды также представляют собой потенциальную опасность на лакокрасочных производствах. Кроме того, в процессе производства красок и лаков могут образовываться различные вредные испарения и аэрозоли, которые могут вызывать раздражение глаз и дыхательных путей у работников [1].

Для минимизации воздействия загрязняющих веществ на здоровье людей и окружающую среду, на лакокрасочных производствах применяются различные технологии и меры безопасности. Это включает в себя использование средств индивидуальной защиты, таких как маски и защитные очки, а также внедрение систем вентиляции и очистки воздуха. Кроме того, соблюдение нормативных требований и стандартов по охране окружающей среды является необходимым условием для снижения негативного воздействия лакокрасочных производств.

сочных производств на окружающую среду и обеспечения их устойчивого функционирования.

В связи с этим современные тенденции увеличения безопасности на лакокрасочных производствах играют решающую роль в снижении рисков и обеспечении безопасной среды труда.

Первой важной тенденцией является стремление к автоматизации и роботизации процессов производства. Внедрение автоматических систем и роботизированных процессов не только повышает эффективность производства, но и снижает риск для работников, уменьшая их контакт с опасными химическими веществами. Например, роботы могут быть задействованы в смешивании и нанесении красок и лаков на изделия, что снижает необходимость прямого контакта работников с химическими веществами. Примером такой автоматизации может быть система автоматического нанесения краски на автомобильные кузова [2].

Другой существенной тенденцией является разработка и использование более безопасных материалов и технологий. Исследования в области безопасных лакокрасочных составов и методов применения помогают минимизировать риск для здоровья работников и окружающей среды, сохраняя при этом высокое качество продукции. Например, разработка экологически чистых красок на водной основе, которые не содержат токсичных растворителей или испаряющихся органических соединений.

Обучение и обучающие программы также играют важную роль в повышении безопасности на лакокрасочных производствах. Регулярное обучение работников по правильным методам безопасности и ознакомление их с последними технологическими разработками способствует улучшению осведомленности и снижению рисков. Примером этой тенденции является проведение регулярных тренингов по правильному использованию средств индивидуальной защиты и обучение правилам безопасной работы с химическими веществами [3].

Внедрение систем мониторинга и контроля за уровнем вредных веществ в рабочей среде также считается ключевой тенденцией в обеспечении безопасности на лакокрасочных производствах. Это позволяет оперативно выявлять возможные угрозы и принимать меры по их устранению. Например, использование датчиков для контроля уровня вредных паров красок в воздухе и автоматическое срабатывание систем вентиляции при превышении норм.

Современные лакокрасочные производства вкладывают средства в обновление систем вентиляции и внедрение технологий очистки воздуха. Примером такой тенденции может быть установка специальных систем фильтрации для удаления вредных паров и аэрозолей из рабочей зоны [4].

Соблюдение нормативных требований и стандартов по безопасности и охране труда, а также разработка систем управления рисками, также остаются неотъемлемыми элементами современных методов обеспечения безопасности на лакокрасочных производствах. Например, соблюдение правил, установленных агентством по охране труда, по использованию средств инди-

видуальной защиты и предельных уровней вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Внедрение систем управления рисками помогает идентифицировать потенциальные опасности и разрабатывать меры по их предотвращению или минимизации. Примером такой тенденции может стать проведение регулярных аудитов по безопасности и оценка рисков для выявления и устранения возможных опасностей [4].

В целом, современные тенденции в обеспечении безопасности на лакокрасочных производствах направлены на создание более безопасной и здоровой среды труда для работников, а также на минимизацию воздействия на окружающую среду. Это не только важно для сохранения здоровья и благополучия работников, но и для обеспечения устойчивого развития этой промышленной отрасли в будущем.

Литература

- [1] Васюкова А.Т., Славянский А.А., Ярошева А.И. *Экология: учебник для СПО*. 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.

Modern trends in increasing the safety of paint and varnish production

Nikishkina Anastasia Alekseevna

n.nikishkina42@gmail.com

Anfilov Konstantin Lvovich

kanfilov@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The problem of environmental pollution by waste gases from paint and varnish production is considered, the negative impact of polluted air on the environment and human health, as well as substances released in paint and varnish production is considered, and current trends in increasing the safety of paint and varnish production are analyzed. The purpose of the report is to examine the problem of environmental pollution by exhaust gases from paint and varnish production and the negative impact on workers' health. Today, the problem of air pollution from waste gases from paint and varnish production is relevant.

Keywords: *polluted air, paint and varnish production, negative impact, increased safety*

УДК 677.07

Вискозное производство в России и СССР: путь от процветания к упадку и перспективы развития

Новикова Дарья Александровна

darya-novikova-02@list.ru

Анфилов Константин Львович

kanfilov@yandex.ru

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

Рассмотрены история и упадок вискозного производства в России и СССР. Основные причины ухода с рынка, включая экономические трудности, техническое устаревание, недостаток сырья и снижение спроса. Описаны основные импортеры вискозы. Кроме того, обсуждаются альтернативы для замещения утраченных заводов, включая развитие синтетических волокон и натуральных тканей. Подчеркивается необходимость инвестиций в новые технологии и исследования для развития текстильной промышленности и обеспечения устойчивого экономического роста.

Ключевые слова: вискозное производство, причины закрытия заводов, импорт вискозы, экономические трудности, техническое устаревание

В работе рассмотрена история вискозного производства в России и СССР, причины ухода с рынка, основных импортеров вискозы, а также альтернативы, которыми Россия заменяет утраченные заводы по производству вискозы. Вискозное производство играло важную роль в текстильной промышленности России и СССР на протяжении десятилетий. Однако в последние годы отрасль столкнулась с серьезными трудностями и упадком производства.

Вискоза, искусственное волокно, было впервые создано в конце XIX в. и стало широко используемым материалом в текстильной промышленности. В СССР вискозное производство было активно развито с целью обеспечения страны высококачественными текстильными материалами. Заводы по производству вискозных волокон были распространены по всей стране и обеспечивали значительную часть спроса на вискозу как на внутреннем, так и на внешних рынках [1].

Несмотря на историческую значимость вискозного производства в России и СССР, в последние десятилетия отрасль столкнулась с рядом серьезных проблем, которые привели к упадку производства. Некоторые из основных причин ухода с рынка включают:

- **экономические трудности:** высокие затраты на производство, низкая рентабельность и отсутствие инвестиций привели к трудностям в работе многих вискозных заводов;

- **техническое устаревание:** многие заводы столкнулись с проблемой устаревшего оборудования, что привело к снижению производительности и качества продукции;

- **недостаток сырья:** для производства вискозы требуется большое количество целлюлозы, которая может быть получена из древесины или

хлопка. Недостаточное снабжение сырьем привело к затруднениям в производстве;

– **снижение спроса:** изменение потребительских предпочтений и конкуренция со стороны других материалов, таких как синтетические волокна, привели к снижению спроса на вискозу [2].

Ранее производство вискозы в России пользовалось поддержкой государства, финансированием и льготами, что создавало более благоприятные условия для развития. Однако с течением времени эти льготы были отменены, что привело к угасанию отрасли.

На сегодняшний день о производстве вискозы в России почти ничего не известно. Даже если такие предприятия остались, их оборудование устарело, а производимое волокно не конкурентоспособное на мировом рынке.

В настоящее время основными импортерами вискозы в Россию являются Китай и Узбекистан. Китайские производители вискозы предоставляют широкий ассортимент продукции с высоким качеством и конкурентоспособными ценами. Узбекистан, в свою очередь, известен как крупный производитель хлопка, что обеспечивает ему преимущества в производстве вискозы из собственного сырья [3].

Целлюлоза является основным компонентом производства вискозного волокна. В России целлюлоза используется в различных отраслях и секторах экономики. Несмотря на сокращение производства вискозных волокон, целлюлоза остается важным сырьем для различных производственных процессов и отраслей.

Основные области применения целлюлозы в России:

– бумажная промышленность: целлюлоза является основным сырьем для производства бумаги и картона. Россия — один из крупнейших производителей целлюлозы и бумаги в мире. Целлюлозы из древесины используется для производства различных видов бумажных изделий, включая книги, газеты, упаковку и другие изделия;

– текстильная промышленность: целлюлоза может использоваться для производства вискозных волокон, которые затем применяются в текстильной промышленности для производства текстильных изделий. Хотя производство вискозы сократилось, но целлюлоза может быть также использована для создания других видов синтетических и полусинтетических волокон;

– пищевая промышленность: используется в пищевой промышленности в качестве загустителя, стабилизатора или добавки для улучшения текстуры продуктов;

– фармацевтическая промышленность: используется в фармацевтических препаратах в качестве заполнителя или связующего вещества в таблетках и капсулах, а также для создания различных форм лекарственных средств;

– химическая промышленность: служит сырьем для производства различных химических продуктов, таких как целлюлозные эфиры, эфиры целлюлозы и др. Эти продукты могут находить применение в производстве лаков, красок, пластмасс, косметики и других товаров.

Целлюлоза играет важную роль в российской экономике и используется в различных отраслях, предоставляя широкий спектр продуктов и материалов для различных нужд [4].

Таким образом, из-за того, что вискозное производство находится в конкурентных отношениях за сырье с другими отраслями, его ценность на российском рынке низка.

Важно отметить, что упадок производства вискозы не означает полное и окончательное исчезновение отрасли в России. В некоторых регионах сохраняются небольшие заводы, а также продолжается производство ограниченных объемов вискозы для специфических нужд. Однако чтобы вернуть отрасль к процветанию и конкурентоспособности, необходимо принять комплекс мер, направленных на стимулирование инвестиций, модернизацию производства и развитие новых технологий.

Вискозное производство в России и СССР имело длительную историю и важное значение для текстильной промышленности. Однако отрасль столкнулась с серьезными проблемами, связанными в основном с социально-экономическими аспектами, в результате чего многие заводы были закрыты. Вместо восстановления производства вискозы, Россия сосредотачивается на развитии альтернативных отраслей, таких как синтетические волокна и натуральные ткани, что позволит укрепить позиции страны на мировом текстильном рынке и обеспечить устойчивый рост экономики.

Литература

- [1] Чичерина Н.С. Развитие текстильной промышленности в современной экономике России. *Инновации и инвестиции*, 2019, с. 36–41.
- [2] Галинский Б.А. Проблемы и перспективы развития текстильной промышленности России. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика*, 2018, с. 93–98.
- [3] Симонян А. Проблемы развития текстильной промышленности в России и пути их решения. *Экономика и социум*, 2017, с. 102–104.
- [4] Давыдов А.А. Анализ состояния и тенденций развития текстильной и легкой промышленности России. *Инновации и инвестиции*, 2016, с. 42–46.

Viscose production in Russia and the USSR: path from prosperity to decline and prospects for development

Novikova Daria Aleksandrovna

darya-novikova-02@list.ru

Anfilov Konstantin Lvovich

kanfilov@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The history and decline of viscose production in Russia and the USSR is considered. The main reasons for leaving the market, including economic difficulties, technical obsolescence, lack of raw materials and decreasing demand. The main importers of viscose are described. Alternatives to replace lost mills are also discussed, including the development of synthetic fibres and natural fabrics. The need for investment in new technologies and research to develop the textile industry and ensure sustainable economic growth is emphasised.

Keywords: viscose production, reasons for plant closures, viscose imports, economic difficulties, technical obsolescence

УДК 628.543.15:628.34

Интенсификация процессов сорбции при очистке сточных вод локомотивного депо

Шульга Светлана Сергеевна

svet.tik01@mail.ru

Яковлева Ольга Владимировна

yakowlewaolga24@mail.ru

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

Исследована возможность интенсификации процессов очистки сточных вод локомотивного депо при применении прогрессивных решений, позволяющих повысить эффективность процессов очистки. На заключительном этапе очистки стоков эффективно использовать процесс фильтрации. Рассмотрены характеристики традиционных фильтрующих материалов, таких как кварцевый песок, керамзит, активированный уголь. Показано, что применение процесса сорбции с использованием в качестве сорбентов пенополиуретана и цеолита значительно повышает эффективность очистки.

Ключевые слова: сточные воды локомотивного депо, интенсификация процессов очистки, сорбенты, цеолит, пенополиуретан

В локомотивных и вагонных депо вода используется для наружной обмывки подвижного состава, при промывке перед ремонтом колесных пар, тележек, подшипников, других узлов и деталей в моечных машинах. Указанные процессы являются источниками образования промышленных сточных вод, содержащих в основном высокие концентрации взвеси, нефтепродуктов. Следует отметить, что не во всех случаях проводимых процессов многоступенчатой очистки сточных вод качество очищенных потоков удовлетворяет установленным требованиям. Поэтому исследование процессов очистки, позволяющих провести их интенсификацию, является актуальным.

Цель работы — определение тенденций в использовании различных сорбционных материалов, обеспечивающих наиболее эффективное извлечение из стоков загрязняющих веществ.

Фильтрующие материалы являются основным компонентом фильтров многих конструкций. Как показало исследование, в настоящее время существует богатое разнообразие фильтрующих материалов разной природы. Среди традиционно применяемых загрузочных материалов можно отметить использование кварцевого песка, цеолита, керамзита и активированного угля, различных пластических масс.

Проведенный анализ показал, что выбор загрузочных материалов фильтров зависит от целого ряда факторов, решающими из которых являются качественные и количественные характеристики поступающих стоков, требований к результатам очистки.

Традиционно в промышленных фильтрах в качестве фильтрующего материала часто используют кварцевый песок. Песчаные зернистые загрузки

оказывают относительно низкое сопротивление фильтрации, недороги. Недостатком использования песчаной загрузки на основе кварцевого песка является относительно низкая сорбционная способность и грязеемкость зерен кварца, вследствие чего возникают дополнительные производственные затраты на частые промывки загрузки, увеличение времени очистки и недостаточная эффективность очистки воды, содержащей растворенные загрязнители [1].

Активированный уголь обладает высокой адсорбционной способностью и широким спектром очистки, что делает его идеальным сорбентом для удаления различных загрязнений из воды. Сущность способа удаления заключается в прилипании нефтяных частичек к адсорбционному наполнителю. Эффект изъятия на них составляет 60–70 %.

Керамзитовая загрузка обладает пористой структурой, присущей всем абсорбентам, позволяет гранулам пропускать через себя значительное количество воды и задерживать посторонние примеси. Однако применение керамзита для доочистки сточных вод обычно обусловлено отсутствием высокоэффективных местных доступных загрузок, не всегда достигается требуемый эффект очистки. Этот материал чаще предназначен для глубокой очистки сточных вод, прошедших полную биологическую очистку [2].

При проведении исследования процессов интенсификации работы сорбционных фильтров для очистки сточных вод локомотивного депо определены тенденции перспективного использования в качестве фильтрующих материалов цеолитов и пенополиуретана. Проведенное сравнение технико-экономических характеристик фильтрующих загрузок приведено в таблице.

Технико-экономические характеристики фильтрующих загрузок [2]

Наименование	Кварцевый песок	Сульфуголь АГ-3	Пенополиуретан	Цеолит
Средняя цена по центральному региону России 1 м ³ , руб	1200	3000	500	1500
Время (ч) достижения потерь напора (0,03 Мпа) в загрузке	14	10	19	25
Объем воды (1 м ³) одного фильтроцикла	1,23	0,88	1,67	2,2
Объем получаемой воды (W) (1 м ³) за 1 год	440	320	605	800
Эффективность применяемой загрузки (Ц/W)	2,72	9,37	0,82	1,87

Пенополиуретановая (ППУ) загрузка фильтра является эффективным и экономичным фильтрующим материалом для очистки сточных вод. По своим физическим свойствам — эластичный и пористый, легко поддающийся сжатию. Высокая пористость, большая удельная поверхность и низкое гидравли-

ческое сопротивление делают эту загрузку идеальным выбором для различных применений в очистке сточных вод. ППУ загрузка работает по принципу механической фильтрации и адсорбции. ППУ загрузка фильтра имеет ряд преимуществ, в том числе:

- высокая эффективность удаления взвешенных твердых веществ и органических веществ;
- степень очистки воды от масло- и нефтепродуктов эффективностью 99,1–99,8 % (традиционные фильтры дают лишь 80–86 % очистки от нефтепродуктов);
- большая грязеемкость;
- низкое гидравлическое сопротивление;
- длительный срок службы;
- простота обслуживания [3].

Сорбционные свойства цеолитовой загрузки позволяют эффективно удалять из воды вещества в дисперсной и коллоидной форме: взвешенные вещества, мелкодисперсная взвесь и нефтепродукты [1].

Цеолиты обладают следующими свойствами: высокая пористость; большая удельная поверхность; ионнообменная способность; каталитическая активность; адсорбционные свойства.

Цеолитовая загрузка является одним из наиболее распространенных материалов, применяемых в системах для очистки сточных вод. Такая очистка имеет несколько преимуществ. Цеолиты отличаются стабильностью и долговечностью, что делает их прекрасным выбором для систем очистки сточных вод [4].

Другие сорбенты могут иметь более ограниченную область применения или могут не обеспечивать такую же высокую степень очистки как пенополиуретан и цеолит.

Проведенное исследование показало, что после предварительной механической и физико-химической очистки сточных вод локомотивного депо для проведения процесса фильтрации, использование пенополиуретана и цеолита в качестве загрузок в фильтрах на заключительном этапе очистки и доочистки позволяет получать сток, соответствующий требованию сброса сточных вод в водоем (ПДК_{рыб.хоз.}).

Литература

- [1] Кузнецова Е.В., Туктамышева А.Ф., Болгова А.С. *Методика и технические средства очистки нефтесодержащих сточных вод*. Санкт-Петербург, Недра, 2006, 192 с.
- [2] Якубов В.В. *Свойства фильтрующих загрузок водоочистных фильтров*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adsorbtsionnye-filtrovalnye-svoystva-filtruyuschih-zagruzok-vodoochistnyh-filtrov/viewer> (дата обращения 01.04.2024).
- [3] *Фильтрация сточных вод от маслонефтепродуктов*. URL: <https://www.vo-da.ru/amp/articles/ochistka-ot-nefteproduktov/filtrovaniye-stochnykh-vod> (дата обращения 05.04.2024).
- [4] *Цеолит: что это такое? Описание и сферы применения*. URL: <https://himrus.ru/stati/ceolityi-opredelenie-i-opisanie> (дата обращения 01.04.2024).

Intensification of sorption processes in wastewater treatment of a locomotive depot

Shul'ga Svetlana Sergeevna

svet.tik01@mail.ru

Yakowlewa Olga Vladimirovna

yakowlewaolga24@mail.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The possibility of intensifying the wastewater treatment processes of a locomotive depot with the use of progressive solutions to improve the efficiency of purification processes is investigated. At the final stage of wastewater treatment, it is effective to use the filtration process. The paper considers the characteristics of traditional filtering materials such as quartz sand, expanded clay, activated carbon. It is shown that the application of the sorption process using polyurethane foam and zeolite as sorbents significantly increases the cleaning efficiency.

Keywords: sewage from the locomotive depot, intensification of purification processes, sorbents, zeolite, polyurethane foam

УДК 504.03

Перспективность использования полимерных материалов в качестве носителей иммобилизованной биомассы активного ила

Брулева Валерия Алексеевна

0684964018lera@gmail.com

Тютюнькова Маргарита Викторовна

tyutyunkova82@mail.ru

SPIN-код: 2606-6644

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

Рассмотрены технологии сокращения количества активного ила в аэротенках с использованием процесса иммобилизации его клеток на специальных носителях микрофлоры. Показана перспективность использования полимерных материалов в качестве носителей иммобилизованной биомассы активного ила. Благодаря этому достигается наибольшая степень очистки, что способствует улучшению показателей сброса и снижению количества осадков сточной воды.

Ключевые слова: *активный ил, осадок сточных вод, иммобилизация, сточные воды*

Очистные сооружения большинства крупных городов РФ имеют серьезные проблемы обработки осадков сточных вод (ОСВ), образующихся на сооружениях биологической очистки. Недостаточное внимание к проблеме обработки и утилизации ОСВ приводит к аварийным сбросам загрязнений, что, в свою очередь, способствует увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Возникает разумная потребность в поиске новых путей снижения количества осадка, направляемого на обработку и утилизацию. Все вышеперечисленное обуславливает актуальность выдвинутой эколого-экономической проблемы утилизации и обработки ОСВ.

На примере сооружения биореактора будет рассмотрена технология с использованием процесса иммобилизации клеток активного ила на специальных носителях микрофлоры. Поэтому целью наших исследований является оценка эффективности работы биореакторов при данной технологии.

Иммобилизация — метод создания неподвижности биологического объекта (фермента или клетки) путем его фиксации с помощью физических или химических сил на специальных пористых материалах-носителях.

В качестве носителей микрофлоры применяются различные материалы с хорошо развитой пористой поверхностью, которые будут закреплять микроорганизмы активного ила [1].

На настоящий момент мировое, в том числе и российское, производство располагает огромным множеством вариантов носителей активного ила.

Таблица демонстрирует перспективность полимерных материалов в качестве носителей иммобилизованной биомассы активного ила. Благодаря этому достигается наибольшая степень очистки, что способствует улучшению показателей сброса и снижению количества осадков сточной воды.

Эффективность работы аэротенков с различными носителями активного ила [2]

Носители активного ила в аэротенках	Показатели сточных вод			Кон- центра- ция ила, г/л	Иловый индекс, см ³ /г	Выхо- дящая вода	Окисли- тельная мощность, БПК/сут
	ХПК, мг/л	БПК, мг/л			ХПК, мг/л	БПК, мг/л	
Без загрузки	2000	1400	3,70	270	210	101	2690
Керамзит	2000	1400	10,3	153	68,4	13,3	2770
Шлаковая пемза	2000	1400	10,9	113	67,9	14,0	2770
Пенопласт	2000	1400	8,90	116	69,7	18,4	2764
Стеклово- локно	2000	1400	11,9	105	69,6	14,7	2770
Полимерные материалы	2000	1400	12,5	71	60,0	10,0	3022

Применение носителей прикрепленной микрофлоры способствует уменьшению прироста ила на 20–30 %. Это благоприятно сказывается на окружающей среде, поскольку уменьшаются ее вторичные загрязнения и сокращаются расходы на обработку осадка [3].

Одним из вариантов носителей прикрепленной микрофлоры является пористо-волоконный материал «ПОЛИВОМ».

Пористо-волоконный материал «ПОЛИВОМ» играет значительную роль в процессах очистки сточных вод и обладает рядом преимуществ:

- большая площадь поверхности: «ПОЛИВОМ» имеет небольшие поры и множество волокон, что создает большую поверхность контакта для адсорбции загрязнений из сточных вод. Это способствует эффективному улавливанию и удержанию загрязняющих веществ, таких как органические вещества, тяжелые металлы и другие вредные примеси;

- высокая адсорбционная способность: благодаря своей структуре и химическим свойствам «ПОЛИВОМ» обладает высокой способностью к адсорбции различных загрязнений. Он может эффективно удалять разнообразные загрязнители из сточных вод, улучшая их качество и соответствие стандартам сброса;

- долговечность и стойкость: материал «ПОЛИВОМ» обладает высокой стойкостью к агрессивным средам, температурным перепадам и механическим воздействиям. Это обеспечивает долговечность его использования при очистке сточных вод и позволяет продлить срок службы системы обработки воды;

- экологически чистый материал: «ПОЛИВОМ» является экологически безопасным материалом, который не выделяет вредных веществ в окружающую среду при использовании. Это важно для обеспечения безопасности окружающей среды и соблюдения экологических требований;

– легкость обслуживания: благодаря своей пористой структуре и легкости в обработке «ПОЛИВОМ» удобен в использовании и обслуживании. Он легко подвергается регенерации для повторного использования после насыщения загрязнителями.

Таким образом, пористо-волоконный материал «ПОЛИВОМ» является эффективным и универсальным средством для очистки сточных вод, обладая рядом преимуществ, которые делают его предпочтительным выбором для различных процессов очистки воды и обработки сточных вод [4].

С целью интенсификации очистки сточных вод в биореакторах также используют носители прикрепленного биоценоза «КОНТУР».

Загрузка «КОНТУР» содержит полимерные элементы заданной конфигурации, полученные путем пневмоэкструзии, элементы крепления-натяжения и полностью готова к монтажу в сооружениях. Элементы «КОНТУР» собираются в кассеты. Загрузка проста и надежна в эксплуатации, отличается большой прочностью и долговечностью, легко регенерируется. Благодаря высокой пористости, рабочий объем биореактора составляет 90–95 %.

В результате многочисленных исследований установлено, что применение технологий биологической очистки с прикрепленной микрофлорой повышает качество очистки по БПК, ХПК, аммонийному азоту. Биореакторы, оборудованные затопленной биозагрузкой, в меньшей степени реагируют на колебания по органическим нагрузкам, в том числе на залповые сбросы и изменения температуры сточных вод [4].

Литература

- [1] Кузнецов А.Е., Градова Н.Б., Лушников С.В., Энгельхарт М. *Прикладная экобиотехнология. В 2 т.* Москва, Лаборатория знаний, 2020, 1164 с.
- [2] Музафаров Е.Н. *Экологическая биотехнология.* Санкт-Петербург, Лань, 2022, 120 с.
- [3] Ветошкин А.Г. *Технические средства инженерной экологии.* Санкт-Петербург, Лань, 2022, 424 с.
- [4] Макиша Н.А. Исследование процессов биологической очистки сточных вод в системах с активным илом с применением плавающего загрузочного материала. *Вестник МГСУ*, 2010, № 2, с. 248–252.

Prospects of use of polymeric materials as carriers of the immobilized biomass of active silt

Bruleva Valeria Alekseevna

0684964018lera@gmail.com

Tyutyunkova Margarita Viktorovna

tyutyunkova82@mail.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article discusses technologies for reducing the amount of activated sludge in aerotanks using the process of immobilizing its cells on special microflora carriers. The perspective of polymer materials as carriers of immobilized biomass of active sludge is shown. Due to this, the highest degree of treatment is achieved, which helps to improve discharge indicators and reduce the amount of sewage sediment.

Keywords: active sludge, sewage sludge, immobilization, sewage

УДК 628.316.12

Исследование эффективности разработанной технологической схемы очистки сточных вод предприятия по производству российских моющих средств

Тютюнькова Маргарита Викторовна

tyutyunkova82@mail.ru

SPIN-код: 2606-6644

Карпунин Евгений Александрович

karpynin2.2001@gmail.com

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

Изучен состав сточных вод наиболее крупных заводов по производству моющих средств в России. Подобные стоки сбрасываются в систему городской канализации. В ходе исследования была представлена система очистных сооружений для предприятий по производству моющих средств, которую можно считать наиболее универсальной в российском сегменте. Продемонстрирована эффективность предложенной технологической схемы очистки на примере усредненных параметров загрязненного стока. Результаты исследования показали, что представленная технологическая схема в определенной степени является пригодной для очистки сточных вод, предназначенных для сброса в систему городской канализации.

Ключевые слова: бытовая химия, сточные воды, поверхностно-активные вещества, химическое потребление кислорода, флотатор, аэротенк

Химическая промышленность в настоящее время является одной из самых развитых отраслей современной мировой экономики. Потребность в разработке новейших химических соединений с определенным набором свойств обеспечивает востребованность химического производства. Одним из ведущих секторов химической промышленности является производство средств бытовой химии.

Востребованность производства средств бытовой химии обеспечивается обширным списком производимой продукции, без которой невозможно представить жизнь среднестатистического человека. Она используется везде: от ухода за руками до дезинфекции различных поверхностей. В данный момент производство бытовой химии в широком смысле можно подразделить на химические препараты для мытья и стирки, средства по уходу за домом, чистящие средства.

Другой отличительной особенностью данного производства является его сравнительно высокая водоемкость. Имеются данные, что среднегодовое потребление воды для химического завода средней мощности составляет 10–20 млн м³ [1]. Помимо этого, подобные производственные сточные воды зачастую загрязнены только специфическими веществами органической или минеральной природы, характерными для химического производства.

По совокупности причин особое внимание уделяется проектированию очистных сооружений предприятия по производству средств бытовой химии

во избежание дополнительной нагрузки на городские очистные станции. Все вышеперечисленное обуславливает актуальность проблемы поиска наиболее рационального и эффективного состава очистных комплексов подобных предприятий.

Ввиду обширности производимой продукции в рассматриваемом секторе экономики, сложно выделить универсальную схему очистки сточных вод предприятий по производству средств бытовой химии, однако имеется возможность рассмотреть наиболее распространенные виды бытовой химии, производимой в России. По этой причине цель исследования — анализ структуры производства бытовой химии в России и обоснование наиболее подходящей системы очистки, основанное на усредненных полученных данных.

В России за 2022 г. масса произведенной бытовой химии составила 2185366,4 т. [2]. Около 91 % от общего объема производства бытовой химии в стране приходилось на моющие средства [2]. Более подробные сведения представлены на рис. 1.



Рис. 1. Структура производства бытовой химии по видам в России в 2022 г. [2]

Согласно приведенным сведениям, наиболее распространенными источниками сточных вод от производства средств бытовой химии в нашей стране являются заводы по выпуску моющих, пастообразных средств, а также порошков. Известно [1], что в общем случае загрязнителями стоков химического завода являются: нерастворимые примеси (песок, твердые продукты реакций или коррозии оборудования), неорганические токсичные соединения (мине-

ральные соли и кислоты), неорганические нетоксичные соединения, органические токсичные соединения, органические нетоксичные соединения. Конкретные характеристики сточных вод рассматриваемых предприятий по производству бытовой химии в России представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика сточных вод ведущих предприятий по производству средств бытовой химии в России [3, 4]

Производство/ показатель, мг/л	Порошкообразные синтетические моющие средства	Моющие и чистящие средства в аэрозольной упаковке	Жидкие и пастообразные моющие и чистящие средства	Синтетические жидкие моющие и чистящие средства
БПК _{полн}	240	31	100–600	1850
ХПК	350	130	400–1480	7150
АПАВ	170	–	200–1300	700
НПАВ	2,85	–	–	100
Нефтепродукты	5,5	–	1	7
Сухой остаток	766	–	300–2000	2700
Прокаленный остаток	606	–	200–1300	–
Взвешенные вещества	560	1880	40–330	170
Алюминий	–	80	–	5–20
Цинк	–	0,85	–	–
Сульфаты	605	–	130–500	50
Фосфаты	96	–	5–12	10
Хлориды	–	–	20–300	10
Аммонийный азот	–	–	4–15	–
Железо	–	–	–	1–5
pH	7,7	7,9–10,6	7,7–10,2	7–7,5

Стоит отметить, что предприятия, отводящие сточные воды с pH = 5, встречаются реже заводов с более щелочными стоками. Кислые сточные воды на предприятиях по выпуску продукции бытовой химии образуются в случае производства на территории заводов низших олефинов [5] — этилена C_2H_4 , пропилена C_3H_6 , бутена C_4H_8 . Низшие олефины применяются для синтеза таких веществ, применяемых в химическом производстве, как α -олефинсульфонатов и α -олефинсульфонатов натрия. Данные химические соединения являются отличными пенообразователями, эмульгаторами и смачивателями, обладающими моющими свойствами [6]. Для очистки стоков подобного состава предлагается разработанная схема, представленная на рис. 2.

Полное соответствие работы предложенной схемы очистки сточных вод типового предприятия по производству средств бытовой химии установленным нормативам сброса подобных стоков в канализацию представлено в табл. 3. Видно, что большинство показателей стока соответствуют допустимым нормативам сброса сточных вод в систему канализации. Значения величин, превышающие норму, свидетельствуют лишь о том, что предложенная схема очистки не является универсальной для всего спектра химических производств бытовой направленности.

Таблица 3

**Сравнение показателей сточных вод после очистки
с установленными нормативами сброса в канализацию**

Показатель	Усредненное значение показателя, мг/л	Усредненное значение показателя после очистки, мг/л	Норматив для сброса в канализацию, мг/л [10]
БПК _{ПОЛН}	617,75	92,66	500
ХПК	2142,5	642,75	700
АПАВ	405	60,75	10
НПАВ	25,71	3,86	10
Нефтепродукты	31,5	3,38	10
Сухой остаток	1154	1154	—
Прокаленный остаток	339	339	—
Взвешенные вещества	698,75	27,95	300
Алюминий	23,13	23,13	5
Цинк	0,21	0,21	1
Сульфаты	242,5	242,5	1000
Фосфаты	28,62	28,62	—
Хлориды	42,5	42,5	1000
Аммонийный азот	2,38	2,38	2
Железо	0,75	0,75	5
pH	8,31	8,31	6,5–8,5

Тем не менее, технологическая схема, приведенная выше, является приемлемой основой для дальнейших улучшений и модернизаций, производимых с целью достижения различных задач в области водоочистки предприятий, специализирующихся на производстве средств бытовой химии.

Литература

- [1] Кузнецова И.М., Харлампиди Х.Э., Иванов В.Г., Чиркунов Э.В. *Общая химическая технология. Основные концепции проектирования химико-технологических систем*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 384 с.

- [2] *Рынок бытовой химии в России. Текущая ситуация и прогноз 2023–2027 гг.* URL: <https://www.ruhim.ru/article/rynok-bitovoy-himii-2023-2027.htm> (дата обращения 08.04.2024).
- [3] Тимонин А.С. *Инженерно-экологический справочник*. Т. 2. Калуга, Изд-во Н. Бочкаревой, 2003, 884 с.
- [4] Хаустов А.П., Редина М.М. *Экологический мониторинг*. Москва, Юрайт, 2024, 549 с.
- [5] Меркулов Д.А. *Комплексоны и ПАВ в средствах бытовой химии*. Ижевск, Из-во Удмуртского ун-та, 2013, 111 с.
- [6] *Общая химическая технология. Важнейшие химические производства*. Москва, Высш. шк., 1977, 288 с.
- [7] *СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения*. Москва, ФГУП ЦПП, 2006, 87 с.
- [8] Мацнев А.И. *Очистка сточных вод флотацией*. Киев, Будивельник, 1976, 132 с.
- [9] Чайлдс У. *Материалы научно-технического совещания СЭВ по очистке сточных вод химических производств*. Москва, НИИТЭХИМ, 1962, 294 с.
- [10] *Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации*. Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 26.07.2018). URL: <http://government.ru/docs/all/88223/> (дата обращения 08.04.2024).

Investigation of the effectiveness of the developed technological scheme for wastewater treatment of an enterprise producing Russian detergents

Tyutyunkova Margarita Viktorovna
Karpunin Evgeny Alexandrovich

tyutyunkova82@mail.ru
karpynin2.2001@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article considers the composition of wastewater from the largest detergent production plants in Russia. Such effluents are discharged into the urban sewerage system. In the course of the study, a system of sewage treatment plants for enterprises producing detergents was presented, which can be considered the most versatile in the Russian segment. The effectiveness of the proposed technological scheme of purification is clearly demonstrated by the example of the averaged parameters of polluted runoff. The results of the study showed that the presented technological scheme is to a certain extent suitable for wastewater treatment intended for discharge into the urban sewerage system.

Keywords: household chemicals, wastewater, surfactants, chemical oxygen consumption, flotation device, aerotank

УДК 574

Анализ экологической ситуации атмосферного воздуха в Тульской области

Заверткин Евгений Александрович

zavertkim8910@gmail.com

Анфилов Константин Львович

anfilov@bmsu.ru

Зубарев Даниил Юрьевич

zubarev.daniil.2001@gmail.com

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

Рассмотрена экологическая характеристика качества атмосферного воздуха в Тульской области. Контрольными точками для исследования отбора проб стали: г. Тула, г. Новомосковск, музей-усадьба Л.Н. Толстого «Ясная Поляна». Опираясь на документы министерства природы изучаемого региона, была сформирована база данных по проблеме состояния атмосферного воздуха. Данная проблематика обострилась в связи с превышением предельно допустимых выбросов промышленных предприятий в воздушные потоки. В сложившихся реалиях, применяемые на промышленных объектах средства очистки отличаются невысоким уровнем обезвреживания выбрасываемых частиц.

Ключевые слова: *атмосферный воздух, выбросы, СЗЗ, топливо, уголь, очистные сооружения*

Тульская область расположена в Центральной части Восточно-Европейской равнины, занимаемая площадь — 25,7 тыс. кв. км, что составляет приблизительно 0,15 % от всей площади Российской Федерации. Семьдесят первый регион имеет границу на севере и северо-востоке — с Московской областью, восточные районы проходят по соседству с Рязанской областью, географические особенности позволяют пересекаться на юге одновременно (юго-восток) с Липецкой областью, с Орловской областью — на юго-западе, западная граница проходит параллельно с Калужской областью.

Расстояние от самой северной до самой южной точки составляет 200 км, протяженность с запада на восток — 190 км. Суммарное население области составляет — 1 432,6 тыс. чел.

Исследование экологических показателей состояния атмосферного воздуха окружающей среды в пределах Тульской области позволяет охарактеризовать экологическую обстановку в рассматриваемом регионе следующим образом. В процентном соотношении из общей массы загрязняющих соединений, ситуация с выбросами обстоит следующим образом: металлопромышленные предприятия — 50,32 тыс. т, что составляет 45,76 %; изготовление различных неметаллических минеральных изделий — 16,03 тыс. т, что равно 14,58 %; производство химических веществ и химических продуктов — 13,95 тыс. т — 12,69 %; работа станций по производству тепла и генерации электроэнергии, снабжением газом и паром, процесс поддержания необходимого уровня температуры, относительной влажности воздуха —

11,59 тыс. т, выражается в 10,54 %; в результате работы сухопутных и трубопроводных транспортеров образуется 4,07 тыс. т, что равно 3,70 %; агропромышленный сектор, включающий в себя растениеводческую деятельность, работу с различными видами животных, а также промышленный отстрел и оказание коммерческих услуг в данной отрасли приводит к образованию — 2,26 тыс. т, что в пересчете на проценты составляет 2,06 %; за счет деятельности предприятий по выпуску пищевых продуктов, в атмосферу выбрасывается 1,97 тыс. т., не превышая двух процентов от общего процентного объема — 1,79 %; процессы извлечения полезных элементов из земной поверхности образуют 1,68 тыс. т, что в пересчете 1,53 %; 'экологические аспекты связанные с переработкой и утилизацией отходов; работа с вторичным сырьем образует 1,40 тыс. т это около 1,27%; в результате работы неучтенная промышленной деятельности — 6,69 тыс. т (6,08 %) [1,3].

В 2022 г. в городских поселениях Тульской области проводились работы по отбору 3300 проб атмосферного воздуха, в населенных пунктах сельского типа — 474 пробы атмосферного воздуха.

На момент формирования отчета за 2022 г. в воздушный бассейн Тульской области было выброшено в следующем соотношении: твердые вещества — 5,7 %; процентное содержание жидких и газообразных веществ составило, оказывающими самое большое негативное влияние на окружающую среду следующее: 55,9 % CO, 18,0 % NO_x, 7,4 % SO₂.

Вещества, чьи показатели превышают максимально допустимые значения были обнаружены на отборочных пунктах в г. Туле, в музее-усадьбе Л.Н. Толстого «Ясная Поляна» и в г. Новомосковске [2, 4].

В ходе работы над актуальным исследованием, была рассмотрена ситуация с состоянием атмосферного воздуха в Тульской области. Исследованы загрязняющие вещества, чьи показатели превышают допустимые параметры.

Характеристика превышения ПДК на исследуемых объектах

Наименование вещества	Значение ПДК (допустимое)	г. Тула	г. Новомосковск	Музей-усадьба Л.Н. Толстого «Ясная Поляна»
Взвешенные вещества	0,5	0,759	—	—
Формальдегид	0,05	0,089	0,292	0,089
Диоксид азота	0,085	0,129	0,435	0,435
Аммиак	0,2	—	—	0,624

На основании данных таблицы можно резюмировать, что показатели превышения на рассматриваемых территориальных единицах уровень загрязнения характеризуется как повышенный. В связи с этим можно сделать вывод, что актуальная система очистки не может предотвратить попадание выбросов в атмосферу на том уровне, на котором требуют санитарные нормы.

В результате предприятиям рекомендуется провести модернизацию аппаратов газоочистки, либо провести ряд мероприятий по уменьшению образования изначального количества загрязнений.

Литература

- [1] Доклад министерства Тульской области об экологической ситуации в Тульской области за 2021 г. Тула, 2021, 107 с. URL: <https://npatula.ru/storage/files/205752367-205754416.pdf> (дата обращения 03.05.2024).
- [2] Доклад министерства Тульской области об экологической ситуации в Тульской области за 2022 г. Тула, 2022, 91 с. URL: <https://npatula.ru/storage/files/257494475-257494536.pdf> (дата обращения 03.05.2024).
- [3] Ветошкин А.Г. *Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод*. Вологда, Изд-во Инфра-Инженерия, 2016, 296 с.
- [4] *Правила холодного водоснабжения и водоотведения*. Постановление правительства РФ от 22.05.2020 № 728 (приложение № 5). URL: <http://government.ru/docs/all/128166/> (дата обращения 03.05.2024).

Analysis of the environmental situation of atmospheric air in the Tula region

Zavertkin Evgeny Aleksandrovich

zavertkim8910@gmail.com

Anfilov Konstantin Lvovich

anfilov@bmstu.ru

Zubarev Daniil Yurievich

zubarev.daniil.2001@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This current work examines the environmental component of atmospheric air in the Tula region. According to reports from the Ministry of Nature for the region under consideration, there is a problem of exceeding the permissible concentration of polluting compounds entering the atmosphere in the form of emissions from industrial enterprises. At the moment, existing treatment systems are not fully capable of producing such a level of neutralization of emissions that would not pose a threat to the environment and humans.

Keywords: *atmospheric air, emissions, sanitary protection zone, fuel, coal, treatment facilities*

***Секция 7. Современные
технологии в наземных
транспортно - технологических
системах. Прикладные
проблемы механики***

УДК 621.791

Актуальность технологии напыления баббита Б83 для ремонта подшипников турбин и метод обоснования оптимальных режимов процесса ХГДН

Костин Михаил Сергеевич¹

kostin_ms2@paoktz.ru

Алакин Виктор Михайлович²

alakin.vm@bmstu.ru

¹ ПАО «Калужский турбинный завод», Калуга, Россия

² КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрены практические вопросы целесообразности применения холодного газодинамического напыления для повышения качества и экономической эффективности восстановления слоя Б83 подшипников скольжения. Рассмотрены исследования российских и зарубежных авторов по применению технологии ХГДН для напыления баббита на подшипники скольжения. Предложен метод определения рациональных пределов скорости напыления с учетом рекомендованной температуры ХГДН и давления газа применительно к напылению порошка Б83. Предложена методика прочностного анализа по адгезии для варианта применения ХГДН Б83 по Б83 в виде относительной прочности соединения.

Ключевые слова: холодное газодинамическое напыление, ремонт подшипников скольжения, баббит

Одной из причин ремонтных и аварийных остановов паровых турбин ТЭС и АЭС составляют износ, повреждения и отслоения антифрикционного покрытия опорных подшипников скольжения. Традиционные технологии ремонта методами заливки или наплавки требуют основного и специального оборудования, дополнительных операций и значительного припуска на слой Б83 под мехобработку, что приводит к значительным материальным и трудовым затратам на ремонт.

Предварительные исследования показали, что ХГДН Б83 с помощью установки «ДИМЕТ» имеет ряд преимуществ перед традиционными технологиями заливки: повышение качества, сокращение трудоемкости и материалоемкости ремонтно-восстановительных работ и значительное уменьшение производственных отходов.

В отличие от методов наплавки электродом или газотермического напыления, при ХГДН Б83 не происходит перегрев детали более 150 °С, что исключает внутренние тепловые напряжения и коробления в основе детали в напыленном слое, а также в местах сцепления слоя с основой.

Установлено, что напыление Б83 по технологии ХГДН обеспечивает более мелкодисперсную и прочную структуру антифрикционного покрытия более устойчивую к нагрузкам. Показано, что газодинамический метод нанесения покрытия из порошковой смеси является предпочтительным при продлении ресурса и восстановлении работоспособности подшипников за

счет низкой пористости, высокой адгезионной прочности и пониженного коэффициента трения формируемых покрытий [1].

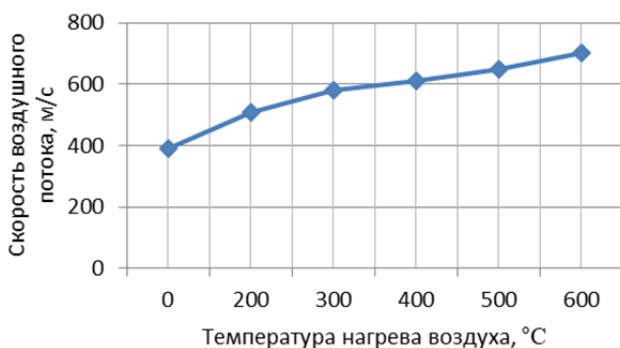
Прочность сцепления порошкового покрытия металлов с подложкой из стали существенно зависит от температуры напыления, которая также повышает скорость частиц Б83 в сопловом блоке при сходном рабочем давлении 0,5 МПа для напыления Б83 рекомендованное фирмой «ДИМЕТ» и также 3-й температурный режим 360 °С. Однако для качественного ремонтного применения ХГДН Б83 по Б83 эти параметры требуют дополнительного исследования для повышения адгезии напыленного слоя на уровне 30–35 RB.

Для определения рациональных пределов критической скорости напыления Б83 с учетом рекомендованной температуры ХГДН Б83 и рабочего давления газа предложили следующий метод. Известно, что скорость рабочего газа в перетяжке сопла Лавала (v_t) является функцией его температуры [2]:

$$v_t = 0,5(\gamma RT_t), \quad (1)$$

где γ — специфический коэффициент теплоемкости данного газа (для одноатомных газов равен 1,66 и для двухатомных газов равен 1,4); R — газовая константа; T_t — температура газа в перетяжке сопла.

На рисунке показана зависимость скорости воздушного потока и температуры нагрева при постоянном давлении в пределах 0,5–0,6 МПа [3]. При температуре напыления 270–400 °С получаем исходные пределы скорости ХГДН для Б83 в пределах 500–650 м/с.



Зависимость скорости потока газа от температуры

На следующем этапе выполнили расчет необходимой критической скорости (2) для ХГДН Б83 по методике [4]:

$$V = \sqrt{2c\Delta T} = \sqrt{2 \cdot 331,46 \cdot (440 - 20)} = 527,66 \text{ м/с}. \quad (2)$$

Для прочностного анализа по адгезии ХГДН Б83 по Б83 использовали методику расчета, представленную в виде определения относительной прочности соединения [5]:

$$\sigma = \frac{N}{N_0} = 1 - \exp\left(-\frac{vt_a}{\exp\left(\frac{E_a}{kT_k + (1-e)m_s V_s^2/2}\right)}\right), \quad (3)$$

где t_a — время взаимодействия частицы и подложки, ν — частота собственных колебаний атомов; E_a — энергия активации образования химических связей; T_k — абсолютная температура в контакте; k — постоянная Больцмана; V_s — скорость напыляемой частицы; $m_s = M_s/N_A$ (M_s — атомный вес частицы, N_A — число Авогадро); $t_a = d/C_1$ (d — диаметр частицы, C_1 — скорость частицы).

Из приведенных зависимостей видно, что для каждой температуры газа и соответственно частиц порошка, к примеру Б83, существует критическая скорость начала закрепления частиц выше которой начинается рост относительной прочности сцепления с подложкой в пределах рациональных параметров. Полученные результаты позволяют определить необходимые параметры напыления для получения покрытий с хорошими адгезионными свойствами ($\sigma > 0,7$).

Литература

- [1] Леванов Ю.К., Бердник О.Б., Царева И.Н., Кривина Л.А. Газодинамическое антифрикционное покрытие баббита для подшипников скольжения роторов турбины. *Вестник научно-технического развития*, 2020, № 4 (152), с. 12–19.
- [2] Биргер Е.М., Архипов В.Е., Поляков А.Н. Газодинамическое напыление. Физические основы и параметры процесса (Обзор. Часть 2) *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2019, т. 15, № 7, с. 309–317.
- [3] Турдубаева К.В. *Нанесение антифрикционных покрытий порошком Б-83 методом холодного газодинамического напыления*. Томск, Томский политехнический университет, 2019.
- [4] Балданов К.П. К расчету параметров холодного газодинамического напыления деталей машин с использованием установки Димет-405. *Вестник ВСГУТУ*, 2019, № 1 (72), с. 69–73.
- [5] Солдатенков С.И. *Исследование, разработка технологии и оборудования для получения покрытий методом холодного газодинамического напыления*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2000.

Relevance of babbitt B83 spraying technology for repair of turbine bearings and method for substantiating optimal modes of CGDN process

Kostin Mikhail Sergeevich¹

kostin_ms2@paoktz.ru

Alakin Viktor Mikhailovich²

alakin.vm@bmstu.ru

¹ PJSC Kaluga Turbine Plant, Kaluga, Russia

² Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article examines practical issues of the feasibility of using cold gas-dynamic spraying to improve the quality and economic efficiency of restoring the B83 layer of plain bearings. Research by russian and foreign authors on the use of CGDN technology for spraying babbitt on sliding bearings is considered. A method has been proposed for determining rational limits for the spraying rate, taking into account the recommended temperature of the CGDN and gas pressure in relation to the spraying of B83 powder. A technique for strength analysis of adhesion is proposed for the application option of CGDN B83 to B83 in the form of relative joint strength.

Keywords: cold gas-dynamic spraying, repair of plain bearings, babbitt

УДК 631.362

Определение нагрузки и прогиба пальцев роторов при транспортировании клубней в процессе сортировки

Семенов Максим Андреевич

maksimsemenov606@gmail.com

Плахов Сергей Александрович

sa.plahov@yandex.ru

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

Рассмотрен процесс сортировки корнеплодов, в частности картофеля на роторно-пальцевой поверхности. Приведена актуальность данного направления в развитии сельского хозяйства и пищевой промышленности. Проанализированы исследования в данной области. Цель доклада — определение нагрузочных режимов и деформации пальцев роторов в процессе сортировки средней фракции картофеля для оценки устойчивого перемещения клубней и повышения качества и удельной производительности ротационной сортировки.

Ключевые слова: картофель, сортировка, роторно-пальцевая поверхность, нагрузка, перемещение

Сортировка картофеля и других корнеплодов остается актуальным направлением в развитии сельского хозяйства и продовольственной промышленности, поскольку это важный этап производства, влияющий на качество и конечную цену продукции. Качественная сортировка позволяет отделить картофель от брака, удалить поврежденные, больные или испорченные клубни, что помогает сохранить качество продукции и удовлетворить потребности покупателей. Кроме того, сортировка позволяет классифицировать картофель по размеру, что упрощает его упаковку и продажу.

Обоснование конструкции роторно-пальцевой поверхности и ее рабочих режимов приведено в работах [1, 2]. Также в результате анализа данных работ установлена актуальность определения упругих характеристик пальцев ротационного рабочего органа в зависимости от удельного давления сортируемого картофеля на пальцы с целью обоснования упругости пальца и его размеров. Сделано предположение, что пальцы высокой упругости будут повреждать клубни, а низкой — не обеспечат устойчивое перемещение, поэтому необходима оптимизация сечения пальца по реальным нагрузкам.

Для определения режимов нагружения при сортировке картофеля на ротационной поверхности были приняты следующие исходные параметры:

- длина поверхности сортирования 0,8 м (4 ряда роторов);
- ширина поверхности сортирования 0,8 м;
- подача картофеля 15 т/ч;
- угловая скорость роторов 6 рад/с (45–50 об/мин);
- высота слоя картофеля 0,12 м (прохождение картофеля в 2 слоя);
- удельная плотность перемещаемого вороха картофеля 500 кг/м³;
- удельная плотность насыпного картофеля 800 кг/м³.

Также построена схема процесса и действующих сил при двухслойном прохождении картофеля по роторно-пальцевой поверхности (см. рисунок).

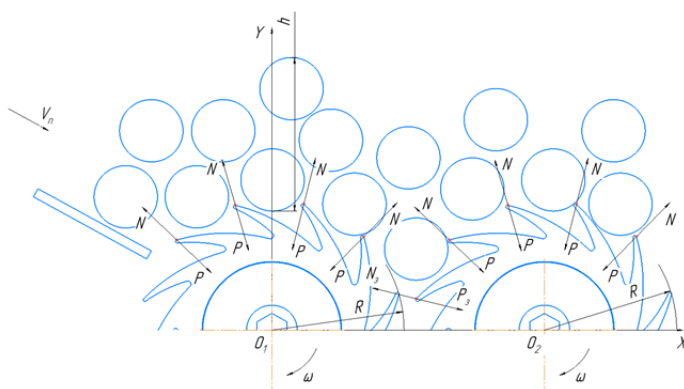


Схема двухслойного прохождения картофеля по роторно-пальцевой поверхности и действующих сил на пальцы роторов

На первом этапе исследования определена условная масса картофеля, находящегося на роторно-пальцевой поверхности при сортировке, которая составила 39 кг. Далее с учетом калибрования средней фракции картофеля принят средний размер сортирующего зазора между роторами 40 мм и по нему определено количество нагруженных роторов и пальцев в зоне силового контакта с клубнями. В итоге определена масса картофеля, приходящаяся на 1 ротор, составляющая 0,7 кг и соответственно единичную нагрузку 7 Н.

В зонах перехода с одного ротора на другой возможно защемление клубней, а следовательно, и увеличение нагрузки на пальцы. Условно примем коэффициент частичного защемления $k_3 = 1,3$, поэтому нагрузка в местах защемления может составлять 10 Н.

Отгиб пальца ротора под нагрузкой определим методом Верещагина [3]:

$$\delta = \frac{N_{\text{ср}} L^3}{3EJ}, \quad (1)$$

где L — длина пальца; $E = 5 \cdot 10^6$ Па — модуль упругости материала пальца; δ — прогиб балки в результате приложения нагрузки; J — момент инерции пальца.

Из формулы (1) следует, что среднее значение ударной нормальной реакции $N_{\text{ср}}$ равно

$$N_{\text{ср}} = \frac{3EJ\delta}{L^3}. \quad (2)$$

Это уравнение справедливо для статической нагрузки. В нашем случае происходит и динамическое нагружение пальца ротора, поэтому введем динамический коэффициент k_d , определяемый по формуле:

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{\max}}}, \quad (3)$$

где $h = 120$ мм — высота слоя клубней при калибровании; $\delta_{\max} = 2$ мм — максимально допустимый прогиб пальца, не нарушающий геометрию калибровочного отверстия.

Подставляя это значение в уравнение (3) получим $k_d = 12$.

При динамической нагрузке среднее значение ударной нормальной реакции N_{cp} будет равно [4]:

$$N_{cp} = \frac{3EJ\delta_{\text{стат}}k_d}{L^3} \quad (4)$$

Найдем время контакта клубня с пальцем τ :

$$\tau = \frac{(-mk_B V_x - mV_x)L^3}{3EJ\delta_{\text{стат}}k_d}, \quad (5)$$

где $\delta_{\text{стат}}$ — статическое перемещение от приложения единичной нагрузки.

Для того чтобы найти $\delta_{\text{стат}}$, необходимо сначала определить ускорение клубня $a_{кл}$. Для этого примем ускорение по оси x : $a_x = 0,441$ м/с², по оси y : $a_y = 0,099$ м/с². Тогда ускорение клубня $a_{кл} = 0,452$ м/с² [5].

Момент инерции пальца $J = 6,667 \cdot 10^{-9}$ м⁴.

Определив ускорение клубня по методу Верещагина, определили статическое перемещение от приложения единичной нагрузки $\delta_{\text{стат}} = 1,464 \cdot 10^{-5}$ м. Зная $\delta_{\text{стат}}$, из уравнения (5) нашли время удара $\tau = 0,026$ с и получили среднее значение ударной нормальной реакции составило $N_{cp} = 0,65$ Н.

Прогиб пальца от приложения динамической нагрузки клубней составил $\delta_{\text{стат}} = 1,75 \cdot 10^{-3}$ м.

В результате теоретического анализа прогиба пальца при взаимодействии с клубнем картофеля средней фракции получено максимальное значение деформации крайней точки пальца равное 1 мм. Полученное значение менее допустимого прогиба в 2 мм, поэтому перемещение сортируемых клубней будет устойчивым за счет отсутствия значительных прогибов пальцев, что также позволит повысить качество сортировки.

Литература

- [1] Плахов С.А. *Обоснование технологического процесса и основных параметров виброротационной сортировки картофеля*. Дис. ... канд. техн. наук. Калуга, 2014, 144 с.
- [2] Алакин В.М. *Параметры и режимы работы роторно-пальцевой сепарирующе-калибрующей поверхности, повышающие эффективность обработки вороха картофеля*. Дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург-Пушкин, 1996, 184 с.
- [3] Лавендел Э.Э., ред. *Вибрации в технике: Справочник. В 6 т. Т. 4. Вибрационные процессы и машины*. Москва, Машиностроение, 1981.
- [4] Туболев С.С., Шеломенцев С.И., Пшеченков К.А., Зейрук В.Н. *Машинные технологии и техника для производства картофеля*. Москва, Агроспас, 2010, 316 с.
- [5] Чубаров Ф.Л., Плахов С.А., Никитин А.В., Баранов А.Ю. *Применение вибрационного воздействия при разгрузке вороха картофеля и корнеплодов. АПК России: образование,*

наука, производство: II Всерос. (нац.) науч.-практ. конф.: сб. ст. Пенза, Пензенский государственный аграрный университет, 2021, с. 177–181.

Determination of the load and deflection of the rotor fingers when transporting tubers during the sorting process

Semenov Maxim Andreevich

maksimsemenov606@gmail.com

Plakhov Sergey Alexandrovich

sa.plahov@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The process of sorting root crops, in particular potatoes, on a rotary-finger surface is considered. The relevance of this direction in the development of agriculture and the food industry is given. Research in this area is analyzed. The purpose of the report is to determine the load conditions and deformation of the rotor fingers in the process of sorting the middle fraction of potatoes to assess the sustainable movement of tubers and improve the quality and specific productivity of rotary sorting.

Keywords: *potatoes, sorting, rotary-finger surface, load, movement*

УДК 631.356

К обоснованию объема выгрузки и производительности подборщика с вибролопастным заборным устройством

Ломов Александр Русланович

stkgreenpipe@gmail.com

Семенов Максим Андреевич

maksisemenov606@gmail.com

Алакин Виктор Михайлович

alakin.vm@bmstu.ru

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

Рассмотрен процесс выемки картофеля из насыпи и производительности подачи его на сортировку в постоянном режиме. Приведена актуальность данного процесса в направлении развития послеуборочной доработки вороха картофеля и пищевой промышленности. Проанализированы исследования в данной области. Цель доклада — определение объема и производительности выгрузки картофеля с учетом его ссыпания и подачи на вибролопастной заборный орган.

Ключевые слова: картофель, подборщик, вибролопастной заборный орган, объем выгрузки, угол ссыпания

Исследования на предмет разработки новых процессов заборных устройств и обоснования силовых параметров процесса нового малогабаритного подборщика непрерывного действия (без цикличности) являются актуальным направлением разработки, в связи с тем, что выемка картофеля из насыпного хранилища является одним из важных этапов предпродажной подготовки, особенно в условиях фермерских и семеноводческих хозяйств. Предложенный подборщик с вибролопастным заборным органом обеспечит равномерную, регулируемую, надежную и производительную выемку клубней из насыпи в пределах от 5 до 15 т/час и подачу на сортировку без повреждения клубней с минимальным использованием ручного труда.

При выемке корнеплодов, в частности картофеля, из основания насыпи с высотой H (рис. 1) и с поверхностью естественного откоса, угол наклона которого φ , то по мере удаления клубней из слоя в насыпи формируется откос предельного равновесия 2 с углом γ . Этот откос неустойчив и в процессе дальнейшей работы машины часть его начнет отделяться от основного массива и обрушаться, располагаясь вдоль линии осыпания 3 с углом $\varphi_{oc} \leq \varphi$. После удаления обрушившейся массы обнажается поверхность обрушения переменной кривизны с пологой нижней частью с углом α_0 у основания и почти отвесной верхней частью. Профили откосов осыпания и предельного равновесия имеют прямолинейный характер. Профиль откоса обрушения характеризуется эмпирическим уравнением [1]:

$$x_i = \frac{y_i}{\operatorname{tg} \alpha_0 - k y_1^2}. \quad (1)$$

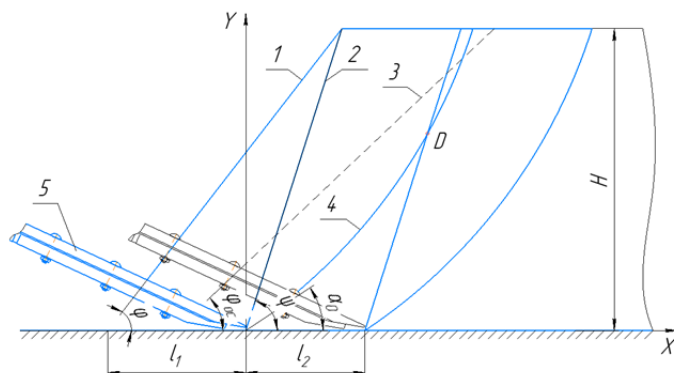


Рис. 1. Возникновение откосов в насыпи клубней при внедрении в нее питателя по поверхности основания:

1 — естественный откос; 2 — откос предельного равновесия; 3 — откос осыпания;
4 — откос обрушения; 5 — вибролопастной питатель

При образовании откосов в слое картофеля рабочий орган будет производить выборку с основания слоя, т. е. с пола хранилища. Это, предположительно, обеспечит снижение сопротивления и энергоемкости процесса. Работа клинового, вибролопастного заборного устройства носит постоянный характер и состоит из следующих этапов [2].

Первоначально заборное устройство внедряется в насыпь (например, в откос осыпания) до того, как образуется откос предельного равновесия. Путь внедрения машины l_1 (м) можно определить по формуле

$$l_1 = H(\operatorname{ctg} \varphi_{\text{ос}} - \operatorname{ctg} \psi), \quad (2)$$

где H — высота насыпи картофеля в зоне выемки; $\varphi_{\text{ос}}$ — угол осыпания насыпи; ψ — угол откоса предельного равновесия.

Объем выгрузки при этом

$$V_1 = l_1 H \left(\frac{B}{2} + \frac{H}{3 \operatorname{tg} \psi} \right), \quad (3)$$

где B — ширина захвата рабочего органа.

Далее заборный орган внедряется в откос предельного равновесия. Когда происходит обрушение откоса предельного равновесия, машина останавливается и производит выборку осыпавшихся клубней. Движение машины продолжается до образования нового откоса предельного равновесия. Путь внедрения машины l_2 (м) на этом этапе за период времени можно определить по формуле [3]

$$l_2 = x_D - \frac{y_D}{\operatorname{tg} \psi}, \quad (4)$$

где x_D , y_D — координаты точки касания кривой обрушения и линии откоса предельного равновесия,

$$y_D = \sqrt{\frac{\sqrt{\operatorname{tg} \psi (8 \operatorname{tg} \alpha_0 + \operatorname{tg} \psi)} - 2 \operatorname{tg} \alpha_0 - \operatorname{tg} \psi}{2k}}, \quad (5)$$

где α_0 — угол откоса обрушения; k — эмпирический коэффициент, размерность которого $1/\text{м}^2$.

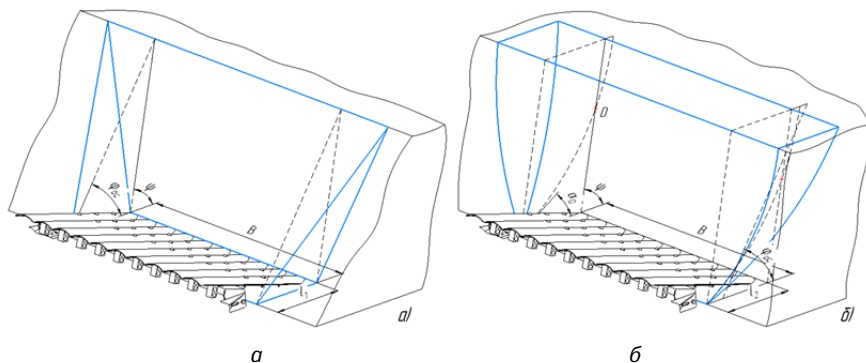


Рис. 2. Объемы выгрузки клубней из насыпи:

a — при передвижении питателя на пути l_1 ; *б* — при передвижении питателя на пути l_2

Применим следующие эмпирические зависимости для определения α_0 и k :

$$\alpha_{0i} = 46^\circ,87 + 0,21T_i \pm \sigma_\alpha, \quad (6)$$

$$\psi_i = 70^\circ,8 + 0,65T_i \pm \sigma_\psi, \quad (7)$$

$$k = aT_i^b \pm \sigma_k, \quad (8)$$

где T_i — время от начала выгрузки хранилища и пробуждения клубней в днях; $\sigma_\alpha = \sigma_\psi = 2^\circ 2'$; $a = 1,06 \cdot 10^{-7}$; $b = 2,0$; $\sigma_k = 0,124 \text{ л/м}^3$.

Объем выгрузки V_2 в м^3 за этот период подачи характеризуется выражением:

$$V_2 = Hl_2(B + \frac{H}{\operatorname{tg} \psi}). \quad (9)$$

Полный объем выгрузки V_n , м^3 за цикл работы от обрушения до обрушения может быть определен по формуле [4]:

$$V_n = \frac{V_{06}}{K_{06}}, \quad (10)$$

где V_{06} — объем части насыпи, обрушившейся при выгрузке, м^3 ; $K_{06} = 0,5 \dots 0,75$ — коэффициент обрушения.

Величина V_{06} определяется из зависимости [5]:

$$V_{06} = \frac{B}{2} \left[\frac{\ln(l + \frac{kH^2}{\operatorname{tg} \alpha_0})}{k} - \frac{H^2}{\operatorname{tg} \psi} \right] + \frac{2}{k \operatorname{tg} \psi} (H - \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \alpha_0}{k}} \operatorname{arctg} H \sqrt{\frac{k}{\operatorname{tg} \alpha_0}}) - \frac{l_2 H^2}{\operatorname{tg} \psi}, \quad (11)$$

Предложен метод обоснования объема выемки и производительности по подаче подборщика с вибродопастным рабочим органом для условий фермерских хозяйств. На основании известных методик расчета подачи с учетом предложенной конструкции подборщика с вибродопастным заборным устройством проведено обоснование объема выгрузки картофеля из насыпи.

Литература

- [1] Павлов И.П. *Повышение эффективности погрузки картофеля и лука путем обоснования параметров лопастного питателя погрузчика непрерывного действия*. Дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2016, 150 с.
- [2] *Вибрации в технике: Справочник. Т. 4. Вибрационные процессы и машины*. Москва, Машиностроение, 1981.
- [3] Петров Г.Д. *Картофелеуборочные машины*. Москва, Машиностроение, 1984, 320 с.
- [4] Колчин Н.Н. Современная техника для машинного производства картофеля. *Тракторы и сельхозмашины*, 2011, № 6, с. 51–54.
- [5] Колчин Н.Н. *Картофель: технологии и комплексы машин для возделывания важнейших сельскохозяйственных культур*. Москва, ИНФРА–М, 1997, с. 1–104.

To justify the unloading volume and productivity of a pick-up with a vibrating - blade intake device

Lomov Alexander Ruslanovich

stkgreenpipe@gmail.com

Semenov Maxim Andreevich

maksisemenov606@gmail.com

Alakin Viktor Mikhailovich

alakin.vm@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The process of removing potatoes from the embankment and the productivity of feeding them for sorting in a constant mode is considered. The relevance of this process in the direction of the development of post-harvest processing of a heap of potatoes and the food industry is given. Research in this area is analyzed. The purpose of the report is to determine the volume and productivity of potato unloading, taking into account its dumping and feeding to the vibrating blade intake device.

Keywords: potatoes, picker, vibrating blade intake device, unloading volume, dumping angle

УДК 631.356

Электромагнитный тормозной механизм

Козлов Владислав Александрович

vladislav-kozlov2000@mail.ru

Крупнов Дмитрий Андреевич

d.krupnov2015@yandex.ru

Шутов Андрей Александрович

denchikisback@gmail.com

Плахов Сергей Александрович

sa.plahov@yandex.ru

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

Изучены принципы работы и эффективность электромагнитного тормозного механизма трактора. Рассмотрены конструкция и принцип действия данного механизма. Результаты научного исследования позволяют сделать вывод о высокой эффективности и надежности электромагнитного тормозного механизма трактора, что может быть полезно для дальнейшего усовершенствования и оптимизации данной технологии в сельскохозяйственной технике.

Ключевые слова: трактор, электромагнитный тормоз, тормозные усилия, конструкция, эффективность, блокировка

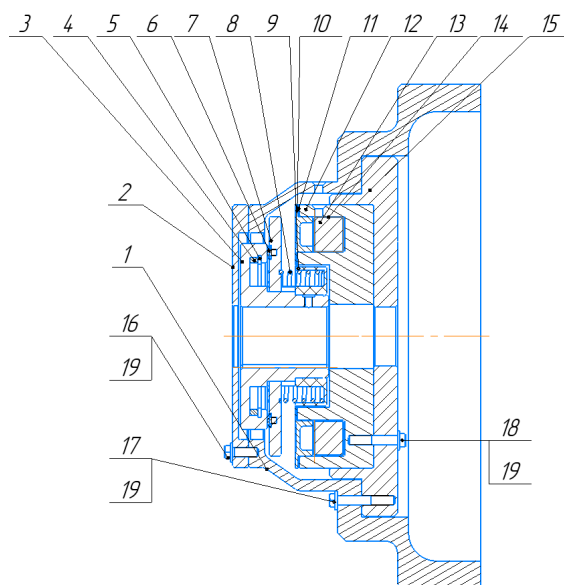
В настоящее время в тракторах используется три классических вида тормозных механизмов: ленточная, дисковая и колодочная [1]. Однако с целью интенсификации развития тракторостроения, была предложена разработка принципиально нового устройства торможения трактора — электромагнитный тормоз. Электромагнитный тормоз (ЭМТ) позволяет не только увеличить тормозное усилие (тем самым увеличив эффективность торможения), но и снизить интенсивность изнашивания тормозных накладок за счет использования для торможения электромагнитных сил.

Изобретение относится к машиностроению, в частности к тормозному оборудованию. Предназначено для быстротечного, плавного, индивидуального торможения механизмов с различного рода приводом.

Электромагнитный тормоз (ЭМТ) позволяет не только получить мгновенное и эффективное тормозное усилие, но и снизить интенсивность изнашивания тормозных накладок за счет использования для торможения электромагнитных сил. Электромагнитный тормозной механизм представлен на рисунке.

Электромагнитный тормоз включает в себя следующие компоненты. Якорь 3 устанавливается на полуось трактора посредством шпоночного соединения. Постоянный магнит 4 предназначен для удерживания тормозного диска в исходном положении. Стопорное кольцо 5 служит фиксатором постоянного магнита в проточке якоря. Тормозной диск 7 является основным компонентом взаимодействия в системе «электромагнит-тормозной диск», именно он воспринимает электромагнитную силу, создаваемую вихревыми токами, и сопротивляется вращению. Буферы отбоя 6 предотвращают ударные воздействия тормозного диска об якорь. Возвратная пружина 8 служит для возвращения

тормозного диска в исходное положение после прекращения воздействия водителем на педаль тормоза. Стакан пружины 9 предназначен для удержания пружины. Статор 12 является корпусом для электромагнита с обмоткой. Задача прижимной пробки 10 заключается в предотвращении осевого перемещения электромагнита в статоре. Фланец 15 служит для крепления статора к корпусу электромагнитного тормоза. Корпус 1 служит защитой всего механизма от попадания пыли, влаги, механических включений и удержания всего механизма. Крышка 2 предназначена для защиты механизма от попадания пыли, влаги, механических включений.



Электромагнитный тормозной механизм:

1 — корпус; 2 — крышка корпуса; 3 — якорь; 4 — постоянный магнит; 5 — стопорное кольцо; 6 — буфер; 7 — тормозной диск, например, из трансформаторного железа; 8 — возвратная пружина; 9 — стакан пружины; 10 — прижимная пробка; 11 — прокладка; 12 — статор; 13 — электромагнит; 14 — обмотка электромагнита; 15 — фланец; 16, 17, 18 — болты; 19 — шайба

Электромагнитный тормоз работает следующим образом. При воздействии водителем на педаль тормоза ток начинает поступать к обмотке электромагнита (ток самовозбуждения). В возбуждающей обмотке появляются вихревые токи, образующие явление электромагнитной индукции. Под воздействием электромагнитных сил, тормозной диск начинает испытывать на себе магнитный поток и приходит в движение, приближаясь к статорной части электромагнитного тормоза. Помимо осевой силы, заставляющей диск перемещаться к статору, в нем образуется крутящий момент сопротивления вращению, благодаря чему диск начинает вращаться с меньшей скоростью. После прекращения воздействия водителем на педаль тормоза, тормозной

диск под действием силы упругости пружины возвращается в исходное положение и прижимается к якорю.

Данная электромагнитная система позволила избавиться от громоздких систем гидравлического или пневматического привода для осуществления торможения. Большим плюсом является широкий спектр тормозных усилий оказывающее большое влияние на плавность торможения трактора [2].

Реализована также функция полной блокировки одного из колес для разворота трактора на месте при помощи специальных контроллеров внутри кабины трактора [3].

Применение электромагнитного тормоза обеспечивает следующие преимущества:

- исключений износа тормозных колодок за счет отсутствия элементов трения;
- увеличение тормозного усилия;
- повышение безопасности торможения;
- простота конструкции;
- широкий диапазон тормозных усилий;
- возможность полной блокировки любого колеса;
- простота эксплуатации.

Литература

- [1] Шарипов В.М. *Тракторы. Конструкция*. Москва, Машиностроение, 2012, 790 с.
- [2] Плахов С.А. *Конструкция наземных транспортно-технологических средств*. Калуга, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 20 с.
- [3] 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, ЮЗГУ, 2021, с. 242–245.

Electromagnetic braking mechanism

Kozlov Vladislav Alexandrovich vladislav-kozlov-2000@mail.ru

Krupnov Dmitry Andreevich d.krupnov2015@yandex.ru

Shutov Andrey Alexandrovich denchikisback@gmail.com

Plakhov Sergey Alexandrovich sa.plahov@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article is devoted to the study of the principles of operation and efficiency of the electromagnetic braking mechanism of a tractor. The paper considers the design and principle of operation of this mechanism. The results of the scientific research allow us to conclude about the high efficiency and reliability of the electromagnetic braking mechanism of the tractor, which can be useful for further improvement and optimization of this technology in agricultural machinery.

Keywords: tractor, electromagnetic brake, braking forces, design, efficiency, locking

УДК 631.356

Вентилируемый дисковый тормозной механизм

Козлов Владислав Александрович

vladislav-kozlov2000@mail.ru

Крупнов Дмитрий Андреевич

d.krupnov2015@yandex.ru

Шутов Андрей Александрович

denchikisback@gmail.com

Плахов Сергей Александрович

sa.plahov@yandex.ru

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

Настоящая научная статья посвящена изучению принципов работы и повышения эффективности дискового тормозного механизма трактора. В работе рассматривается конструкция и принцип действия предлагаемого технического решения. Результаты научного исследования позволяют сделать вывод о надежности и возможности потенциального использования вентилируемой тормозной системы трактора, что может быть полезно для дальнейшего усовершенствования и оптимизации выполнения работ в сельскохозяйственной отрасли.

Ключевые слова: трактор, дисковый тормозной механизм, система охлаждения и вентиляции, конструкция, эффективность торможения

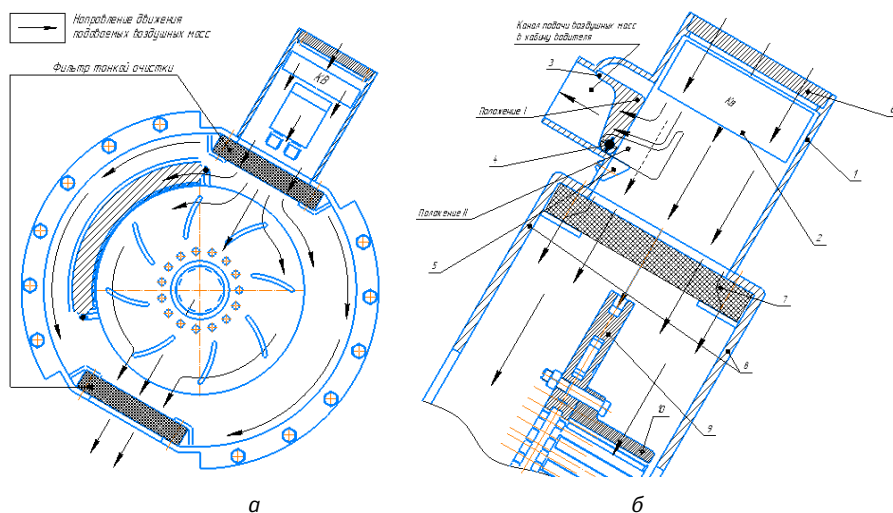
Эффективность устройства. Тормозная система — один из важнейших узлов в конструкции ТС, поскольку тормозная система ТС обеспечивает безопасное управление и движение ТС во время эксплуатации. Тормозная система должна обеспечивать необходимое тормозное усилие с высоким КПД как для полной остановки ТС, так и для снижения текущей скорости при необходимости, быть безотказной в процессе эксплуатации, ремонтпригодной и отвечать требованиям безопасности и условиям пользования, предъявляемым к тормозным системам НТТС.

При разработке вентилируемой дисковой тормозной системы трактора необходимо было решить следующие задачи:

- подобрать вентилятор, позволяющий в полной мере осуществлять охлаждение механизма;
- разработать механизм привода заслонки по необходимости и пользования (непостоянная подача воздушных масс в кабину трактора).

Разработанный тормозной механизм (см. рисунок) включает в себя корпус тормозного механизма, представляющий собой два полукорпуса 8 (для удобства ремонта и обслуживания), защищающий его от попадания частиц земли, загрязнений и механического воздействия (ударов о землю) за счет установки в них двух фильтров тонкой очистки 7. Шахту 1 — основной элемент в системе вентиляции. Шахта зафиксирована на корпусе с помощью крепежных изделий. Шахта имеет внутреннюю стенку, куда в натяг устанавливается фильтр грубой очистки 6. Внутри шахты располагаются канальный вентилятор 2, захватывающий воздушные массы, заслонка с осью 4, меняющая свое положение в зависимости от решения водителя, ограничители 5,

стопорящие заслонку в случае передачи чрезмерного усилия. Тормозной суппорт включает в себя два поршня (движущиеся элементы), две обоймы, уплотнительные манжеты, каналы для подачи рабочей жидкости, заглушки. Суппорт в сборе соединен со скобой и колодками, которые зафиксированы в нем двумя направляющими. Собранный тормозной механизм винтами крепится к полукорпусам устройства и остается неподвижным в процессе эксплуатации (за исключением движения колодок к тормозному диску и от него). Тормозной диск 9 расположен в центре суппорта и зафиксирован на ступице 10 с помощью крепежных изделий. Ступица посажена на полуось ТС с помощью шлицевого соединения [1].



Принцип действия разрабатываемой конструкции тормозного механизма:

a — главный вид; *b* — вид сбоку; 1 — шахта; 2 — канальный вентилятор; 3 — заслонка; 4 — ось и заслонка; 5 — ограничитель; 6 — фильтр грубой очистки; 7 — фильтры тонкой очистки; 8 — корпусные детали; 9 — тормозной диск; 10 — ступица со шлицами

При разработке конструкции вентилируемого дискового тормозного механизма были учтены и устранены недостатки более ранних версий устройства, а именно [2]:

- недостаточное количество подаваемых воздушных масс, не позволяющее в достаточной степени осуществлять охлаждение механизма;
- недостаточная эффективная площадь торможения и, как следствие, недостаточное тормозное усилие, большее количество затрачиваемого времени на совершение полной остановки при движении с максимальной скоростью;
- ненадежность и неремонтопригодность тормозного механизма.

Данный тип охлаждения характеризуется принудительной подачей охлажденных воздушных масс внутрь корпуса тормозного механизма после окончания процесса торможения (вплоть до полной остановки). Подача воздуха к нагретым элементам тормозного механизма колодочно-дискового типа (за-

крытого типа) осуществляется с помощью канального вентилятора. Охлаждение элементов трения происходит после снижения давления в системе циркуляции рабочей жидкости (отвод тормозных колодок от диска).

Явление самотяги обусловлено разницей между плотностью воздуха внутри тормозного механизма и плотностью воздуха окружающей среды. В результате чего появляется разность давлений, под действием которой нагретый воздух выходит и поступает в окружающую среду. Явление самотяги будет способствовать отводу нагретого воздуха из узла [3].

При прохождении потока воздуха через детали тормозного механизма частицы воздуха будут сталкиваться хаотичным образом, вызывая постоянный теплообмен, переносимый макроскопическим движением воздуха.

Процесс протекания охлажденного воздуха через механизм можно разделить на несколько фаз.

1. После снижения давления на поршни тормозного механизма происходит отвод колодок от диска и появление зазора между фрикционными накладками и диском. Поток воздуха стремиться заполнить появившуюся область.

2. Выравнивание давления в области зазора. Происходит изменение направления движения потока воздуха из-за геометрии тормозного суппорта. Режим движения потока воздуха — турбулентный.

3. Образование пограничного слоя около нагретых поверхностей фрикционных накладок и тормозного диска.

После полной остановки режим движения потока воздуха станет ламинарным после выравнивания давлений воздуха в окружающей среде и внутри тормозного механизма.

Литература

- [1] Плахов С.А. *Конструкция наземных транспортно-технологических средств. Курсовой проект: методические указания*. Калуга, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 20 с.
- [2] Попов В.А., Трегубов Ю.Д. *Тормозные системы автотранспортных средств*. Санкт-Петербург, ПГУПС, 2019, 50 с.
- [3] Волков В.С. *Основы расчета систем автомобилей, обеспечивающих безопасность движения*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 144 с.

Ventilated disc brake system

Kozlov Vladislav Alexandrovich

vladislav-kozlov2000@mail.ru

Krupnov Dmitry Andreevich

d.krupnov2015@yandex.ru

Shutov Andrey Alexandrovich

denchikisback@gmail.com

Plakhov Sergey Alexandrovich

sa.plahov@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This scientific article is devoted to the study of the principles of operation and increasing the efficiency of the disc brake mechanism of the tractor. The article considers the design and operating principle of the proposed technical solution. The results of the scientific study allow us to conclude about the reliability and potential use of the ventilated brake system of the tractor, which can be useful for further improvement and optimization of work performance in the agricultural industry.

Keywords: tractor, disc brake mechanism, cooling and ventilation system, design, braking efficiency

УДК 629.02

Повышение эффективности работы крутосклонного трактора с помощью бортового редуктора

Плахов Сергей Александрович

sa.plahov@yandex.ru

Фомин Вадим Игоревич

fominvi@student.bmstu.ru

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

Рассмотрены конструкция, принцип работы и преимущества бортовых редукторов крутосклонных тракторов с возможностью поворота в продольном направлении. Проанализированы основные элементы редуктора, их взаимодействие и влияние на общую производительность трактора. Выделены преимущества в использовании систем и их роль в обеспечении эффективной работы на пересеченной местности и крутых склонах.

Ключевые слова: конструкция редуктора, угол поворота бортового редуктора, крутосклонный трактор

При разработке бортового редуктора с возможностью поворота в продольном направлении заднего моста трактора тягового класса 0,9 учитывались преимущества и недостатки конструкций задних мостов других тракторов и их компоновки для внедрения в него бортовой редуктор.

Основное предназначение бортового редуктора — это передача крутящего момента от дифференциала к задним ведущим колесам.

На трактор устанавливают две идентичные конечные передачи, которые соединяются с помощью тормозных рукавов к корпусу коробки передач [1]. Схема поворота бортового редуктора в продольном направлении представлена на рис. 1.

Основана эта система поворота бортового редуктора на использовании гидросистемы для проворачивания в две взаимные стороны редуктор за счет того что на корпусе редуктора отлита проушина в которую жестко закреплена тяга, за счет того что регулируется положение гидроцилиндра бортовой редуктор отводится в продольном направлении до 28° в две стороны взаимно обратно, что позволяет проезжать трактору поперек склона до 35° не имея отклонения от вертикальной оси.

Конструкция бортового редуктора (рис. 2) состоит из следующих основных составляющих [2].

1. Ведущий вал передает крутящий момент от двигателя к редуктору.
2. Ведомый вал принимает крутящий момент от ведущего вала и передает его на конечные передачи.
3. Зубчатые колеса передают крутящий момент между валами
4. Подшипники поддерживают валы и обеспечивают их свободное вращение.
5. Сальники предотвращают утечку масла из редуктора.

6. Корпус редуктора обеспечивает защиту внутренних деталей от повреждений и загрязнений.

7. Масло служит для смазки и охлаждения деталей редуктора, а также для уменьшения трения между ними.

8. Регулировочные и установочные элементы (прокладки, гайки, болты, пружины и т. д.), обеспечивающие правильную работу и настройку редуктора.

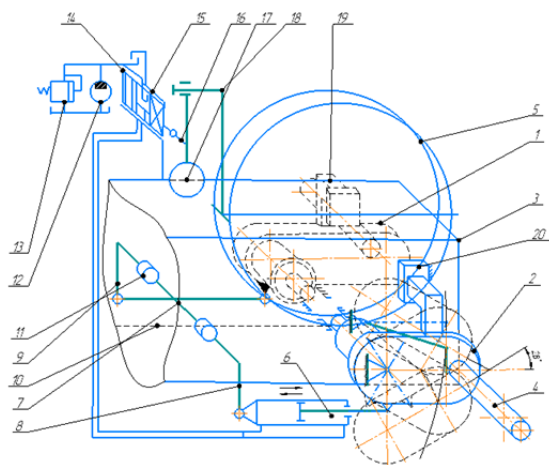


Рис. 1. Схема поворота бортового редуктора заднего моста:

1 — правый ботовой редуктор; 2 — левый ботовой редуктор; 3 — осто́в трактора; 4 — полуюсь трактора; 5 — ведущее колесо; 6 — шток силового цилиндра двухстороннего действия; 7 — поперечный вал; 8 — шарнир, соединенный с цилиндром; 9 — шарнир, соединенный с правым бортовым редуктором; 10 — шарнирная тяга; 11 — опора; 12 — давление; 13 — предохранительный клапан; 14 — слив; 15 — трехпозиционный гидравлический распределитель; 16 — тяга; 17 — золотник; 18 — кронштейн; 19, 20 — ограничители

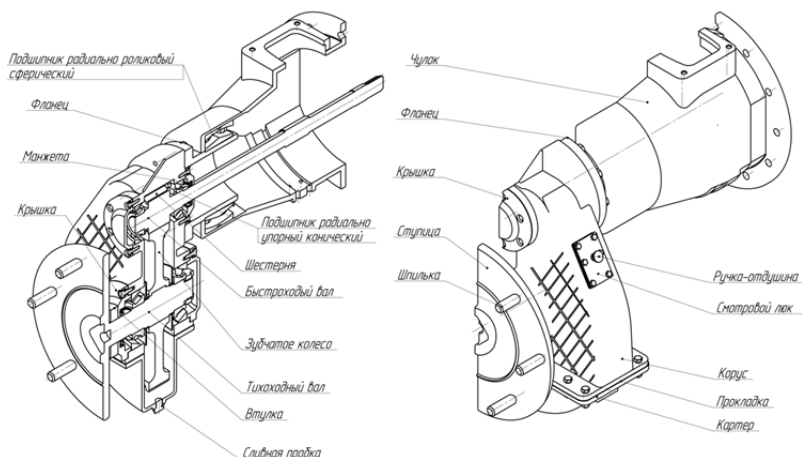


Рис. 2. Конструкция бортового редуктора заднего моста

Предлагаемый механизм выравнивания улучшает проходимость трактора в междурядьях пропашных культур на склонах, что увеличивает производительность труда за счет повышения уровня механизации сельскохозяйственных технологических операций по возделыванию пропашных культур.

Кроме того, механизм выравнивания позволяет использовать на крутосклонном тракторе унифицированную кабину серийной базовой модели, так как при таком конструктивном решении лимитированная ширина междурядий не накладывает ограничения на поперечный габарит кабины вследствие отсутствия перемещения колес вверх относительно исходного положения в ее зону.

Изобретение обладает более высокой надежностью против опрокидывания при выходе из строя силового цилиндра или отсоединении одной из бортовых передач, так как колесо не имеет возможности для перемещения вверх относительно исходного положения. В такой ситуации устойчивость трактора с предлагаемым механизмом выравнивания такая же, как и у трактора обычной равнинной конструкции, а у трактора с известным механизмом выравнивания значительно хуже, так как колесо стремится занять крайнее верхнее положение, чему ничто не мешает.

Литература

- [1] Дунаев П.Ф., Леликов О.П. *Конструирование узлов и деталей машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Баумана, 2017, 564 с.
- [2] Плахов С.А. *Конструкция наземных транспортно-технологических средств. Курсовой проект: методические указания*. Калуга, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 20 с.

Improving the efficiency of a steeply inclined tractor using an on-board gearbox

Plakhov Sergey Alexandrovich

sa.plahov@yandex.ru

Fomin Vadim Igorevich

fominvi@student.bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article discusses the design, principle of operation and advantages of on-board gearboxes of steeply inclined tractors with the possibility of rotation in the longitudinal direction. I will analyze the main elements of the gearbox, their interaction and impact on the overall performance of the tractor. I will highlight the advantages of using systems and their role in ensuring efficient operation on rough terrain and steep slopes.

Keywords: *gearbox design, angle of rotation of the on-board gearbox, steeply inclined tractor*

УДК 62

Оценка возможности использования SolidWorks Simulation для исследования напряженно-деформированного состояния сосуда под давлением

Васешенков Дмитрий Владимирович

vaseshenkovdv@student.bmstu.ru

Никишкина Алевтина Борисовна

abnikishkina@bmstu.ru

SPIN-код: 6739-3155

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

Рассмотрена оценка возможности использования модуля SolidWorks Simulation для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) тонкостенных оболочек методом конечных элементов (МКЭ). Этот метод позволяет моделировать сложные конструкции и тестировать их поведение под воздействием различных нагрузок и условий эксплуатации. При анализе учитывались материалы, геометрия и граничные условия оболочки, что позволило спрогнозировать поведение сосуда под давлением в реальной среде путем численного моделирования

Ключевые слова: оболочка, цилиндрический сосуд, метод конечных элементов, осесимметричный анализ

Тонкостенные оболочки представляют собой важный класс конструкций, имеющих малую толщину по сравнению с их размерами в плоскости [1]. Они обладают рядом особенностей: малой толщиной, высокой прочностью и жесткостью, гибкостью формы, а также специфическими условиями нагружения (изгиб, растяжение или сжатие). Широко применяются в строительстве и архитектуре, транспортном производстве, электронике, машиностроении, аэрокосмической промышленности [2].

Часто в процессе эксплуатации баков, котлов возникают дефекты, связанные с ошибками проектирования, условиями изготовления. Поэтому численное моделирование может применяться для прогнозирования поведения сосуда под давлением. Численные методы, воплощенные в универсальные программные комплексы, становятся инструментом исследователей и инженеров и часто являются одной из составных частей систем автоматизированного проектирования [3].

Одной из программ, позволяющих методом конечных элементов исследовать НДС сосуда под давлением, является SolidWorks со встроенным модулем Simulation. SolidWorks Simulation — модуль, интегрированный в среду SolidWorks, позволяющий анализировать модели твердых, оболочных и балочных элементов. Это мощный инструмент для проведения исследования напряжений, деформаций, теплового анализа и других физических характеристик изделий [4]. Стоит заметить, что автоматическое формирование отчета с отображением всех этапов построения конструкции, результатами моделирования и расчетов является одним из преимуществ данной программы.

Определим эквивалентное напряжение тонкостенного цилиндрического сосуда высокого давления, изготовленного из легированной стали ($E = 2\,100\,000$ МПа), внутреннее давление которого 20 МПа. Размеры сосуда 350 мм, цилиндрическая длина 600 мм и толщина стенки 20 мм.

Решение данной задачи включало следующие этапы: построение эскиза по заданным размерам (рис. 1), создание 3D-модели вращением эскиза вокруг оси (рис. 2), выбор материала из встроенной библиотеки, задание граничных условий (давление равное 20 МПа, а также ролик/ползун на нижней грани), генерация конечно-элементной сетки (глобальный размер 10 мм и допуск 0,5 мм, всего узлов сетки — 34 162, всего элементов — 20 426), задание параметров расчета с учетом требуемой точности и статический анализ.

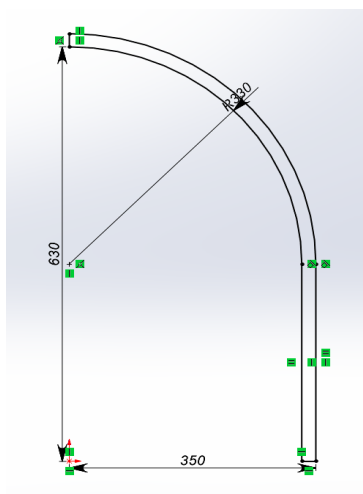


Рис. 1. Эскиз оболочки

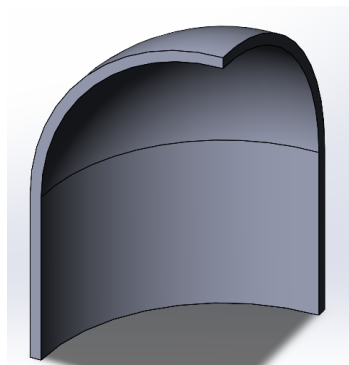


Рис. 2. 3D-модель

Поскольку сосуд симметричен относительно центральной оси, была построена модель в осесимметричной постановке, а затем для идентификации критических зон в сосуде определено значение напряжений по Мизесу (рис. 3) [5].

К схеме осесимметричной оболочки сводится расчет многих сосудов, котлов, деталей машин. Осесимметричный анализ упрощает расчет МКЭ за счет уменьшения размерности и сложности моделирования. При проведении анализа учитывается осевая симметрия объекта, позволяя моделировать только одну секцию с последующим умножением полученных результатов на всю осесимметричную форму. Также предполагается, что нагрузка, действующая на такую оболочку, также обладает признаками осевой симметрии. Это существенно снижает количество вычислений и упрощает модель, что позволяет более эффективно проводить исследование напряжений, деформаций и других характеристик объектов с осевой симметрией.

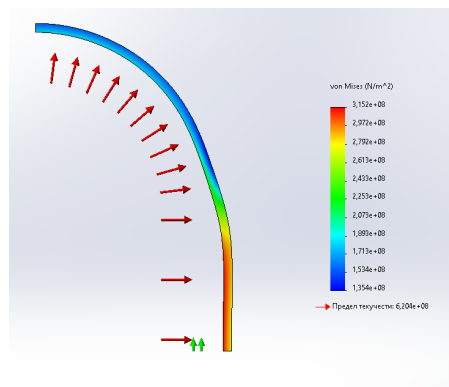


Рис. 3. Эпюра эквивалентных напряжений

Стоит заметить, что для сравнения моделей по различным характеристикам прочности до разрушения необходимо выбрать соответствующую теорию прочности. В данной задаче для проверки правильности моделирования напряжения на стенках модели использовали уравнения для определения напряжений в тонкостенном сосуде.

В ходе аналитического решения было найдено максимальное эквивалентное напряжение:

$$\sigma_{\text{экв}}^{\text{max}} = \sigma_m = 310 \text{ МПа.}$$

Исходя из полученных данных, была найдена погрешность между экспериментальным и аналитическим значением эквивалентных напряжений

$$\Delta = \frac{315-310}{310} \cdot 100 \% = 1,6 \%.$$

Заключение. Было исследовано НДС сосуда под давлением, численно и аналитически определены эквивалентные напряжения, значение погрешности 1,6 %. Можно сделать вывод о том, что модуль SolidWorks Simulation подходит для исследования напряженно-деформированных тонких оболочек с целью прогнозирования поведения конструкции под давлением и, при необходимости, внесения изменений на этапе конструирования.

Литература

- [1] Феодосьев В.И. *Сопротивление материалов*. Москва, Наука, 1972, 544 с.
- [2] Беляев Н.М. *Сопротивление материалов*. Москва, Наука, 1965, 856 с.
- [3] Феклистов С.И., Бахматов П.В., Муравьев В.И. *Конечно-элементное моделирование технологических процессов в машиностроении*. Владивосток, Дальнаука, 2011, 543 с.
- [4] Дарков А.В., Шапошников Н.Н. *Строительная механика*. Москва, Высш. шк., 1986, 607 с.
- [5] Алямовский А.А. *SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации*. Москва, ДМК Пресс, 2015, 562 с.

Assessment of the possibility of using SolidWorks Simulation to study the stress-strain state of a pressure vessel

Vaseshenkov Dmitry Vladimirovich

vaseshenkovdv@student.bmstu.ru

Nikishkina Alevtina Borisovna

abnikishkina@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

An assessment of the possibility of using the SolidWorks Simulation module to analyze the stress-strain state (SSS) of thin-walled shells using the finite element method (FEM) is considered. This method allows you to simulate complex structures and test their behavior under various loads and operating conditions. The analysis took into account the materials, geometry and boundary conditions of the shell, which made it possible to predict the behavior of the pressure vessel in a real environment through numerical simulation.

Keywords: *shell, cylindrical vessel, finite element method, axisymmetric analysis*

УДК 631.356

Двухпоточный ведущий мост

Козлов Владислав Александрович

vladislav-kozlov-2000@mail.ru

Крупнов Дмитрий Андреевич

d.krupnov2015@yandex.ru

Шутов Андрей Александрович

denchikisback@gmail.com

Плахов Сергей Александрович

sa.plahov@yandex.ru

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

Статья посвящена изучению принципов работы и эффективности двухпоточного ведущего моста трактора. В работе рассматривается конструкция и принцип действия данного механизма. Результаты научного исследования позволяют сделать вывод о высокой эффективности и надежности двухпоточного ведущего моста, что может быть полезно для дальнейшего усовершенствования и оптимизации данной технологии в сельскохозяйственной технике.

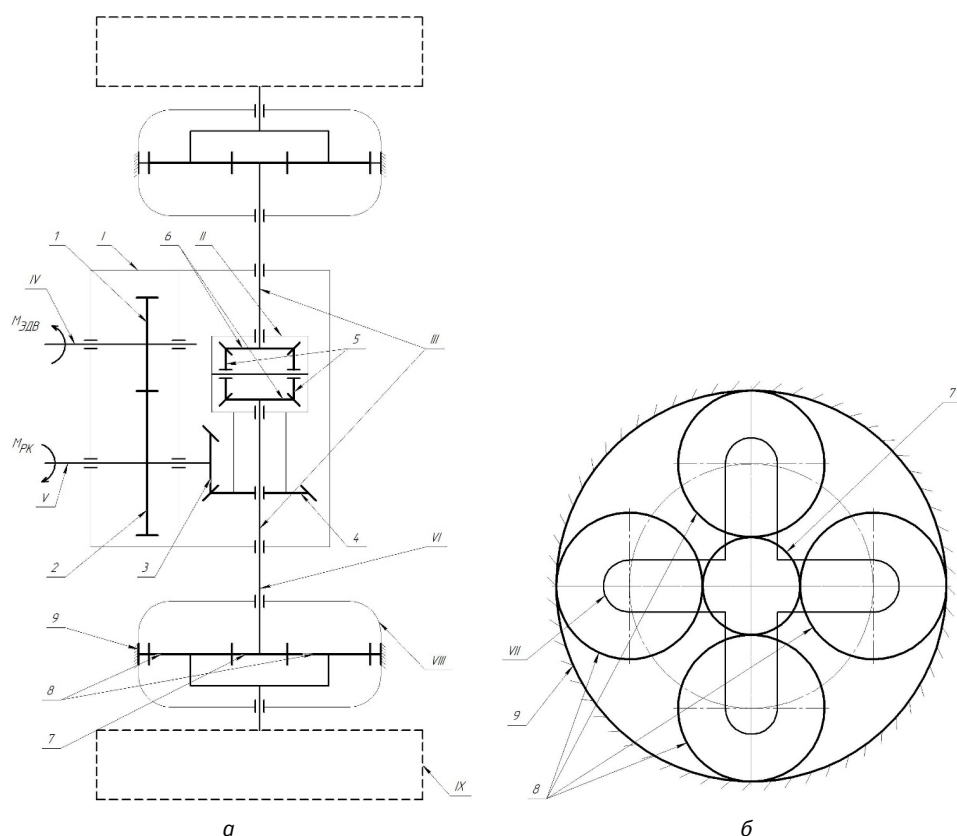
Ключевые слова: трактор с гибридной силовой установкой, двухпоточный ведущий мост, крутящий момент, конструкция, эффективность

Ведущий задний мост является основным элементом трансмиссии трактора, без него движение наземного транспортно-технологического средства (НТТС) невозможно. Ведущий задний мост должен эффективно передавать и увеличивать крутящий момент, что необходимо для обеспечения заданного тягового усилия НТТС, отвечать всем требованиям, предъявляемым к ведущим мостам тракторов. На сегодняшний день существует огромное множество различных тракторов. Все они отличаются друг от друга вариантами компоновок, а также непосредственно конструкциями отдельно взятых агрегатов и механизмов. Каждый производитель НТТС старается улучшить конструкцию существующих тракторов путем модернизации старых агрегатов или создания совершенно новых устройств. Такие улучшения позволяют увеличить эффективность НТТС при совершении им работы, для которой он и был создан.

Ведущий мост трактора представляет собой несущую конструкцию, упруго соединяющую несущий кузов (раму) НТТС с ведущими колесами, в которой расположены механизмы трансмиссии, передающие крутящий момент от карданного вала, а иногда и от коробки передач к ведущим колесам [1]. Основным из главных элементов ведущего моста является главная передача. В настоящее время в тракторах используется несколько видов главных передач: коническая, гипоидная, цилиндрическая [2]. Однако данные главные передачи не предусматривают возможность подключения дополнительного потока мощности. Существует несколько вариантов исполнения двухпоточного ведущего моста, но их конструкция является достаточно сложной, а некоторые из них не позволяют вести одновременную передачу мощности с двух направлений [3]. Однако с целью интенсификации развития тракторостроения, была предложена раз-

работка принципиально нового устройства двухпоточного ведущего моста трактора. Разработанный прототип двухпоточного моста позволяет эффективно передавать мощность с двух направлений, суммируя крутящие моменты, что позволяет достичь максимального крутящего момента на выходе. Данный мост предназначен для тракторов с гибридной силовой установкой, где основная силовая установка — это двигатель внутреннего сгорания, а второстепенная — любая другая. Изобретение относится к машиностроению, в частности, к трансмиссии. Предназначено для эффективной и плавной передачи крутящего момента с двух направлений [4].

Кинематическая схема разработанного двухпоточного ведущего моста представлена на рисунке.



Кинематическая схема двухпоточного ведущего моста:

а — общая кинематическая схема; б — кинематическая схема колесного редуктора; 1 — шестерня цилиндрической передачи; 2 — колесо цилиндрической передачи; 3 — вал-шестерня гипоидной передачи; 4 — колесо гипоидной передачи; 5 — сателлиты дифференциала; 6 — полуосевые шестерни; I — корпус редуктора заднего моста; II — корпус дифференциала; III — полуоси; IV — входной вал (первое направление); V — входной вал (второе направление); VI — входной вал колесного редуктора; VII — водило; VIII — корпус колесного редуктора; IX — колесо

Разработанный задний ведущий мост трактора с гибридной силовой установкой работает следующим образом. Корпус редуктора I устанавливается после коробки передач и раздаточной коробки. Входная вал-шестерня гипоидной передачи 3 крепится в корпусе I на подшипниках. Второй входной вал IV предназначен для его присоединения с помощью муфты со второстепенной силовой установкой. На этих валах располагаются зубчатые колеса 1 и 2, предназначенные для механической связи валов, а также увеличения крутящего момента, создаваемого второстепенной силовой установкой. С вал-шестерней 3 соединено гипоидное колесо 4, к которому крепится корпус дифференциала II. При вращении колеса 4 корпус дифференциала II также вращается и с помощью сателлитов 5 приводит во вращение полуосевые шестерни 6. Полуосевые шестерни 6 соединены шлицевым соединением с полуосями III. Полуоси III соединены с входными валами VI колесного редуктора. Входной вал VI соединен шпоночным соединением с солнечной шестерней 7, которая входит в зацепление с сателлитами 8. Сателлиты 8 крепятся на водило VII. При этом сателлиты входят в зацепление также с эпициклом 9, который крепится жестко к корпусу колесного редуктора VIII. Водило VII передает крутящий момент колесу IX, что является целью создания ведущего моста.

Применение разработанного двухпоточного моста обеспечивает следующие преимущества: простота конструкции; повышение надежности механизма; удешевление механизма по сравнению с аналогами; простота эксплуатации; легкость обслуживания и ремонта.

Литература

- [1] Плахов С.А. *Конструкция наземных транспортно-технологических средств. Курсовой проект: методические указания*. Калуга, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 20 с.
- [2] Шарипов В.М. *Тракторы. Конструкция*. Москва, Машиностроение, 2012, 790 с.
- [3] Плахов С.А., Дмитриева Т. Д. Стабилизация движения энергетических колесных модулей. *Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2021). XIII Международ. науч.-техн. конф.: сб. ст.* Курск, ЮЗГУ, 2021, с. 242–245.
- [4] Тимофеев С.И., Чубаров Ф.Л., Сидоров М.В. Применение автоматизированных программ в учебном процессе при подготовке выпускников аграрных вузов. *Агропромышленные технологии Центральной России*, 2020, № 1 (15), с. 105–109.

Dual-flow drive bridge

Kozlov Vladislav Alexandrovich

vladislav-kozlov-2000@mail.ru

Krupnov Dmitry Andreevich

d.krupnov2015@yandex.ru

Shutov Andrey Alexandrovich

denchikisback@gmail.com

Plakhov Sergey Alexandrovich

sa.plahov@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article is devoted to the study of the principles of operation and efficiency of a two-flow tractor drive axle. The paper considers the design and principle of operation of this mechanism. The results of the scientific research allow us to conclude about the high efficiency and reliability of a two-flow drive bridge, which can be useful for further improvement and optimization of this technology in agricultural machinery.

Keywords: *tractor with hybrid powertrain, dual-flow drive axle, torque, design, efficiency*

УДК 631.356

Беспилотный трактор - дрон: инновация в сельском хозяйстве

Пономарев Алексей Иванович

Фомин Вадим Игоревич

Козлов Владислав Александрович

Никонов Семен Николаевич

Шутов Андрей Александрович

apon2005@yandex.ru

fominvi@student.bmstu.ru

kozlovva@student.bmstu.ru

nikonovsn@student.bmstu.ru

shutovaa@student.bstu.ru

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

Рассмотрен принцип работы дистанционного управления трактором. В современном мире технологии играют огромную роль во всех сферах жизни, включая сельское хозяйство. Одним из инновационных решений является дистанционное управление трактором-дроном с помощью Raspberry Pi. Этот микрокомпьютер обладает множеством преимуществ, таких как низкая стоимость, портативность и возможность подключения различных датчиков и устройств, и их управление.

Ключевые слова: трактор-дрон, дистанционное управление, возможности Raspberry Pi, беспилотный трактор

Беспилотный трактор — это будущее сельского хозяйства. Он может заменить труд человека и снизить затраты на производство. Беспилотные тракторы уже используются в некоторых странах, например в США и Китае. Они могут выполнять различные задачи, такие как обработка почвы, посев, сбор урожая и т. д. Однако пока еще не все задачи могут быть выполнены полностью автоматически, и требуется контроль со стороны человека.

Одной из проблем является контроль и оснащение беспилотных тракторов. Также есть проблемы с безопасностью, так как тракторы работают на полях, где могут быть опасные условия, такие как скользкая почва или неровный рельеф. Кроме того, есть вопросы по поводу стоимости и доступности таких тракторов для малых и средних фермеров [1]. Некоторые компании, такие как John Deere, Case IH, New Holland уже производят беспилотные тракторы, однако их технологии только совершенствуются.

Беспилотный трактор управляется с помощью компьютера, который получает информацию от датчиков и сенсоров, установленных на тракторе. Компьютер анализирует информацию и принимает решение о том, какие действия нужно выполнить.

Тема дистанционного управления трактором-дроном является актуальной по нескольким причинам.

1. Экономия времени и ресурсов: дистанционное управление трактором позволяет оператору выполнять работу, не находясь непосредственно на транспортном средстве, что снижает затраты времени и энергии.

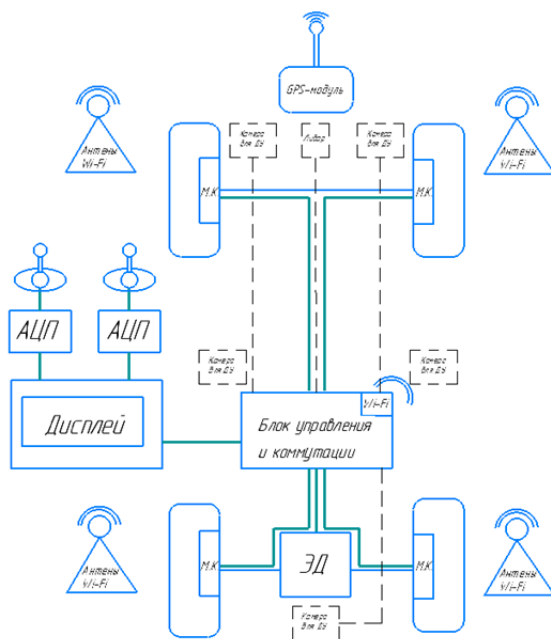
2. Безопасность для оператора: трактор-дрон обеспечивает большую безопасность для оператора, поскольку он может работать на расстоянии, минимизируя риски получения травм.

3. Автоматизация: трактор-дрон может быть оснащен автоматизированными системами управления, которые позволяют выполнять работу без непосредственного участия человека.

4. Инновации и развитие технологий: разработка тракторов-дронов стимулирует технологический прогресс и открывает новые возможности для улучшения сельскохозяйственного оборудования.

5. Повышение интереса к сельскому хозяйству: использование тракторов-дронов может привлечь молодых специалистов к работе в сельском хозяйстве, делая эту отрасль более привлекательной для молодежи [2].

Принцип работы беспилотного трактора основан на использовании модуля Wi-Fi, GPS, лазеров, лидаров и других беспроводных технологий для обработки земли без участия человека. Тракторы запрограммированы на независимое наблюдение за своим положением, определение скорости и объезд препятствий с помощью модуля Wi-Fi и вышек (рисунок).



Принципиальная схема трактора-дрона

Существуют два основных типа беспилотных тракторов: полностью автономные и управляемые автономные. Полностью автономные тракторы управляются лазерами, отражающими сигналы от мобильных передатчиков, и имеют контроллеры для управления несколькими тракторами с одного места. Управляемые автономные тракторы используют технологию «транспортное средство-транспортное средство» (V2V) для связи между тракторами и передачи данных о направлении и скорости [3].

Основной задачей является совмещение этих двух типов беспилотных тракторов. Безопасность будет обеспечиваться с помощью сенсорных технологий и камер с искусственным интеллектом распознающая различные объекты.

Преимущества данной разработки и дальнейшее развитие и обучение системы новому функциональному ряду [4].

1. Контроль скорости и направления движения: Raspberry Pi может использоваться для отправки сигналов на контроллер трактора, который будет управлять скоростью и направлением движения.

2. Автоматическое управление: Raspberry Pi можно использовать для создания системы автоматического управления трактором, которая будет следовать по заранее определенному маршруту или реагировать на внешние сигналы. Например, можно установить датчики, которые будут определять наличие объектов на пути трактора, и Raspberry Pi будет управлять движением в зависимости от полученных данных.

3. Мониторинг состояния трактора: Raspberry Pi также может собирать данные с датчиков трактора, таких как уровень топлива, температура двигателя, давление масла и т. д., и передавать их на удаленный сервер или мобильное устройство для анализа.

4. Интеграция с другими устройствами: Raspberry Pi позволяет интегрировать трактор с другими устройствами и системами, такими как системы спутникового мониторинга, GPS-трекеры, системы контроля доступа.

5. Обучение и исследования: Raspberry Pi может быть использован для проведения исследований и обучения студентов в области робототехники, автоматизации и сельского хозяйства.

Литература

- [1] Филькин Н.М., Шаихов Р.Ф., Буянов И.П. *Теория транспортных и транспортно-технологических машин*. Пермь, Пермская ГСХА, 2016, 230 с.
- [2] Рыжков И.Б. *Основы научных исследований и изобретательства*. Санкт-Петербург, Лань, 2019, 224 с.
- [3] Федоров Д.Ю. *Программирование на языке высокого уровня Python*. Москва, Юрайт, 2024, 227 с.
- [4] Пухова А.А., Мелешко М.Г., Бобровник А.И., Левков В.Г. *Руководство по техническому обслуживанию и ремонту тракторов*. Москва, Машиностроение, 2010, с. 124–126.

Unmanned tractor — drone: innovation in agriculture

Ponomarev Alexey Ivanovich

apon2005@yandex.ru

Fomin Vadim Igorevich

fominvi@student.bmstu.ru

Kozlov Vladislav Alexandrovich

kozlovva@student.bmstu.ru

Nikonov Semyon Nikolaevich

nikonovsn@student.bmstu.ru

Shutov Andrey Alexandrovich

shutovaa@student.bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

In this article, we will look at how remote tractor control works and what components are needed for this. In the modern world, technology plays a huge role in all spheres of life, including agriculture. One of the innovative solutions is remote control of a tractor drone using Raspberry Pi. This microcomputer has many advantages, such as low cost, portability, and the ability to connect and control various sensors and devices.

Keywords: *drone tractor, remote control, Raspberry Pi capabilities, unmanned tractor*

УДК 629.114.5

Датчики скорости колеса: от базовых функций до инновационных решений

Пономарев Алексей Иванович

apon2005@yandex.ru

Фомин Вадим Игоревич

fominvi@student.bmstu.ru

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

Рассмотрены основные функции датчиков скорости, а также представлены инновационные решения, которые улучшают их работу и повышают эффективность, а также обеспечивают высокую точность и надежность измерений даже при низких скоростях вращения колес. Выделены основные датчики, которые используются в современных автомобилях и как они изменились по сравнению со старыми решениями в этой теме. Обсуждаются преимущества и недостатки каждого типа датчиков, и их влияние на работу систем стабилизации, безопасности автомобиля.

Ключевые слова: датчик скорости колеса, функции датчиков, изменение эффекта Холла, инновация датчиков

Датчики скорости колес играют ключевую роль в обеспечении безопасной и эффективной эксплуатации автомобилей и других транспортных средств. Они предоставляют информацию о скорости транспортного средства и передают ее в систему управления, что позволяет водителю контролировать движение и принимать своевременные решения [1].

Основные базовые функции датчиков скорости колес. Датчики скорости колес выполняют три основные функции: измерение скорости, определение направления движения и передача информации в систему управления. Измерение скорости осуществляется с помощью магнитного поля, создаваемого датчиком, и вращающегося элемента, который взаимодействует с этим полем. Направление движения определяется по тому, как магнитное поле взаимодействует с вращающимся элементом. Передача информации осуществляется через проводную или беспроводную связь.

С развитием технологий датчики скорости колес стали более точными и надежными. Использование более точных магнитных полей позволяет измерять скорость с большей точностью. Применение беспроводной связи для передачи данных упрощает установку датчиков и повышает их надежность. Можно выделить следующие инновационные решения [2].

1. Беспроводные датчики: вместо использования традиционного кабеля, соединяющего датчик со спидометром, беспроводные датчики позволяют отправлять данные на спидометр через радиочастоты. Это устраняет необходимость в кабеле и позволяет датчику быть более гибким в своем расположении.

2. Использование акселерометров: вместо традиционных датчиков скорости, которые измеряют скорость вращения колеса, акселерометры могут использоваться для измерения ускорения транспортного средства. Затем дан-

ные об ускорении преобразуются в скорость с помощью математических алгоритмов.

3. Датчики на основе эффекта Холла: эти датчики используют эффект Холла для определения скорости вращения колеса. Эффект Холла заключается в возникновении разности потенциалов в проводнике, помещенном в магнитное поле, при прохождении через него тока.

4. Гибридные датчики: эти датчики сочетают в себе преимущества традиционных датчиков и новых технологий, таких как акселерометры или эффект Холла. Они позволяют получить более точные и надежные данные о скорости колеса.

5. Интеллектуальное управление питанием: большинство современных датчиков скорости колеса используют батарею для питания. Чтобы продлить срок службы батареи, необходимо разработать интеллектуальное управление питанием, которое будет включать датчик только при необходимости и отключать его в остальное время.

Приведем пример каждого из датчика, опишем на чем основан принцип работы, выделим преимущества и недостатки и проведем сравнительный анализ по точности измерения [3].

1. Магниторезистивный датчик скорости колеса (Magnetic-Resistance Speed Sensor) — этот датчик использует магнитное поле для измерения скорости вращения колеса. Преимущества: высокая точность, надежность, устойчивость к внешним воздействиям. Недостатки: чувствительность к помехам, необходимость в дополнительном источнике питания.

2. Оптический датчик скорости колеса (Optical Speed Sensor) использует источник света и фотодиод для определения скорости вращения колеса, отслеживая частоту мигания света. Преимущества: высокая точность, нечувствительность к магнитным полям. Недостатки: сложность конструкции, чувствительность к загрязнению.

3. Индуктивный датчик скорости колеса (Inductive Speed Sensor) работает на основе изменения магнитного поля, создаваемого при вращении колеса, и преобразует эти изменения в электрический сигнал. Преимущества: простота конструкции, надежность. Недостатки: чувствительность к внешним магнитным полям, необходимость в точной настройке.

4. Ультразвуковой датчик скорости колеса (Ultrasonic Speed Sensor) использует ультразвуковые волны для измерения времени, необходимого для звука, чтобы пройти расстояние между излучателем и приемником, установленными на колесе. Преимущества: нечувствительность к магнитным полям, возможность измерения скорости на больших расстояниях. Недостатки: необходимость в точном позиционировании, чувствительность к загрязнениям.

5. Вихретоковый датчик скорости колеса (Eddy Current Speed Sensor) основан на принципе электромагнитной индукции и измерении вихревых токов, возникающих при прохождении объекта (колеса) через магнитное поле. Преимущества: высокая точность, возможность измерения скорости на больших расстояниях. Недостатки: чувствительность к электромагнитным помехам, сложность конструкции.

6. Датчик Холла скорости колеса (Hall Effect Speed Sensor) определяет скорость вращения колеса на основе эффекта Холла, который заключается в возникновении напряжения на гранях полупроводниковой пластины при воздействии магнитного поля. Преимущества: простота конструкции, высокая точность. Недостатки: чувствительность к магнитным помехам, необходимость в источнике питания.

Сравнительный анализ датчиков скорости колеса можно выделить по точности измерения [4]:

- магниторезистивные датчики: высокая точность;
- оптические датчики: высокая точность;
- индуктивные датчики: средняя точность;
- ультразвуковые датчики: высокая точность;
- вихретоковые датчики: высокая точность;
- датчик Холла: средняя точность.

Можно выделить, что каждый из этих датчиков имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного датчика зависит от требований к точности, надежности, устойчивости к внешним воздействиям и других факторов, которые повлияют на их работу и долговечность.

Литература

- [1] Доровских Д.В., Курочкин И.М. *Электронные системы мобильных машин*. Тамбов, Изд-во ТГТУ, 2011, 264 с.
- [2] Набоких В.А. *Эксплуатация и ремонт электрооборудования автомобилей и тракторов*. Москва, Академия, 2004, 240 с.
- [3] Поливаев О.И., Костиков О.М., Ведринский О.С. *Электронные системы управления автотракторных двигателей*. Санкт-Петербург, Лань, 2017, 200 с.
- [4] Сафиуллин Р.Н., Резниченко В.В., Керимов М.А. *Электротехника и электрооборудование транспортных средств*. Санкт-Петербург, Лань, 2019, 400 с.

Wheel speed sensors: from basic functions to innovative solutions

Ponomarev Alexey Ivanovich

apon2005@yandex.ru

Fomin Vadim Igorevich

fominvi@student.bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

In this paper, the main functions of speed sensors are considered, as well as innovative solutions that improve their operation and increase efficiency, as well as ensure high accuracy and reliability of measurements even at low wheel speeds. The main sensors that are used in modern cars are highlighted and how they have changed compared to the old solutions in this topic. The advantages and disadvantages of each type of sensors are discussed, and their impact on the operation of stabilization systems and vehicle safety.

Keywords: wheel speed sensor, sensor functions, Hall effect measurement, sensor innovation

УДК 631.372

Описание конструкции трактора с шарнирно-сочлененной рамой для обработки виноградников

Бобров Федор Александрович	fedor.bobrov.03@mail.ru
Ковалев Артем Алексеевич	dobroeprivedhie-67@yandex.ru
Плахов Сергей Александрович	sa.plahov@bmstu.ru
Пономарев Алексей Иванович	apon2005@bmstu.ru

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

Рассмотрена конструкция проектируемого трактора колесной формулы 4к4б тягового класса 0,9 с шарнирно-сочлененной рамой для возделывания виноградников в рамках импортозамещения. Рассмотрены основные элементы и принцип их действия. Сделаны выводы о необходимости создания специализированной сельскохозяйственной техники для успешного развития такой отрасли как виноградарство. Представлены преимущества данной техники над существующими отечественными аналогами.

Ключевые слова: трактор с шарнирно-сочлененной рамой, импортозамещение, трактор для обработки виноградников.

В условиях интенсивного развития сельскохозяйственной отрасли и постоянного поиска путей повышения ее эффективности особое внимание уделяется автоматизации и механизации производственных процессов. Виноградарство, будучи одной из наиболее трудоемких и в то же время прибыльных отраслей агропромышленного комплекса, требует применения специализированной техники, способной обеспечивать высокое качество обработки посадок с минимальными затратами труда и времени.

Одним из новейших направлений в разработке сельскохозяйственной техники является создание колесных тракторов с приводом на все колеса и шарнирно-сочлененной рамой, которые обладают высокой маневренностью и способны эффективно работать в условиях виноградников (рис. 1).

Такие машины способны не только значительно снизить физические затраты работников, но и повысить точность выполнения агротехнических операций, что, в свою очередь, положительно сказывается на урожайности и качестве винограда.

Трактор с приводом на все колеса и шарнирно-сочлененной рамой представляет собой инновационное решение в области сельскохозяйственной техники, призванное повысить эффективность и безопасность работ в сложных условиях. Ключевым элементом его конструкции является шарнирно-сочлененная рама, которая позволяет передней и задней частям трактора двигаться независимо друг от друга, обеспечивая способность преодолевать неровности местности без потери контакта колес с опорной поверхностью. Прототипом с такой конструкцией рамы являются К-700 и Т-150К [1]. Также подобный способ поворота трактора позволяет сделать трактор более по-

движным и маневренным в условиях ограниченного пространства. Рама представляет собой две полурамы, соединенных между собой шарниром, через который проходит карданный вал, передающий крутящий момент на заднюю ось. За счет такой конструкции передняя рама во время поворота может образовывать угол до 40° в зависимости от конструкции соединения карданной передачи. Поворот одной полурамы относительно другой осуществляется двумя гидроцилиндрами двухстороннего действия. Во время поворота рулевого колеса через гидрораспределитель подается гидравлическое масло под давлением в полость цилиндра, в следствие чего на поршень оказывается давление со стороны поступившей в него жидкости. Шток цилиндра выдвигается. В то же время другой цилиндр выдавливает масло из рабочей камеры тем самым сокращаясь. Шарнир обеспечивает поворот трактора (рис. 2).

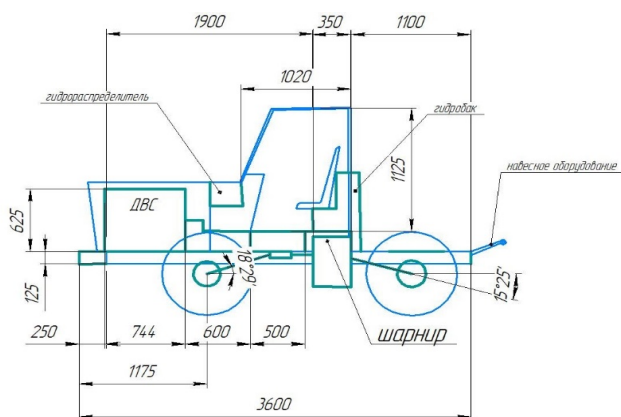


Рис. 1. Проектируемый трактор для виноградников

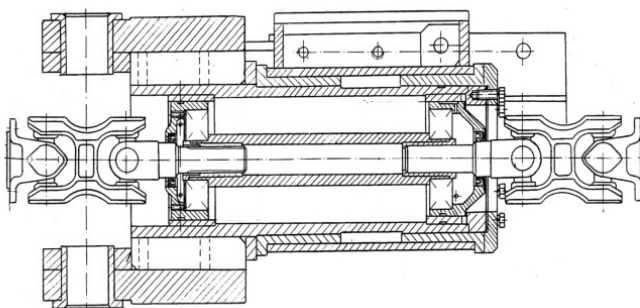


Рис. 2. Шарнир разрабатываемого трактора

В случае необходимости при небольшом усовершенствовании конструкции шарнира возможно добиться перемещения полурам относительно друг друга в продольной плоскости.

Привод на все колеса значительно улучшает проходимость трактора и его тяговые характеристики для навесного оборудования, используемого при обработке тракторов. Колесная формула 4к4б позволяет равномерно распределять тяговое усилие равномерно, что снижает риск застревания в мягком грунте и повышает общую эффективность работы [2]. Система полного привода может быть реализована с помощью передачи крутящего момента на передний и задний мосты посредством использования раздаточной коробки. Такой способ используется повсеместно и зарекомендовал себя как надежный и простой в реализации.

В условиях виноградников, где часто встречаются сложные ландшафты с уклонами и неровностями, использование трактора с приводом на все колеса и шарнирно-сочлененной рамой становится не просто удобством, но и необходимостью. Эта техника позволяет осуществлять обработку рядов винограда с максимальной аккуратностью и эффективностью, минимизируя риск повреждения растений и почвы. Благодаря высокой маневренности, трактор способен обрабатывать виноградники с узкими междурядьями, где традиционные машины не могут эффективно работать. Также значительным преимуществом является возможность использования широкого спектра навесного оборудования, что делает трактор универсальной машиной, способной выполнять различные виды работ: от обработки почвы до опрыскивания растений и сбора урожая.

Принцип работы и конструктивные особенности данного трактора обеспечивают высокую маневренность и проходимость, что крайне важно для эффективной обработки виноградников, особенно в условиях сложного рельефа и узких междурядий. Применение таких машин позволяет не только существенно повысить производительность труда и снизить физическую нагрузку на работников, но и способствует более аккуратной и щадящей обработке почвы и растений, что, безусловно, влияет на качество и количество урожая винограда [3].

В заключение отметим, что развитие и внедрение инновационных сельскохозяйственных машин, таких как тракторы с приводом на все колеса и шарнирно-сочлененной рамой, является ключевым фактором устойчивого развития виноградарства.

Литература

- [1] *Официальный сайт Петербургского тракторного завода*. URL: <https://kirovets-ptz.com/#company> (дата обращения 08.04.2024).
- [2] Шарипов В.М., Апельинский Д.В., Арустамов Л.Х., Безруков Б.Б. *Тракторы. Конструкция*. Москва, Машиностроение, 2012, 790 с.
- [3] Кутьков Г.М. *Трактор второго поколения*. Москва, МГАУ, 2013, 104 с.

Description of the tractor design with a articulated frame for processing vineyards

Bobrov Fedor Alexandrovich

fedor.bobrov.03@mail.ru

Kovalev Artem Alekseevich

dobroeprivedhie-67@yandex.ru

Plahov Sergei Alexandrovich

sa.plahov@bmstu.ru

Ponomarev Aleksei Ivanovich

apon@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article examines the design of the designed tractor of 4k4b wheel formula, traction class 0.9, with an articulated frame for cultivating vineyards as part of import substitution. The main content of the study is an analysis of the design of a tractor with an articulated frame. The main elements and the principle of their operation are considered. Conclusions are drawn about the need to create specialized agricultural equipment for the successful development of such an industry as viticulture. The advantages of this technology over existing domestic analogues are announced.

Keywords: tractor with articulated frame, import substitution, tractor for processing vineyards

УДК 631.356

Обоснование параметров установки распылителей в камере протравителя посадочного картофеля

Лебедев Андрей Юрьевич

andrej926@gmail.com

Алакин Виктор Михайлович

alakin.vm@bmstu.ru

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

Рассмотрены варианты компоновки камеры протравливания защитно-стимулирующими веществами семенного картофеля. Представлен графический анализ процесса обработки, включающий рассмотрение нескольких вариантов расположения распыляющих форсунок, обеспечивающих протравливание пласта картофеля. В результате анализа сделаны выводы, что для данной конструкции наиболее благоприятный результат обеспечивает вариант распыляющего узла, укомплектованный одной форсункой, направленной под углом 30° к горизонту сонаправленно потоку картофельной массы.

Ключевые слова: картофель, протравливание, опрыскивание, обработка, клубни, защитно-стимулирующие вещества

Отечественный и зарубежный опыт подтверждает, что использование технологий для защиты растений способствует увеличению урожайности на 50–70 %. Повышение эффективности этих технологий и сокращение расходов на дорогостоящие препараты позволяют не только увеличить объем производимых культур, но и значительно сократить затраты и загрязнение окружающей среды [1].

Успешность выращивания картофеля в значительной мере зависит от качества производства семенного материала. Для повышения урожайности и стойкости к болезням необходимо обрабатывать семенной материал защитными и стимулирующими веществами (ЗСВ). Основным методом внесения ЗСВ — опрыскивание, развитие которого опирается на достижения фундаментальных наук, включая механику и физику образования и осаждения жидкостных полидисперсных систем [2].

Протравливание семенного материала может привести к увеличению урожайности картофеля на 20–30 %, снижению заболеваний и потерь при хранении на 10–20 %. В связи с этим ведутся работы по разработке комплексов и передвижных установок для обработки картофеля и овощей ЗСВ, способных работать вместе с уже существующим техническим оборудованием [2]. На рис. 1 представлена камера протравливания, разработанная на базе кафедры МК6 КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Камера состоит из корпуса общей камеры 1, опрыскивающего узла, включающего в себя короб 2, смонтированную в него подающую магистраль, состоящую из полиэтиленовых трубок 8 и форсунки 4, прикрепленные к коробу поворотным и роликами 3. Также камера оснащена роторно-пальцевым транспортером 5, перемещающим поток клубней 6 в зону опрыскивания.

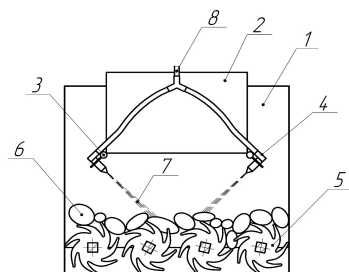


Рис. 1. Схема протравливающей камеры, расположения форсунок и направлений факелов к поверхности клубней:

1 — корпус; 2 — короб опрыскивающего узла; 3 — поворотный ролик; 4 — форсунка; 5 — роторно-пальцевый транспортер; 6 — поток клубней; 7 — факел распыла; 8 — подающая магистраль

Форсунки осуществляют подачу ЗСВ в виде конусной полосы с углом распыла 60° и под регулируемым углом наклона факела относительно клубней в пределах от 30° до 70° [3]. Также этот короб оснащен специальным механизмом подъема и опускания, который обеспечивает изменение высоты его положения и соответственно форсунок относительно перемещаемых клубней.

Установка работает следующим образом. Роторно-пальцевый транспортер 5 подает клубни в зону опрыскивания, где полосовыми форсунками 4 создается аэрозольная среда, проходя через которую картофель проходит предпосадочную обработку от паразитов и болезней.

Для обеспечения качественной обработки картофеля ЗСВ, необходимо обеспечить покрытие не менее 90 % поверхности клубня защитным раствором. При этом нельзя допустить избыточного покрытия, т. к. это спровоцирует гниение клубней [4]. Следовательно, необходимо обеспечить необходимое и достаточное попадание жидкости на семенной материал.

Добиться этого предлагается обоснованием параметров опрыскивающего узла (угол наклона форсунки, высота узла над пластом картофеля, расход ЗСВ). Необходимо выявить аналитическую зависимость полноты покрытия зоны обработки веществом от заявленных выше параметров. После выявления ее, необходимо провести соответствующие экспериментальные изыскания.

Также необходимо выявить наиболее эффективную компоновку узла опрыскивания. Некоторые из предлагаемых решений представлены на рис. 2.

В первом случае (рис. 2, а) предлагаются две направленные друг на друга форсунки под углом 60° к горизонту без перекрытия потоков. В этом случае обработка клубней будет с двух сторон, но с большим расходом ЗСВ относительно нормы при работе сразу двух форсунок.

Во втором случае (рис. 2, б) форсунки направлены друг к другу под углом 30° к горизонту. Обеспечивается полное покрытие, но из-за пересечения и столкновения потоков, в местах соударения капель, они соединяются и образуют значительное каплеобразование и избыточно влажную среду. Кроме того, происходит попадание жидкости на стенки камеры, что приводит к неэффективному использованию ЗСВ, а соответственно — его перерасходу.

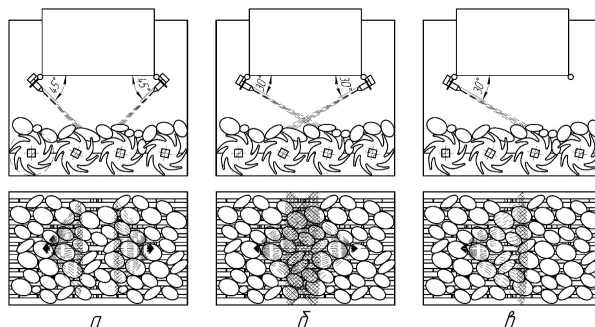


Рис. 2. Варианты компоновки опрыскивающего узла

В третьем случае (рис. 2, в) проведен анализ работы одной форсунки. Для этого провели графическое моделирование проекции факела на поверхность клубней по габаритам транспортирующихся клубней в основной камере. Моделирование проекции факела на поверхность клубней провели в графическом пакете КОМПАС, предварительно задав параметры угла раствора конуса факела для используемой конструкции форсунки 60° , и приняли переменные параметры моделирования — высоту установки форсунки в пределах от 0,1 до 0,3 м и угол наклона факела от 30° до 70° . Результаты моделирования показали, что при установке параметров высоты форсунки в пределах от 0,15 до 0,2 м и при угле наклона факела от 35° до 40° получили полную проекцию факела в пределах имеющихся размеров площади перемещения клубней с величиной покрытия площади поверхности перемещения слоя клубней в 90 % с обеспечением четырехкратного поворачивания клубней при переходе вдоль камеры по четырем ротационным валам. В результате моделирования получили наиболее эффективный вариант компоновки и параметров установки форсунки.

Полученные данные графического моделирования процесса обработки позволяют провести дальнейшие экспериментальные изыскания по поиску наиболее рациональных параметров протравливающей камеры для полной обработки семенного картофеля защитно-стимулирующими веществами согласно агротребований.

Литература

- [1] Ревякин Е.Л., Краховецкий Н.Н. *Машины для химической защиты растений в инновационных технологиях*. Москва, Росинформагротех, 2010, 124 с.
- [2] Колчин Н.Н. *Комплекс машин и оборудования для послеуборочной обработки картофеля*. Москва, Машиностроение, 1982.
- [3] Пажи Д.Г., Галустов В.С. *Распылители жидкостей*. Москва, Химия, 1979, 216 с.
- [4] Логинов Г.А., Мартынов А.В. Оптимизация плотности массового распределения суспензии при обработке клубней картофеля. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*, 2017, № 91, с. 132–138.

Sprayer's installation parameter substantiation in the potato dressing chamber

Lebedev Andrei Yurievich

andrejj926@gmail.com

Alakin Viktor Mikhailovich

alakin.vm@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Options for the layout of a chamber for treating seed potatoes with protective and stimulating substances are considered. A graphical analysis of the processing process is presented, including consideration of several options for the location of spray nozzles that provide etching of the potato layer. As a result of the analysis, it was concluded that for this design, the most favorable result is provided by a variant of the spray unit, equipped with one nozzle directed at an angle of 30° to the horizon, co-directed with the flow of the potato mass.

Keywords: potatoes, dressing, spraying, processing, tubers, protective and stimulating substance

УДК 631.372

Тормозная система трактора для обработки виноградников

Бажутин Михаил Игоревич

bajutin.misha@yandex.ru

Мясников Андрей Андреевич

andrey11030202@yandex.ru

Козлов Владислав Александрович

vladislav-kozlov-2000@mail.ru

Шутов Андрей Александрович

denchikisback@gmail.com

Плахов Сергей Александрович

sa.plahov@yandex.ru

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

Статья посвящена разработке улучшенной тормозной системы с отдельным гидравлическим приводом на два колеса задней оси. Показано, что разработка тормозной системы трактора является одной из важных составляющих управления и безопасности трактора. В исследовании приведен анализ схем, а также принцип работы разрабатываемой тормозной системы трактора. Цель работы — улучшение тормозного управления трактора для обработки виноградников, которое повысит производительность и качество выполняемых работ.

Ключевые слова: конструкция трактора, барабанная тормозная система, гидравлический привод, гидрораспределитель

Разработка тормозной системы — актуальная задача в проектировании трактора для обработки виноградников. Система используется в тракторах для снижения их скорости и остановки. Есть два основных типа тормозного управления: стояночный, который используется для удержания трактора на месте на склоне, и рабочий, который замедляет трактор и полностью его останавливает. Механизм состоит из тормозной системы и ее привода. Поэтому тормозная система — одна из важнейших составляющих в управлении трактора, выбору и разработке которой следует уделить особое внимание.

Рабочая тормозная система — барабанная с гидравлическим приводом тормозов. Гидравлический тормозной привод является гидростатическим, т. е. таким, в котором передача энергии осуществляется давлением жидкости [1]. Принцип действия гидростатического привода основан на свойстве несжимаемости жидкости, находящейся в покое, передавать создаваемое в любой точке давление во все другие точки при замкнутом объеме. Стояночная тормозная система — с тросиковым механическим приводом на колодки внутри барабанной системы.

Для повышения устойчивости траектории движения и улучшения управляемости колесных энергоустановок и технологической техники предлагается использование принудительного торможения одного из двух задних колес, принимающих на себя большую часть нагрузки. Предлагаемая дополнительная тормозная система позволяет осуществлять раздельное торможение правого или левого ведущего колеса в соответствии с различными схемами движения и маневрирования, тем самым способствуя обеспечению стабильной

траектории всего агрегата. Схема тормозной системы разрабатываемого трактора представлена на рис. 1.

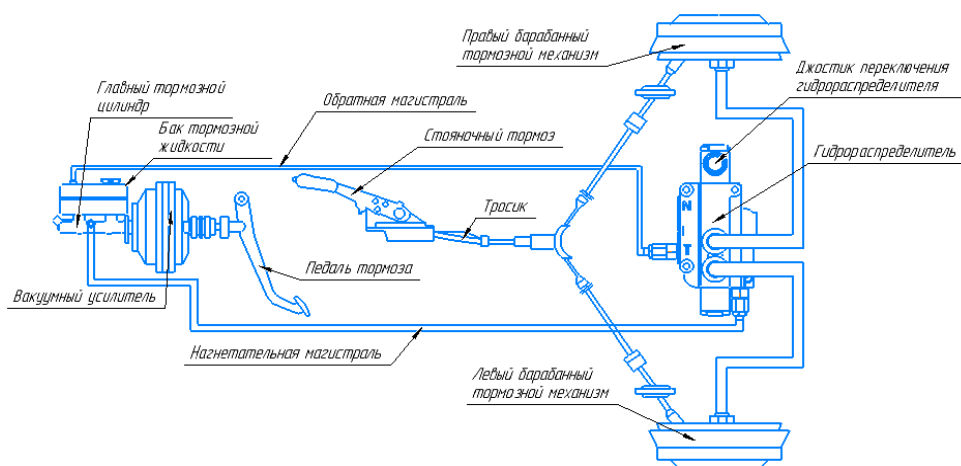


Рис. 1. Схема тормозного управления

Тормозное управление включает в себя главный тормозной цилиндр, педаль которого соединена с поршнем, тормозные цилиндры задних колес, трубопроводы и шланги, соединяющие цилиндры, педаль управления и усилитель приводного усилия [2]. Внутренние полости главного тормозного цилиндра и тормозных цилиндров заполнены тормозной жидкостью, как и трубопроводы с магистралями к гидрораспределителю. При нажатии на педаль поршень главного тормозного цилиндра вытесняет жидкость в трубопровод к гидрораспределителю, а затем к колесным цилиндрам. Вакуумный усилитель создает дополнительное усилие от педали тормоза за счет разрежения. В колесных цилиндрах тормозная жидкость заставляет переместиться все поршни, вследствие чего колодки тормозных механизмов прижимаются к барабанам.

Чем большая сила приложена к педали, тем выше давление, создаваемое поршнем главного тормозного цилиндра на жидкость и тем большая сила воздействует через каждый поршень колесного цилиндра на колодку тормозного механизма. Таким образом, одновременное срабатывание всех узлов и постоянное соотношение между силой на тормозной педали и приводными силами обеспечиваются самим принципом работы гидропривода. У современных приводов давление жидкости при экстренном торможении может достигать 10–15 МПа [3].

Когда педаль тормоза отпущена, она возвращается в исходное положение под действием возвратной пружины. Поршень главного тормозного цилиндра также возвращается в исходное положение с помощью своей пружины, а стяжные пружины тормозных механизмов отводят тормозные колодки от барабанов или дисков. Тормозная жидкость в колесных цилиндрах вытес-

няется по трубопроводам через гидрораспределитель обратно в главный тормозной цилиндр.

Стояночная тормозная система работает за счет вытягивания центрального троса, это усилие передается через уравниватель на задние тросы. Затем задние тросы воздействуют на тормозные механизмы, прижимая колодки к барабану. Поскольку тросы постоянно натянуты из-за наличия храпового механизма, колеса блокируются и автомобиль остается в неподвижном состоянии. При отпускании рычага стояночного тормоза, трос ослабляется, колодки отходят от барабана и колеса не блокируются.

Главным отличием тормозной системы разрабатываемого трактора является наличие гидрораспределителя для возможности подтормаживания каждого из колес задней оси по отдельности.

Гидрораспределитель имеет 4 выхода: выход А — магистраль к левому заднему тормозному цилиндру; выход В — магистраль к правому заднему тормозному цилиндру; выход Р — нагнетательная магистраль от главного тормозного цилиндра; выход Т — сливная магистраль.

Для направления потока жидкости в гидрораспределителе используется специальный рычаг. Золотник или золотниковый клапан играет роль запорно-двигательного элемента.

При смещении клапана в какую-либо сторону он направляет поток рабочей жидкости в соответствующую полость цилиндра и вынуждает стержень перемещаться вдоль полости. Принцип работы гидрораспределителя показан на рис. 2, 3.

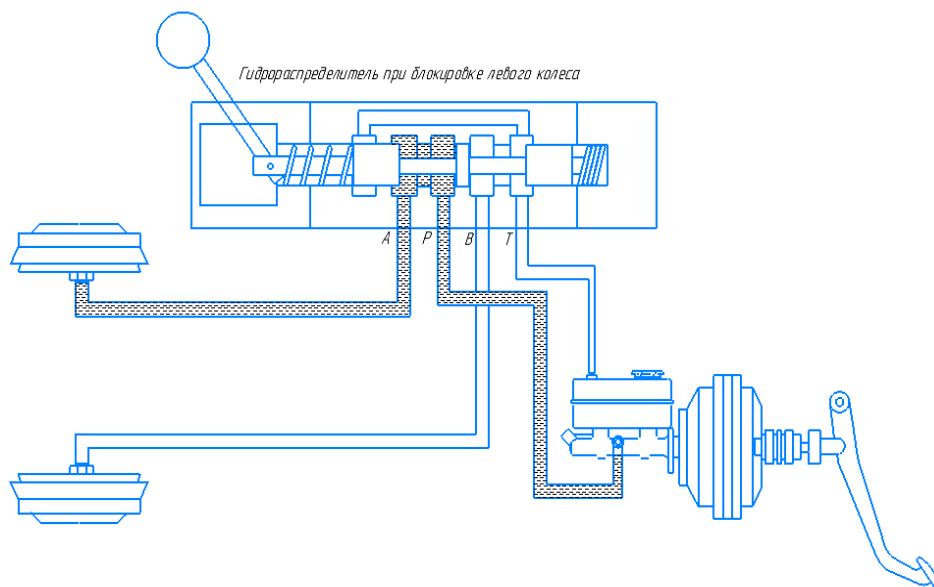


Рис. 2. Схема работы гидрораспределителя при блокировке левого колеса

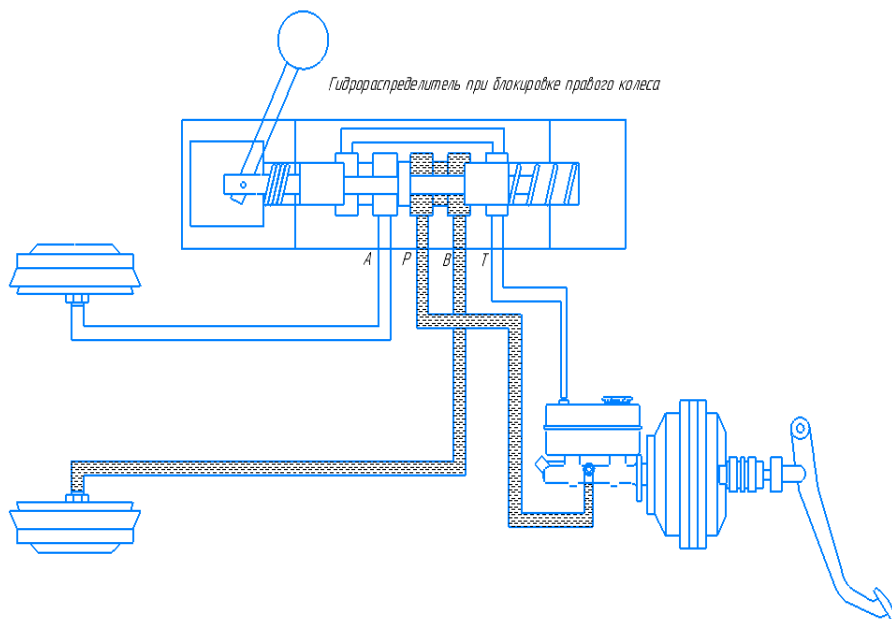


Рис. 3. Схема работы гидрораспределителя при блокировке правого колеса

В неподвижном состоянии золотник открывает все рабочие каналы. Тормозная жидкость подается в выход P, при нажатии на педаль нагнетается из гидрораспределителя к каждому из тормозных цилиндров по магистралям от выходов A и B, и оба колеса тормозят одновременно.

При смещении рычага и клапана влево (см. рис. 2) рабочая жидкость при нажатии на педаль будет подаваться в левую часть цилиндра и отклонять поршень направо. Выход B перекрывается, и тормозная жидкость подается только к левому тормозному цилиндру, тормозя заднее левое колесо.

При переключении рычага в правое положение, клапан передвигается вправо и при нажатии на педаль тормоза жидкость будет подаваться в правую часть цилиндра и отклонять поршень налево. Выход A перекрывается, и тормозная жидкость подается только к правому тормозному цилиндру, тормозя заднее правое колесо.

Выход T предназначен для того, чтобы вытесненная жидкость, пройдя фильтроочистку через сливную (обратную) магистраль, поступала в бак тормозной жидкости.

Таким образом, для качественной работы колесного энерго модуля в процессе соединения технологических машин рекомендуется применять вспомогательную тормозную систему, которая обеспечивает замедление одного из ведущих колес. Эта система позволит добиться высокой точности движения с минимальными отклонениями колесной машины, что, в свою очередь, увеличит производительность и точность производимых операций [4]. Внедрение такой системы может быть полезно не только на тракторах для обра-

ботки виноградников, но и на множестве других колесных энергомодулей, например в дорожно-строительных работах, уборке снега и других операций, требующих повышенной точности управления.

Литература

- [1] Шарипов В.М. *Конструирование и расчет тракторов*. Москва, Инновационное машиностроение, 2022, 752 с.
- [2] Уханов А.П., Уханов Д.А. *Конструкция автомобилей и тракторов*. Санкт-Петербург, Лань, 2024, 200 с.
- [3] Лозовецкий В. В. *Гидро- и пневмосистемы транспортно-технологических машин*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 560 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, ЮЗГУ, 2021, с. 242–245.

Tractor braking system for vineyard processing

Bazhutin Mikhail

lgorevich.bajutin.misha@yandex.ru

Myasnikov Andrey Andreevich

andrey11030202@yandex.ru

Kozlov Vladislav Alexandrovich

vladislav-kozlov-2000@mail.ru

Shutov Andrey Alexandrovich

denchikisback@gmail.com

Plakhov Sergey Alexandrovich

sa.plahov@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The article is devoted to the development of an improved braking system with a separate hydraulic drive on two wheels of the rear axle. It is shown that the development of a tractor braking system is one of the important components of tractor control and safety. The study provides an analysis of the circuits, as well as the principle of operation of the tractor brake system being developed. The purpose of the article is to improve the braking control of a tractor for processing vineyards, which will increase productivity and quality of work performed.

Keywords: tractor design, drum brake system, hydraulic drive, hydraulic distributor

Секция 8. Защита информации

УДК 004.3

Опτικο - электронный канал утечки информации

Геворгян Элен Артаковна

gevorgyaneaa1@student.bmstu.ru

Потапов Алексей Вячеславович

potapov@bmstu.ru

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

Рассмотрен лазерный канал утечки информации и технологии, применяемые к нему, которые могут нанести вред любой организации, работающей с секретными данными. Опасность грозит информации, представленной в речевом или аудиоформате. Предложены активные и пассивные методы защиты информации, их подвиды и способы предотвращения утечки. Цель работы — доложить об опасности утечки информации через лазерный канал и рассказать о способах защиты. Сделан вывод о возможных угрозах, потерях при неосторожности с распространением информации.

Ключевые слова: информация, канал, утечка, лазерный, оптико-электронный, речевая, микрофон, прослушивание, дистанционный, метод.

Общество не придает достаточного значения опасности утечки речевой информации, поэтому не получает должного внимания защита акустической информации, что может навредить проекту или компании. Цель работы — рассмотреть оптико-электронный канал утечки информации. Задачи: изучить явление утечки информации, приборы, считывающие акустическую информацию, их принцип работы, исследовать пассивные и активные методы защиты речевой информации.

Оптико-электронный (лазерный) канал утечки акустической информации образуется при облучении лазерным лучом вибрирующих под действием речевого сигнала отражающих поверхностей помещений (оконных стекол, зеркал и т. д.). Отраженное лазерное излучение модулируется по амплитуде и фазе и принимается приемником оптического излучения, при демодуляции которого выделяется речевая информация. Для организации такого канала предпочтительным является использование зеркального отражения лазерного луча. Однако при небольших расстояниях до отражающих поверхностей (порядка нескольких десятков метров) может быть использовано диффузное отражение лазерного излучения [1, 2]. Перехват информации по оптико-электронному каналу утечки осуществляется с помощью «лазерных микрофонов», входящих в специальные лазерные акустические локационные системы, которые могут осуществлять перехват в ближнем инфракрасном диапазоне волн [3].

Пассивные методы защиты: расположить рабочие места таким образом, чтобы исключить прохождение акустических сигналов к окнам; в помещении установить окна с матовым покрытием или тройные стеклопакеты, следовательно вибрации будут искажены и и прочтении информации затруднится. Активный метод защиты от утечки: применить виброизлучатели, создающие

активные помехи; использовать акустическую маскировку. Ее работа заключается в создании вибрационных шумов в элементах строительных конструкций и в инженерных коммуникациях. В состав типовой системы виброакустической маскировки входят: генератор шума, комплект виброизлучателей, комплект акустических излучателей (звуковых колонок). К основным характеристикам генераторов шума, влияющих на эффективность защиты речевой информации, относятся: вид и диапазон частот генерируемых помех, их амплитудно-частотная характеристика и коэффициент качества шума, количество линейных выходов, максимальное количество и типы виброизлучателей, подключаемых к ним, регулировки мощности и огибающей спектра помехи в каждом канале. Вероятность утечки и качество речевой информации зависит и от внешних факторов: состояния атмосферы, уровня внешнего шума, влажности, природных помех. Помимо исключительно физических способов генерации шума существуют еще два типа создания помех: адаптивный шум и адаптивный речеподобный шум. Суть генерации адаптивного шума заключается в анализе полезного звукового сигнала в помещении посредством встроенного микрофона. После чего генератор автоматически устанавливает уровень шума на тех или иных частотах. Адаптивный речеподобный шум создается прямо из защищаемого разговора путем многократного наложения его фрагментов друг на друга с разными уровнями интенсивности сигнала. Первые же звуки, произнесенные участниками конфиденциальных переговоров, улавливаются генератором и отправляются в блок преобразования. Там они подвергаются обработке, в процессе которой происходит умножение и деление их частотных составляющих. Получившаяся в результате этого процесса помеха озвучивается колонками. Шум смешивается со смысловым сигналом, отражается от стен, потолка и предметов интерьера и через какой-то промежуток времени снова улавливается микрофоном. Таким образом, получается непрерывный процесс генерации очень эффективного речеподобного шума. [4, 5].

Обратить особое внимание на лазерный канал утечки информации стоит организациям, работающим с информацией в аудиоформате. Следует организовать пространство с максимальной безопасностью для информации, исключить помещения и мебель, куда с легкостью можно поместить микрофон.

Литература

- [1] Хорев А.А. Технические каналы утечки акустической речевой (информации). Классификация и характеристика. *Специальная техника*, 1998, № 1.
- [2] *Опτικο-электронный технический канал утечки информации*. URL: https://studref.com/485005/informatika/optiko_elektronnyy_tehnicheskiy_kanal_utechki_informatsii (дата обращения 25.03.2024).
- [3] Владислав Г. *Лазерные микрофоны*. URL: https://laserportal.ru/content_935 (дата обращения 27.03.2024).
- [4] Агурьянов И. *Лазерные микрофоны*. URL: <https://www.securitylab.ru/blog/personal/aguryanov/30026.php> (дата обращения 28.03.2024).

- [5] Агурьянов И. Методы активной защиты акустической (речевой) информации. URL: https://aguryanov.blogspot.com/2012/10/blog-post_4.html (дата обращения 28.03.2024).

Optoelectronic information leakage channel

Gevorgyan Helen Artakovna

gevorgyaneaa1@student.bmstu.ru

Potapov Alexey Vyacheslavovich

potapov@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The work examines the laser channel of information leakage and the technologies applied to it, which can harm any organization working with classified data. Information presented in speech or audio format is at risk. Active and passive methods of information protection, their subtypes and methods for preventing leakage are proposed. The purpose of the work is to report on the danger of information leakage through a laser channel and talk about methods of protection. A conclusion is drawn about possible threats and losses due to carelessness with the dissemination of information.

Keywords: *information, channel, leak, laser, optical-electronic, speech, microphone, listening, remote, method*

УДК 004.623

Исследование шифрования UDP для многопользовательских игр

Коммер Кристиан Айгарович

kris.kommer@gmail.com

Потапов Андрей Евгеньевич

potapovae@bmstu.ru

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

Рассмотрены способы и целесообразность шифрования данных при передаче с помощью UDP протокола. Рассмотрен прототип сервера и клиента с передачей данных и шифрованием с помощью XOR. Были сделаны выводы, что безопасность в видеоиграх — это важный параметр, который зависит от требований к видеоигре, от аудитории, от игрового процесса и т. д., поэтому архитектура связей и передачи данных выбирается еще на начальных стадиях разработки, таких как постановка цели, создание концепта, прототипирование и проектирование.

Ключевые слова: защита информации, шифрование данных, перенаправление данных, многопользовательские видеоигры

Все приложения, взаимодействующие с сетью, используют различные протоколы для передачи данных через интернет. В играх можно встретить 4 наиболее популярных решения: 1) TCP и сокеты — данный тип сетевого взаимодействия характерен для игр, не нуждающихся в быстрой связи с сервером, но имеющих с ним надежное соединение, к этому типу можно отнести условно однопользовательские игры с сохранением прогресса на внешних серверах; 2) TCP и сокеты с помощью SSL — такой тип обеспечивает надежное подключение и предотвращает перехват, его используют в играх, где важна безопасность подключения, однако шифрование и издержки SSL добавляют время отправки и приема сообщений; 3) HTTP клиент — надежное подключение обеспечивает доступ к веб-сайту для записи и чтения информации, чаще всего используется в играх Microsoft Store; 4) UDP и сокеты — данный тип соединения обеспечивает передачу с самыми низкими затратами, относительно других типов, однако в этом случае имеет место потеря пакетов, отсутствие шифрования и т. д., поэтому его используют для шутеров, голосового чата, и видеоконференций.

Цель исследования — разобрать способы и целесообразность шифрования данных при передаче через быстрый протокол UDP.

В некоторых случаях необходимо обеспечить безопасность соединения, поэтому, используя протокол UDP, нужно прибегать к различным способам шифрования и безопасной передаче пакетов. Многие крупные иностранные компании, такие как Valve, используют ретрансляцию трафика с переносом его на свою сетевую магистраль, тем самым обеспечивая надежную передачу, исключая перехват и DoS-атаки [1]. Однако такой способ может многим не подойти за счет своей дороговизны. Можно использовать VPN для туннелирования трафика, но у такого способа также есть свои недостатки в виде

большой задержки и нестабильности сети. Один из наиболее простых и надежных способов — это шифрование данных при помощи различных методов шифрования, таких как XOR.

XOR шифрование, или гаммирование — это метод симметричного шифрования, который заключается в наложении последовательности случайных чисел на исходный текст, такая последовательность случайных чисел называется гамма-последовательностью, или просто ключом. Благодаря этому ключу и будет проходить шифровка и дешифровка данных [2].

Для проверки работоспособности метода была разработана система, которая состояла из сервера и клиента. Алгоритм работы следующий: сервер по заранее защищенному каналу (электронная почта, google authenticator или другое) отправляет код-ключ, данный ключ-код необходимо ввести клиенту, после чего клиент делает XOR данных и отправляет серверу, сервер дешифрует, обрабатывает, шифрует и отправляет обратно, цикл повторяется. Через каждую минуту сервер в автоматическом порядке отправляет клиенту новую гамма-последовательность в зашифрованном виде и далее клиент и сервер работают по ней. В целом метод показал себя отлично в плане быстродействия, что нельзя сказать об его низкой устойчивости ко взлому.

В 1998 г. был принят стандарт шифрования AES (Advanced Encryption Standard) — это симметричный алгоритм блочного шифрования, хоть он и медленнее XOR, зато он обеспечивает должную защиту от взлома [3]. Так как AES поддерживают большинство платформ разработки, то нет необходимости прописывать алгоритм заново, достаточно подключить нужный модуль к стороне клиента и сервера.

Многие разработчики преимущественно используют HTTPS для безопасного соединения [4]. В данном случае UDP трафик игры будет направляться через прокси-сервер, который будет устанавливать защищенное соединение HTTPS с сервером игры и передавать зашифрованные данные между клиентом и сервером. Однако нельзя не отметить, что наличие прокси-сервера в схеме повлечет за собой еще большее увеличение задержки.

В данном вопросе необходимо понять уровень защиты, в котором нуждается система и уже от этого параметра выбирать между скоростью, надежностью и защитой. Так, например, для простого шутера с друзьями может и вовсе не понадобится шифрование или подойдет быстрый XOR, а для серьезных соревновательных шутеров необходимо применять перенаправление трафика на внутренние магистрали.

Литература

- [1] *Документация Steamworks*. URL: <https://partner.steamgames.com/doc/api/ISteamNetworkingSockets> (дата обращения 02.04.2024).
- [2] *XOR cipher*. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/xor-cipher/> (дата обращения 04.04.2024).
- [3] *Advanced Encryption Standard (AES)*. URL: <https://www.techtarget.com/searchsecurity/definition/Advanced-Encryption-Standard> (дата обращения 05.04.2024).
- [4] Rustich I. *Bulletproof SSL and TLS: Understanding and Deploying SSL/TLS and PKI to Secure Servers and Web Applications*. Lightning Source Inc. Publishing, 2014, 560 p.

Research on UDP encryption for multiplayer games

Kommer Kristian Aigarovich

kris.kommer@gmail.com

Potapov Andrey Evgenievich

potapovae@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Methods and feasibility of data encryption during transmission using the UDP protocol are considered. A prototype server and client with data transmission and encryption using XOR are discussed. It is concluded that security in video games is an important parameter that depends on the requirements of the game, the audience, the gameplay, and so on, therefore the architecture of connections and data transmission is chosen at the early stages of development, such as goal setting, concept creation, prototyping, and design.

Keywords: *information security, data encryption, data redirection, multiplayer video games*

УДК 004.7

Исследование проблем перехода с протокола Transport Layer Security версии 1.2 на версию 1.3

Романов Вадим Николаевич

roma.vadick@yandex.ru

Молчанов Алексей Николаевич

molchanov@bmstu.ru

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

В настоящее время для защиты передаваемых данных в сети используются 2 версии криптографического протокола Transport Layer Security (TLS): 1.2 и 1.3. Цель доклада — проанализировать преимущества и недостатки обеих версий протокола, а именно используемые протоколы шифрования, протоколы аутентификации и обмена ключами, скорость и эффективность обеих версий протоколов, их уязвимости и функции, а также поддержку старых протоколов и компромисс между безопасностью и совместимостью; выявить проблемы перехода с протокола версии 1.2 на 1.3, их потенциальные причины и возможные последствия и предложить пути решения этих проблем; сделать выводы о проведенном исследовании.

Ключевые слова: протокол Transport Layer Security, криптография, безопасность в сети, конфиденциальность, алгоритмы шифрования

Протокол Transport Layer Security (TLS) играет решающую роль в обеспечении безопасности передачи данных в сети Интернет, обеспечивая защищенный канал между клиентом и сервером для организации конфиденциальности и целостности данных, а также для аутентификации сторон. По мере развития технологий и появления новых угроз безопасности, стандарты TLS постоянно совершенствуются. В настоящее время используется две версии протокола: TLS 1.2 и 1.3 [1].

TLS 1.2 был выпущен в августе 2008 г. и поддерживает протоколы шифрования AES, 3DES, RC4 и Camellia. Однако он имеет уязвимости к атакам, таким как POODLE, BEAST и CRIME. Эта версия допускает поддержку устаревших и уязвимых протоколов, чтобы обеспечить совместимость с различными клиентами [2].

TLS 1.3 был выпущен в августе 2018 г. и предлагает более надежные протоколы шифрования, такие как AES-GCM и ChaCha20-Poly1305. Уязвимости версии 1.2 были исправлены, и поддержка устаревших протоколов, таких как SSLv3, была прекращена. Эта версия акцентирует внимание на безопасности даже за счет совместимости и включает новые функции, такие как 0-RTT и поддержка HTTP/2 [2]. Полная сравнительная оценка приведена в таблице.

Таким образом, более надежным и практичным является протокол TLS версии 1.3. Переход с TLS 1.2 на 1.3 требует внимательного рассмотрения, так как это не просто обновление протокола, но и переход к новым криптографическим методам и алгоритмам.

Сравнение версий протокола TLS

Характеристика	Версия протокола	
	TLS 1.2	TLS 1.3
Релиз	Август 2008 г.	Август 2018 г.
Протоколы шифрования	AES, 3DES, RC4, Camelia	AES-GCM, ChaCha20-Poly1305 (более надежные)
Протоколы аутентификации	RSA, DSA, ECDSA	RSA, ECDSA, PSK (возможность совместного использования)
Протоколы обмена ключами	RSA, DHE, ECDHE, PSK	ECDHE, PSK, (не поддерживаются RSA и DHE)
Скорость и эффективность	Относительно ниже	Улучшена
Уязвимости	Уязвимости к атакам, включая POODLE, BEAST, CRIME	Исправлены уязвимости версии 1.2
Поддержка старых протоколов	Допускает поддержку устаревших и уязвимых протоколов	Прекращена поддержка устаревших протоколов, таких как SSLv3
Новые функции и возможности	—	Введены новые механизмы защиты, такие как 0-RTT и поддержка HTTP/2
Компромисс между безопасностью и совместимостью	Большой акцент на совместимость для обеспечения поддержки различных устаревших клиентов	Большой акцент на безопасность, даже за счет совместимости

Основными проблемами перехода являются следующие.

1. Совместимость с устаревшими клиентами и серверами:

– проблема: некоторые старые клиенты и серверы могут не поддерживать TLS 1.3, что может привести к проблемам с совместимостью и недоступности сервисов для пользователей;

– потенциальные причины: устаревшие версии операционных систем, библиотеки SSL/TLS и настраиваемые приложения могут не иметь поддержки для TLS 1.3;

– возможные последствия: необходимость обслуживания устаревших систем для обеспечения совместимости может увеличить сложность инфраструктуры и ресурсозатраты [2].

2. Интеграция с существующими системами и приложениями:

– проблема: некоторые системы и приложения могут иметь зависимости от функциональности, которая может быть нарушена при переходе на TLS 1.3;

– потенциальные причины: приложения, использующие устаревшие API или криптографические библиотеки, могут быть не совместимы с новым протоколом;

– возможные последствия: необходимость переписывания или модификации существующего кода для поддержки TLS 1.3 может быть трудоемкой и времязатратной [1].

3. Обучение и подготовка персонала:

– проблема: переход на новый протокол требует обучения персонала и ознакомления с новыми функциями и возможностями;

– потенциальные причины: сотрудники могут быть не знакомы с новыми механизмами защиты или процессами, связанными с TLS 1.3;

– возможные последствия: необходимость обучения персонала может замедлить процесс внедрения нового протокола и увеличить временные затраты.

4. Тестирование и отладка:

Проблема: переход на новый протокол требует обширного тестирования и отладки, чтобы обеспечить его стабильность и безопасность.

Потенциальные причины: внедрение нового протокола может привести к появлению новых ошибок или уязвимостей.

Возможные последствия: недостаточное тестирование и отладка могут привести к проблемам с безопасностью или непредвиденным сбоям системы [3].

Для устранения вышеперечисленных проблем могут быть приняты следующие решения.

Совместимость с устаревшими клиентами и серверами:

– обновление или замена устаревших систем и приложений, чтобы они поддерживали TLS 1.3;

– использование прокси-серверов или шлюзов для обеспечения совместимости с устаревшими клиентами.

Интеграция с существующими системами и приложениями:

– переписывание или модификация кода существующих систем и приложений для поддержки TLS 1.3;

– использование адаптеров или промежуточного слоя для обеспечения совместимости [4].

Обучение и подготовка персонала:

– проведение обучающих семинаров и тренингов для персонала по использованию и поддержке TLS 1.3;

– создание документации и руководств по внедрению и использованию нового протокола [2].

Тестирование и отладка:

– проведение обширного тестирования перед внедрением TLS 1.3 в продакшн среду;

– постепенное внедрение нового протокола с мониторингом и отладкой на каждом этапе [4].

Переход на TLS 1.3 открывает новые возможности для повышения безопасности и эффективности сетевых коммуникаций, что способствует развитию более надежных и защищенных цифровых экосистем. Однако этот процесс может столкнуться с рядом вызовов и проблем, включая совместимость с устаревшими системами, интеграцию с существующими приложениями,

обучение персонала и обширное тестирование. Путем анализа и оценки рисков организация сможет разработать наиболее эффективные стратегии перехода на TLS 1.3, минимизируя негативное воздействие на бизнес-процессы и обеспечивая максимальный уровень безопасности.

Литература

- [1] Дэвис Д. *Реализация SSL/TLS с использованием криптографии и PKI*. URL: <https://skillexperto.com/index/implementing-ssl-tls-using-cryptography-and-pki/> (дата обращения 14.03.2024).
- [2] Опплигер Р. *SSL и TLS: Теория и практика*. URL: <https://swrdfish.github.io/assets/ssl/SSLandTLSTheoryandPractice.pdf> (дата обращения 14.03.2024).
- [3] Ристич И. *Надежный SSL и TLS*. URL: https://vk.com/doc-67988210_463291776?hash=IFPUhu1Z8hCMnQHZY22cqDFQWKkMqt1oT1xYV2dpeqL&dl=swDODIx4XuWGC8usNwS (дата обращения 14.03.2024).
- [4] Экрес Х., Бака П., Шаттен Д. *SSL/TLS под замком и ключом. Руководство по пониманию криптографии SSL/TLS*. URL: https://books.google.ru/books/about/SSL_TLS_Under_Lock_and_Key.html?hl=ru&id=344OEAAQBAJ&redir_esc=y (дата обращения 14.03.2024).

Investigation of the problems of the transition from the Transport Layer Security protocol version 1.2 to version 1.3

Romanov Vadim Nikolaevich

roma.vadick@yandex.ru

Molchanov Alexey Nikolaevich

molchanov@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Currently, 2 versions of the Transport Layer Security (TLS) cryptographic protocol are used to protect transmitted data on the network: 1.2 and 1.3. The purpose of the report is to analyze the advantages and disadvantages of both versions of the protocol, namely: encryption protocols used, authentication and key exchange protocols, speed and efficiency of both versions of protocols, their vulnerabilities and functions, as well as support for old protocols and a compromise between security and compatibility; identify problems with the transition from protocol version 1.2 to 1.3, their potential causes and possible consequences and suggest ways to solve these problems; draw conclusions about the study.

Keywords: *Transport Layer Security protocol, cryptography, security in the network, confidentiality, encryption algorithms*

УДК 004.056.5

Анализ современных методов шифрования трафика

Иову Дмитрий Андреевич

iovu_dmtr@yahoo.com

Гагарин Юрий Евгеньевич

gagarin_ye@bmstu.ru

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

Рассмотрены современные методы шифрования трафика, включая IPsec, SSH, VPN, SSL/TLS, E2EE и HTTPS. Представлено их применение в обеспечении безопасности передачи данных в сетевых коммуникациях. Показано, как каждый из этих методов функционирует, и какие преимущества и уязвимости они имеют. Сделаны выводы, что комбинация этих методов обеспечивает надежную защиту информации в различных сценариях использования, включая корпоративные сети, удаленный доступ и обмен данными через интернет.

Ключевые слова: шифрование трафика, безопасность сетевых коммуникаций, IPsec, SSH, VPN, SSL/TLS, HTTPS, End-to-End Encryption (E2EE)

В современном мире, где информация является ключом к успеху, а конфиденциальность важной ценностью, шифрование трафика играет все более важную роль. Интернет таит в себе множество угроз: перехват данных, подмена трафика, прослушивание, анализ контента — все это может привести к утечке информации, краже личных данных, финансовым потерям и другим серьезным последствиям.

Шифрование трафика — это эффективный способ защиты информации от несанкционированного доступа. С помощью различных методов шифрования можно сделать данные нечитаемыми для злоумышленников, даже если они перехватят их.

Одним из наиболее популярных и эффективных методов шифрования трафика является VPN (Virtual Private Network) — виртуальная частная сеть, которая создает защищенный туннель между устройством пользователя и удаленным сервером VPN, через который проходит весь интернет-трафик. При этом данные шифруются перед отправкой и дешифруются при получении, что обеспечивает защиту от прослушивания и перехвата злоумышленниками.

Основное преимущество VPN заключается в том, что даже если кто-то перехватит трафик, он увидит только зашифрованные данные, которые без ключа шифрования невозможно прочитать. Это обеспечивает защиту конфиденциальной информации, так как шифрование делает ее недоступной для несанкционированного доступа [1].

Кроме того, VPN помогает обеспечить анонимность пользователя в сети Интернет, скрывая его реальный IP-адрес и заменяя его IP-адресом сервера VPN. Это уменьшает возможность отслеживания активности пользователя и защищает его личную информацию от сторонних лиц и организаций.

В то время как VPN обеспечивает защищенное соединение для всего интернет-трафика пользователя, независимо от конкретного веб-сайта или онлайн-сервиса, HTTPS применяется для защиты передачи данных между конкретным пользователем и конкретным веб-сайтом.

HTTPS (Hypertext Transfer Protocol Secure) — это расширение стандартного протокола HTTP, используемого для передачи данных между веб-браузером пользователя и веб-сайтом. Основное отличие HTTPS от HTTP заключается в том, что данные передаются по зашифрованному каналу, что делает их недоступными для прослушивания и перехвата злоумышленниками. Это достигается с помощью криптографических протоколов, таких как SSL (Secure Sockets Layer) или его последующая версия — TLS (Transport Layer Security) [2].

При подключении пользователя к веб-сайту по протоколу HTTPS происходит обмен сертификатами: сервер предоставляет свой цифровой сертификат, подтверждающий его подлинность, браузер проверяет сертификат и, если он действителен, устанавливает защищенное соединение с использованием шифрования.

SSL (Secure Sockets Layer) и TLS (Transport Layer Security) — это два криптографических протокола, использующихся в HTTPS. Они используют симметричное и асимметричное шифрование для шифрования данных, а также цифровые сертификаты для аутентификации сервера. Однако SSL имеет уязвимости, и его использование было постепенно заменено более безопасным TLS — он не подвержен атакам типа «человек посередине» и подделкам сертификатов [3].

В контексте обеспечения безопасности передачи данных в компьютерных сетях, одной из важных технологий является IPsec (Internet Protocol Security) — это набор протоколов и алгоритмов шифрования, используемых для обеспечения безопасности и конфиденциальности данных, передаваемых через Интернет. Он работает на уровне сетевого стека TCP/IP и предоставляет защиту на уровне IP, что позволяет зашифровывать и аутентифицировать пакеты данных, пересылаемые между узлами сети.

IPsec выполняет несколько ключевых функций безопасности. Во-первых, он обеспечивает шифрование данных, используя различные алгоритмы шифрования, такие как AES и 3DES, чтобы защитить содержимое передаваемых пакетов данных от несанкционированного доступа. Во-вторых, IPsec предоставляет возможность аутентификации участников сети, обеспечивая уверенность в том, что данные отправляются и принимаются только от подлинных и доверенных источников. Это достигается с помощью методов аутентификации, таких как предварительное соглашение о ключах (Pre-Shared Key) или обмен сертификатами. Третье, IPsec обеспечивает защиту целостности данных, что гарантирует, что полученные данные не были изменены в процессе передачи, используя методы хеширования, такие как HMAC (Hash-based Message Authentication Code). Наконец, IPsec предотвращает повторное использование ранее перехваченных пакетов данных путем включения меток

и последовательных номеров в заголовки IPsec, обеспечивая уникальность идентификации каждого пакета.

Вместе с IPsec, SSH (Secure Shell) является одним из ключевых инструментов обеспечения безопасности в сетевых коммуникациях. Там, где IPsec обеспечивает защиту и конфиденциальность данных, передаваемых по интернету на уровне IP, SSH обеспечивает безопасное удаленное управление компьютерами и передачу данных между ними через незащищенные сети [4].

IPsec и SSH используют криптографические протоколы и методы шифрования для защиты данных, но их применение различается. В то время как IPsec широко используется для защиты сетевого трафика и соединений VPN в корпоративных сетях, SSH чаще применяется для обеспечения безопасного удаленного доступа к серверам и управления удаленными компьютерами. [5]

После анализа IPsec и SSH как ключевых элементов сетевой безопасности, следует рассмотреть еще один важный аспект — применение протоколов End-to-End Encryption (E2EE). E2EE играет существенную роль в обеспечении конфиденциальности данных в современных коммуникационных средах, где угрозы цифрового нарушения приватности становятся все более серьезными.

В отличие от IPsec и SSH, которые ориентированы на обеспечение защиты данных на уровне сети и удаленного доступа соответственно, E2EE предоставляет дополнительный слой безопасности, гарантируя, что информация остается зашифрованной на протяжении всего пути передачи.

Основная идея E2EE заключается в использовании сильных алгоритмов шифрования для защиты данных на конечных устройствах. Это означает, что даже платформы или сервисы, через которые проходит сообщение, не имеют доступа к его содержимому в открытом виде. Для этого каждый участник общения генерирует свой уникальный набор ключей шифрования, обеспечивая конфиденциальность информации между отправителем и получателем.

Обеспечение безопасности информации в современном цифровом мире становится все более важным. Были рассмотрены несколько ключевых методов и протоколов, которые играют важную роль в обеспечении безопасности сетевых коммуникаций. От IPsec и SSH до VPN, SSL/TLS, HTTPS и E2EE — каждый из этих инструментов имеет свои уникальные возможности и применение. Совместное использование этих методов создает мощный арсенал инструментов для защиты данных на различных уровнях и в различных сценариях использования. В совокупности они обеспечивают надежную защиту информации и конфиденциальность данных в локальных и глобальных сетях.

Литература

- [1] Gupta R., Jain A. A Comprehensive Study of VPN Technologies and Applications. *International Journal of Computer Applications*, 2018, vol. 178 (40), pp. 32–36.
- [2] Singh S.K., Park H. Understanding the role of HTTPS in website security. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2016, vol. 7 (4), pp. 373–378.

- [3] Dierks T., Rescorla E. *The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.2*. IETF RFC 5246, 2008.
- [4] Barrett D., Silverman R. *SSH, the Secure Shell: The Definitive Guide*. O'Reilly Media, Inc., 2005.
- [5] Thayer R., Doraswamy N., Glenn R. *IP Security (IPsec) Architecture*. IETF RFC 4301, 2005.

Analysis of modern traffic encryption methods

Iovu Dmitry Andreevich

iovu_dmtr@yahoo.com

Gagarin Yuri Evgenievich

gagarin_ye@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The described study examines modern methods of traffic encryption, including IPsec, SSL, VPN, SSL/TLS, e2ee and HTTPS.. Their application in ensuring the security of data transmission in network communications is presented. It shows how each of these methods functions, and what advantages and vulnerabilities they have. It is concluded that the combination of these methods provides reliable information protection in various use cases, including corporate networks, remote access and data exchange over the Internet.

Keywords: *traffic encryption, network communications security, IPsec, SSH, VPN, SSL/TLS, HTTPS, End-to-End Encryption (E2EE)*

УДК 004.056

Безопасность в цифровом мире: разоблачение и защита от фишинговых атак

Троицкая Ирина Игоревна

troitskayaii@student.bmstu.ru

Потапов Алексей Вячеславович

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

Рассмотрены фишинг атаки в современной цифровой среде. Фишинг — это один из наиболее распространенных методов кибератак, при котором злоумышленники используют социальную инженерию для обмана пользователей и получения их конфиденциальных данных. Представлены типичные методы данной кибератаки, такие как почтовый фишинг, СМС-фишинг и социальный фишинг, а также предоставляет советы по опознаванию и защите от таких атак. Помимо этого, рассмотрены последствия фишинга, подчеркивая важность осведомленности в целях повышения кибербезопасности.

Ключевые слова: фишинг, кибератаки, информационная безопасность, мошенничество

Разнообразие и сложность методов, применяемых в кибератаках, лишь подчеркивает их значимость и угрозу, которую они представляют. Сегодня киберпреступники могут воспользоваться множеством инструментов и техник для атаки на цифровые системы и сети. От вредоносных программ и социальной инженерии до фишинга и распределенных денег (DDoS). Их цели могут варьироваться от незаконного доступа к конфиденциальным данным и информации до нанесения финансовых убытков, причинения ущерба репутации или даже шантажа.

Фишинг — это вид мошенничества (часто с использованием электронных писем, текстовых сообщений или телефонных звонков), в ходе которого злоумышленник обманом вынуждает жертву раскрыть учетные данные, банковские реквизиты или другую персональную информацию, а затем использует их в преступных целях [1].

Фишинг отличается от других видов хакерских атак тем, что мошенники активно манипулируют базовыми человеческими эмоциями, такими как любопытство и страх, а также используют информацию, которую смогли собрать из открытых источников о человеке. Фишинг зачастую основан на социальной инженерии и может быть осуществлен даже неопытными злоумышленниками.

К видам фишинга относится [2]:

– почтовый фишинг — атаки, основанные на использовании электронных писем, приходящих от злоумышленников, которые выдают себя за надежные организации;

– СМС-фишинг — создание фальшивых веб-сайтов, похожих на официальные сайты, для захвата личной информации пользователя.

– социальный фишинг — фишинг, основанный на сборе информации о жертвах из социальных сетей и создания доверия для получения конфиденциальных данных.

Фишинг-атаки представляют серьезную угрозу для безопасности пользователей, основываясь на методах обмана и манипуляции.

Методы проведения фишинг-атак [3]:

– социальная инженерия: злоумышленники не используют специальные технические средства. Мошенник никого не взламывает, не подсаживает вирус и не перехватывает трафик. Все данные человек выдает сам под действием обмана, угроз и манипуляций;

– эксплуатация слабых мест в безопасности: злоумышленники могут использовать уязвимости в веб-браузерах или программном обеспечении, чтобы перенаправить пользователей на вредоносные сайты без их ведома;

– компрометация учетной записи: злоумышленники могут отправить ложное уведомление о блокировке учетной записи, что заставляет пользователя ввести учетные данные на поддельном веб-сайте.

Последствия фишинг атак [3]:

– потеря данных и финансовые потери: кража личных данных и финансовых средств может привести к серьезным финансовым потерям;

– угроза конфиденциальности: разглашение личной информации может нанести ущерб репутации и привести к негативным последствиям.

– рост угрозы кибербезопасности: успешные фишинг-атаки могут подтолкнуть других злоумышленников к более агрессивным действиям, увеличивая общую угрозу для интернет-пользователей.

Фишинговые атаки продолжают оставаться серьезной угрозой для пользователей в виртуальном мире. Для защиты себя от таких атак необходимо быть бдительным, обученным и использовать средства кибербезопасности. Способы обезопасить себя [4]:

– не переходите по подозрительным ссылкам;

– используйте менеджер паролей: данная программа запоминает и защищает пароли, они хранятся в зашифрованном виде;

– установите надежный антивирус;

– проверяйте адресную строку: если между названием бренда и доменом верхнего уровня есть какие-то символы, кроме точки, то высокая вероятность того, что перед вами мошенники.

Литература

- [1] Я — жертва фишинговой атаки! Что мне теперь делать? URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/handling-phishing-attacks> (дата обращения 10.04.2024).
- [2] Фишинговые письма: как их распознать и не стать их жертвой. URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/preemptive-safety/phishing-prevention-tips> (дата обращения 10.04.2024).

- [3] Что такое фишинг и как его распознать. URL: <https://journal.tinkoff.ru/phishing/#three> (дата обращения 10.04.2024).
- [4] Фишинг. URL: <https://www.unisender.com/ru/glossary/chto-takoe-fishing-i-kak-ot-nego-zashchititsya/#anchor-1> (дата обращения 10.04.2024).

Security in the digital world: exposing and protecting against phishing attacks

Troitskaya Irina Igorevna

troitskayaii@student.bmstu.ru

Potapov Alexey Vyacheslavovich

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This article discusses phishing attacks in the modern digital environment. Phishing is one of the most common methods of cyber attacks, in which attackers use social engineering to deceive users and obtain their confidential data. The article discusses typical methods of this cyberattack, such as email phishing, SMS phishing and social phishing, and also provides tips on identifying and protecting against such attacks. In addition, the consequences of phishing are considered, emphasizing the importance of awareness in order to increase cybersecurity.

Keywords: phishing, cyber attacks, information security, fraud

УДК 004.855.5

Как информационная безопасность влияет на развитие искусственного интеллекта

Алдошкина Мария Леонидовна

aldoshkinaml@student.bmstu.ru

Потапов Алексей Вячеславович

2furius@gmail.com

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

Рассмотрена взаимосвязь между искусственным интеллектом и информационной безопасностью, а также как технологии ИИ используются для повышения уровня защиты информации. Изучено развитие капчи и способы ее обучения. Описаны этапы разработки капчи и ее изменения, связанные с внедрением новых технологий искусственного интеллекта. Исследованы возможности обхода капчи с использованием искусственного интеллекта, приведены в пример то, как нейросети могут обходить системы проверки пользовательской активности в интернете. Проанализировано применение технологий искусственного интеллекта для распознавания лиц и объектов, возможное использование нейросетей для прослушивания, сканирования и распознавания различных объектов, вплоть до человеческих лиц.

Ключевые слова: нейросеть, искусственный интеллект, капча, ChatGPT, инфракрасные лучи

Благодаря современным алгоритмам обучения искусственного интеллекта нейросети считаются безопасной технологией. Они также необходимы и в информационной безопасности. Однако следует понимать, что нейросеть нужно сначала обучить, и на это требуется немаленькое количество времени.

При переходе на сайт магазина или при аутентификации пользователя просят ввести капчу. Captcha (Completely Automated Public Turning test to tell Computers and Humans Apart) — полный автоматизированный тест Тьюринга, который используется, чтобы отличить человека от компьютера [1]. Ее используют и для других целей: чтобы отсеивать ботов, останавливать рассылку спама или атаки на интернет-ресурсы [2].

В 2005 г. был проведен эксперимент. При входе на сайт появлялась капча, где человеку требовалось ввести два слова. Если при проверке пользователь верно набирал одно слово, то другое автоматически считалось верным. Если большинство людей введут непонятное для капчи слово одинаково, то искусственный интеллект его запомнит. Таким образом, люди за четыре дня помогли ИИ оцифровать годовой архив газеты New York Times. В последнее время в капче не попадают вырезки из газет и книг, потому что человек научил искусственный интеллект «читать».

В настоящее время вместо текста изображены картинки пешеходных переходов, светофоров, гидрантов, автобусов, маффинов. Этому также есть объяснение. Искусственный интеллект берет это изображения с карт, отмечая

их на карте. Так обучают беспилотные автомобили. Теперь благодаря человеку нейросеть может отличать картинки лучше него [3].

При регистрации или входе на сайт человек теперь видит плашку «Я не робот», которой на самом деле не требуется поставить «галочку», а капча отслеживает траекторию движений человека. Робот, в свою очередь, ведет курсор мыши на прямую. Также такая капча проверяет кеш, cookies, историю браузера, чтобы убедиться, что пользователь не бот [4].

Но может ли ИИ решить капчу? Нет, так как разработчики напрямую запретили ему это делать, ибо это противоречит главной задачи капчи. Однако существует ChatGPT, который люди не могут полностью контролировать, поэтому есть пути обхода условий разработчиков. Если немного видоизменить капчу (обрезать или наложить на фотографию) и попросить ChatGPT расшифровать, предварительно указав, что головоломка, например, создана другом, то нейросеть решит ее [5].

Таким образом, ИИ «видит» текст с газет и журналов, светофоры, пешеходные переходы как рисунок из палочек и черточек. На выходе получаются городские маршруты, готовый текст и карты в реальном времени. Однако на сегодняшний день искусственный интеллект распознает даже человеческие лица. Ранее с помощью специального макияжа можно было обмануть нейросеть, но со временем поменялась внутренняя система распознавания. Сейчас существуют такие технологии, цвет для которых не имеет никакого значения, так как используются инфракрасные лучи. Благодаря им квадрокоптеры могут сканировать целые города в 3D-формате, именно поэтому города становятся «умными», а также чистыми и прозрачными, что лишает человека возможности остаться незамеченным [6].

Литература

- [1] *Как это работает: CAPTCHA*. URL: <https://habr.com/ru/articles/175461/> (дата обращения 10.04.2024).
- [2] *Капча*. URL: <https://www.sape.ru/glossary/captcha/> (дата обращения 10.04.2024).
- [3] *Докажи, что ты человек: как появилась и развивалась капча, и что ждет ее в будущем*. URL: <https://habr.com/ru/companies/onlinepatent/articles/791534/> (дата обращения 10.04.2024).
- [4] *Капча*. URL: <https://www.unisender.com/ru/glossary/chto-takoe-kapcha/> (дата обращения 10.04.2024).
- [5] *Пользователь Bing обошел запрет для ИИ на распознавание графической пазл-капчи*. URL: <https://habr.com/ru/news/769778/> (дата обращения 10.04.2024).
- [6] *ИК-подсветка*. URL: <https://videoglaz.ru/blog/ik-podsvetka> (дата обращения 10.04.2024).

How information security affects the development of artificial intelligence

Aldoshkina Maria Leonidovna

aldoshkinaml@student.bmstu.ru

Potapov Alexey Vyacheslavovich

2furius@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The relationship between artificial intelligence and information security is considered, as well as how AI technologies are used to increase the level of information security. The development of captcha and methods of teaching it have been studied. The stages of captcha development and its changes associated with the introduction of new artificial intelligence technologies are described. The possibilities of bypassing captcha using artificial intelligence are explored, and an example is given of how neural networks can bypass systems for checking user activity on the Internet. The use of artificial intelligence technologies for recognizing faces and objects, the possible use of neural networks for listening, scanning and recognizing various objects, including human faces, are analysed.

Keywords: neural network, artificial intelligence, captcha, ChatGPT, infrared rays

УДК 004.056.55

Использование квантовой физики в информационной безопасности

Акулова Анастасия Петровна
Потапов Алексей Вячеславович

akylova2609@mail.ru
2furius@gmail.com

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

Проанализированы потенциальные угрозы для безопасности данных, вызванные развитием квантовых компьютеров. Исследованы методы защиты данных на основе квантовой криптографии. Описаны ограничения классических алгоритмов шифрования, подверженных атакам квантовых вычислений, и предложено альтернативное решение в виде квантового протокола BB84. Приведенное описание протокола BB84 включает шаги генерации квантовых состояний, измерения, обмена ключами и проверки безопасности. Отмечено, что квантовая криптография основана на принципах квантовой механики, которые делают невозможным перехват данных без обнаружения

Ключевые слова: криптография, квантовое шифрование, ключ, базис

Прогнозируют, что через 5–10 лет возможно появление квантовых компьютеров, чья мощность будет в несколько раз больше классических. Несомненно, это станет прорывом в науке, но квантовые компьютеры в руках мошенников вполне могут нести серьезную угрозу для безопасности наших данных.

Благодаря огромным мощностям квантовых компьютеров ключи будет возможно подобрать гораздо быстрее, и нынешние алгоритмы защиты информации уже станут неэффективными. И так как появится «квантовая» угроза для наших данных, нужна и «квантовая» защита, и идеи, как защитить информацию, используя квантовую физику, уже появились.

Классическая ассиметричная криптография использует односторонние функции, которые просто вычислить, но обратить достаточно трудоемко. Рассмотрим распространенный алгоритм RSA, он основан на трудности факторизации (разложении на множители) больших чисел. К примеру, перемножить два больших числа не вызовет проблем, а вот найти из полученного произведения исходные множители достаточно сложно и времязатратно. Перейдем к самому алгоритму.

1. Выбор простых чисел. Выберите два больших простых числа p и q .
2. Вычисление произведения. Вычислите произведение этих чисел: $n = p \cdot q$. Это будет модуль для шифрования и расшифрования.
3. Вычисление функции Эйлера. Вычислите функцию Эйлера $\phi(n) = (p - 1)(q - 1)$.
4. Выбор открытой экспоненты. Выберите число k такое, что $1 < k < \phi(n)$, и k взаимно просто с $\phi(n)$, т. е. наибольший общий делитель k и $\phi(n)$ равен 1.
5. Вычисление закрытой экспоненты. Найдите число d , которое является мультипликативно обратным к k по модулю $\phi(n)$. Это означает, что $d \cdot k = 1$

$\text{mod } \varphi(n)$, при умножении k на d и взятии остатка от деления на $\varphi(n)$ мы получаем результат, равный единице.

6. Пара ключей. Открытый ключ будет парой (k, n) , а закрытый ключ — парой (d, n) .

7. Шифрование сообщения. Для шифрования сообщения воспользуйтесь открытым ключом (e, n) и примените к нему операцию шифрования: $C = M^e \text{ mod } n$.

8. Расшифровка сообщения. Для расшифровки зашифрованного текста C используйте закрытый ключ (d, n) : $M = C^d \text{ mod } n$ [1].

Данный метод достаточно прост и надежен в настоящее время, но наука не стоит на месте, и вскоре данный алгоритм станет неактуален. И сейчас набирает популярность новый способ защиты данных с помощью квантовой физики.

Если классическая криптография использует математические методы шифрования данных, то квантовая криптография использует физические свойства элементарных частиц, например протокол распределения ключей BB84, разработанный двумя физиками-теоретиками, Ч. Беннетом и Ж. Брассаром в 1984 г. [2]. В нем используется принцип неопределенности Гейзенберга. И благодаря этому принципу невозможно перехватить данные незаметно, именно в этом и заключается преимущество квантовой криптографии, ведь нельзя измерить какую-либо величину элементарной частицы, не воздействуя на эту частицу [3].

Так выглядит алгоритм передачи данных по известному квантовому протоколу BB84.

1. Генерация квантовых состояний. Отправитель (Алиса) генерирует случайные квантовые состояния (например, поляризованные фотоны) с использованием двух ортогональных базисов. Например, она может выбрать кодирование в базисах прямой/диагональной или круговой/антикруговой поляризации.

2. Отправка квантовых состояний. Алиса отправляет эти квантовые состояния Бобу, который получает их с использованием квантового канала связи.

3. Измерение квантовых состояний. Получатель (Боб) выбирает случайно один из двух базисов для измерения каждого полученного квантового состояния.

4. Обмен публичными ключами. После измерения, Алиса и Боб обмениваются информацией о том, в каких базисах они отправляли и измеряли квантовые состояния, но не раскрывают конкретных результатов измерений.

5. Фильтрация битов. Алиса и Боб отбрасывают результаты измерений, где они использовали разные базисы. Оставшиеся биты становятся ключом.

6. Проверка безопасности. Алиса и Боб сравнивают небольшое подмножество их ключей, чтобы убедиться, что они совпадают и не подверглись перехвату или модификации. Если проверка проходит успешно, они могут быть уверены в безопасности своего ключа.

Протокол квантового шифрования BB84 также включает в себя роль Евы, которая является потенциальным злоумышленником, пытающимся пе-

рехватить информацию, передаваемую между Алисой и Бобом. Роль Евы в протоколе BB84 заключается в попытках перехватить квантовые состояния, отправленные Алисой, и измерить их, чтобы получить информацию о передаваемом ключе без разглашения этого факта Алисе и Бобу.

Принципы квантовой механики, на которых основан протокол BB84, делают такие попытки перехвата очень трудными и даже заметными. В соответствии с принципом наблюдения квантовых состояний, попытка измерить квантовое состояние приведет к его изменению. Таким образом, если Ева попытается перехватить квантовые состояния, это будет замечено как изменение состояний, что позволяет Алисе и Бобу обнаружить попытку вмешательства [4].

В результате этого исследования становится ясно, что квантовое шифрование представляет собой многообещающую и перспективную область в обеспечении безопасности данных в современном мире. Оно основано на принципах квантовой механики и предлагает новые методы защиты информации, способные противостоять угрозам современного цифрового мира. На основе исследования становится ясно, что квантовое шифрование имеет потенциал изменить существующий ландшафт кибербезопасности и стать ключевым элементом в обеспечении безопасности данных в будущем. Тем не менее, вопросы реализации и масштабирования остаются открытыми и требуют дальнейших исследований и разработок для полного раскрытия потенциала этой захватывающей области.

Литература

- [1] *RSA простыми словами и в картинках*. URL: <https://habr.com/ru/articles/745820/> (дата обращения 10.06.2024).
- [2] *Квантовая криптография. Encyclopedia by Kaspersky*. URL: <https://encyclopedia.kaspersky.ru/glossary/quantum-cryptography/> (дата обращения 10.06.2024).
- [3] *Квантовая криптография: простейшие протоколы и чуть-чуть криптоанализа*. URL: <https://habr.com/ru/articles/530362/> (дата обращения 10.06.2024).
- [4] *Квантовый протокол распределения ключей BB84*. URL: <https://habr.com/ru/articles/333952/> (дата обращения 10.06.2024).

Use of quantum physics in information security

Akulova Anastasia Petrovna

akylova2609@mail.ru

Potapov Alexey Vyacheslavovich

2furius@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

This study analyzes the potential threats to the security of our data caused by the expected development of quantum computers, whose power is much larger than classical ones, and investigates methods of data protection based on quantum cryptography. The limitations of classical encryption algorithms such as RSA susceptible to quantum computing attacks are discussed and an alternative solution in the form of the BB84 quantum protocol is proposed. The given description of the BB84 protocol includes the steps of quantum state generation, measurement, key exchange and security verification. It is noted that quantum cryptography is based on the principles of quantum mechanics, which make it impossible to intercept data without detection. The importance of further research and development in quantum cryptography is emphasized to ensure data security in the future digital world.

Keywords: *cryptography, quantum encryption, key, basis*

***Секция 9. Динамика,
прочность и надежность
подъемно - транспортных,
строительных, дорожных
машин и оборудования***

УДК 621.86

Расчет показателей эксплуатационной надежности лифтов

Масальский Андрей Андреевич

masalskiy.a52@gmail.com

Витчук Павел Владимирович

vitchuk@bmstu.ru

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

Обоснована целесообразность исследования показателей эксплуатационной надежности лифтов. Собрана статистическая информация об отказах более чем 300 эксплуатируемых лифтов. Получены данные об интенсивности отказов подсистем лифтов в зависимости от срока службы лифта. Приведен пример расчета основных показателей эксплуатационной надежности лифта. Показано, что показатели эксплуатационной надежности лифтов могут быть использованы как с целью планирования эксплуатационных затрат на поддержание работоспособного состояния лифтов, так и для корректировки их конструкторской документации на стадии проектирования для обеспечения требуемого уровня надежности.

Ключевые слова: лифт, показатели надежности, ремонт, техническое обслуживание, эксплуатация

Лифт является самым безопасным видом транспорта при условии своевременного и качественного соблюдения регламентных работ по его техническому обслуживанию и ремонту [1].

Эксплуатационная надежность лифтов непосредственно связана с безопасностью и стоимостью их эксплуатации [2–4]. Это обуславливает актуальность исследования показателей эксплуатационной надежности лифтов.

В работе [5] была проведена оценка применимости к грузоподъемным машинам номенклатуры основных показателей надежности, на основе которой было установлено, что для большинства практических задач является достаточным определять следующие три показателя: параметр потока внешних отказов $\omega_{вн}$; удельную оперативную трудоемкость ремонтов $S_{ур}$; удельную оперативную трудоемкость технических обслуживаний $S_{ТО}$. Использование такой однотипной структуры показателей надежности позволяет установить между ними простые соотношения, справедливые для широкой номенклатуры грузоподъемных машин, схожих по конструкции, условиям и методам эксплуатации.

Для расчета указанных показателей эксплуатационной надежности применительно к лифтам необходимо определить интенсивность их отказов. Лифт, как и другая грузоподъемная машина, представляет из себя сложную техническую систему, в структурной схеме надежности которой большинство элементов соединены последовательно [6]. В этом случае можно предположить, что справедлив экспоненциальный закон надежности:

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right], \quad (1)$$

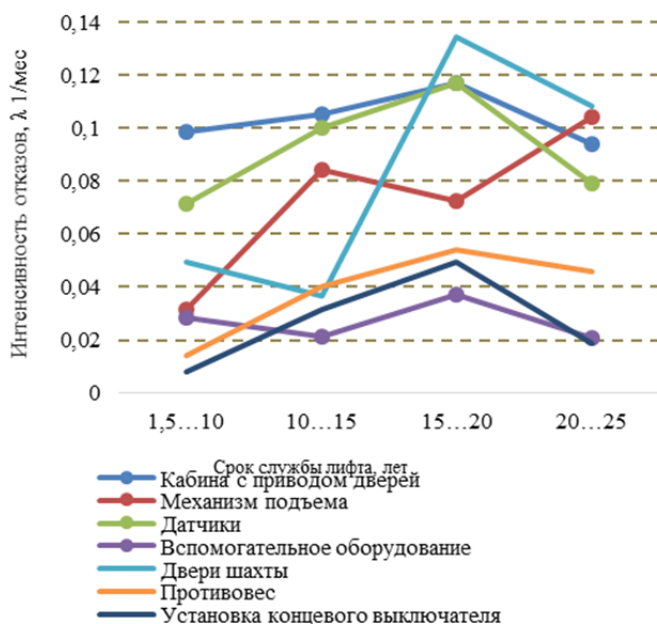
где $\lambda(t)$ — интенсивность отказов.

Статистически $\lambda(t)$ может быть рассчитана, как

$$\lambda(t) = \frac{m(\Delta t)}{N \Delta t}, \quad (2)$$

где $m(\Delta t)$ — число отказавших элементов исследуемых лифтов в интервале времени Δt ; N — число эксплуатируемых лифтов.

В ходе проведенного исследования интенсивности отказов лифтов в г. Калуга были рассмотрены пассажирские лифты различных производителей нескольких конструктивных исполнений с грузоподъемностью от 400 до 1000 кг. При содействии ООО «ЭкспертСервис» (г. Калуга) была собрана статистическая информация об отказах более чем 300 лифтов. Данные об отказах были классифицированы по подсистемам в соответствии с имеющимся опытом диагностирования лифтов [7]. Результаты исследования приведены на рисунке.



Интенсивность отказов подсистем лифтов в зависимости от срока службы лифта

На основе полученных данных были рассчитаны основные показатели эксплуатационной надежности лифтов. Рассмотрим взаимосвязь между данными показателями и стоимостью эксплуатации лифта на примере.

Пусть для одного из рассмотренных лифтов были получены следующие значения показателей надежности:

$$\omega_{\text{BH}} = 0,017 \text{ ч}^{-1};$$

$$S_{\text{ур}} = 0,09 \text{ чел. ч/ч}; \quad S_{\text{уто}} = 0,07 \text{ чел. ч/ч}.$$

Из опыта эксплуатации данного типоразмера лифта известно, что стоимость всех ремонтных работ, отнесенная к оперативной трудоемкости, составляет $C_p = 6000$ руб./ (чел. · ч), а работ по техническому обслуживанию $C_{то} = 4060$ руб./ (чел. · ч). Средний состав бригады при ремонтах составляет $N_p = 2$ чел, а при техническом обслуживании $N_{то} = 1$ чел. Среднее оперативное время восстановления при внезапных отказах $T_{ввн} = 0,8$ час. Здесь и далее стоимостные показатели приведены по состоянию на 2024 г.

Сразу отметим, что одним из основных аргументов в пользу нормирования показателя трудоемкости с последующим укрупненным пересчетом на стоимость является относительно стабильная трудоемкость работ по сравнению с галопирующим изменением стоимости этих работ. Удельная продолжительность ремонтов:

$$T_{ур} = \frac{S_{ур}}{N_p} = \frac{0,09}{2} = 0,045.$$

Удельная продолжительность технических обслуживаний:

$$T_{уто} = \frac{S_{уто}}{N_{то}} = \frac{0,07}{1} = 0,07.$$

Удельная стоимость ремонтов:

$$C_{ур} = S_{ур} C_p = 0,09 \cdot 6000 = 540 \text{ руб./ч.}$$

Удельная стоимость технических обслуживаний:

$$C_{уто} = S_{уто} C_{то} = 0,07 \cdot 4060 = 285 \text{ руб./ч.}$$

Суммарная удельная стоимость ремонтов и обслуживаний $C_{ур} = C_{ур} + C_{уто} = 825$ руб./ч, что при ≈ 5000 часов работы лифта в год составляет примерно 4 150 000 руб., то есть порядка 40 % стоимости лифта.

Таким образом, эксплуатационные показатели надежности лифтов могут быть использованы как с целью планирования эксплуатационных затрат на поддержание работоспособного состояния лифтов, так и для корректировки их конструкторской документации на стадии проектирования с целью обеспечения требуемого уровня надежности.

Литература

- [1] *ТР ТС 010/2011. О безопасности машин и оборудования*. Технический регламент Таможенного союза. URL: https://forumpravo.by/upload/pdf/TR_TS_010_10_svodka_otzivov_po_itogam_PO.pdf (дата обращения 22.04.2024).
- [2] Орлова Т., Худяков Т. Многоэтажным домам требуется срочная замена лифтов. *Лифт*, 2011, № 7, с. 21–25.
- [3] Чередниченко М. Лифты требуют замены. *Лифт*, 2011, № 10, с. 5–11.
- [4] Стефанов С.И., Самосьев П.В., Шубин А.А., Витчук П.В. Проблема обновления лифтового парка города Калуга. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2014, № 11–2, с. 490–495.

- [5] *Расчеты крановых механизмов и их деталей. Т. 1.* Москва, ВНИИПТМАШ, 1993, 187 с.
- [6] Ермоленко В.А., Витчук П.В. Особенности расчета показателей надежности грузоподъемных машин. *Надежность*, 2016, т. 16, № 2 (57), с. 20–25.
- [7] Витчук П.В., Сероштан В.И., Самосьев П.В. Диагностирование привода лифта. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2013, № 7–1, с. 184–194.

Elevator operational reliability indicators calculation

Masalskiy Andrey Andreevich

masalskiy.a52@gmail.com

Vitchuk Pavel Vladimirovich

vitchuk@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Substantiated the expediency of studying the indicators of elevators operational reliability. Statistical information has been collected on failures of more than 300 operated elevators. Obtained data on the failure rate of elevator subsystems depending on the elevator service life. Given an example of calculating the main indicators of elevator operational reliability. It is shown that the indicators of operational reliability of elevators can be used both for the purpose of planning operational costs for maintaining the operational condition of elevators, and for adjusting their design documentation at the design stage to ensure the required level of reliability.

Keywords: *elevator, reliability indicators, repair, maintenance, operation*

УДК 629.1

Транспортное средство повышенной проходимости с комбинированным двигателем

Заярный Сергей Леонидович

texnakon@yandex.ru

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

Показана востребованность в транспортных средствах повышенной проходимости для передвижения на слабонесущих грунтах. Рассмотрены варианты конструктивной реализации транспортных средств повышенной проходимости с различными двигателями. Проанализированы преимущества и недостатки различных двигателей и определены области их применения. Показана тенденция к применению комбинированных двигателей. Предложен и рассмотрен вариант такого двигателя.

Ключевые слова: транспортное средство, повышенная проходимость, двигатели транспортных средств, комбинированный двигатель

При создании транспортных и вездеходных машин используются традиционные колесные, гусеничные и роторно-винтовые двигатели. Технологии создания энергоэффективных двигателей для транспортных систем указывается в перечне критических технологий РФ [1]. Совершенствование таких машин может быть достигнута созданием принципиально новых схем шасси, так и комбинацией в механизмах их передвижения различных двигателей.

Цель работы — представить сравнительную оценку различных двигателей транспортных средств повышенной проходимости (ТСПП) и рассмотрение конструктивных особенностей предлагаемого автором комбинированного двигателя. При этом, в качестве метода исследования использован анализ текущего состояния и тенденций развития ТСПП с учетом применяемых в них двигателей различного вида.

Среди ТСПП особое место занимают вездеходы, предназначенные для передвижения по пересеченной местности, в условиях отсутствия дорог, болотистых местностях, в районах крайнего Севера. Высокая проходимость вездеходов достигается применением специальных или комбинированных двигателей, обеспечивающих минимальное удельное давление на грунт в сочетании с максимально возможным сцеплением с опорной поверхностью.

Колесные двигатели имеют шины низкого давления, **преимуществами которых являются:** не повреждаемость почвы и растительности; возможность передвижения по асфальту; меньший вес и расход топлива, чем у гусеничных аналогов; передвижение по воде с большим грузом. Однако они уступают гусеничному двигателю по грузоподъемности, проходимость слабых грунтах, лесополос, глубокого снега [2].

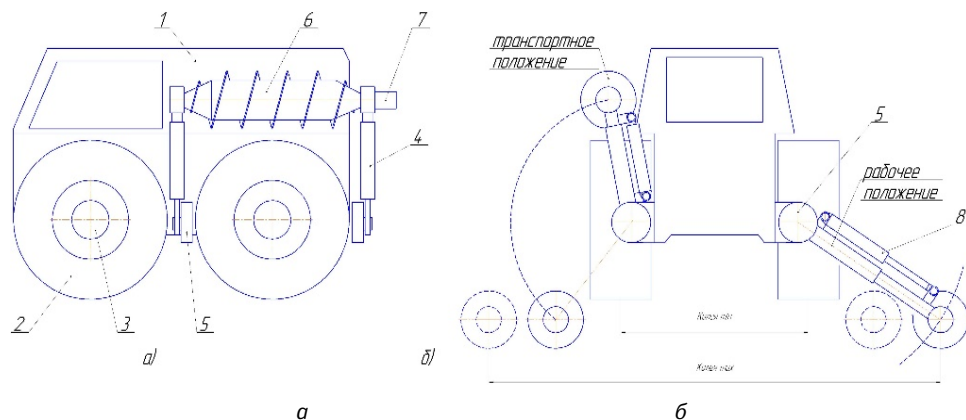
Гусеничный двигатель имеет значительную поверхность контакта, что обеспечивает им высокую эффективность на рыхлых грунтах, хорошую тяго-

вую способность и грузоподъемность. К недостаткам гусеничных движителей можно отнести: низкую ремонтпригодность ходовой части; худшую плавучесть и большой расход топлива по сравнению с колесным движителем [3].

Роторно-винтовой движитель обладает относительной простотой конструкции, обеспечивает высокую проходимость на заснеженных и обледенелых поверхностях, заболоченных грунтах и воде [4, 5]. Его недостатком является низкая устойчивость, непригодность для движения по твердым основаниям. Создание ТСПП с эластовинтовым движителем позволяет частично решить эту проблему [6].

Стремления к использованию положительных качеств различных движителей, реализуется в разработках приводов с их различными комбинациями. В работе [7] рассматривается ТСПП с комбинированными движителями, состоящий из гусеничных движителей, внутри которого установлен роторно-винтовой движитель. Скорости движителей синхронизированы. В работе [8] рассматривается ТСПП с комбинированным движителем, состоящим из колесного и роторно-винтового движителей, при этом предусматривается возможность изменения их вертикального взаимного расположения. Это обеспечивает изменение клиренса транспортного средства и возможность изменения режимов его передвижения.

Возможный вариант ТСПП с комбинированным движителем, представленный на рисунке, состоит из корпуса 1, комбинированного движителя, состоящего из колесного движителя 2, состоящего из четырех колес выполненных на шинах сверхнизкого давления, с приводом 3, и установленных параллельно им на парных двухзвенных телескопических рычагах 4, с возможностью перемещения в круговом и продольном направлениях двигателями 5, 8, роторно-винтового движителя 6, состоящего из двух шнеков с приводом 7.



ТСПП с комбинированным движителем:

а — вид сбоку; б — вид спереди

Передвижения ТСПП по слабо несущим грунтам и пересеченной местности обеспечивается с использованием колесного движителя 2 на шинах сверх

низкого давления. При этом, роторно-винтовой движитель находится в транспортном положении.

Передвижения ТСПП по слабо несущим грунтам и пересеченной местности с глубокой колеей, превышающей величину клиренса, обеспечивается с использованием роторно-винтового движителя 6, переведенного в рабочее положение. При этом, ширина колеи шнеков движителя, регулируется перемещением звеньев телескопических рычагов двигателя 8. Это обеспечивает повышенной поперечной устойчивости и высокую проходимость при движении на сильно пересеченной местности в условиях существенной неоднородного состояния грунта или неустановившегося ледостава. В этом случае обеспечивается также повышенная возможность маневрирования ТСПП на весьма слабонесущих грунтах и болотистой местности. Такая возможность возникает при противоположно направленном по сторонам ТСПП усилий, обусловленных работой движителей 2, 6, вследствие чего обеспечивается круговое движение ТСПП. Это позволяет изменять направление вектора движения ТСПП и выбирать наиболее благоприятного из них. Кроме того, в случае опрокидывания ТСПП, обеспечивается возможность восстановления его транспортного положения при использовании в качестве аутригера одного из шнековых движителей.

Рассмотрение различных варианты движителей, применяемых в ТСПП, выявило их преимущества и недостатки, а также показало эффективность применения комбинированных движителей, синергетический эффект которых определяется, в частности, в предложенном автором конструктивным сочетании колесного, на шинах низкого давления, и роторно-винтового движителей.

Литература

- [1] *Приоритетные направления развития науки, технологии и техники в Российской Федерации*. Утверждено Указом Президента Российской Федерации от 07.07.2011 г. № 899. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/33514> (дата обращения 15.03.2024).
- [2] Блохин А.Н., Беляков В.В., Зезюдин Д.В., Алипов А.А. Определение нормальных усилий в контакте шины сверхнизкого давления с опорной поверхностью. *Журнал автомобильных инженеров*, 2011, № 2 (67), с. 30–33.
- [3] Забавников Н.А. *Основы теории транспортных гусеничных машин*. Москва, Машиностроение, 1975, 448 с.
- [4] Донато И.О. *Роторно-винтовые машины. Основы теории движения*. Нижний Новгород, НПК, 2000, 451 с.
- [5] *Вездеходные транспортно-технологические машины*. Нижний Новгород, ТАЛИАМ, 2004, 960 с.
- [6] *Вездеход Бурдина. Прототип TESH-drive*. URL: http://boomstarter.ru/projects/17055/vezdehod_burdinaprototip_tesh-drive_2 (дата обращения 28.02.2024).
- [7] Канделя М.В., Канделя Н.М., Шилько П.А., Емельянов А.М., Рябченко В.Н., Щитов С.В., Липкань А.В. *Средство транспортное болотоходное*. Патент № 2511195 РФ, 2012, 13 с.
- [8] Согин А.В. *Комбинированный движитель транспортного средства*. Патент № 745762 СССР, 1978, 3 с.

The vehicle increased cross-country ability with combined propulsion

Zayarny Sergey Leonidovich

texnakon@yandex.ru

The demand for cross-country vehicles for movement on lightly bearing soils is shown. The variants of the constructive implementation of cross-country vehicles with various propellers are considered. The advantages and disadvantages of various propellers are analyzed and the areas of their application are determined. The trend towards the use of combined thrusters is shown. A variant of such a propulsion system is proposed and considered.

Keywords: transport vehicle, increased cross-country ability, propellers of vehicles, combined propulsion

УДК 629.1

Транспортное средство повышенной проходимости с модифицированным роликовым приводом

Заярный Сергей Леонидович

texnakon@yandex.ru

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

Рассмотрен роликовый привод, транспортного средства повышенной проходимости, состоящий из взаимодействующих между собой зубчатого ролика и шины со специальным протектором, известный как «привод Робсона». Рассмотрены преимущества и недостатки такого привода. Предложен вариант модифицированного роликового привода, допускающий варьирование базой транспортного средства высокой проходимости. Рассмотрен вариант компоновки и управления такого привода. Показаны преимущества модифицированного роликового привода в сравнении с известным прототипом.

Ключевые слова: транспортное средство, повышенная проходимость, роликовый привод, привод Робсона, модифицированный роликовый привод

Введение. Роликовый привод (привод Робсона) — необычное техническое решение, которое реализуется в фрикционном и зубчатом вариантах. В фрикционном варианте он встречается на грузовиках в качестве вспомогательного пассивного привода, а в зубчатом варианте в качестве активного основного привода применяется на вездеходах, машинах для катастрофического бездорожья, болот, снега. В зубчатом варианте ролики и шины колес представляют собой совместимые пары — выступы роликов входят в зубчатое зацепление с шинами особого типа, чей протектор изначально рассчитан на вращение внешним роликом. В настоящее время в РФ вездеходы на основе роликового привода используются для катастрофического бездорожья, болот, снега, пустыни. Их создают под марками «Беркут», «Тром», «Странник», «Стражник» и др.. Эти вездеходы применяются в строительстве нефтяниками, газовиками, геологами, экологами.

Привод позволяет снизить массу автомобиля за счет уменьшения числа мостов и карданных валов. Однако недостатком такой трансмиссии является конструктивная ограниченность базы транспортного средства, маневрирование обеспечивается исключительно посредством танкового разворота, увеличенный расход топлива для преодоления существенного трения скольжения, вследствие несовершенства зацепления привода, крутящий момент ограничен свойствами зацепления ролика с колесами.

В качестве метода исследования использован анализ существующего состояния, перспектив и тенденций развития роликового привода в транспортных средствах повышенной проходимости.

Цель работы — представить сравнительную оценку технико-экономических показателей вариантов транспортных средств повышенной проходимости.

мости с рассмотрением конструктивных особенностей известного и предлагаемого модифицированного роликовых приводов.

Типичным, а в значительной степени и главным представителем транспортных средств высокой проходимости (ТСПП) с роликовым приводом, представленных на рынке России, является вездеход «Тром-20» — трехзвенный 12-ти колесный вездеход-амфибия на шинах низкого давления. Каждая секция имеет по 4 колеса, приводимых в движение зубчатыми роликами за протектор шин [1]. Скорость вездехода изменяется в пределах: максимальная — 25 км/ч; минимальная — 0,2 км/ч.

В силу конструктивных особенностей, машины с роликового привода имеют ограниченную базу [2], а маневрирование осуществляется исключительно посредством танкового разворота. В связи с этим, использование многосекционной схемы в конструкциях вездеходов, в частности «Тром-20», обусловлено стремлением повысить транспортные возможности ТСПП и обеспечить его большую гибкость в возможности маневрирования.

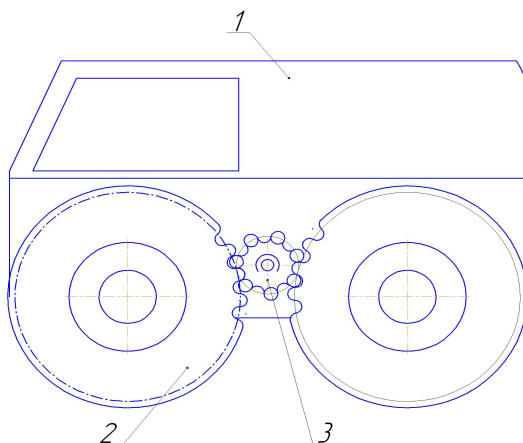


Рис. 1. ТСПП с роликовым приводом:

1 — кузов; 2 — ходовое колесо; 3 — приводной ролик

Конструктивная схема первой секции такой машины с роликовым приводом представлена на рис. 1. Здесь роликовый привод побортно установлен на корпусе (1) ТСПП. Крутящий момент от двигателя передается на ходовые колеса (2), посредством приводного ролика (3).

Применение модифицированного роликового привода (МРП) придает ТСПП новые потребительские качества, в частности обеспечивает повышение его транспортных возможностей и возможностей маневрирования. На рис. 2 представлена конструктивная схема такого ТСПП, содержащая корпус с силовой установкой 1, ходовые колеса низкого давления 2, вращение которых обеспечивается МРП установленным по бортам ТСПП и состоящим из двух паразитных зубчатых колес 3, объединенных кареткой 4 и приводного зубчато-

го ролика 5. В таком конструктивном исполнении возможность варьирования базой ТСПП обеспечивается возможностью варьирования размерами паразитных зубчатых колес. Это позволяет увеличить транспортное пространство кузова, тем самым улучшив потребительские качества ТСПП.

Для придания новых возможностей маневрирования в случае применения МРП ходовая часть ТСПП выполняется с поворотными колесами.

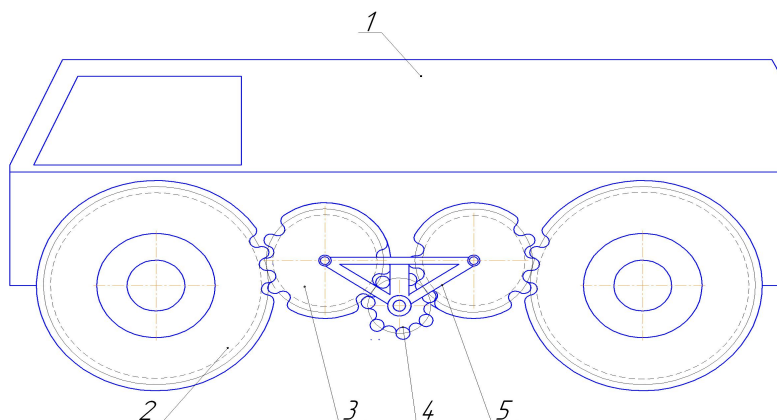


Рис. 2. ТСПП с модифицированным роликовым приводом

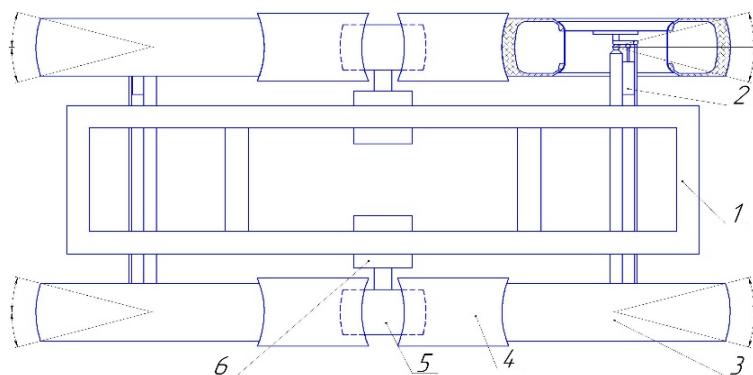


Рис. 3. Схема, поясняющая принцип управления движением ТСПП с модифицированным роликовым приводом:

1 — рама; 2 — элементы управления положением ходовых колес; 3 — ходовые колеса; 4 — паразитное зубчатое колесо с седлообразным профилем; 5 — приводной зубчатый ролик; 6 — двигатель

На рис. 3 представлена конструктивная схема, поясняющая принцип управления движением такого ТСПП. В раме 1 на поперечных балках установлены элементы управления 2 положением ходовых колес 3, установленных на поперечных балках посредством цилиндрических шарниров [3]. При этом, в случае применения МРП, оси цилиндрических шарниров расположе-

ны на пересечении оси вращения и продольной оси колеса. При этом обеспечивается поворот ходового колеса без смещения его продольной оси. Вращения ходовых колес обеспечиваются вращением паразитных зубчатых колес 4 с седлообразный профиль, что обеспечивает их постоянное сопряжение с профилем ходовых колес. Вращения паразитных зубчатых колес обеспечиваются вращением приводного зубчатого ролика 5 с приводом от двигателя (6). В конструкции МРП для повышения его эффективности может быть реализована цевочная передача [4]. Возможность маневрирования ТСПП определяется положением колес, установленных условно на передней и задней балках рамы. При однонаправленном повороте колес, обеспечивается боковое перемещение ТСПП. При разнонаправленном повороте колес обеспечивается круговое перемещение ТСПП.

Рассмотрение предложенной конструкции и принципа управления ТСПП с МРП позволило установить ее преимущества, в сравнении с известным прототипом, ТСПП с роликовым приводом, в части транспортных характеристик и условий маневрирования ТСПП.

Литература

- [1] Плавающие вездеходы снегоболотоходы ТРОМ на шинах низкого давления. URL: <https://trom20.ru/?ysclid=lupb247zkk687755649> (дата обращения 24.06.2024).
- [2] Привод Робсона — особенности конструкции и применения. URL: <https://kolesa-uploads.ru/-/a5df9302-ab23-431a-9331-ec3a828e4011/> (дата обращения 24.06.2024).
- [3] Губарев А.В., Никифоров С.С. Конструкция автомобилей: конспект лекций. Челябинск, Издательский центр ЮУрГУ, 2010.
- [4] Передачи цевочные. Расчет, допуски и выполнение чертежей. Руководящий технический материал (РТМ). Москва, 1982, 82 с.

The vehicle increased cross-country ability with modified wheel drive

Zayarny Sergey Leonidovich

texnakon@yandex.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The wheel drive of an all-terrain vehicle is considered, consisting of a gear roller and a tire with a special tread interacting with each other, known as the "Robson drive". The advantages and disadvantages of such a drive are considered. A variant of a modified wheel drive is proposed, allowing variation of the base of a high-terrain vehicle. A variant of the layout and control of such a drive is considered. The advantages of the modified wheel drive in comparison with the known prototype are shown.

Keywords: transport vehicle, increased cross-country ability, wheel drive, Robson's drive, modified wheel drive

УДК 621.86

Снижение массы электрической тали

Харитоновна Екатерина Евгеньевна

khee18km197@student.bmstu.ru

Витчук Павел Владимирович

vitchuk@bmstu.ru

Славкина Екатерина Викторовна

slavkina@bmstu.ru

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

Показана целесообразность снижения массогабаритных показателей электрической тали. Выполнен многовариантный расчет параметров канатно-блочной системы электрической тали на основе варьирования числом и кратностью полиспаста, а также коэффициентами выбора диаметра каната и барабана. Построены графики зависимостей значений массы канатов, блоков и барабанов от кратности полиспаста. Достигнуто расчетное снижение массы электрической тали на 9,5 %.

Ключевые слова: электрическая таль, алгоритм многовариантного расчета электрической тали, снижение массы канатно-блочной системы

Электрические тали получили широкое распространение в качестве самостоятельных механизмов подъема и механизмов подъема мостовых и стреловых кранов. Поскольку электрическая таль обычно напрямую воздействует на опорную металлическую конструкцию, вызывая в ней изгибающий момент, важно стремиться к минимизации массы тали при ее проектировании.

Разработанный алгоритм многовариантного расчета электрической тали для ЭВМ [1] позволяет снизить массу канатно-блочной системы за счет вариации числа μ и кратности a полиспаста, а также смещением $\xi = -2, -1, 0, +1, +2$ коэффициента запаса прочности грузового каната z_p и коэффициента выбора диаметра барабана и блока согласно группе классификации режима работы механизма по ГОСТ 33710–2015 «Краны грузоподъемные» [2]. Данный алгоритм отличается от ранее разработанных алгоритмов [3–5] отсутствием обратной компенсации смещения ξ с целью получения барабанов увеличенного диаметра.

Разработанный алгоритм был реализован на ЭВМ. С целью проверки работы алгоритма был выполнен расчет массы элементов канатно-блочной системы нескольких типоразмеров электрических талей при смещении $\omega\xi = 0$, результаты сопоставлены с результатами работы [6].

Исходные данные: высота подъема груза $H = 12$ м; грузоподъемность $Q = 1; 3,2; 5; 6,3; 10$ т; барабан с одинарным полиспастом, кратность полиспаста $a = 1...4$; скорость подъема $v = 0,1$ м/с; режим нагружения $L2$; группа классификации механизма $M5$; допускаемое напряжение материала барабана $[\sigma] = 100$ МПа.

Результаты расчета представлены в виде графиков (рис. 1–4).

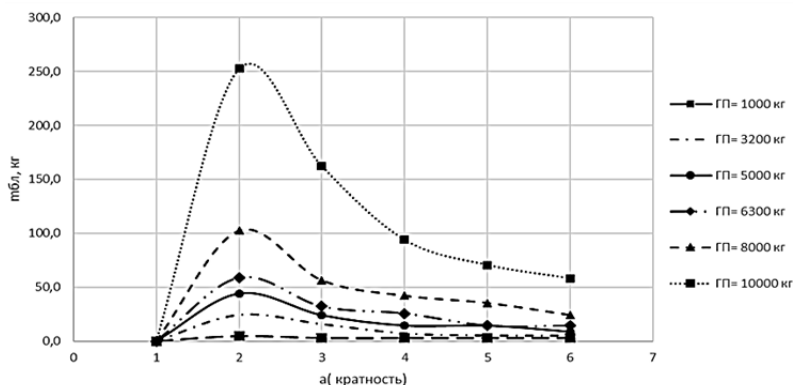


Рис. 1. Масса блоков для разных грузоподъемностей в зависимости от кратности полиспаста

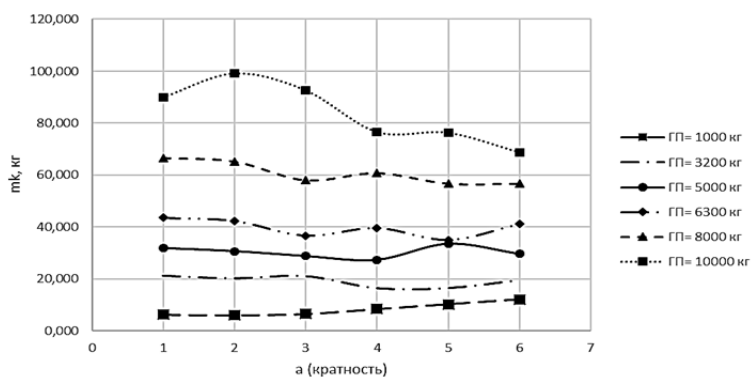


Рис. 2. Масса канатов для разных грузоподъемностей в зависимости от кратности полиспаста

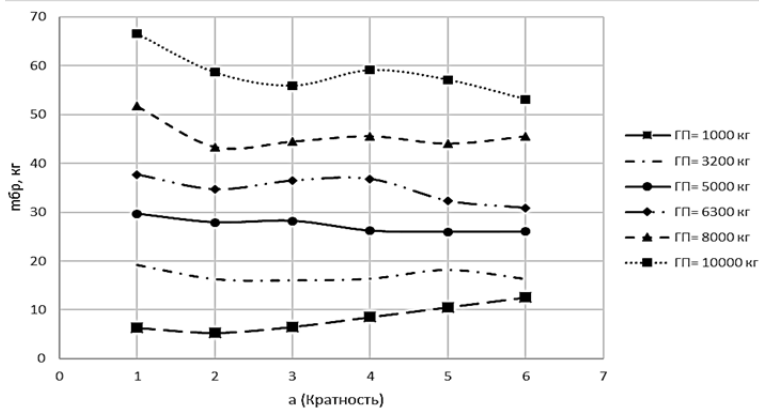


Рис. 3. Масса барабанов для разных грузоподъемностей в зависимости от кратности полиспаста

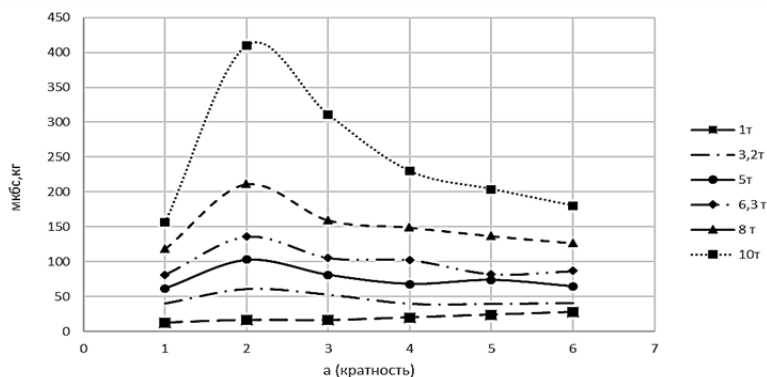


Рис. 4. Суммарная масса элементов канатно-блочной системы в зависимости от кратности полиспаста

Результаты расчета массы элементов канатно-блочной системы с использованием разработанного алгоритма при смещении $\xi = 0$ практически полностью совпали с аналогичными результатами, приводимыми в работе [6]. Это подтверждает работоспособность разработанного алгоритма. Далее алгоритм со смещением $\xi = -2, -1, 0, +1, +2$ без обратной их компенсации был использован для расчета электрической тали грузоподъемностью 5 т. На основе использования данного алгоритма было достигнуто снижение массы электрической тали на 9,5 % по сравнению с существующим аналогом.

Литература

- [1] Витчук П.В., Харитонов Е.Е., Витчук Н.А. Алгоритм многовариантного расчета электрической тали. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2023, № 12, с. 178–185.
- [2] ГОСТ 33710–2015. Краны грузоподъемные. Выбор канатов, барабанов и блоков. Москва, Изд-во стандартов, 2016, 19 с.
- [3] Ермоленко В.А. *Расчет электрической тали*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 28 с.
- [4] Ермоленко В.А., Лесовский И.О. Расчет и минимизация массы электрической тали. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*, 2014, № 11–1, с. 453–459.
- [5] Ермоленко В.А., Витчук П.В. Многовариантный расчет механизма подъема груза и колеи крановой тележки. *Вестник машиностроения*, 2018, № 12, с. 48–51.
- [6] Лесковец И.В., Семчен В.И., Науменко А.Е. Параметры механизма подъема электротали большой грузоподъемности. *Подъемно-транспортное дело*, 2020, № 1–2, с. 15–18.

On the issue of reducing the mass and dimensional parameters of electric hoists

Kharitonova Ekaterina Evgenievna

khee18km197@student.bmstu.ru

Vitchuk Pavel Vladimirovich

vitchuk@bmstu.ru

Slavkina Ekaterina Viktorovna

slavkina@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The feasibility of reducing mass and dimensional parameters is substantiated. electric hoist. A multivariate calculation of the parameters of the rope-block system of an electric hoist was carried out, due to the variation in the number and multiplicity of the polyspatial system, as well as the displacement. Graphs of the dependences of the mass values of ropes, blocks and drums on the multiplicity of the polyspat were constructed. During the calculation, a reduction in the mass of the electric hoist by 9.5% was achieved.

Keywords: *electric hoist, algorithm for multivariate calculation of an electric hoist, reducing the weight of the rope-block system*

УДК 621.86

Способы контроля нагрева подшипников роlikоопор ленточного конвейера

Хегай Александр Евгеньевич

aehegay02@mail.ru

Дидов Сергей Игоревич

89105213054@mail.ru

Шубин Александр Анатольевич

ashubin@bmstu.ru

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

Исследованы вопросы диагностики технического состояния роlikов ленточных конвейеров с использованием патентного поиска и анализа научных публикаций. Рассмотрены конструктивные и эксплуатационные параметры технических устройств и методики диагностики. Проведена классификация способов диагностики с учетом их функциональности и принципа действия. Проанализированы преимущества и недостатки различных методов с учетом их точности и трудоемкости. В результате проведенных исследований выявлены перспективные направления дальнейших исследований, направленных на усовершенствование систем диагностики роlikов ленточных конвейеров.

Ключевые слова: ленточный конвейер, конвейерный ролик, мониторинг нагрева подшипников, способы контроля роlikоопор

Ленточные конвейеры предназначены для транспортировки разнообразных сыпучих грузов с помощью непрерывно движущейся ленты [1]. Они широко применяются в различных отраслях промышленности, таких как производство, складское хозяйство, транспортировка грузов, позволяют автоматизировать процессы перемещения материалов.

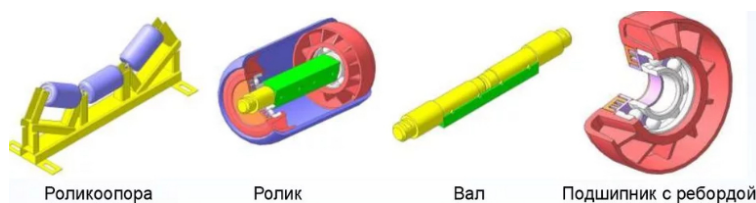
В большинстве случаев конвейеры являются составной частью транспортно-технологической системы. Поэтому к ним предъявляются высокие требования по надежности и безаварийности [2]. Исходя из этого конвейеры подлежат периодическому осмотру и диагностике состояния отдельных механизмов и узлов. Наиболее массовым узлом являются роlikоопоры. Вследствие чего, актуальной является задача поддержания их в рабочем состоянии и своевременной замене дефектных роlikов.

В настоящее время наиболее распространенным методом контроля состояния роlikов в конвейере является визуальный осмотр. В этом случае выявляются только роlikи с наработкой на отказ, что не может быть применимым с точки зрения безаварийной работы конвейеры [3].

Движение любых механических элементов так или иначе связано с трением, вызывающем нагрев движущихся элементов. Избыточный нагрев провоцирует заклинивание таких узлов как подшипники, что приводит к остановке вращения роlikоопор, и может вызвать повреждения ленты.

В роliках применяются различные по конструкции подшипники качения. Подшипник качения, будучи узлом трения, нагревается как от рассеива-

емой тепловой энергии, так и от внутреннего трения. Нормальной температурой в полости подшипника считается температура до 65 °С, при этом реализуется максимальный эксплуатационный ресурс подшипника. Допускается также перегрев подшипника до температуры 95 °С, что является критической температурой, при которой происходит повышенный износ рабочих деталей и изменяются свойства смазочного материала. Следствием изменения свойств смазки (масла) снова становится повышенный износ [4]. Перегрев подшипника — это очень серьезная проблема, которая требует своевременного обнаружения и устранения. В настоящее время для мониторинга нагрева подшипника используют контактный и бесконтактный методы [5].



Роликоопора и ее составляющие

К контактным устройствам относятся термопары, RTD-датчики и термометры. Данные устройства устанавливаются в контакте с подшипником, либо на ось каждого ролика, как предложено в [6]. Такое расположение позволяет добиться максимальной точности и скорости отклика на изменение температуры. Однако из-за того, что основным условием работы таких устройств является плотное прилегание к объектам измерения, появляется необходимость вносить изменения в конструкцию ролика.

Альтернативный способ определения неисправных роликоопор представлен в [7]. Данное решение заключается в измерении температуры ленты. Оценка состояния роликов проводится во время диагностической остановки конвейера, во время которой происходит нагревание поверхности ленты неисправными роликами. Во время последующего технологического запуска с помощью датчиков, установленных на трассе конвейера, считывается температура роликоопор. Данный подход представляет собой косвенную диагностику, так как не измеряет температуру роликов напрямую, и является неточным.

К бесконтактному измерению относится: тепловизор фиксирует так называемую радиационную температуру объекта, которая может быть как выше истинной (вследствие отражения излучения посторонних излучателей), так и ниже ее (при визировании теплых серых тел в отсутствие паразитных излучателей). Установлено, что инфракрасная термография наиболее эффективна [8]:

- для объектов с высоким коэффициентом излучения ($\varepsilon \geq 0,8$);
- при отсутствии высокотемпературных посторонних объектов;
- на небольших расстояниях до объекта контроля.

В качестве бесконтактного измерения температуру компания Continental разработала систему, которая включает в себя осмотр конвейера с воздуха с помощью беспилотника, оснащенного инфракрасными камерами и камерами глубины [9]. Данный способ является точным и объективным, но при этом не может быть продиагностирован горизонтальный ролик трехроlikовой опоры.

Анализ выше рассмотренных способов узлов контроля состояния подшипниковых узлов ролика показывает, что остается актуальной и важной задача разработки бесконтактного мобильного эффективного модуля по температурному параметру с использованием тепловизора.

Литература

- [1] Спиваковский А.О., Дьячков В.А. *Транспортирующие машины*. Москва, Машиностроение, 1983, 487 с.
- [2] Киселев Б.Р., Колобов М.Ю. *Ленточный конвейер. Расчет и проектирование основных узлов*. Иваново, Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2019, 179 с.
- [3] Атакулов Л.Н., Полвонов Н.О., Каюмов У.Э. Обзор и анализ диагностики определения дефектов конвейерной ленты. *Universum: технические науки*, 2022, № 2 (95). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13045> (дата обращения 18.05.2024).
- [3] Ширямов Д.А. Исследование способов диагностики технического состояния конвейерных роликов. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2020, № 2, с. 42–49.
- [4] Чихаева О.А., Лукьянов А.С., Дмитриева Л.А. *Подшипники качения: учебно-методическое пособие для студентов всех машиностроительных специальностей и направлений подготовки всех форм обучения*. Москва, Московский Политех, 2023, 108 с.
- [5] Ширямов Д.А. Исследование способов диагностики технического состояния конвейерных роликов. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2020, № 2, с. 42–49.
- [6] Хорст Инг Град Пьеха, *Устройства управления, например, для обеспечения безопасности, предупреждения или устранения неисправностей, обнаруживающие опасное физическое состояние грузовых носителей*. Заявка № 2803143, МПК В65G43/02, опубл. 26.07.1979.
- [7] Ефименко Л.И., Тиханский М.П., Назаренко В.М., Солохненко Р.Г., Шолтыш В.П. *Способ определения наличия неисправных роликов ленточного конвейера и их местоположения*. Патент № 1770130 СССР, 1990, 4 с.
- [8] Тепловизоры и их применение. *Независимая Экспертиза Волгоград*. URL: <https://www.expertiza34.ru/teplovizory-i-ikh-primeneniye.html> (дата обращения 18.05.2024).
- [9] *Continental*. URL: <https://www.continental.com/en/press/press-releases/sensor-based-inspection-service/> (дата обращения 11.04.2024).

Methods for controlling the heating of roller bearings of a belt conveyor

Khegai Alexandr Evgenyevich

aehegay02@mail.ru

Didov Sergey Igorevich

89105213054@mail.ru

Shubin Alexandr Anatolevich

ashubin@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The issues of diagnostics of the technical condition of the rollers of flax conveyors using patent search and analysis of scientific publications are investigated. The design and operational parameters of technical devices and diagnostic techniques were considered. The classification of diagnostic methods is carried out taking into account their functionality and principle of operation. The advantages and disadvantages of various methods are analyzed, taking into account their accuracy and labor intensity. As a result of the conducted research, promising areas of further research aimed at improving the diagnostic systems of conveyor belt rollers have been identified.

Keywords: *belt conveyor, conveyor roller, monitoring of heating of bearings, , methods of roller support control*

УДК 621.86

Возможные способы увеличения тяговой способности фрикционного привода ленточного конвейера

Дидов Сергей Игоревич

89105213054@mail.ru

Хегай Александр Евгеньевич

aehegay@mail.ru

Шубин Александр Анатольевич

ashubin@bmstu.ru

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

Приведены основные сведения о применении ленточных конвейеров для транспортировки грузов. Отмечена необходимость передачи тягового усилия при наименьшем предварительном натяжении ленты конвейера. Рассмотрены способы увеличения тяговой способности фрикционного привода ленточного конвейера, включая использование специальных материалов для повышения сцепления и оптимизации давления на поверхности барабана. Представлены способы повышения тягового усилия за счет изменения конструкции приводного барабана.

Ключевые слова: ленточный конвейер, тяговая способность, приводной барабан, конструкция приводного барабана

Ленточным конвейером называют машины непрерывного транспорта, несущим и тяговым элементом которого является гибкая лента [1]. Ленточные конвейеры используются в различных областях промышленности и логистики: на складах, производствах, в крупных предприятиях и транспортных системах. Они позволяют сэкономить время и силы работников, обеспечивают непрерывный процесс перемещения грузов и увеличивают производительность труда. В зависимости от конкретных потребностей и условий эксплуатации, ленточные конвейеры могут иметь различные размеры, конструкции и характеристики.

Привод ленточного конвейера является фрикционным, отсюда следует, что тяговое усилие на ленту передается за счет сил трения, возникающих в местах контакта ленты и приводного барабана. Необходимое для нормальной работы ленточного конвейера предварительное натяжение ленты задается с помощью натяжного устройства, при этом чем больше натяжение, тем большее тяговое усилие может развивать привод. Однако большое предварительное натяжение отрицательно сказывается на остаточном удлинении ленты и ее сроке службы в целом. Исходя из этого можно сделать вывод, что задача передачи необходимого тягового усилия при меньшем предварительном натяжении на данный момент времени является актуальной.

На данный момент времени существует два основных способа увеличения тяговой способности ленточного конвейера.

1. Увеличение тягового усилия путем применения дополнительных устройств: дополнительных приводных и отклоняющих барабанов, прижимных роликов, прижимных лент. К преимуществам этого способа можно отне-

сти значительное увеличение тяговой способности. Недостатками данного способа являются высокая стоимость, сильное усложнение конструкции, увеличение габаритов приводной станции, сложность и дороговизна обслуживания.

2. Футеровка обечайки барабана различными материалами с повышенным коэффициентом трения. Преимуществами данного способа являются увеличение тягового усилия, снижение износа приводного барабана, простота установки, экономичность. К недостаткам относятся сложность очистки барабана, увеличенный износ ленты.

В качестве альтернативного способа повышения тягового усилия известны следующие виды конструкции приводного барабана:

1. Использование каркаса барабана с Т-образными профилями и фрикционными пакетами из 8 полос транспортной ленты, которые трением приводят в движение грузонесущую ленту (рис. 1) [2].

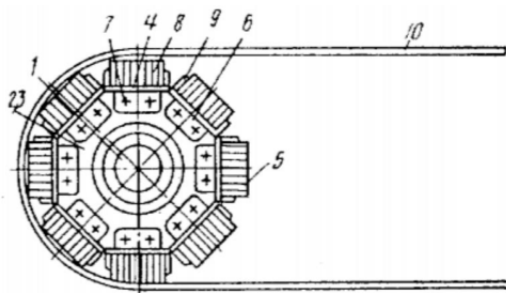


Рис. 1. Общий вид приводного барабана ленточного конвейера

Фрикционные пакеты, выполненные из резинотканевых нарезных полос, обладают повышенным коэффициентом трения по сравнению с резиновой футеровкой.

2. Барабан конвейера, содержащий надувные камеры, установленные на цилиндрах (рис. 2) [3].

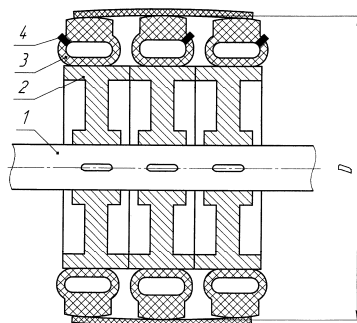


Рис. 2. Разрез барабана по продольной оси конвейера

Данная конструкция приводного барабана содержит надувные камеры 3, установленные на цилиндрах (или колесных дисках) 2, связанных неподвижно с приводным валом 1, причем наружный радиус камеры, установленной в средней части барабана является наибольшим, а каждая камера оснащена устройством изменения давления 4. Техническим результатом является повышение демпфирующей способности барабана, регулирование натяжения ленты, центрирование ленты относительно барабана.

3. Барабан сотовой конструкции [4].

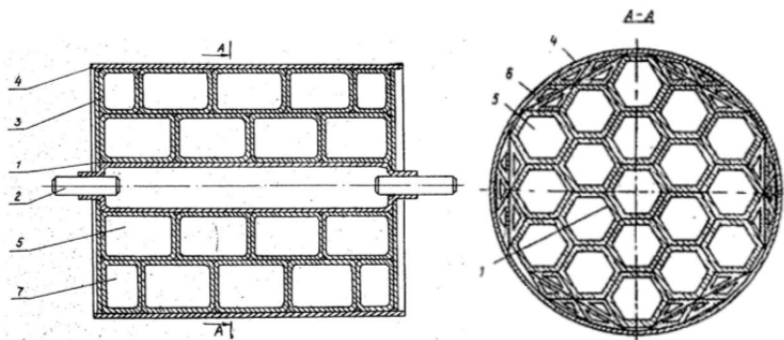


Рис. 3. Общий вид барабана с двумя слоями полых шестигранных тел

При действии на обечайку 4 радиальные и касательные силы передаются на каркас, образованный телами 5–7, что позволяет оптимальным образом противостоять указанным силам. При небольшой толщине обечайки 4 в местах между линиями взаимодействия ее с наружными ребрами тел 5–7 могут наблюдаться местные прогибы, в результате чего барабан принимает форму многогранника со скругленными гранями. Это позволяет повысить тяговую способность барабана.

Среди приведенных конструкций приводных барабанов наиболее интересным и перспективным является вариант под номером 3 из патента SU1682265A1 «Барабан подъемно-транспортной машины», поскольку данный барабан способен адаптироваться к изменениям натяжения ленты за счет деформации его оболочки. Эффективность приводного барабана с гибкой обечайкой может быть подтверждена в результате экспериментальных исследований.

Литература

- [1] Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. *Машины непрерывного транспорта*. Москва, Машиностроение, 1987, 432 с.
- [2] Ситников Д.М., Питернев Н.А., Саутов С.Я., Воронцов Г.С. *Приводной барабан ленточного конвейера*. Патент № 969618 СССР, 1981.
- [3] Степанцов М.А., Ермоленко В.А., Шубин А.А. *Барабан ленточного конвейера*. Патент № 175107 РФ, 2017.

- [4] Барков В.А., Блинов Л.П., Дмитриев В.Г., Дунаев В.П., Лагереv А.В., Подопрigorа Ю.А., Рукавичников В.А., Фролов В.И. Барабан подъемно-транспортной машины. Патент № 1682265 СССР, 1991.

Possible ways to increase the traction capacity of the friction drive of the belt conveyor

Diodov Sergey Igorevich

89105213054@mail.ru

Khegai Alexandr Evgenyevich

aehegay@mail.ru

Shubin Alexander Anatolyevich

ashubin@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The basic information about the use of belt conveyors for the transportation of goods is given. It is noted that it is necessary to transfer the traction force with the least preliminary tension of the conveyor belt. The methods of increasing the traction capacity of the friction drive of the conveyor belt, including the use of special materials to increase adhesion and optimize pressure on the surface of the drum, are considered. The methods of increasing the traction force by changing the design of the drive drum are presented.

Keywords: conveyor belt, traction capacity, drive drum, the design of the drive drum

УДК 621.86

Снижение массы механизма подъема груза крана мостового типа

Стадникова Ирина Дмитриевна¹

irin1999@yandex.ru

Сорокина Ирина Игоревна¹

irina.sorokina@bmstu.ru

Желтиков Андрей Андреевич²

jeltikov_aa@ktz.power-m.ru

¹ КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия² ПАО «Калужский Турбинный Завод», Калуга, Россия

Рассмотрена возможность снижения массогабаритных характеристик механизма подъема крана мостового типа на основе применения методики многовариантного расчета с использованием ЭВМ. Приведен результат демонстрационного расчета по предлагаемой и классической методикам для мостового крана грузоподъемностью 12,5 т. Для выбранного и базового вариантов компоновки механизма подъема проведен статический анализ нагружения главной балки крана. Сделаны выводы о целесообразности применения методики при конструировании кранов мостового типа.

Ключевые слова: механизм подъема крана мостового типа, снижение массы, коэффициент запаса, многовариантный расчет

Очевидно, что целью проектных расчетов механизма подъема крана мостового типа является обеспечение наименьшей металлоемкости и габаритов конструкции при сохранении надежности и работоспособности всего механизма. Как правило, расчет подобных механизмов подразумевает последовательный подбор элементов механизма с учетом соответствующих коэффициентов запаса [1, 2], что не обеспечивает вариативность и, как следствие, не позволяет снизить массогабаритные показатели и получить рациональное решение в каждом конкретном случае.

Расчет моста крана на прогиб является определяющим при подтверждении работоспособности конструкции в целом. Грузовая тележка, на которой традиционно располагается рассматриваемый механизм, перемещается по мосту крана, создавая тем самым изгибающий момент. Таким образом, снижение его массогабаритных показателей способствует снижению металлоемкости крана в целом.

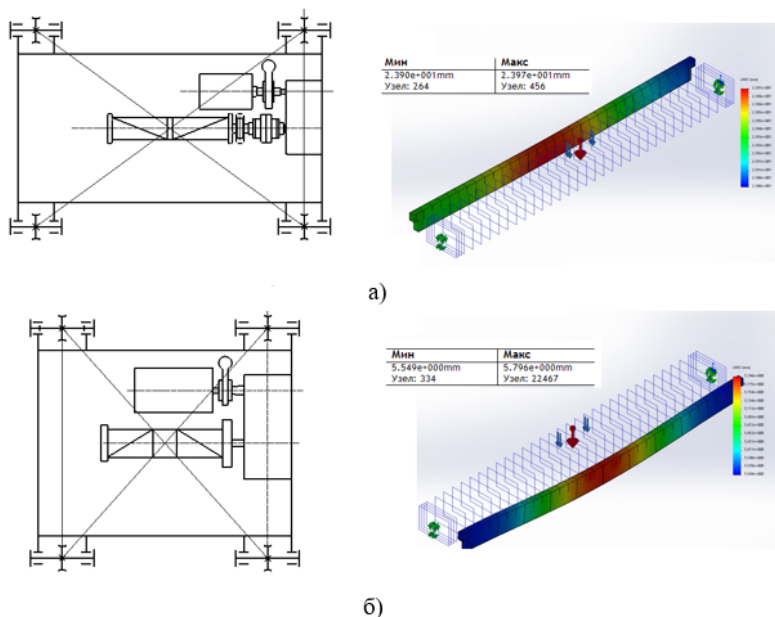
Снижения массогабаритных показателей механизма подъема груза крана мостового типа возможно добиться на основе применения методики многовариантного расчета [3, 4]. Здесь многовариантность достигнута варьированием числом и кратностью полиспада, а также шагом смещения (до двух типоразмеров) по группе классификации режима работы следующих параметров: коэффициента выбора диаметров каната, коэффициента выбора диаметра барабана, коэффициента выбора диаметра отводных и уравнильных блоков. Интересно то, что увеличение на один или два типоразмера рассчитанного диаметра каната предлагается осуществлять без соответствующей обратной компенсации (уменьшения) коэффициента выбора диаметра барабана. Такой

подход позволяет получить относительно короткие барабаны с относительно большим диаметром, что, в свою очередь, ведет к увеличению долговечности каната [4].

Очевидно, что предлагаемая методика многовариантного расчета механизма подъема груза для крана мостового типа практически непригодна для реализации вручную ввиду большого объема вычислений. Применение ЭВМ позволяет задействовать значительный массив справочных данных и опыт расчета подобных конструкций, что обеспечивает достаточное количество вариантов сочетаний параметров указанного механизма. Это, в свою очередь, гарантирует возможность выбора рациональной компоновки механизма подъема в каждом конкретном случае.

Программа отбрасывает варианты, не прошедшие по любому из критериев работоспособности, используемых в расчетах. В итоге на основе расчета получают множество соответствующих всем критериям работоспособности вариантов сочетаний элементов, из которых состоит механизм подъема груза (электродвигателя, тормоза, редуктора, барабана, соединительных муфт). Ранжирование получившихся вариантов сочетаний осуществляется по критерию минимальной суммарной массы основных элементов механизма подъема.

Для подтверждения эффективности предложенной методики были получены компоновочные схемы механизма подъема груза для мостового крана грузоподъемностью 12,5 т (рисунок).



Результаты компоновки механизма подъема и статистический анализ нагружения главной балки мостового крана грузоподъемностью 12,5 т:

а — многовариантный расчет [4]; б — классическая методика [1, 2]

Для выбранного варианта компоновки было проведено сравнение с расчетом по классической методике. Учитывая, что максимальный прогиб наблюдается в тот момент, когда тележка находится в середине пролета моста произведен статический анализ нагружения главной балки крана в среде SolidWorks с приложением нагрузки в опасном сечении (см. рисунок). Результаты расчета сведены в таблицу.

Проведенное исследование показывает, что расчет по авторской методике с использованием ЭВМ [4] не только позволяет снизить массогабаритные характеристики привода (снижение суммарной массы тележки и механизма подъема достигло 35 %), но и ведет к увеличению коэффициента запаса прочности главной балки крана на 2,3.

Результаты расчета для мостового крана грузоподъемностью 12,5 т

Параметр	Вариант расчета	
	Многовариантный расчет (ЭВМ)	Классическая методика
Колея тележки, мм	2453	1880
База тележки, мм	1860	2178
Масса тележки, кг	221	226
Суммарная масса основных элементов механизма подъема, кг	623	1080
Нагрузка на мост, Н	1980	3200
Напряжение ($\sigma_{\max}$), МПа	74,7	103,2
Перемещение, мм	2,39	5,7
Запас прочности	8,3	6

Таким образом, предлагаемая компоновка механизма подъема приводит:

- к увеличению долговечности металлоконструкции мостового крана;
- к уменьшению геометрических параметров концевой балки, что, в свою очередь, сокращает эксплуатационные и производственные затраты.

Полученные результаты позволяют рекомендовать указанную методику для проектирования рациональных схем компоновок механизма подъема груза крана мостового типа.

Литература

- [1] Вайнсон А.А. *Подъемно-транспортные машины*. Москва, Машиностроение, 1989, 536 с.
- [2] Александров М.П. *Грузоподъемные машины*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, Высш. шк., 2000, 552 с.
- [3] Ермоленко В.А., Витчук П.В. Многовариантный расчет механизма подъема груза и колеи крановой тележки. *Вестник машиностроения*, 2018, № 12, с. 48–51.
- [4] Витчук П.В., Ермоленко В.А., Стадникова И.Д., Мартынов Н.А., Порываев О.П. *Научно-технический Вестник Брянского государственного университета*, 2022, № 4, с. 282–290.

Reducing the weight of the lifting mechanism of the bridge type crane

Stadnikova Irina Dmitrievna¹

irin1999@yandex.ru

Sorokina Irina Igorevna¹

irina.sorokina@bmstu.ru

Zheltikov Andrey Andreevich²

jeltikov_aa@ktz.power-m.ru

¹ Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

² Public Joint Stock Company "Kaluga Turbine Plant", Kaluga, Russia

The possibility of reducing the weight and size characteristics of the lifting mechanism of a bridge-type crane based on the application of a multivariate calculation method using a computer is considered. The result of a demonstration calculation according to the proposed and classical methods for an overhead crane with a lifting capacity of 12.5 tons is presented. For the selected and basic variants of the layout of the lifting mechanism, a static analysis of the loading of the main beam of the crane was carried out. Conclusions are drawn about the expediency of using the technique in the design of bridge-type cranes

Keywords: lifting mechanism of a bridge type crane, weight reduction, margin factor, multivariate calculation

УДК 621.81

Выбор схемы установки подшипников в мотор - редукторе с конической передачей

Сорокина Ирина Игоревна

irina.sorokina@bmstu.ru

Дубов Игорь Дмитриевич

dubovid@student.bmstu.ru

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

Рассмотрены варианты уменьшения габаритных размеров приводов за счет применения мотор-редукторов с конической передачей с круговым зубом. Изучены возможные конструкции подшипниковых узлов консольно расположенного вала-шестерни. Сделаны выводы о целесообразности их применения при различных условиях эксплуатации. Результаты могут быть использованы студентами при проектировании привода машинного агрегата.

Ключевые слова: мотор-редуктор, коническая передача, схемы установки подшипников

Работа подъемно-транспортных машин и оборудования напрямую зависит от качества привода. Традиционно критериями его оценки считаются габаритные размеры, КПД, экономичность изготовления и эксплуатации [1]. Уменьшение габаритов привода с одновременным увеличением КПД может быть достигнуто за счет применения мотор-редукторов разного типа [2]. В таких конструкциях вал ЭД используется как быстроходный, а при малых габаритах шестерни используют решение «вал-в-вал». Уменьшение массогабаритных характеристик редукторного привода уменьшает массу и габариты рамы, что, в свою очередь, снижает габариты машины в целом.

В виду ограниченности места при эксплуатации ряда подъемно-транспортных машин целесообразно применение конических передач, которые передают механическую энергию между валами с пересекающимися осями, однако не позволяет использовать вышеназванные конструктивные решения в виду сложности регулирования передачи. В таких редукторах оправдано применение конических передач с круговыми зубьями, которые при одинаковой нагрузочной способности существенно меньше по габаритам в сравнении с коническими передачами с прямыми зубьями; менее чувствительны к нарушению точности взаимного расположения колес; работают более плавно, имеют меньший уровень шума и более технологичны [3]. Мотор-редуктор с конической передачей включает ЭД фланцевого исполнения, соединяемый с валом-шестерней при помощи глухой муфты, например, втулочной [4], которая не снижает КПД привода в целом. Недостатком такого конструктивного решения является применение глухой муфты, которая требует точной центровки соединяемых валов, что решается проточкой центровочного пояса на поверхности ответного фланца-юбки корпуса редуктора.

При конструировании мотор-редуктора с конической передачей особое внимание уделяется конструкции подшипниковых узлов консольно нагруженного вала-шестерни. Подшипники выбирают конические, радиально-упорные, так как в передаче действуют достаточно большие осевые усилия, расположение подшипников определяет схема их установки. В редукторах с конической передачей обычно используют две схемы установки: «враспор» и «враспор» [5].

При установке подшипников «враспор» (рисунок, а) внутренние кольца подшипников упираются в дистанционную втулку или заплечики вала. Наружные кольца при этом располагаются в гладких расточках корпуса или стакана и прижимаются крышкой с внешней стороны. Для предотвращения заклинивания вала в опорах предусматривают при сборке осевой зазор, значение которого должно быть несколько больше ожидаемой тепловой деформации вала и подшипников. Регулировка подшипников осуществляется подбором металлических прокладок между крышкой подшипника и стаканом. Такая схема увеличивает жесткость вала.

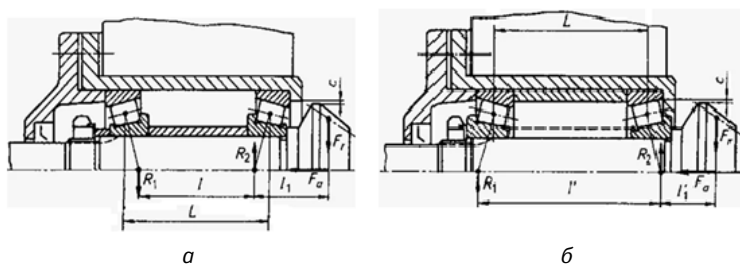


Схема установки подшипников конического вала-шестерни:

а — «враспор»; б — «враспор»

При установке подшипников «враспор» (рисунок, б) участок вала, расположенный между опорами, растягивается осевой силой, внутренние кольца подшипников зажимаются с внешней стороны и не крепятся снаружи. Наружные кольца упираются с внутренней стороны в заплечики стакана, корпуса или дистанционной втулки. Вероятность заклинивания подшипников вследствие температурных деформаций вала меньше, так как при нагревании осевой зазор в подшипниках увеличивается, при этом расстояние между подшипниками несколько больше, чем для схемы «враспор» [6].

Анализируя описанные конструкторские решения, можно отметить, что при проектировании редуктора с быстроходной конической передачей подшипники быстроходного вала целесообразно устанавливать «враспор», что позволяет избежать возможного заклинивания. В мотор-редукторах, учитывая отсутствие значительного нагрева и как следствие удлинения вала, можно рекомендовать использование схемы «враспор», как более дешевой, обеспечивающей большую жесткость консольного вала-шестерни и обладающей меньшими габаритными размерами.

Литература

- [1] Маргулис М.В. Пути совершенствования приводов различного назначения. *Вестник приазовского государственного технического университета*, 2004, № 10.
- [2] Тимофеев Б.П., Сачков М.Ю. *Передаточные механизмы приводов*, Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 2015, 103 с.
- [3] Иванов М.Н., Финогенов В.А. *Детали машин*. Москва, Высш. шк., 2010, 408 с.
- [4] Ряховский О.А., Иванов С.С. *Справочник по муфтам*. Ленинград, Политехника, 2009.
- [5] Иванов А.С., Муркин С.В. *Конструирование современных мотор-редукторов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 146 с.
- [6] Дунаев П.Ф., Леликов О.П. *Конструирование узлов и деталей машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019, 568 с.

Selection of the bearing installation scheme in a bevel gear motor

Sorokina Irina Igorevna

irina.sorokina@bmstu.ru

Dubov Igor Dmitrievich

dubovid@student.bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Options for reducing the overall dimensions of the drives due to the use of bevel gear motors with a circular tooth are considered. Possible designs of bearing assemblies of a cantilevered gear shaft have been studied. Conclusions are drawn about the expediency of their use under various operating conditions. The results can be used by students in designing the drive of a machine unit.

Keywords: gear motor, bevel gear, bearing installation schemes

УДК 621.81

Конструирование внутренней опоры соосного редуктора

Сорокина Ирина Игоревна

irina.sorokina@bmstu.ru

Азаровский Сергей Дмитриевич

azarovskiysd@student.bmstu.ru

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

Рассмотрены наиболее часто встречающиеся варианты конструкций внутренней опоры соосного редуктора. Представлены достоинства и недостатки различных схем ее организации. Сделаны выводы о целесообразности применения выбранных конструктивных решений при различных условиях эксплуатации и производства, что способствует повышению эффективности проектирования и надежности эксплуатации привода в целом. Результаты могут быть использованы при проектировании привода машинного агрегата в рамках курса обучения, а также для выполнения конструкторских разработок в научно-исследовательских работах студентов.

Ключевые слова: соосный редуктор, промежуточная опора, установка подшипников

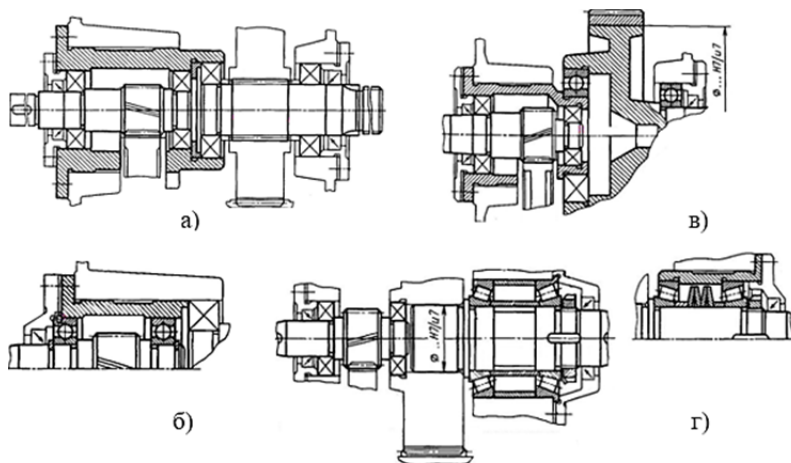
Соосные двухступенчатые редукторы широко применяются при работе в ограниченном пространстве. Этот тип редукторов позволяет обеспечить значительный крутящий момент на выходном валу с соблюдением минимальных габаритов редуктора в целом, за счет чего широко применяются в приводах конвейеров, станков, подъемно-транспортных механизмов и пр. [1]. При проектировании такого редуктора на стадии прочностного расчета межосевое расстояние определяется по условиям контактной прочности высоконагруженной тихоходной передачи, а расчет быстроходной ведется по известному межосевому расстоянию.

На стадии конструкторской проработки наиболее интересной представляется конструкция внутренней опоры. Внутренняя опора позволяет выполнять тихоходный и быстроходный вал более короткими, что повышает их жесткость, предотвращает изгиб и деформацию тихоходного, максимально нагруженного вала редуктора, позволяет равномерно распределить нагрузку. При этом конструкция опоры должна быть максимально простой и жесткой, что позволяет исключить ошибки изготовления и установки, предотвратить деформацию и разрушение опорных частей валов. Она должна быть устойчива и к внешним воздействиям, таким как вибрация, удары и температурные колебания. Кроме того, необходимо обеспечить свободный доступ к опоре для обслуживания и ремонта.

Конструкция таких опор может быть достаточно разнообразна [2, 3]. В ряде из них применяется жесткий прилив, выполненный одновременно с корпусом, где размещают подшипники тихоходного и быстроходного валов. В связи с разными типоразмерами последних, подшипник быстроходного вала устанавливается в переходную втулку, имеющую заплечики для осе-

вой фиксации в кольцевой расточке промежуточной опоры. Корпус опоры выполняется разъемным, крепление осуществляют винтами или шпильками.

При конструировании вертикального редуктора с верхним расположением выходных участков валов и в ряде горизонтальных конструкций выполняют гладкую расточку в жестком приливе корпуса, а подшипники быстроходного вала, выполненные по схеме «враспор», и подшипник выходного вала размещаются в стакане (см. рисунок, а). Недостатком конструкции является действие нагрузки от тихоходной передачи на достаточно длинный консольный участок стакана. Кроме того, при вертикальном расположении соосного редуктора необходимо предусмотреть дополнительную смазку внутренней опоры, так как картерной смазки недостаточно. Следующий возможный вариант — установка подшипников входного вала в стакан по схеме с «плавающей» опорой, при этом в общем приливе корпуса размещается подшипник тихоходного вала (см. рисунок, б). Преимущество конструкции — ее технологичность, так как прилив в корпусе не имеет уступов, что облегчает механическую обработку.



Варианты конструкции внутренней опоры соосного редуктора

В ряде случаев при конструировании необходимо сократить осевой размер корпуса. Возможным вариантом становится конструкция мотор-редуктора с выполнением опоры под подшипник тихоходного вала заодно с фланцем крепления электродвигателя, вал которого, в свою очередь, является быстроходным валом редуктора [4]. Второй возможный вариант — размещение подшипника тихоходного вала внутри колеса, при достаточных габаритах последнего (рисунок, в). Подшипники быстроходного вала при этом выставляются по схеме «враспор» в стакане, который, в свою очередь, служит опорной поверхностью для подшипника тихоходного вала. Из недостатков конструкции можно отметить обеспечение жесткости стакана и повышенную точность обработки всех поверхностей, участвующих в базировании подшипников.

Еще один из вариантов конструкции — размещение одного из подшипников быстроходного вала в колесе тихоходной передачи (см. рисунок, з). Это наиболее трудоемкий вариант компоновки, требует обеспечения соосности посадочных отверстий подшипников, что в итоге определяет повышенные требования к точности изготовления всех деталей, по которым базируются подшипники. К недостаткам указанного решения относятся: консольное расположение тихоходного колеса и передача осевых сил с одного вала редуктора на подшипники другого.

Анализируя все вышесказанное при проектировании горизонтального соосного цилиндрического редуктора привода конвейера, предпочтение отдается схеме с переходной втулкой и разъемной конструкцией корпуса опоры. При проектировании вертикального варианта рекомендуется выполнять фланцевый мотор-редуктор, уменьшающий общие габариты привода за счет отсутствия передачи между валами ЭД и редуктора. При этом следует учесть, что конструкции со ступенчатыми расточками в под промежуточную опору в корпусе редуктора технологичны только в крупносерийном и массовом производствах. Так как обработка корпуса в этом случае ведется на обрабатывающих центрах, что обеспечивает точность позиционирования подшипников в опоре.

Литература

- [1] *Что такое соосный редуктор?* URL: <https://siderus.ru/blog/tekhnologii> (дата обращения 10.04.2024).
- [2] Дунаев П.Ф., Леликов О.П. *Конструирование узлов и деталей машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019, 568 с.
- [3] *Варианты исполнений опор валов цилиндрического двухступенчатого соосного редуктора*. URL: <https://pro-techinfo.ru/konstruktsii-detalej-mashin-onlajn> (дата обращения 08.04.2024).
- [4] Иванов А.С., Муркин С.В. *Конструирование современных мотор-редукторов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 146 с.

Design of the internal support of a coaxial gearbox

Sorokina Irina Igorevna

irina.sorokina@bmstu.ru

Azarovsky Sergey Dmitrievich

azarovskiyds@student.bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The most common design options for the internal support of a coaxial gearbox are considered. The advantages and disadvantages of various schemes of its organization are presented. Conclusions are drawn about the expediency of using the selected design solutions under various operating and production conditions, which contributes to improving the design efficiency and reliability of operation of the drive as a whole. The results can be used in the design of a machine unit drive as part of a training course, as well as to carry out design developments in students' research papers.

Keywords: coaxial gearbox, intermediate support, installation of bearing

УДК 629.86

Многозвенный подъемный механизм с канатно-блочной кинематической системой

Заярный Сергей Леонидович

texnakon@yandex.ru

Владимирова Валерия Владимировна

valeriyav_1999@bk.ru

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

Рассмотрены варианты конструкций подъемников и вышек, применяемых в различных областях хозяйственной деятельности. Проанализированы особенности их применения в различных вариантах исполнения. Предложен вариант подъемного устройства, звенья которого сочленены фрикционными управляемыми шарнирами, а кинематика обеспечивается оригинальной, канатно-блочной системой. Рассмотрены варианты исполнения и особенности функционирования такой системы. Рассмотрены возможные преимущества предлагаемого подъемного по сравнению с известными прототипами.

Ключевые слова: подъемный механизм, канатно-блочная система, управляемый фрикционный шарнир, многозвенный механизм

Автомобильные подъемники и вышки — это грузоподъемные машины для вертикального или наклонного перемещения грузов и людей с одного уровня на другой в люльках и рабочих площадках, установленных на рабочем оборудовании в виде шарнирно-сочлененных колен (у подъемников) или телескопической мачты (у вышек). Большинство подъемников и вышек установлены на шасси автомобиля [1, 2].

Рабочее оборудование подъемника состоит из одного, двух или трех колен, шарнирно соединенных между собой, установленной на верхнем колене рабочей площадки (люльки), механизмов для поворота колен в вертикальной плоскости, следящей системы и дополнительного оборудования [3].

В качестве метода исследования здесь использован анализ существующего состояния, перспектив и тенденций развития грузоподъемных устройств, способов их функционирования и управления.

Цель работы — рассмотрение варианта исполнения подъемного устройства, представленного в виде многозвенного механизма, элементы которого сочленены фрикционными управляемыми шарнирами, при этом кинематика многозвенного механизма обеспечивается оригинальной канатно-блочной системой. На рис. 1 представлена схема подъемного устройства главными элементами которой являются: силовые гидравлические цилиндры 1, 2; силовые канаты 3.1, 3.2, фрикционные шарниры 4.1–4.3, блочные системы 5.1–5.3 и звенья 6.1–6.3 различного уровня. Запасовка канатов в блочную систему может быть выполнена различными способами. В случае, если канаты располагаются между центральными и подвесными блоками смежных уровней — запасовка перекрестная. Если канаты располагаются между блоками одного

вида смежных уровней — запасовка параллельная. Канатно-блочная кинематическая система при различных схемах запасовки канатов обладает различными особенностями.

На рис. 1, 2 представлен многозвенный механизм с канатно-блочной кинематической системой, с различной запасовкой канатов в различных фазах своей работы. При запасовке канатов выполненной по перекрестной схеме, рис. 1, устройство работает в режиме 170° раскрытия звеньев 6.1–6.3, т. е. в режиме подъемника с возможностью перемещения в левой рабочей зоне.

В случае параллельной запасовки силовых канатов, представленной на рис. 2, а, грузоподъемное устройство работает в режиме 340° раскрытия звеньев, т. е. с возможностью перемещения с правого рабочего положения (показано на схеме) в левое рабочее положение.

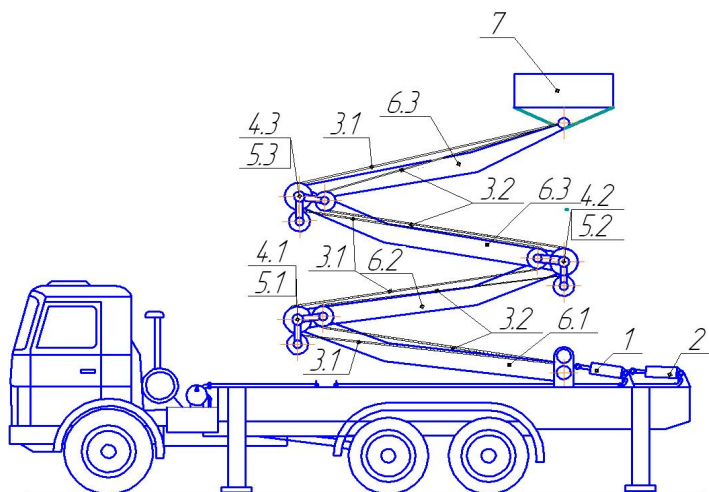


Рис. 1. Схема предлагаемого грузоподъемного устройства:

1, 2 — силовые гидравлические цилиндры; 3.1, 3.2 — канаты первой и второй линии; 4.1, 4.2, 4.3 — фрикционные шарниры различного уровня; 5.1, 5.2, 5.3 — блочные системы различного уровня; 6.1, 6.2, 6.3 — звенья различного уровня; 7 — грузовая люлька

На рис. 2, б представлена схема блочного узла. Центральный блок 1 установлен оси фрикционного шарнира с возможностью вращения. На оси фрикционного шарнира с возможностью поворота установлены подвесные блоки 2, 3 на подвесках 4.

Во всех вариантах исполнения функционирование предложенного грузоподъемного устройства обеспечивается включением (жесткая связь звеньев) или выключением (шарнирная связь звеньев), в различных комбинациях и последовательностях, управляемых фрикционных шарниров.

Во фрикционном шарнире [4], взаимодействие между втулкой и осью основывается на гидростатических свойствах жидкости сжимаемой в ограниченном объеме. В нашем случае, управляемой высокое гидростатическое давление сжатой жидкости, обеспечивает фрикционное взаимодействие оси

и втулки шарнира. При этом, шарнир трансформируется в неподвижное соединения, соединение с натягом.

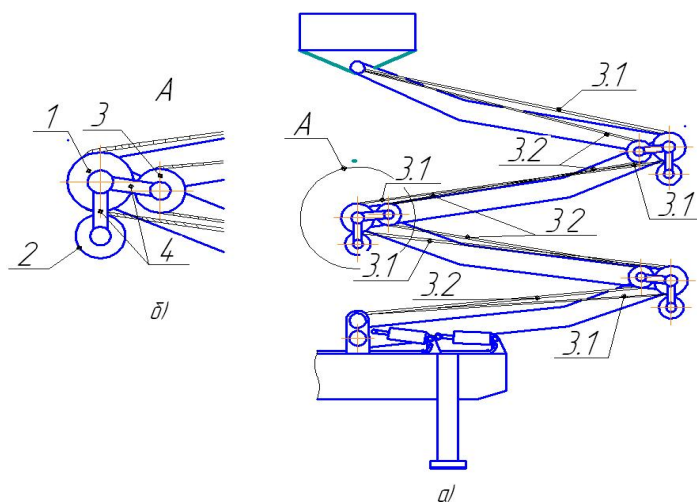


Рис. 2. Схема варианта предлагаемого грузоподъемного устройства:
а — вариант с параллельной запаской силовых канатов; *б* — схема блочной системы; 1 — центральный блок; 2, 3 — подвесные блоки; 3 — подвеска блока

Рассмотренные варианты исполнения подъемного устройства в виде многозвенного механизма, элементы которого сочленены фрикционными управляемыми шарнирами, при этом кинематика многозвенного механизма обеспечивается оригинальной канатно-блочной системой, позволили выявить его конструктивные особенности и условия функционирования. При дальнейших исследованиях предложенный вариант может рассматриваться как альтернатива известным конструктивным решениям в области грузоподъемных устройств.

Литература

- [1] Гудков Ю.И. *Автомобильные подъемники и вышки*. Москва, Высш. шк., 1992, 207 с.
- [2] *Автомобильные подъемники и вышки*. Каталог, Москва, 2001, 88 с.
- [3] Вайнсон А.А. *Подъемно-транспортные машины*. Москва, Машиностроение, 1989, 536 с.
- [4] Заярный С.Л. *Фрикционная сцепная гидростатическая муфта*. Патент № 2802704 РФ, 2023, 13 с.

A multi-link lifting mechanism with a rope-block kinematic system

Zayarny Sergey Leonidovich

texnakon@yandex.ru

Vladimirova Valeriya Vladimirovna

valeriyav_1999@bk.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The variants of the construction of lifts and towers used in various fields of economic activity are considered. The features of the application in various versions are analyzed. A variant of a lifting device is proposed, the links of which are articulated by friction-controlled hinges, and the kinematics is provided by an original, rope-block system. The variants of execution and the features of the functioning of such a system are considered. The possible advantages of the proposed lifting device in comparison with known prototypes are considered.

Keywords: *lifting mechanism, rope-block system, controlled friction joint, a multi-link mechanism*

УДК 629.86

Способ компенсации углов уклона пролетного строения мостового крана в случае сформированного кинематического уклона рельсового пути

Заярный Сергей Леонидович

texnakon@yandex.ru

Павлов Иван Дмитриевич

slepcova0330@gmail.com

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

Рассмотрено сопротивление перемещению тележки от уклона рельсового как одного из факторов, формирующих сопротивления перемещению грузовой тележки мостового крана. Рассмотрен кинематический способ компенсации углов уклона от упругих деформаций пролетного строения мостового крана. Предложен вариант грузовой тележки с гидростатическими опорами ходовых колес, гидравлически связанных с гидростатическими упорами. Предложен вариант телескопического гидростатического упора с нелинейной характеристикой по положению грузовой тележки.

Ключевые слова: мостовой крана, угол уклона, компенсация угла уклона, гидростатический упор, грузовая тележка

Жесткость металлической конструкции крана должна быть такой, чтобы упругие деформации конструкции не препятствовали движению и торможению тележки при любой нагрузке, не превышающей динамическую испытательную нагрузку. При этом ограничение вертикальной жесткости имеет конструктивные, технологические, эксплуатационные и экономические аспекты. Существо этой проблемы М.М. Гохберг видит в том, что деформации металлоконструкций ограничиваются из эксплуатационных и конструктивных соображений. Надо полагать, что требования контроля упругого прогиба в настоящее время в значительной степени определяется традицией и приводит к недоиспользованию материала по напряжениям. Существующее ограничения прогиба во многих случаях могут являться прямым препятствием для применения низколегированных сталей и легких металлов [1–3]. Проблема компенсации негативных факторов, возникающих при увеличении упругих деформаций пролетного строения крана в случае применения в его конструкции низколегированных сталей, и посвящена настоящая работа [4].

В качестве метода исследования использован анализ существующего состояния, перспектив и тенденций развития способов компенсации уклонов рельсового пути грузовой тележки мостового крана, возникающих вследствие упругих, деформация пролетного строения мостового крана.

Цель работы — представить эффективное конструктивное решения задачи обеспечения способа компенсации углов уклона пролетного строения мостового крана в случае сформированного кинематического уклона рельсового пути.

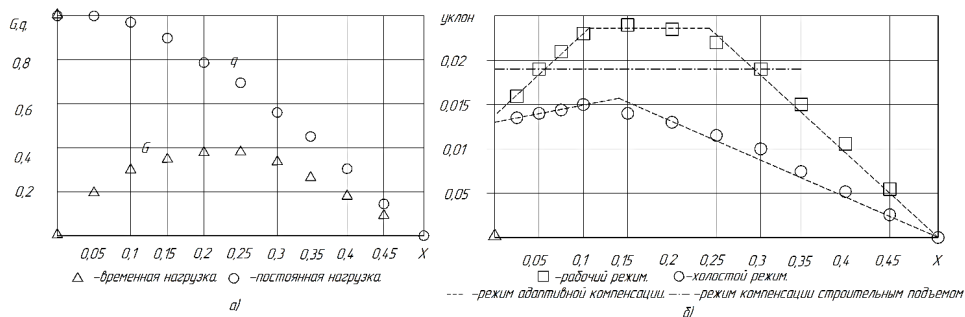


Рис. 1. Изменения параметров деформированного состояния пролетного строения мостового крана:

a — функции формы угла уклона; b — суммарные углы уклона

На рис. 1 представлены расчетные значения изменения параметров деформированного состояния пролетного строения мостового крана с пролетом 34,5 м, грузоподъемностью 10 т, выполненного из прокатного двутавра 60Б2 ГОСТ 26020 с прочностной характеристикой $R_y = 370$ МПа.

На рис. 1, a представлены графики изменения функций формы относительных углов уклона, вызванных деформациями от постоянной нагрузки, какой является собственный вес пролетного строения, и переменной нагрузки, какой является вес тележки или груза.

На рис. 1, b представлены суммарные значения углов уклона от постоянной и переменной нагрузок. Видно, что они могут быть аппроксимированы кусочно-линейными функциями при изменениях относительных координат положения груза в пределах: $0 < \chi < 0,1$; $0,1 < \chi < 0,25$; $0,25 < \chi < 0,5$. Компенсация углов уклона с линейной характеристикой на участке $0,25 < \chi < 0,5$ может быть обеспечена кинематическим способом, за счет формирования кинематический угла уклона [5]. Этот способ предполагает установку пролетного строения на упругие опоры, вследствие чего отрицательный кинематический уклон формируется пропорционально с изменением положения грузовой тележки. В этом случае компенсация углов уклона с линейной характеристикой на участке $0,1 < \chi < 0,25$ обеспечивается при блокировке упругие опоры.

Компенсация отрицательных суммарных углов уклона при крайних положения грузовой тележки $0 < \chi < 0,1$ может быть обеспечена в случае реализации предлагаемой схемы грузовой тележки с гидравлически связанными опорной гидростатической опорой и телескопическим упором [6], представленной на рис. 2. В этом случае компенсация отрицательного уклона обеспечивается горизонтальным усилием, возникающим при взаимодействии телескопического штока 6 упорного гидроцилиндра 5 с концевым упором перемещения грузовой тележки. При этом, за счет гидравлической связи 7 упорного гидроцилиндра с опорными цилиндрами ходовых колес 4, компенсирующее усилие будет пропорционально весу груза и, следовательно, про-

порционально отрицательному кинематическому уклону, сформированному при крайних положениях грузовой тележки.

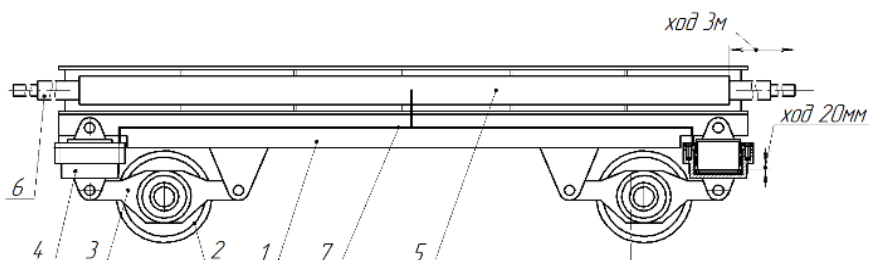


Рис. 2. Конструктивная реализация системы компенсации угла уклона подтележечного рельсового пути мостового крана:

- 1 — рама; 2 — ходовые колеса; 3 — рычаг; 4 — гидростатическая опора грузовой тележки;
5 — гидростатический упор; 6 — телескопический шток гидростатического упора;
7 — гидравлическая линия

Проведенный анализ характерных особенностей некомпенсированного уклона рельсового пути пролетного строения мостового крана позволил представить эффективное конструктивное решения задачи обеспечения компенсации углов уклона пролетного строения мостового крана в случае сформированного кинематического уклона рельсового пути.

Литература

- [1] Гохберг М.М. *Металлические конструкции подъемно транспортных машин*. Москва, Машиностроение, 1969, 522 с.
- [2] Шабашов А.П., Лысяков А.Г. *Мостовые краны общего назначения*. Москва, Машиностроение, 1980, 304 с.
- [3] Соколов С.А. *Металлические конструкции подъемно транспортных машин*. Санкт-Петербург, Политехника, 2005, 423 с.
- [4] Заярный С.Л. *Мостовой кран*. Патент № 2803209 РФ, 2023, 13 с.
- [5] Заярный С.Л. *Мостовой кран*. Патент № 2812012 РФ, 2023, 13 с.
- [6] Никитин О.Ф. *Гидравлика и гидропневмопривод*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 414 с.

A method for compensating the slope angles of a bridge crane superstructure in the case of a formed kinematic slope of a rail track

Zayarny Sergey Leonidovich

texnakon@yandex.ru

Pavlov Ivan Dmitrievich

slepcova0330@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The resistance to the movement of the trolley from the rail slope is considered as one of the factors forming the resistance to the movement of the cargo trolley of the overhead crane. The kinematic method of compensation of slope angles from elastic deformations of the bridge crane superstructure is considered. A variant of a cargo truck with hydrostatic undercarriage supports, hydraulically connected at the extreme positions of the cargo truck, is proposed. A variant of a telescopic hydrostatic stop with a nonlinear characteristic of the position of the cargo truck is proposed.

Keywords: overhead crane, the angle of the slope, slope angle compensation, hydrostatic stop, cargo truck

***Секция 10. Математическое
моделирование и физико -
математические проблемы
проектирования сложных
технических систем***

УДК 621.391.15

Оптимальное оценивание

Силаева Наталья Альбертовна

silaeva1968@list.ru

Горбунов Александр Константинович

kf_mgtu_fiz@mail.ru

Герасимова Наталия Сергеевна

sng-2009@mail.ru

Логинова Алла Юрьевна

kf_mgtu_fiz@mail.ru

Илюхина Ирина Владиславовна

ilykhinaira8@mail.ru

Илюхин Данила Владиславович

iluhind098@gmail.com

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

Предложена методологическая концепция оптимизации информационно-вычислительных систем, основная на системном подходе к выбору состава, дислокации, конфигурации, алгоритмов функционирования и значений качественных показателей компонентов системы и их связей. Критерием оптимизации является сумма затрат на реализацию и функционирование системы и интегральных стоимостных потерь, которые возникают у потребителей информации вследствие не идеальности системы. Рассмотрены наиболее оптимальными методами удаления невидимых поверхностей с точки зрения затрат вычислительных ресурсов и процессорного времени является класс методов построчного сканирования.

Ключевые слова: *доверительный интервал, доверительный уровень, функция надежности, граница случайного кодирования*

Рассматривается специальная задача радиотехнических измерений, близкая по постановке к задаче передачи по дискретному каналу с бесшумной обратной связью.

Пусть неизвестный параметр θ принимает значения на отрезке $[0, 1]$. Используя n измерений, каждое из которых характеризуется точкой измерения ξ , требуется оценить неизвестный параметр. Результатом каждого измерения является число, принимающее одно из двух значений, 0 или 1, причем условные вероятности этих значений зависят от того, по какую сторону точки измерения находится параметр θ :

$$P(1/\theta \leq \xi) = q; \quad P(0/\theta \leq \xi) = q;$$

и

$$P(0/0 \leq \xi) = p; \quad P(1/\theta \leq \xi) = p, \quad (1)$$

где $q > 1/2, p = 1 - q$. Вероятность p назовем вероятностью ошибки измерения.

Задача состоит в том, чтобы после n измерений, где n фиксированное число, оценить параметр θ . При выборе каждой точки измерения разрешается использовать всю информацию о предыдущих наблюдениях. Качество измерения определяется длиной доверительного интервала Δ и доверительным

уровнем P_e . Последний определяется как вероятность того, что оцениваемый параметр не принадлежит доверительному интервалу.

Назовем $-\frac{\ln \Delta}{n} = R$ скоростью измерений. Введем также параметр ρ , $\rho < 1/2$, определяемый соотношением

$$R = \ln 2 + (1 - \rho) \ln 2(1 - \rho). \quad (2)$$

Основной результат состоит в доказательстве существования стратегии измерений, для которой доверительный уровень P_e при фиксированном R стремится к 0 экспоненциально с ростом n при всех $R < q \ln 2q + \ln 2$.

Величину $-\frac{\ln P_e}{n} = E = E(R)$ назовем функцией надежности измерений.

Скорость

$$R_{\text{кр}} = \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{p} + \sqrt{q}} \ln \frac{2\sqrt{p}}{\sqrt{p} + \sqrt{q}} + \frac{\sqrt{q}}{\sqrt{p} + \sqrt{q}} \ln \frac{2\sqrt{q}}{\sqrt{p} + \sqrt{q}} \quad (3)$$

назовем критической скоростью [1].

Теорема. Существует конструктивный метод измерений, для которого функция надежности $E(R)$ ограничена снизу неравенством

$$E(R) \geq \begin{cases} \ln \frac{\rho}{p} + (1 - \rho) \ln \frac{1 - \rho}{q}, & R > R_{\text{кр}}; \\ \ln \frac{2}{1 + \sqrt{4qp}} - R, & R \leq R_{\text{кр}}. \end{cases} \quad (4)$$

Неравенство (4) известно в теории передачи сообщений как «граница случайного кодирования» [2].

Поясним основную идею доказательства для $R > R_{\text{кр}}$ в случае, когда $1/\Delta$ целое. Разобьем отрезок $[0, 1]$ значений параметра на $1/\Delta$ частей. Рассмотрим класс стратегий, для которых в качестве точек измерения выбираются лишь точкой вида $i\Delta$, где i — целое число. Пусть измеритель после каждого измерения вычисляет апостериорные вероятности нахождения измеряемого параметра в каждой из $1/\Delta$ частей, причем априорные вероятности считаются равной не p , а ρ . Если медиана апостериорного распределения имеет вид $i\Delta$, где i — целое, она выбирается в качестве следующей точки измерения. В противном случае в качестве точки измерения выбирается случайным образом одна из двух ближайших к медиане допустимых точек измерения. Вероятности выбора этих точек зависят от их расстояния до медианы. Доказывается, что функция надежности $E(R)$ такого метода удовлетворяет неравенству (4) [3, 4].

Некоторого улучшения границы (4) при $R < R_{кр}$ можно добиться методом, аналогичным методу «вычеркивания» кодов. Рассмотрен также случай, когда число измерений — случайное число.

При отображении трехмерных сцен в системах машинной графики создание геометрических информационных моделей отображаемых объектов и их проецирование на экранную плоскость является наиболее трудоемкой задачей и требует значительных затрат оперативной памяти и вычислительных ресурсов. Существующие синтезирующие системы визуализации (ССВ) для решения данной задачи содержат иерархические структуры, включающие в себя сценарный, геометрический и дисплейный процессор [1]. Это позволяет выполнить требования, предъявляемые к ССВ по гибкости создания геометрических информационных моделей и по времени их отображения. Однако при этом появляется многократное представление одинаковой по содержанию информации иерархических уровнях ССВ.

Основным путем сокращения избыточности представления информационных моделей отображаемых объектов в ССВ является формирование локальной базы данных геометрического процессора и без избыточной базы данных реального времени (БДРВ) дисплейного процессора.

Локальная база данных содержит информационные модели потенциально видимых объектов на уровне характеристического описания геометрических примитивов. БДРВ содержит сжатое описание изображения формируемого на экранной плоскости. Сокращение избыточности БДРВ достигается за счет удаления невидимых поверхностей геометрических информационных моделей отображаемых объектов при их ортогональном аксонометрическом проецировании на экранную плоскость.

Наиболее оптимальными методами удаления невидимых поверхностей с точки зрения затрат вычислительных ресурсов и процессорного времени является класс методов построчного сканирования. Это обусловлено использованием информации о когерентности сканирующих строк и переходом из трехмерного пространства объектов в двумерное пространство изображения. При формировании изображения трехмерной сцены P информационные модели Φ_k реальных объектов имеют различные области существования в пространстве объектов [2]. Случай отображения пересекающихся информационных моделей может быть сведен к формированию изображений взаимонепроникающих объектов [3] в подрпространствах объектов $W(\Phi_\alpha)$. При этом трехмерная сцена P может быть разделена на φ взаимонепроникающих друг в друга пространств объектов $W(\Phi_\alpha)$, в каждом из которых существует только один выпуклый многогранник Φ_α таким образом, что

$$P = \sum_{\alpha=1}^{\varphi} W(\Phi_\alpha), \quad \alpha > K. \quad (5)$$

Следовательно, задача удаления невидимых поверхностей разделяется на два этапа. На первом этапе производится определение видимых выпуклых

многогранников. На втором этапе определяется видимость граней $\{\Gamma_j\}$ каждого выпуклого видимого многогранника. Второй этап значительно упрощается, если каждый выпуклый многогранник Φ_α в пространстве объекта $W(\Phi_\alpha)$ может быть однозначно разложен на ψ непересекающихся объемов $V_\beta\{\Gamma_\varepsilon\}$, в каждом из которых существует не перекрывающиеся по координате Z грани $\{\Gamma_\varepsilon\}$ многогранника, таким образом, что

$$P = \sum_{\alpha=1}^{\Phi} \sum_{\beta=1}^{\Phi} V_{\alpha,\beta} \{\Gamma_\varepsilon\}, \quad (6)$$

где $\{\Gamma_\varepsilon\} \in \{\Gamma_j\} \forall V_\beta\{\Gamma_\varepsilon\} : \Gamma\{\varepsilon\} \neq \emptyset$.

При этом задача определения видимых поверхностей сводится к однозначному определению в каждой точке (x, y) пространства изображения видимой грани пространства объекта в соответствии с приоритетом $\Gamma(Z)$.

Литература

- [1] Галлагер Р.Г. Коды с малой плотностью проверок на четность. Москва, Мир, 1966, 144 с.
- [2] Мак-Вильямс Ф.Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2012, 744 с.
- [3] Гихман И.И., Скороходов А.В. Введение в теорию случайных процессов. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2015, 557 с.
- [4] Шеннон К.Э. Математическая теория связи. Москва, ФИЗМАЛЛИТ, 2017.

Optimal assessment

Silaeva Natalia Albertovna

silaeva1968@list.ru

Gorbunov Alexander Konstantinovich

kf_mgtu_fiz@mail.ru

Gerasimova Natalia Sergeevna

sng-2009@mail.ru

Loginova Alla Yurievna

kf_mgtu_fiz@mail.ru

Ilyukhina Irina Vladislavovna

ilykhinaira8@mail.ru

Ilyukhin Danila Vladislavovich

iluhind098@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The methodological concept of optimization of information and computing systems is proposed, based on a systematic approach to the selection of composition, dislocation, configuration, algorithms of functioning and values of qualitative indicators of system components and their connections. The optimization criterion is the sum of the costs of the implementation and operation of the system and the integral cost losses that arise from consumers of information due to the imperfection of the system. The most optimal methods of removing invisible surfaces in terms of computing resources and processor time are considered to be a class of line-by-line scanning methods.

Keywords: confidence interval, confidence level, reliability function, boundary of random coding

УДК 621.391.15

Расчет характеристик кодирования

Силаева Наталья Альбертовна	silaeva1968@list.ru
Горбунов Александр Константинович	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Герасимова Наталия Сергеевна	sng-2009@mail.ru
Логинава Алла Юрьевна	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Илюхина Ирина Владиславовна	ilykhinaira8@mail.ru
Илюхин Данила Владиславович	iluhind098@gmail.com

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

Введены и исследованы локально изометрические кодирования. Найдены конструкции таких кодирований таких кодирований для некоторых дискретных пространств, в частности целочисленных решеток. Рассмотрены применения кодов, сохраняющих метрические свойства близости и отделимости элементов кодируемого множества. Решена задача получения точных вероятностных характеристик помехоустойчивости подблочного декадирования. Предложены формулы для вычисления оценок параметров модели дискретного канала связи по потоку ошибок конечной модели рассматривается функция конечной марковской или псевдомарковской цепи.

Ключевые слова: линейный сверточный код, длина ребра решетки, состояние кодера, декодирование по вероятности

Пусть двоичный линейный сверточный код со скоростью $R_0 = k/n$, длиной ходового ограничения ν и длиной ребра ходовой решетки n задается кодирующим выражением

$$\bar{x}_t = \bar{a}_t G_0 + \bar{a}_{t-1} G_1 + \dots + \bar{a}_{t-\nu+1} G_{\nu-1}, \quad (1)$$

где $\bar{a}_t$ — вектор из k двоичных символов (сообщение) на входе кодера в момент времени t , $\bar{a}_t \in \{m_1, m_2, \dots, m_q\}$, $q = 2^k$; $\bar{x}_t$ — подблок из n кодовых символов на выходе кодера в момент t ; G — двоичная матрица размерности $(k \times n)$; $t = 0, 1, 2, \dots$, $a_i = 0$ для $i < 0$.

Словосверточный код представляется в виде последовательности подблоков длины n каждый, образуемых на выходе кодера. Последовательность $\bar{S}_t = (\bar{a}_{t-1}, \dots, \bar{a}_{t-\nu+1})$ называется состоянием кодера в момент кодирования сообщения $\bar{a}_t$.

При поблочном декадирования очередная оценка сообщения $\tilde{a}_t \in \{m_1, m_2, \dots, m_q, *\}$ (* — символ стирания) вычисляется по некоторому правилу:

$$\tilde{a}_t = \varphi(\hat{x}_t), \quad (2)$$

где $\varphi(\hat{x}_t)$ задает декодирование принятого из канала подблока $\hat{x}_t$ в смежном классе блокового кода с порождающей матрицей G_0 . Образующий h_t этого смежного класса определяется по ранее вычисленным оценкам:

$$h_t = \tilde{a}_{t-1}G_1 + \dots + \tilde{a}_{t-v+1}G_{v-1}.$$

Выдача очередного сообщения осуществляется с задержкой на τ подблоков. Состоянием декодера при декодировании $\hat{x}_t$ называется последовательность $\tilde{S}_t = (\tilde{a}_{t-1} + \dots + \tilde{a}_{t-v+1})$. Каждому состоянию $\tilde{S}_t$ декодера на кодовой решетке соответствует узел из которого исходит множество ребер, образующих блоковый (n, k) код $A(\tilde{S}_t) = \{\bar{x}_{m1}(\tilde{S}_t), \bar{x}_{m2}(\tilde{S}_t), \dots, \bar{x}_{mq}(\tilde{S}_t)\}$. Декодер, приняв очередной подблок, декодирует его на множестве слов этого кода со стиранием.

Эффект, достигаемый от подобной процедуры в каналах с обратной связью (ОС), исследован для случайных ходов и декодирования по вероятности. Практическое использование подблочного декадирования в протоколах с ОС и каскадных конструкциях связано с применением в качестве $\varphi(\hat{x}_t)$ (2) неполного декадирования по минимальному расстоянию и кодов, в которых такое декадирование просто реализуется [1].

В работе решена задача получения точных вероятностных характеристик помехоустойчивости подблочного декадирования для правила φ , определяемого следующим образом. Если для принятого слова $\hat{x}_t$ найдется такое $\bar{x}_{mi}(\tilde{S}_t) \in A(\tilde{S}_t)$, что $\text{dist}(\hat{x}_t, \bar{x}_{mi}) \leq R$, то принятое слово декодируется как $\bar{x}_{mi}$, и формируется оценка сообщения $\tilde{a}_t = m_i$, в противном случае происходит отказ от декадирования. Заметим, что минимальное столбцовое расстояние d_m в рассматриваемом случае должно удовлетворять неравенству $d > 2R$. Пусть передача ведется по двоичному симметричному каналу без памяти с переходной вероятностью $p < 1/2$. Для рассматриваемой модели допустимо считать, что по каналу передается нулевое кодовое слово.

Процесс декадирования может быть описан как движение по направленному графу (диаграмме состояний), вершины которого соответствуют состояниям декодера, а ребрам, соединяющим состояния, приписаны последовательности длины n на входе декодера, вызывающие соответствующий переход.

При $R = 0$ переход из состояния в состояние возможен, если вектор ошибки длины n совпадает с одним из подблоков сверточного кода. В этом случае ребра рассматриваемого графа (назовем его исходным) представляют собой подблоки сверточного кода.

Пример 1. Определяем вероятность ошибки как вероятность события, заключающегося в том, что декодер впервые свернул с нулевого пути и прошел по замкнутому пути. Вычисление может быть заполнено по формуле

$$P_{\text{ош}} = \sum_{I=1}^{\infty} \sum_{J=1}^{\infty} A(I, J) p^I (1-p)^{n-J-I}, \quad (3)$$

где $A(I, J)$ — количество путей веса I и длины J , вычисляемой на ребрах, на описанном графе, замкнутых на нулевое состояние. Понятно, что для кода со свободным расстоянием d и кодовым ограничением v , $A(I, J) = 0$ для $I < d_f$, $J < v$.

В случае $R > 0$ переход из состояния в состояние происходит если конфигурация ошибки такова, что принятый подблок находится на расстоянии R или менее от соответствующего подблока, определяющего переход на исходном графе. Тогда для расчетов потребуется граф, полученный из исходного следующим способом. Каждое ребро веса L , соединяющее два состояния, заменим пучком из $M(I, L)$ ребра веса I каждое $(I = \overline{0, n})$. Здесь функция $M(I, L)$ определяет количество векторов веса I , ошибочно декодируемых в кодовые слова веса L блочного (n, k) кода, и может быть вычислена по формуле, получаемой как следствие из результатов работы [2]:

$$M(I, L) = \sum_{J_1=\max(Q_1, Q_2)}^{\min(I, L)} C_L^{J_1} \cdot C_{N-L}^{I-J_1}, \quad (4)$$

где $Q_1 = \left\lceil \frac{I+L-R}{2} \right\rceil$, $Q_2 = I - (n - L)$.

Поясним преобразования графа на примере. Пусть состояния S_i и S_j соединены на исходном графе ребром веса $L = 4$. Длины $n = 4$ двоичных символов, $R = 1$ (рис. 1). Вычисления по формуле (4) дают:

$$M(0, 4) = M(1, 4) = M(2, 4) = 0; M(3, 4) = 4, M(4, 4) = 1.$$

Преобразованный фрагмент графа представлен на рис. 2.

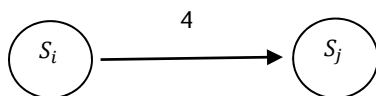


Рис. 1. Пример преобразования графа

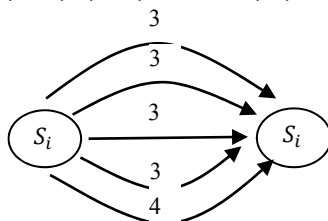


Рис. 2. Преобразованный фрагмент графа

Пример 2. Формула для вычисления вероятности ошибки при $R > 0$ (см. определение в примере 1) имеет вид:

$$P_{oui} = \sum_{I=1}^{\infty} \sum_{J=1}^{\infty} B(I, J) p^I (1-p)^{n-J-I}.$$

Здесь $B(I, J)$ — функция аналогичная $A(I, J)$ в формуле (3), но вычисляемая по преобразованному графу.

Функции $A(I, J)$ и $B(I, J)$ из примеров 1 и 2 вычисляются известным способом [3, 4] из систем уравнений, записываемых по диаграммам состояний.

Расчет вероятностных характеристик помехоустойчивости при поблочном декодировании сверточных кодов сводится к вычислению вероятностей движения декодера по соответствующим траекториям на диаграмме состояний. При использовании неполного декодирования по минимуму расстояния ($R > 0$) диаграмма получается из исходной указанной в работе способом.

Литература

- [1] Галлагер Р.Г. *Коды с малой плотностью проверок на четность*. Москва, Мир, 1966, 144 с.
- [2] Мак-Вильямс Ф.Дж. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2012, 744 с.
- [3] Гихман И.И., Скороходов А.В. *Введение в теорию случайных процессов*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015, 557 с.
- [4] Шеннон К.Э. *Математическая теория связи*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2017.

Calculation of coding characteristics

Silaeva Natalia Albertovna

silaeva1968@list.ru

Gorbunov Alexander Konstantinovich

kf_mgtu_fiz@mail.ru

Gerasimova Natalia Sergeevna

sng-2009@mail.ru

Loginova Alla Yurievna

kf_mgtu_fiz@mail.ru

Ilyukhina Irina Vladislavovna

ilykhinaira8@mail.ru

Ilyukhin Danila Vladislavovich

iluhind098@gmail.com

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

Locally isometric encodings are introduced and investigated. Constructions of such encodings of such encodings for some discrete spaces, in particular integer lattices, are found. The applications of codes preserving the metric properties of proximity and separability of elements of the encoded set are considered. The problem of obtaining accurate probabilistic characteristics of the noise immunity of the subunit decadence is solved. Formulas are proposed for calculating estimates of the parameters of the model of a specific communication channel based on the error stream of the final model, the function of a finite Markov or pseudo-Markov chain is considered.

Keywords: linear convolutional code, lattice edge length, encoder state, probability decoding

УДК 51-74

Расчет формы сосуда с равномерно вытекающей жидкостью

Зенкина Ирина Александровна

zenkinaia@bmstu.ru

Зенкин Вячеслав Николаевич

zenkinvn@student.bmstu.ru

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

Рассмотрена задача о течении жидкости из сосуда, удовлетворяющем следующему условию: жидкость должна вытекать равномерно из отверстия маленького диаметра, расположенного на дне сосуда. Рассмотрено состояние жидкости в сосуде в произвольный момент времени, составлено дифференциальное уравнение течения жидкости. Уравнение проинтегрировано с учетом заданных начальных условий с учетом равномерного течения. Доказано, что сосуд требуемой формы является телом вращения. Получено уравнение поверхности вращения, определяющей форму сосуда.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение, равномерное течение жидкости, поверхность вращения

Люди с древних времен задумывались о возможности измерения времени. С древнейших времен до наших дней были придуманы и созданы различные виды часов: солнечные, водяные, песочные, огненные, масляные, механические, электронные, атомные. В древние века требовались часы, которые могли достаточно точно определять длительность промежутков времени и при этом не зависеть от погоды, как это было для солнечных часов. Примерно в 1400 г. до нашей эры в Древнем Египте были изобретены водяные часы. Они были точнее солнечных и могли показывать время не только в солнечную погоду, но и в пасмурную, а также ночью. Они представляли собой сосуд, заполненный водой, с отверстием на дне или около дна. Основная проблема состояла в том, чтобы добиться того, чтобы вода вытекала из сосуда равномерно, тогда по отметкам на нем и уровню оставшейся воды можно было бы судить о прошедшем времени. Этому древние умельцы пытались добиться опытным путем, экспериментируя с формой сосуда. Водяные часы изготавливались конической и полусферической формы. Однако ни та, ни другая не давали требуемого результата. Опытным путем были получены сосуды формы, необходимой для равномерного течения жидкости. Современный уровень развития математики позволяет определить форму сосуда с заданными характеристиками аналитически.

Задача состоит в определении формы сосуда, обладающего следующими характеристиками. Сосуд заполнен водой, которая может вытекать через отверстие, находящее на его дне. Форма сосуда должна быть такой, чтобы высота жидкости в нем уменьшалась равномерно. Сосуд такой формы может служить в качестве водяных часов, по изменению уровня воды в нем можно судить о прошедшем времени [1]. Задача решается методами дифференциального и интегрального исчисления.

Рассмотрим сосуд требуемой формы. Пусть в начальный момент времени t_0 высота жидкости в нем составляет h , м, площадь отверстия на дне сосуда равна s , м². Рассмотрим некоторый произвольный момент времени. Пусть в текущий момент времени t высота жидкости в сосуде равна z , м, а площадь сечения сосуда на этом уровне равна $S(z)$, м². Скорость истечения жидкости в зависимости от высоты ее столба $v(z)$ в момент времени t определяется равенством [2]

$$v(z) = k\sqrt{2gz},$$

где k — коэффициент вытекания жидкости из отверстия.

Рассмотрим равномерное течение жидкости. Будем считать, что за время dt уровень жидкости в сосуде понизится на dz . Таким образом, объем жидкости в сосуде уменьшится на величину, равную $S(z)dz$. С другой стороны, объем вытекшей жидкости можно найти как произведение площади отверстия на высоту столбика жидкости vdt , т. е. $V = svdt = sk\sqrt{2gz}dt$.

Приравняв объемы, полученные двумя способами, получим уравнение

$$sk\sqrt{2gz}dt = -S(z)dz.$$

Перепишем его в следующем виде:

$$\sqrt{z} = -\frac{S(z)}{sk\sqrt{2g}} \cdot \frac{dz}{dt}.$$

Данное уравнение является дифференциальным уравнением. Однако здесь есть некоторые сложности: неизвестная функция площади поперечного сечения от координаты z . В силу симметричности сосуда его можно считать поверхностью вращения некоторой кривой относительно вертикальной оси [3, 4]. Тогда площадь сечения, соответствующая высоте жидкости z , может быть записана как $S(z) = \pi r^2$.

Дифференциальное уравнение принимает следующий вид:

$$\sqrt{z} = -\frac{\pi r^2}{sk\sqrt{2g}} \cdot \frac{dz}{dt}.$$

Здесь можно считать величину скорости течения жидкости $\frac{dz}{dt} = v_z$ постоянной в силу равномерного истечения жидкости. С учетом данного условия получаем следующее уравнение:

$$\sqrt{z} = -\frac{\pi r^2}{sk\sqrt{2g}} \cdot v_z.$$

Возведем обе части полученного уравнения в квадрат. В результате получим уравнение кривой, вращением которой вокруг вертикальной оси и задается сосуд с искомыми характеристиками:

$$z = \frac{\pi^2 v_z^2}{2s^2 k^2 g} \cdot r^4.$$

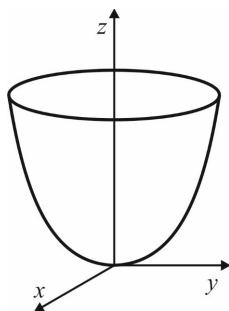
Удобно ввести следующее обозначение: $b = \frac{\pi^2 v_z^2}{2s^2 k^2 g}$. С учетом него предыдущее равенство может быть записано в виде

$$z = b \cdot r^4.$$

Таким образом, сосуд с требуемыми характеристиками получается вращением кривой $z = b \cdot r^4$ вокруг оси z и представляет собой поверхность вращения, задаваемую следующим уравнением:

$$z = \frac{b}{2} (x^4 + y^4).$$

Построим поверхность вращения, форму которой имеет сосуд (рисунок). Для создания водяных часов в древнее время экспериментально получали сосуды именно такой формы.



Форма сосуда

В работе была рассмотрена задача об определении формы сосуда с жидкостью, вытекающей из него равномерно. После составления и решения дифференциального уравнения, определяющего течение жидкости, было получено уравнение поверхности вращения, задающей форму сосуда и построен ее график.

Литература

- [1] Амелькин В.В. *Дифференциальные уравнения в приложениях*. Москва, Наука, 1987, 160 с.
- [2] Зенкина И.А. *Математическое моделирование газодинамических подшипников со спиральными канавками*. Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Калуга, 2004, 262 с.
- [3] Егоров А.И. *Обыкновенные дифференциальные уравнения с приложениями*. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2005, 384 с.
- [4] Ибрагимов Н.Х. *Практический курс дифференциальных уравнений и математического моделирования. Классические и новые методы. Нелинейные математические модели. Симметрия и принципы инвариантности*. Нижний Новгород, Изд-во Нижегородского университета, 2007, 421 с.

Calculation of the shape of a vessel with a uniformly flowing liquid

Zenkina Irina Aleksandrovna

zenkinaia@bmstu.ru

Zenkin Vyacheslav Nikolaevich

zenkinvn@student.bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The problem of the flow of liquid from a vessel satisfying the following condition is considered: the liquid must flow evenly from a small diameter hole located at the bottom of the vessel. The state of the liquid in the vessel at an arbitrary moment of time is considered, and a differential equation of the liquid flow is compiled. The equation is integrated taking into account the given initial conditions, taking into account the uniform flow. It is proved that the vessel of the required shape is a body of rotation. The equation of the surface of rotation determining the shape of the vessel is obtained.

Keywords: differential equation, uniform fluid flow, surface of rotation

Содержание

Секция 1. Прогрессивные технологии, оборудование и инструментальные системы	3
<i>Юн А.В., Мусохранов М.В.</i> Получение заготовок из бронзы БрАМц9-2	5
<i>Волков Е.Р., Журавлева Т.А.</i> Методы сверления глубоких отверстий	8
<i>Дмитриев А.Н., Мусохранов М.В.</i> Балансировка деталей	11
<i>Беликова Е.В., Мусохранов М.В.</i> Анализ зависимости изнашивания поверхностей металлических деталей от их шероховатости	14
<i>Беликова Е.В., Мусохранов М.В.</i> Кривая Эбботта — Файрстоуна как перспективный параметр оценки шероховатости	18
<i>Петрова Ю.С., Бысов С.А.</i> Исследование методов получения шпоночных пазов	22
<i>Малиновский А.Н., Аракелян С.А.</i> Выбор рационального способа получения заготовок из стали 20	26
<i>Мамонов М.А., Мусохранов М.В.</i> Методы многокритериального принятия решений	29
<i>Кондратенко И.С., Зенкин Н.В.</i> Влияние режимов резания и геометрических параметров инструмента на процесс фрезерования концевыми фрезами	33
<i>Костенко К.Д., Малышев Е.Н.</i> Обоснование выбора метода обеспечения шероховатости при обработке внутренних цилиндрических поверхностей	36
<i>Косолапов А.Е., Зенкин Н.В.</i> Термическая обработка заэвтектоидных сталей	39
<i>Беспалов Г.А., Малышев Е.Н.</i> Сокращение времени обработки	42
<i>Мамонов М.А., Мусохранов М.В.</i> Использование методов многокритериального принятия решений для оптимизации подбора оборудования	45
<i>Романов А.В., Мусохранов М.В.</i> Анализ производственного процесса изготовления сварных конструкций типа рам	51
<i>Романов А.В., Мусохранов М.В.</i> Разработка группового производственного процесса изготовления сварных рам для серийных условий	55
<i>Свинарев К.Д., Бысов С.А.</i> Сравнение методов нарезания метрической резьбы	59
<i>Костышен М.О., Вяткин А.Г.</i> Выбор рациональных методов изготовления шлицевой поверхности на валу	63
<i>Талагаев Д.А., Малышев А.Н.</i> Усовершенствование технологического процесса путем внедрения в него штамповой оснастки	66
<i>Талагаев Д.А., Малышев А.Н.</i> Усовершенствование технологического процесса путем внедрения в него технологии Centerdrill	70
<i>Шинелев С.В., Мусохранов М.В.</i> Методы контроля допуска круглости деталей машин	74
<i>Ремезов С.Е., Малышев Е.Н.</i> Методы бесконтактного контроля износа инструмента	77

<i>Борисов С.А., Бысов С.А.</i> Исследование влияния состава и характеристик сплава на литейные свойства при литье в песчано-глинистые формы	81
<i>Савонов Р.Н., Журавлева Т.А.</i> Исследование методов упрочнения конструкционных сталей	85
<i>Тоиржонов О.З., Малышев Е.Н.</i> Влияние технологической наследственности на качество деталей в ходе их эксплуатации	88
<i>Германов Д.А., Малышев Е.Н.</i> Мобильные приложения для расчета режимов резания при токарной обработке	91
Секция 2. Технологии и машины сварочного производства	95
<i>Орлик А.Г., Орлик Г.В., Иванов Е.И.</i> Обзор литературных источников по теме «Способы управления фазовым составом и структурой металла, полученного наплавкой»	97
<i>Чернова Т.Г., Коновалов А.С.</i> Особенности изготовления корпусов толстостенных сосудов давления	100
Секция 3. Физика конденсированного состояния и электронная техника	105
<i>Корнев С.А., Андреев В.В.</i> Алгоритм программы расчета показателей надежности подзатворного диэлектрика МДП-приборов	107
<i>Ботов А.Н., Адарчин С.А.</i> Микроконтактная сварка в микроэлектронике	110
<i>Власовский А.И., Пуляев В.А., Андреев В.В.</i> Некоторые сведения о фильтрации помех при измерении токов трехфазной схемы в микроконтроллерных системах управления	113
<i>Борисов Е.О., Гришин Г.К., Андреев Д.В.</i> Разработка устройства для измерения входного дифференциального сопротивления и выходного дифференциального сопротивления сдвоенного приемопередатчика манчестерского кода	117
<i>Карпухина М.В., Андреев Д.В.</i> Исследование генератора, управляемого напряжением на ультравысоких частотах	121
<i>Пиуновский А.Р., Адарчин С.А.</i> Особенности применения оптронов для фильтрации шума	125
<i>Обидина А.С., Кузнецов В.В.</i> Обработка радиолокационных сигналов: искусственное сжатие и цифровой синтез	129
<i>Гришин Г.К., Борисов Е.О., Андреев Д.В.</i> Исследование температурной зависимости источника опорного тока REF200	133
<i>Белинский Д.Н., Андреев Д.В.</i> Разработка устройства для измерения коэффициента влияния нестабильности питания на напряжение смещения нуля инструментального усилителя	138
<i>Шушунов Д.В., Адарчин С.А.</i> Сравнительный анализ устройств маршрутизации информации	142
<i>Силаев Н.И., Андреев Д.В.</i> Преобразование схемы фильтрации дребезга контактов в код на языке Verilog	145
<i>Двухшерстнова Я.В., Андреев В.В.</i> Влияние температуры на выход годных микросхемы четырехканального широкополосного усилителя	149

<i>Перевозчикова Д.С., Андреев В.В.</i> Влияния прогиба кремниевой полупроводниковой пластины с диэлектрической изоляцией на качество фотолитографии	153
<i>Ефременко Е.И., Кузнецов В.В.</i> Способ локализации мест статического пробоя с помощью тепловизора в микроэлектронике	157
<i>Чубурков А.Е., Сегодин П.С., Кузнецов В.В.</i> Влияние паразитных формирований в теле резистора	162
<i>Радзышевская В.В., Андреев В.В.</i> Влияние теплового режима на работоспособность микросхемы одноканального таймера	166
Секция 4. Тепловые двигатели и гидромашинны	171
<i>Азаренко Н.А., Шитохина О.Г.</i> Исследование влияния радиального и межвинтового зазора на утечки в трехвинтовом насосе	173
<i>Шевелев Д.В., Жариков А.А.</i> Использование КОМПАС-3D для параметрического построения профилей рабочих лопаток турбин	176
<i>Ганков М.С., Ильичев В.Ю.</i> Разработка и оптимизация конструкции парогенератора для паротурбиной установки на пентафторпропане	180
<i>Шевелев Д.В., Ганков М.С., Шифрин Б.А., Картуесова А.Ю.</i> Результаты численного моделирования высокооборотной центробежной турбины на фреоне R245fa в пакетах FloEFD и Ansys CFX	184
<i>Алферин Д.Б., Шевелев Д.В.</i> Исследование и оптимизация процесса шоковой заморозки свиных полутуш в холодильной камере воздушно-холодильной машиной	188
<i>Иванов М.А., Ващенко А.В., Савин В.Ю.</i> Особенности проектирования лопастных насосов с низким коэффициентом быстроходности	192
<i>Шевелев Д.В., Апокин И.А.</i> Анализ методов расчета изэнтропных процессов в воздухе при термодинамическом расчете газотурбинной установки	197
<i>Жинов А.А., Кочетов А.А.</i> Особенности теплоутилизационной энергоустановки на органическом цикле Ренкина	201
Секция 5. Методы теории автоматического управления; автоматизация и управление технологическими процессами и производствами	205
<i>Корлякова М.О., Васенков П.А.</i> Разработка системы аугментации данных для анализа речи	207
<i>Сухацкий М.О.</i> Обучение модели NLP для классификации эмоциональной окраски текста на основе датасета Dusha от Сбера	211
<i>Кирсанов Т.В., Барков Д.А., Койда С.А., Корлякова Е.Ю.</i> Программирование OLED-дисплея с использованием микроконтроллера	215
<i>Лысенко О.Д.</i> Автоматическое распознавание речи для специализированной области	219
<i>Щеглов В.А.</i> Распознавание лиц с помощью нейросети FaceNet	224
<i>Корлякова М.О., Лашкевич Д.М.</i> Разработка нейросетевой модели для прогнозирования поведения тепловой установки	228
<i>Романов Е.С., Поляков В.Н., Качанов А.И., Финошин А.В.</i> Применение метода наименьших квадратов для анализа рынка квартир в Калуге	234

<i>Безлюдов М.Д.</i> Анализ методов шумоподавления	238
<i>Мартынов Н.А., Фиошин А.В.</i> Разработка системы контроля и диагностики состояния среды газораспределительной станции	242
<i>Кундик Е.А., Савосина В.А., Фиошин А.В.</i> Разработка Telegram-бота для автоматизации доступа к учебному расписанию	246
<i>Решетников Г.А., Порываев О.П., Милосердов В.О.</i> Динамическое моделирование контура регулирования уровня в конденсаторе-сепараторе	250
Секция 6. Экология и безопасность	255
<i>Готвальд Е.Д., Яковлева О.В.</i> Характеристика производства каустической соды. Анализ методов и схем очистки ртутьсодержащих сточных вод	257
<i>Заверткин Е.А., Анфилов К.Л., Зубарев Д.Ю.</i> Анализ тенденции качества воды на основных водных объектах реки Волги в Тульской области	261
<i>Зубарев Д.Ю., Заверткин Е.А., Жукова Ю.М.</i> Оценка негативного воздействия полигонов твердых коммунальных отходов на компоненты окружающей среды	265
<i>Зубарев Д.Ю., Заверткин Е.А., Жукова Ю.М.</i> Экологический мониторинг фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов как инструмент по предотвращению загрязнения окружающей среды	268
<i>Никишкина А.А., Анфилов К.Л.</i> Современные тенденции увеличения безопасности лакокрасочных производств	271
<i>Новикова Д.А., Анфилов К.Л.</i> Вискозное производство в России и СССР: путь от процветания к упадку и перспективы развития	274
<i>Шульга С.С., Яковлева О.В.</i> Интенсификация процессов сорбции при очистке сточных вод локомотивного депо	278
<i>Брулева В.А., Тютюнькова М.В.</i> Перспективность использования полимерных материалов в качестве носителей иммобилизованной биомассы активного ила	282
<i>Тютюнькова М.В., Карпунин Е.А.</i> Исследование эффективности разработанной технологической схемы очистки сточных вод предприятия по производству российских моющих средств	286
<i>Заверткин Е.А., Анфилов К.Л., Зубарев Д.Ю.</i> Анализ экологической ситуации атмосферного воздуха в Тульской области	292
Секция 7. Современные технологии в наземных транспортно-технологических системах. Прикладные проблемы механики	295
<i>Костин М.С., Алакин В.М.</i> Актуальность технологии напыления баббита Б83 для ремонта подшипников турбин и метод обоснования оптимальных режимов процесса ХГДН	297
<i>Семенов М.А., Плахов С.А.</i> Определение нагрузки и прогиба пальцев роторов при транспортировании клубней в процессе сортировки	301
<i>Ломов А.Р., Семенов М.А., Алакин В.М.</i> К обоснованию объема выгрузки и производительности подборщика с вибролопастным заборным устройством	305
<i>Козлов В.А., Крупнов Д.А., Шутов А.А., Плахов С.А.</i> Электромагнитный тормозной механизм	309

<i>Козлов В.А., Крупнов Д.А., Шутов А.А., Плахов С.А.</i> Вентилируемый дисковый тормозной механизм	312
<i>Плахов С.А., Фомин В.И.</i> Повышение эффективности работы крутосклонного трактора с помощью бортового редуктора	316
<i>Васешинов Д.В., Никишкина А.Б.</i> Оценка возможности использования SolidWorks Simulation для исследования напряженно-деформированного состояния сосуда под давлением	319
<i>Козлов В.А., Крупнов Д.А., Шутов А.А., Плахов С.А.</i> Двухпоточный ведущий мост	323
<i>Пономарев А.И., Фомин В.И., Козлов В.А., Никонов С.Н., Шутов А.А.</i> Беспилотный трактор-дрон: инновация в сельском хозяйстве	327
<i>Пономарев А.И., Фомин В.И.</i> Датчики скорости колеса: от базовых функций до инновационных решений	331
<i>Бобров Ф.А., Ковалев А.А., Плахов С.А., Пономарев А.И.</i> Описание конструкции трактора с шарнирно-сочлененной рамой для обработки виноградников	334
<i>Лебедев А.Ю., Алакин В.М.</i> Обоснование параметров установки распылителей в камере протравителя посадочного картофеля	338
<i>Бажутин М.И., Мясников А.А., Козлов В.А., Шутов А.А., Плахов С.А.</i> Тормозная система трактора для обработки виноградников	342
Секция 8. Защита информации	347
<i>Геворгян Э.А., Потапов А.В.</i> Оптико-электронный канал учетки информации	349
<i>Коммер К.А., Потапов А.Е.</i> Исследование шифрования UDP для многопользовательских игр	352
<i>Романов В.Н., Молчанов А.Н.</i> Исследование проблем перехода с протокола Transport Layer Security версии 1.2 на версию 1.3	355
<i>Иову Д.А., Гагарин Ю.Е.</i> Анализ современных методов шифрования трафика	359
<i>Троицкая И.И., Потапов А.В.</i> Безопасность в цифровом мире: разоблачение и защита от фишинговых атак	363
<i>Алдошкина М.Л., Потапов А.В.</i> Как информационная безопасность влияет на развитие искусственного интеллекта	366
<i>Акулова А.П., Потапов А.В.</i> Использование квантовой физики в информационной безопасности	369
Секция 9. Динамика, прочность и надежность подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования	373
<i>Масальский А.А., Витчук П.В.</i> Расчет показателей эксплуатационной надежности лифтов	375
<i>Заярный С.Л.</i> Транспортное средство повышенной проходимости с комбинированным движителем	379
<i>Заярный С.Л.</i> Транспортное средство повышенной проходимости с модифицированным роликовым приводом	383
<i>Харитонов Е.Е., Витчук П.В., Славкина Е.В.</i> Снижение массы электрической тали	387

<i>Хегай А.Е., Дидов С.И., Шубин А.А.</i> Способы контроля нагрева подшипников роликоопор ленточного конвейера	391
<i>Дидов С.И., Хегай А.Е., Шубин А.А.</i> Возможные способы увеличения тяговой способности фрикционного привода ленточного конвейера	395
<i>Стадникова И.Д., Сорокина И.И., Желтиков А.А.</i> Снижение массы механизма подъема груза крана мостового типа	399
<i>Сорокина И.И., Дубов И.Д.</i> Выбор схемы установки подшипников в мотор-редукторе с конической передачей	403
<i>Сорокина И.И., Азаровский С.Д.</i> Конструирование внутренней опоры соосного редуктора	406
<i>Заярный С.Л., Владимирова В.В.</i> Многозвенный подъемный механизм с канатно-блочной кинематической системой	409
<i>Заярный С.Л., Павлов И.Д.</i> Способ компенсации углов уклона пролетного строения мостового крана в случае сформированного кинематического уклона рельсового пути	413
Секция 10. Математическое моделирование и физико-математические проблемы проектирования сложных технических систем	417
<i>Силаева Н.А., Горбунов А.К., Герасимова Н.С., Логинова А.Ю., Илюхина И.В., Илюхин Д.В.</i> Оптимальное оценивание	419
<i>Силаева Н.А., Горбунов А.К., Герасимова Н.С., Логинова А.Ю., Илюхина И.В., Илюхин Д.В.</i> Расчет характеристик кодирования	423
<i>Зенкина И.А., Зенкин В.Н.</i> Расчет формы сосуда с равномерно вытекающей жидкостью	427

Научное издание

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

Региональная научно-техническая конференция

(Калуга, 23–25 апреля 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. 35,51. 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.