

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

# **НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ**

**Материалы  
Всероссийской научно-технической конференции**

**Том 1**



УДК 378:001.891  
ББК 74.58:72  
Н34

**Руководитель конференции:**

*А.В. Царьков* (директор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана),  
*Е.В. Вершинин* (зам. директора по научной работе)

**Оргкомитет конференции:**

Председатель оргкомитета: *Е.В. Вершинин*  
Ученый секретарь: *Лебедев В.В.*

**Члены оргкомитета:**

<i>Андреев В.В.</i> д.т.н., профессор	<i>Корнюшин Ю.П.</i> д.т.н., профессор
<i>Косушкин В.Г.</i> д.т.н., профессор	<i>Горбунов А.К.</i> д.ф.-м.н., профессор
<i>Шаталов В.К.</i> д.т.н., профессор	<i>Перерва О.Л.</i> д.э.н., профессор
<i>Мазин А.В.</i> д.т.н., доцент	<i>Рамазанов А.К.</i> к.ф.-м.н., доцент
<i>Мальшев Е.Н.</i> к.т.н., доцент	<i>Кусачева С.А.</i> к.б.н., доцент
<i>Мельников Д.В.</i> к.т.н., доцент	<i>Пономарев А.И.</i> к.т.н., доцент
<i>Анкудинов А.А.</i> к.т.н., доцент	<i>Шубин А.А.</i> к.т.н., доцент
<i>Максимов А.В.</i> к.т.н., доцент	<i>Сломинская Е.Н.</i> к.т.н., доцент
<i>Орлик Г.В.</i> к.т.н., доцент	<i>Пащенко В.Н.</i> к.т.н., доцент
<i>Жинов А.А.</i> к.т.н., доцент	<i>Бирюкова Е.А.</i> к.филос.н., доцент

Н34 **Научно-технологические инновации в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе:** материалы Всероссийской научно-технической конференции, 15–17 ноября 2022 г. Т. 1. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. – 134 с.

В сборнике материалов Всероссийской научно-технической конференции представлены результаты научных исследований, выполненных учеными в течение ряда лет. Систематизированы материалы различных научных школ. Результатами научных исследований являются новые методы, вносящие вклад в развитие теории, а также прикладные задачи, воплощенные в конструкции и материалы.

УДК 378:001.891  
ББК 74.58:72

© Коллектив авторов, 2022  
© Калужский филиал МГТУ  
им. Н. Э. Баумана, 2022  
© Издательство МГТУ  
им. Н. Э. Баумана, 2022

## **СЕКЦИЯ 2.**

### **ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

## ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРА МЕЖДУ ДЕТАЛЯМИ НА ПРОЧНОСТЬ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Машин Иван Сергеевич

[gizivongiz@mail.ru](mailto:gizivongiz@mail.ru)

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Антохин Михаил Сергеевич

[antokhin.mc@yandex.ru](mailto:antokhin.mc@yandex.ru)

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Зыбин Игорь Николаевич

[igor.zybin@bmstu.ru](mailto:igor.zybin@bmstu.ru)

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Сварка трением с перемешиванием является перспективной технологией соединения материалов. В настоящее время она находит широкое применение при соединении алюминиевых сплавов различной толщины. Сварка трением с перемешиванием характеризуется отсутствием дефектов, характерных для дуговых способов сварки, и высокими прочностными показателями. Однако в процессе сборки соединяемых деталей перед сваркой возможно образование зазора между ними. Важно знать, при каком зазоре между деталями можно выполнять сварку без дефектов сплошности при обеспечении высоких прочностных показателей соединения. Показано, что при наличии зазора между деталями возможно получение сварного соединения без дефектов сплошности с высокими прочностными показателями. Величина этого зазора зависит от толщины соединяемых деталей, угла наклона инструмента при сварке и возможности добавления присадочного материала в него*

**Ключевые слова:** сварка трением с перемешиванием, зазор, угол наклона инструмента

Если зазор более 10% от толщины свариваемых деталей, в сварном шве возникает непровар. Это требование в значительной степени связано с тем, что известные процессы сварки трением с перемешиванием, как правило, не используют присадочные материалы, которые могут быть применены для заполнения зазора между соединяемыми деталями. Такие требования к подготовке перед сваркой могут привести к повышению затрат, связанных с подготовкой деталей. Эти затраты могут возрасти при необходимости соединения крупногабаритных деталей.

Также в работе [1] отмечается, что при увеличении зазора между свариваемыми деталями происходит значительное снижение усталостной прочности.

Авторы работы [2] пришли к выводу, что увеличение зазора свыше 10% от толщины свариваемого металла приводит к возникновению дефектов. Этот зазор был определен как предельное значение при сварке серийными роботами.

Е. Шульц [3] провел исследование оценки прочностных характеристик сварного шва, выполненного сваркой трением с перемешиванием с зазором между деталями. В зазорах, составляющих 10-20% от толщины свариваемых деталей, за счет увеличения глубины внедрения инструмента в деталь можно получить сварные соединения без дефектов сплошности.

В работе [4] изучали стабильность сварки трением с перемешиванием при наличии в сварочном соединении зазора между деталями, перекоса и смещения кромок. Авторы показали, что возможно получение удовлетворительного качества сварного соединения при сварке пластин толщиной 5 мм из алюминиевого сплава AA5083-H111 (AMг5M) с зазором не превышающем 25% от толщины свариваемого металла.

Авторы статьи [5] изучали влияние изменения зазора на качество соединения, полученного сваркой трением с перемешиванием алюминиевого сплава 2A14 (Д16). В ходе работы были получены стыковые швы без дефектов с зазором, составляющим 25% от толщины свариваемого

мого металла. Так же было установлено, что при зазоре свыше 25% от толщины свариваемого металла происходит резкое уменьшение эффективности тепловыделения в зоне сварки и снижение прочности.

Автор работы [6] изучал допустимые значения зазора между деталями в сварных соединениях, полученных сваркой трением с перемешиванием из алюминиевого сплава АА 6082-Т6 (АД35). Показано, что структура перемешивающегося материала во время сварки трением с перемешиванием зависит от конструкции инструмента, особенностей течения металла вокруг пина инструмента, и направления вращения инструмента. Также показано, что при увеличении зазора уменьшается тепловложение и, следовательно, уменьшаются деформации сварного соединения.

При проведении испытаний на растяжение экспериментальные пластины с зазором 20% и 30% от толщины свариваемого металла показали высокие результаты прочности.

В ходе проведения эксперимента микротвердость сварных швов по Виккерсу возрастала по мере увеличения в процентном отношении зазора между деталями, а также увеличился предел прочности на растяжение. Во время проведения испытания на разрыв при растяжении было обнаружено, что место разрушения на образцах для растяжения находится на границе между зоной термического влияния и зоной термомеханического воздействия.

В заключении работы показано, что возможно получать швы, сваркой трением с перемешиванием, при наличии зазора равном 30% от толщины свариваемого металла без отрицательного влияния на прочностные характеристики соединения.

В работе [6] показано, что можно получать сварные соединения, выполненные с зазором, составляющим 30% от толщины свариваемого металла, без потери прочностных характеристик.

В работе [2] было рассмотрено влияние угла наклона инструмента на получение сварного соединения, выполненного сваркой трением с перемешиванием, с высокими прочностными характеристиками при различных зазорах между деталями перед сваркой. При разном угле наклона инструмента максимальное значение допускаемого зазора между деталями изменяется при сохранении высоких прочностных характеристик сварного соединения. В частности, было установлено, что величина зазора между деталями может быть увеличена до 30% от толщины свариваемых деталей при угле наклона инструмента  $5^\circ$  к вертикали (обычно сварка трением с перемешиванием выполняется при угле наклона инструмента  $1^\circ$ - $2^\circ$ ). На рис. 1 показаны микрошлифы поперечного сечения образцов сваренных из сплава 5083-Н111 (АМг4) толщиной 5 мм. Сварка выполнялась при углах наклона инструмента  $1^\circ$ ,  $3^\circ$  и  $5^\circ$  к вертикали [2].

Также в работе [2] было показано, что увеличение угла наклона инструмента снижает влияние величины зазора между деталями на прочностные характеристики соединения. Результаты показывали, что при угле наклона инструмента в 5 градусов обеспечивается более высокая прочность соединения, чем при углах наклона инструмента в 1 или 3 градуса при сварке с зазором с помощью роботизированной системы СТП.

В работе [7] рассматривали возможность добавления присадочного материала в виде порошка и проволоки в зазор между свариваемыми деталями. Было установлено, что при зазоре между деталями до 20% от толщины соединяемых деталей имеются небольшие колебания в показателях прочности при обеспечении сварного соединения без дефектов сплошности. Применение алюминиевого порошка, который устанавливался в зазор разной длины между свариваемыми деталями, не эффективно в следствие его выдувания в процессе сварки. Макрошлифы образцов толщиной 5 мм с зазором 2 мм и добавлением порошка представлены на рис. 2. В случае использования в качестве присадки алюминиевого порошка, вероятность образования дефектов вырастает с увеличением длины свариваемого участка. Это связано с ростом относительного объема свободного пространства в зазоре, вследствие выдувания порошка.

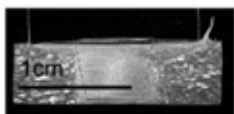

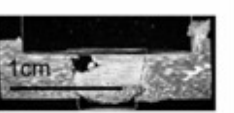

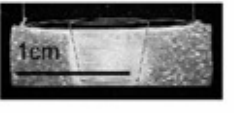

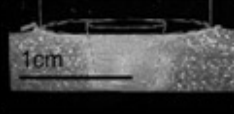
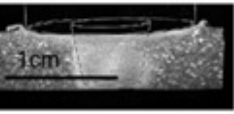
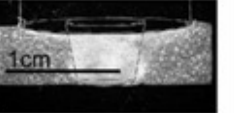
Угол наклона	Без зазора	Зазор 1мм	Зазор 2мм
1°	 а)	 б)	 в)
3°	 г)	 д)	 е)
5°	 ж)	 з)	 и)

Рис. 1. Поперечные сечения макрошлифов АА 5083-Н111

В работе [7] было показано, что если в сварное соединение предварительно вставить или запрессовать присадочную проволоку, то возможно выполнение сварки при зазоре, составляющим до 40% от толщины свариваемого материала независимо от длины зазора между деталями. Макрошлифы образцов толщиной 5 мм с зазором 2 мм с длиной зазора между деталями 26 мм, 40 мм и 80 мм добавлением проволоки АМг5 представлены на рис. 3.

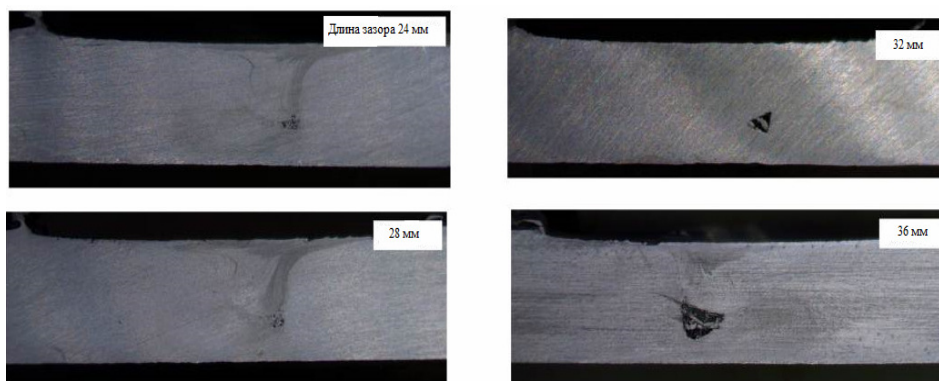


Рис. 2. Макрошлифы образцов с зазором 2 мм с добавлением порошка



Рис. 3. Макрошлифы образцов с зазором 2 мм длиной 26 мм (а), 40 мм (б) и 80 мм (в) с добавлением проволоки АМг5

При сварке с присадочной проволокой в зазоре между деталями наблюдается небольшой разброс в показателях прочности, он составляет 5-15% от прочности основного металла. Пластичность сваренных с использованием присадочной проволоки образцов понизилась до 5 – 6%, что значительно меньше пластичности основного металла (9...11%).

Использование присадочной проволоки показало хорошие результаты. Однако, если зазор между деталями не является постоянным, то возникают сложности с подбором необходимого

диаметра проволоки и придания проволоки формы, соответствующей форме зазора. Кроме того, это требует дополнительных затрат на подготовку деталей перед сваркой. Также необходимо предусматривать мероприятия, чтобы проволока при сварке не выдавливалась из зазора между деталями, например, применение ролика, установленного перед инструментом.

В сварных швах длиной 26мм, 40мм и 80 мм, в которых использовалась проволока, не наблюдалось дефектов.

Следует учесть, что увеличение зазора между деталями приводит к уменьшению толщины металла в зоне сварного соединения.

### **Заключение**

Показано, что зазор между деталями может составлять до 20-25% от толщины свариваемых деталей при обеспечении высоких прочностных характеристик при СТП. При увеличении угла наклона инструмента до 5° и неизменных остальных параметров процесса величина зазора может быть увеличена с 15-20% до 30% от толщины свариваемых деталей. Добавление присадочного материала в виде проволоки в зазор между свариваемыми деталями позволяет увеличить его значение до 40% от толщины свариваемых деталей без снижения предела прочности.

### **Литература**

[1]. Widener C., Tweedy B., and Burford D. Effect of fit-up tolerances on the strength of FSW, 47th IAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics, and materials conference, 2006, pp. 7756-7764.

[2]. Wanjara P., Monsarrat B., Larose S. Gap tolerance allowance and robotic operational window for friction stir butt welding of AA6061, Journal of Materials Processing Technology, 2013, vol. 213, №4, pp. 631–640.

[3]. Cole E. G., Fehrenbacher A., Shultz E. F., Smith C. B., Ferrier N. J., Zinn M.R., Pfefferkorn and F. E. Stability of the friction stir welding process in presence of workpiece mating variations, Int. J. Adv. Manuf. Tech., 2012, vol. 63, pp. 583–593.

[4]. Shultz E. F., Cole E. G., Smith C. B., Zinn M. R., Ferrier N. J., and Pfefferkorn F. E. Effect of compliance and travel angle on friction stir welding with gaps, J. Manuf. Sci. Eng., 2010. vol. 132, -9p.

[5]. Ma H., Wang Y., Tian Z., Xiong L., Zhang Y. Gap-tolerance control for friction stir butt welding of 2A14 aluminium alloy, Measurement, 2019, vol. 148, -13p.

[6]. Oyedemi K. Increasing Gap Tolerance in Friction Stir Welded joints of AA 6082-T6, Nelson Mandela Metropolitan University, 2012, -165 p

[7]. Tsarkov A., Trukhanov K., Zybin I. The influence of gaps on friction stir welded AA5083 plates / Materials today: Proceedings, 2019, vol. 19, № 5, pp. 1869-1874.

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ КРОМОК НА НАЛИЧИЕ ОКСИДОВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Антохин Михаил Сергеевич

ams17km009@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Машин Иван Сергеевич

gizivongiz@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Зыбин Игорь Николаевич

igor.zybin@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Наличие оксидных пленок на поверхностях деталей влияют на прочностные характеристики сварных соединений при традиционных способах сварки. При сварке трением с перемешиванием процесс формирования соединения происходит в твёрдой фазе. Наличие оксидных пленок на поверхностях деталей перед сваркой трением с перемешиванием может приводить к снижению прочностных характеристик сварного соединения, т.к. оксидные пленки остаются в сварном шве. Целью работы является анализ влияния способов подготовки кромок перед сваркой трением с перемешиванием на наличие оксидных пленок на поверхности деталей и влияние этих оксидных пленок на прочностные характеристики сварного соединения (усталость, относительное удлинение и предел прочности на разрыв). Показана необходимость грамотного выбора способа подготовки кромок перед сваркой с целью сохранения высоких прочностных характеристик сварного соединения.*

**Ключевые слова:** сварка трением с перемешиванием, оксиды, обработка кромок

### **Анализ влияния способа подготовки кромок перед сваркой**

При традиционных способах сварки наличие оксидной пленки на поверхности алюминия и его сплавов затрудняет процесс сварки. Обладая высокой температурой плавления, оксидная пленка, не расплавляясь в процессе сварки, покрывает металл прочной оболочкой, препятствуя образованию общей сварочной ванны. Поэтому, чтобы соединить сваркой детали из алюминия и его сплавов, необходимо разрушить и удалить оксидную пленку, а также защитить металл от повторного окисления [1].

Следует отметить, что особенно это актуально для способов сварки, выполняемых в твердой фазе, например, для сварки трением с перемешиванием (СТП) алюминиевых сплавов. Наличие оксидной пленки на свариваемых поверхностях деталей перед сваркой приводит к тому, что эта пленка остается в зоне формирования сварного соединения и может вероятно приводить к снижению прочностных показателей полученного сварного соединения [2].

В ряде работ исследовалось влияние предварительной обработки кромок поверхности деталей перед сваркой, на наличие оксидной пленки на поверхностях деталей. Например, в работе [3] исследовалось влияние механической обработки кромок металлической щеткой на наличие оксидной пленки алюминия на поверхности детали. Было установлено, что механическая обработка металлической щеткой удаляет незначительное количество оксидов алюминия.

В работе [4] рассматривали обработку деталей перед сваркой двумя различными способами:

- химическим реагентом и механической обработкой при помощи металлической щетки;
- химическим реагентом с последующим шлифованием.



В статье [4] были проведены испытания на усталость сваренных образцов СТП для количественной оценки усталостной долговечности шлифованных и обработанных металлической щеткой стыков образцов перед сваркой из сплава AA2024-T3. Результаты испытаний на усталость представлены на рис. 2.

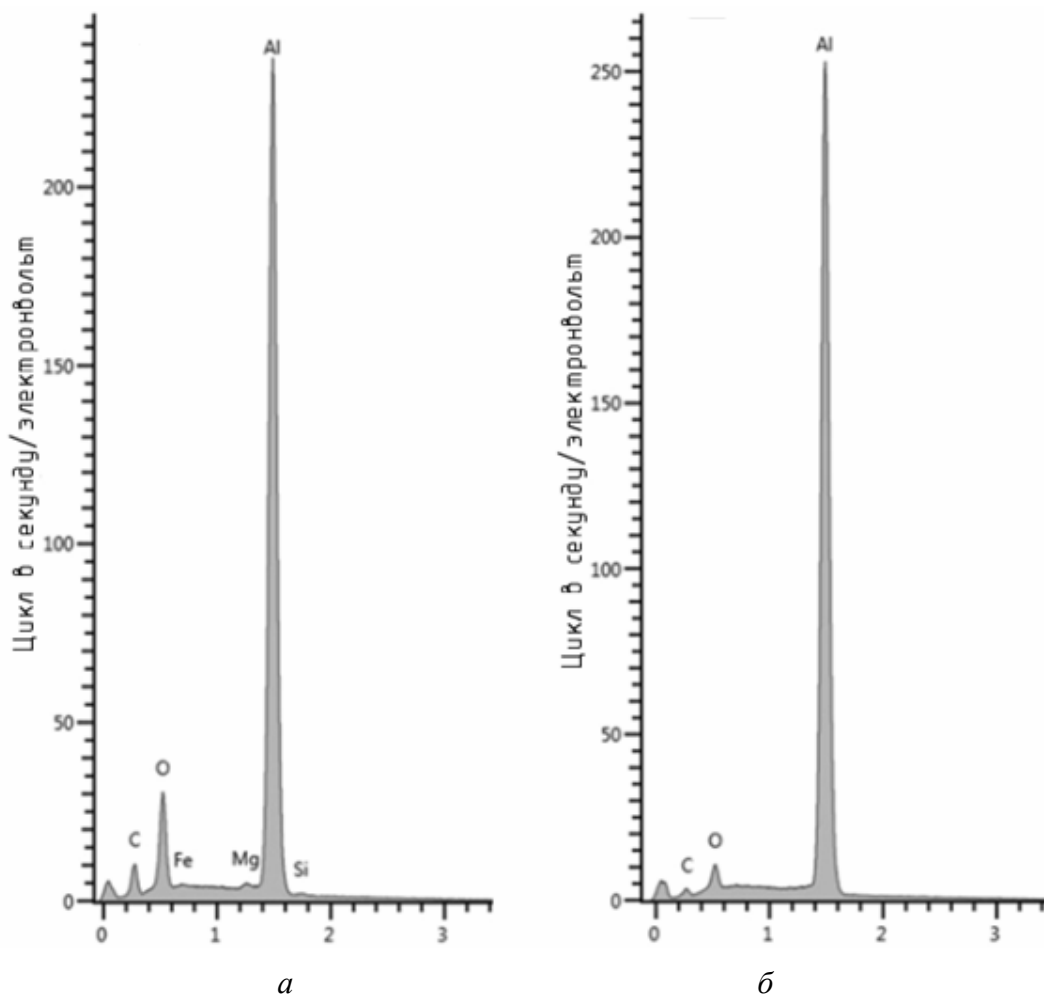


Рис. 1. Спектры EDS обработанных деталей до сварки:

*а* – химическим реагентом и ручной обработкой при помощи металлической щетки; *б* – химическим реагентом с последующим шлифованием

В другой статье [5] автор рассматривает влияния оксида алюминия на прочностные характеристики не только на торцевой поверхности, по которой происходит непосредственно контакт соединяемых образцов, и на всех сопряженных поверхностях сваренных образцов. Были подготовлены 3 группы образцов:

- а) образец №1 без обработки;
- б) образец №2 с обработкой верхней и нижней поверхности детали, образец №3 с обработкой нижней и торцевой поверхности, образец №4 с обработкой верхней и торцевой поверхности;
- в) образец №5 с обработкой всех поверхностей.

Результаты исследования на растяжения и относительное удлинение образцов, сваренных СТП в стык из сплава AA2219, представлены на рис.3.

Для оценки влияния способа подготовки кромок образцов перед сваркой были выполнены исследования макроструктуры стыковых сварных швов, получаемых СТП. Выполнялась сварка образцов толщиной 5 мм из металла АМг5. Режимы сварки: частота вращения инструмента 560 об/мин; продольная подача 40 мм/мин; угол наклона инструмента 2°, заглупление заплечика инструмента в деталь 0,05 мм.

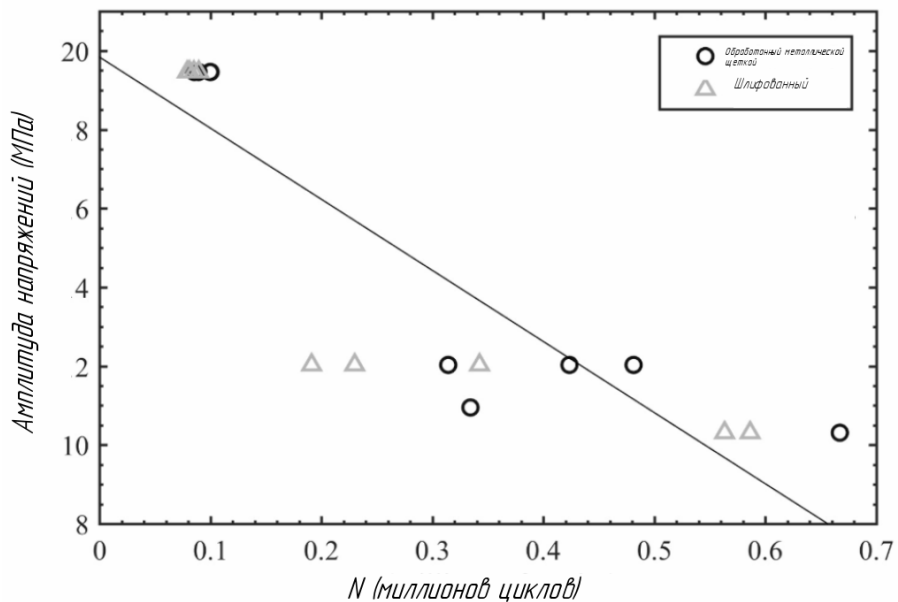


Рис. 2. График зависимости амплитуды напряжений к количеству циклов до разрушения на усталость образцов с обработанными кромками:  
 Δ- шлифованием; О- металлической щеткой

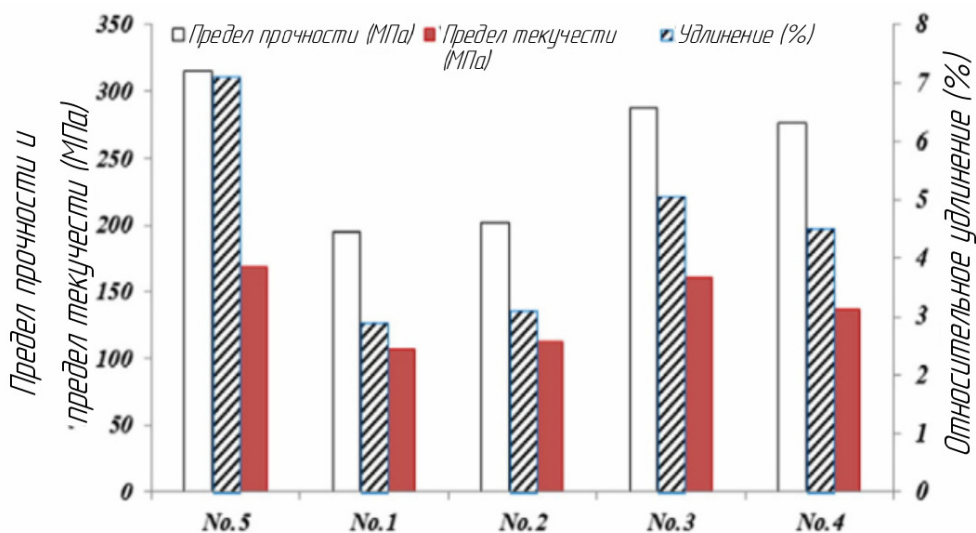
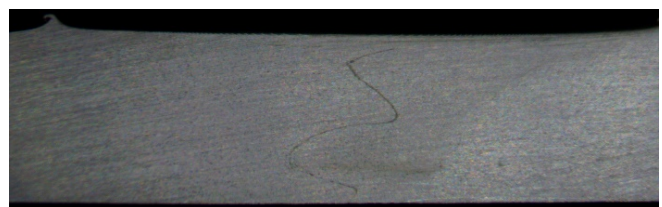


Рис.3. Результаты испытания образцов

Были выполнены макрошлифы сварных соединений (рис.4), полученных при обработке кромок фрезерованием и обезжириванием уайт-спиритом и без подготовки кромок, т.е. в состоянии поставки после плазменной резки.



а



б

Рис.4. Макрошлифы сварных соединений, после обработки кромок:  
 а – фрезерованием и обезжириванием уайт-спиритом;  
 б – без подготовки кромок

## Результаты и их обсуждения

Во всех проанализированных спектрах EDS (энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия) отношение высоты пика кислорода к пику алюминия было меньше для очищенного химическим реагентом отшлифованной детали (рис.1).

Это говорит о том, что чистка щеткой удаляет с поверхности детали незначительное количество оксидных пленок. На рис. 1 видны небольшие пики железа, магния и кремния, наличие которых не связаны с подготовкой поверхности перед сваркой.

Из графика (рис.2) видно, что в среднем образцы с кромками, обработанными шлифованием, обладают более высокой усталостной прочностью, чем образцы с кромками, обработанными металлической щеткой. Это говорит о том, что обработка шлифованием эффективнее обработки металлической щетки.

Предел прочности на разрыв и относительное удлинение образца № 5 составляют примерно 76% и 71% этих параметров соответственно для основных металлов. В некоторой степени это связано с тщательным удалением оксида алюминия с краев пластины перед сваркой. Однако прочность на разрыв образца с включениями оксида алюминия была значительно снижена, особенно в образцах № 1 и № 2. Предел прочности при растяжении образцов № 1 и № 2 составлял около 195 и 202 МПа соответственно, что было значительно ниже, чем у образцов № 5 (соответственно на 38% и 36% ниже). Следует отметить, что оксид алюминия с торцевой поверхности оказывает сильное влияние на предел прочности на растяжение и относительное удлинение соединения. Для образцов № 3 и № 4 предел прочности был примерно на 12% ниже, чем у образца № 5. Относительное удлинение образца №4 меньше, чем у образца №3. Из рис. 3 видно, что оксид алюминия на нижней поверхности оказывает влияние на удлинение сварных соединений.

Анализ макрошлифов показал, что оксидная пленка остаётся в сварном шве после сварки (рис.4, б), что вероятно будет влиять на прочностные характеристики сварного соединения.

### Заключение

Показано, что поверхностей кромок свариваемых деталей химическим реагентом и последующим шлифованием обеспечивает меньшее количество оксида алюминия на поверхностях деталей перед сваркой по сравнению с обработкой посредством только металлической щетки. Помимо этого, такая обработка способствует увеличению прочностных показателей сварного соединения.

Значительное влияние на предел прочности и относительное удлинение оказывает наличие оксидных пленок прежде всего на твердых поверхностях детали, непосредственно контактирующих друг с другом при СТП.

При отсутствии подготовки кромок, соединяемых поверхностей перед сваркой в зоне сварного соединения при СТП остается оксидная пленка алюминия, что может приводить к снижению прочностных показателей соединения

## Литература

[1]. *Алешин Н. П., Лысак В. И., Лукьянов В. И.* Современные способы сварки: учебное пособие. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2011 – 59 с. – ISBN 987-5-7038-3543-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106437>.

[2]. *Суслов А. Г., Базров Б. М., Безъязычный В. Ф., Авраамов Ю. С.* Научно-технические технологии в машиностроении: учебное пособие. – Москва: Машиностроение, 2012. – 528 с. – ISBN 978-5-94275-619-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/5795>.

[3]. *Chen, H.B. Wang, J.F. Zhen, G.D. Chen, S.B. Lin, T.* Effects of initial oxide on microstructural and mechanical properties of friction stir welded AA2219 alloy. *Materials & Design*. p49-54. 2015. Volume 86, p49-54.

[4]. *Robitaille, Bénédicte Provencher, Paul R. St-Georges, Lyne Brochu, Myriam*. Mechanical properties of 2024-T3 AlClad aluminum FSW lap joints and impact of surface preparation. *International Journal of Fatigue*. 2021. Volume 143.

[5]. *Okamura Hisanori, Aota Kinya, Sakamoto Masahiko, Ezumi Masakuni, Ikeuchi Kenji*. Behavior of Oxide during Friction Stir Welding of Aluminum Alloy and Its Influence on Mechanical Properties. *Jstage*. 2001. Volume, 19, №3, p. 446.

## **СЕКЦИЯ 4.**

# **ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГИДРОМАШИНЫ**

## ОСОБЕННОСТИ УПЛОТНЕНИЙ ВАЛОВ ТУРБИН ОЦР

Сухоненков Илья Алексеевич

ilya.suhonenkov@yandex.ru

Калужский завод транспортного машиностроения

Шевелев Денис Владимирович

Denis.V.Shevelev@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В статье рассмотрены концевые уплотнения валов турбин органического цикла Ренкина (ОЦР-турбины), характерные параметры рабочего тела, конструктивные исполнения ОЦР-турбин и виды уплотнений. Комбинированные уплотнения валов ОЦР-турбин являются оптимальным выбором уплотнительных конструкций для снижения утечек, в частности, благодаря их простой конструкции, герметичности, низким инвестиционным и эксплуатационным затратам, а также высокой долговечности. В отличие от контактных уплотнений, в которых приходится учитывать ускоренный износ и нагрев элементов уплотнения, в комбинированных уплотнениях такой проблемы нет. Бесконтактные уплотнения не герметичны и всегда имеют номинальную величину утечки, из-за чего в ОЦР-турбинах не используются отдельно. Следует уделить внимание разработки методики выбора и расчета комбинированных уплотнений*

**Ключевые слова:** уплотнения валов ОЦР-турбин

Турбины органического цикла Ренкина (ОЦР-турбины) являются альтернативой традиционным паротурбинным установкам. В отличие от традиционных паротурбинных установок, ОЦР-турбины позволяют с высокой эффективностью преобразовывать в механическую работу низкопотенциальную тепловую энергию, например, теплоту выхлопных газов газотурбинных установок, геотермальное тепло и т.п. Эта возможность достигается благодаря использованию в качестве рабочего тела веществ с значительно более низкой температурой кипения, нежели у воды. Сотни веществ могут быть использованы в качестве рабочего тела для турбин ОЦР, включая углеводороды, простые эфиры, перфторуглероды, фреоны, спирты, силоксаны и хладагенты и т.д. [1].

Характерные параметры рабочего тела ОЦР-турбин: на входе в турбину давление составляет от 40 до 10 бар, а на выходе до 0,6 бар; температура рабочего тела перед турбиной 250°C и ниже [2]. Некоторые органические тела являются легковоспламеняющимися, взрывоопасными (изобутан, фреон R502 и т.д.) или токсичными (н-пентан, изопентан и др.) [1], и, принимая во внимание безопасность или экономичность, необходимо строго предотвращать утечки рабочего тела в атмосферу, которые возможны, прежде всего, через концевые уплотнения вала ОЦР-турбины.

#### **Конструктивное исполнение**

Конструктивное исполнение ОЦР-турбины влияет на назначение и количество уплотнений. Одним из вариантов конструктивного исполнения является расположение рабочих колес турбины между передним и задним подшипником (рис. 1) [3].

В такой конструкции есть передние (в секции высокого давления) и задние (в секции низкого давления) концевые уплотнения вала. В области высокого давления необходимо, прежде всего, избегать утечек, чтобы предотвратить образование взрывоопасных газовых смесей вне машины [3].

Для секции высокого давления возможно два варианта:

- если передняя опора ротора имеет собственный корпус и свои собственные уплотнения, то задачей переднего уплотнения вала ОЦР-турбины будет являться препятствие выхода рабочего тела в атмосферу;
- если конструкция передней опоры ОЦР-турбины является составной частью корпуса турбины (рис.1), то возникает проблема смешения рабочего тела с маслом.

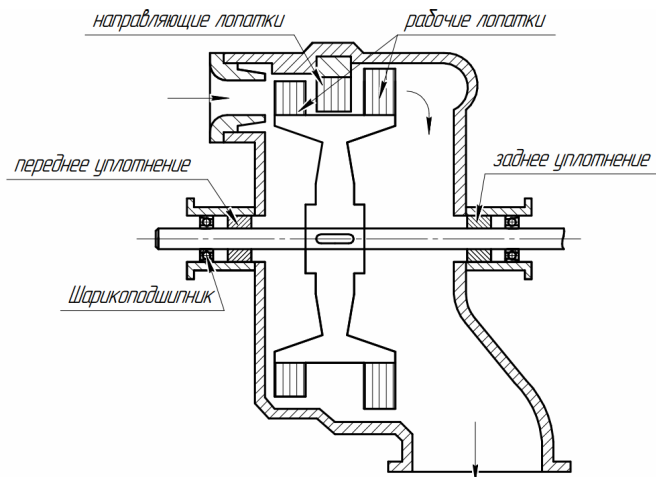


Рис.1 Переднее и заднее уплотнение валов турбин ОЦР с расположением турбины между задним и передним подшипником

В секции низкого давления турбины, уплотнения должны препятствовать проникновению веществ, загрязняющих рабочее тело.

Для секции низкого давления так же возможно два варианта:

- если задняя опора ротора имеет собственный корпус и свои собственные уплотнения, то задачей заднего концевое уплотнения вала ОЦР-турбины является препятствие подсоса воздуха в проточную часть турбины;
- если конструкция задней опоры турбины ОЦР является составной частью корпуса турбины, то возникает проблема утечки масла в проточную часть турбины, т.к. масло подается в подшипник под давлением избыточным давлением.

Одним из подходов к уменьшению утечек – это уменьшение числа уплотнений за счет выбора конструкции с консольным расположением рабочих колес на валу турбины. Выделяют два варианта конструкции турбины с консольным расположением рабочих колес (рис. 2).

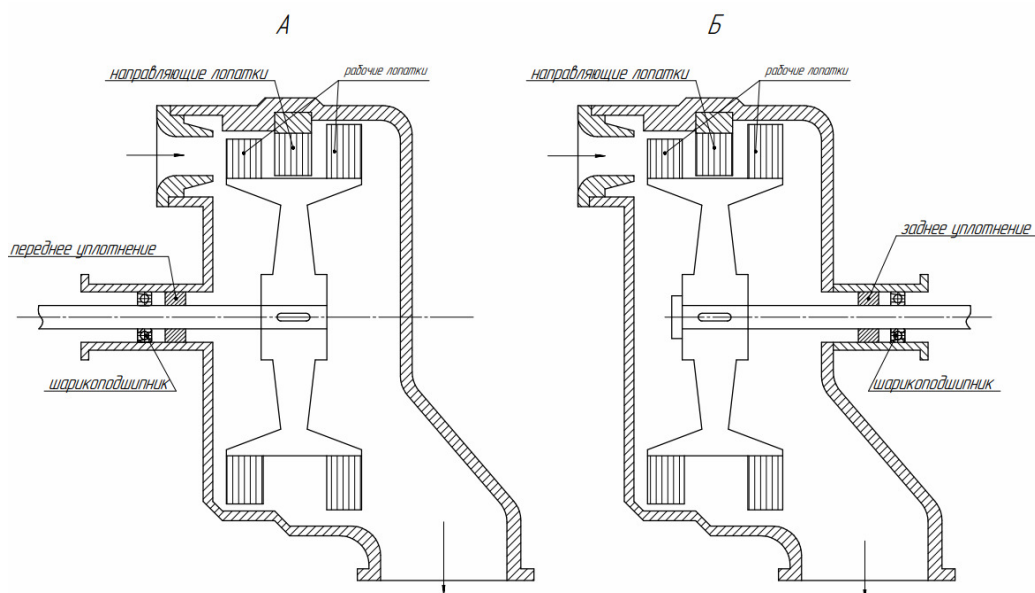


Рис.2. Консольное расположение рабочих колес турбины ОЦР:

А – расположение уплотнений спереди; Б – расположение уплотнений сзади

Если опоры вала расположены со стороны высокого давления (рис.2, А), то задачей уплотнения вала будет являться препятствие выхода рабочего тела в атмосферу или смешение его с маслом. Если опоры вала расположены со стороны низкого давления (рис.2, Б), задачей уп-

лотнения вала будет является препятствие подсоса воздуха или масла в проточную часть турбины. Опыт эксплуатации турбин подобной конструкции показал их высокую надежность, безопасность и снижение эксплуатационных затрат [2].

### Виды уплотнений

Уплотнения валов бывают трех видов: контактные, бесконтактные и комбинированные.

Достоинствами бесконтактных (щелевых или лабиринтных) уплотнений (рис. 3) является, большой ресурс работы, отсутствие трения и выделения тепла [4]. Главным недостатком бесконтактных уплотнений является то, что они не герметичны и имеют номинальную величину утечки.

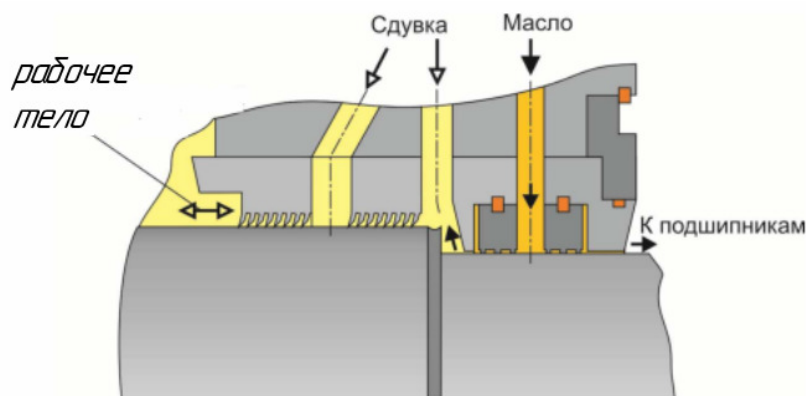


Рис.3 Щелевое уплотнение

Контактные уплотнения (рис. 4) практически герметичны, однако приходится учитывать ускоренный износ и нагрев элементов уплотнения, в том числе и самих деталей ротора, что влечет за собой более высокие эксплуатационные расходы и более частый ремонт [5].

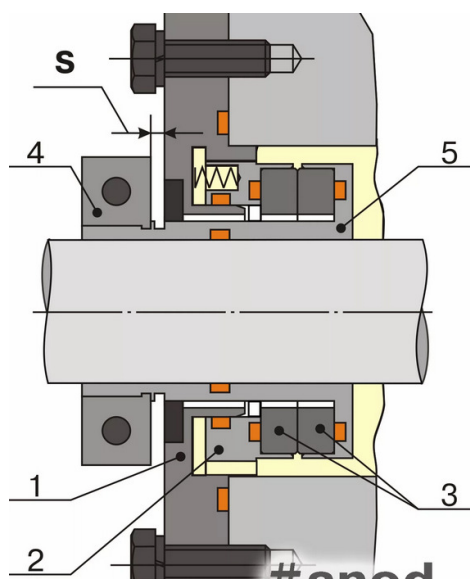


Рис. 4. Контактное торцевое уплотнение

Комбинированные уплотнения (рис. 5) представляют собой последовательное объединение бесконтактного и контактного уплотнений.



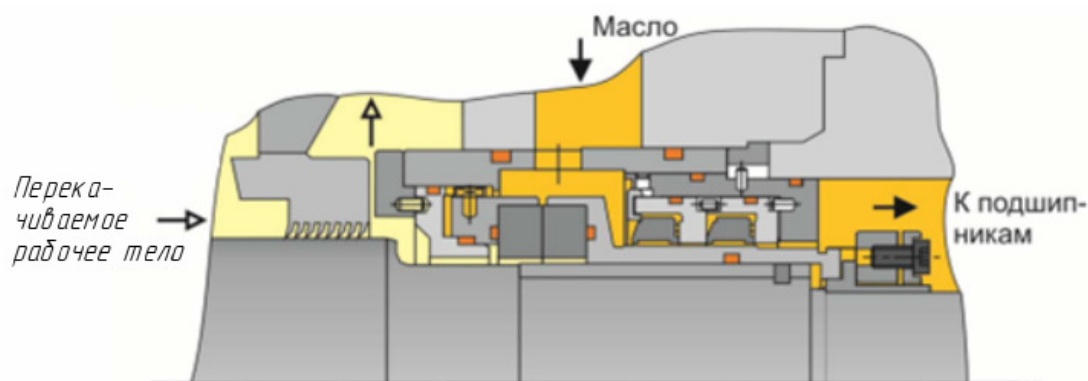


Рис. 5. Комбинированное уплотнение

Практически все уплотнения вала ОЦР-турбин относятся либо к плотно прилегающему лабиринтному и щелевому или к комбинированному типам [5]. Традиционные механические (контактные) уплотнения обычно не используются, т.к. высокие скорости запрещают использование контактных уплотнений в этих машинах.

#### **Заключение**

Из вышесказанного можно сделать вывод, что комбинированные уплотнения являются одними из лучших уплотнительных конструкций для снижения утечек в турбинах ОЦР, в частности, благодаря их простой конструкции, герметичности, низким инвестиционным и эксплуатационным затратам, а также высокой долговечности. Следует уделить внимание разработки методики выбора и расчета комбинированных уплотнений.

#### **Литература**

[1]. Junjiang Bao, Li Zhao - A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle//Renewable and Sustainable Energy Reviews URL: [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser) (Датаобращения: 05.10.2022 г.)

[2]. OrganicRankineCycle (ORC) PowerSystems /EnnioMacchi, MarcoAstolfi/URL: <https://www.elsevier.com/books/organic-rankine-cycle-orc-powersystems/macchi/978-0-08-100510-1> (Дата обращения: 05.10.2022 г.).

[3]. Mario Klun, Zvonimir Guzovic, Predrag Raškovic - Innovative small axial multistage turbine with partial admission for bottoming ORC//Energy Reports URL: [www.elsevier.com/locate/egy](http://www.elsevier.com/locate/egy) (Датаобращения: 21.10.2022 г.)

[4]. Газотурбинные установки. Часть 2: Конструкция ГТУ и их элементов: учебное пособие / А. А. Верховланцев, В. Г. Злобин. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. – 53 с. ISBN978-5-91646-277-7 URL: <http://www.nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1639009385.pdf?ysclid=19jwf3vvdy804424657> (Дата обращения: 27.10.2022 г.).

[5]. Wu T, San Andres L - Gas labyrinth seals: on the effect of clearance and - operating conditions on wall friction factors e a CFD investigation//Tribol Int 2019;131:363e76. URL: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.10.046> (Дата обращения: 25.09.2022 г.)

## ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Голиков Андрей Сергеевич

golickov.a.s@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Чубаров Федор Леонидович

fedor1966chub@yandex.ru

КФ ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

*Необходимость проверки и подтверждения результатов математического моделирования процессов в турбомашинах требует создания экспериментальных установок, на которых она будет производиться. В то же время изготовление экспериментальной установки сопровождается значительными трудностями различного характера. Одним из которых является изготовление рабочих участков установки, которые представляют из себя детали со сложными поверхностями. Проектирование и изготовление таких элементов требует наличия оборудования способного создать такие поверхности. Целью данной работы является обзор возможностей аддитивных технологий для производства элементов экспериментальных установок для исследования процессов в проточных частях турбомашин. Возможности современных устройств для трехмерной печати различными материалами открывает широкие возможности для конструирования и создания установок, сокращения времени на подготовку и проведение натурного эксперимента*

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, реальный эксперимент, математическое моделирование

Необходимость в оборудовании для создания элементов экспериментальных установок

Математическое моделирование течения жидкостей и газов добилось в настоящее время больших успехов. Благодаря этому произошло ускорение разработки различных установок и устройств. Также это позволило снизить затраты на их производство.

Однако математика не может до конца вытеснить натурный эксперимент. Недостатки математических моделей не позволяют с необходимой точностью предсказать поведение рабочего тела в установке. Отсутствие необходимой вычислительной мощности не даёт возможности сделать математическую модель максимально близкой к реальной картине процесса.

Расчеты должны подтверждаться на практике. Экспериментальная часть аэродинамического эксперимента имеет давнюю историю [1]. Ключевым объектом в ней является экспериментальная установка. Именно она является главной частью любого натурного эксперимента [2].

Однако здесь лежит и одна из главных проблем проведения эксперимента. Необходимо разработать и собрать установку. Найти необходимые материалы и детали, приборы и датчики, системы обработки полученной информации. Изготовить необходимые узлы, провести тарировку датчиков и измерительной аппаратуры.

В создании экспериментальной установки для исследования потока в элементах турбомашин важной частью является решетка аэродинамических профилей, которые исследуются с различными целями.

Но изготовление этих элементов связано со значительными трудностями. Если для заводских испытаний есть материал для решеток как с реальных машин, так и возможность изготовить необходимые профили на производстве, то для эксперимента, проводимого в рамках научной или учебной деятельности не всегда есть возможность достать или заказать изготовление необходимых профилей. Это связано, чаще всего, с финансово-организационным планированием деятельности предприятия. Оно не видит особой прибыли и интереса в мелкой

партии деталей, для которых необходимо готовить оснастку, выделять материалы, занимать станочное время и прочее.

Поэтому для проведения эксперимента своими силами требуется или связи с заводом или нечто, что позволит создать решетки или отдельные профили с необходимой точностью и достаточно прочные, чтобы выдержать умеренные нагрузки.

Таким образом применение аддитивных технологий позволяет найти приемлемое решение, как по требованиям к эксперименту, так и возможности его реализации.

Современное состояние аддитивных технологий, установок для печати, опыт работы с ними позволяет относительно быстро и с достаточной точностью создавать необходимые детали экспериментальных установок.

На рис. 1 представлена экспериментальная решетка сопловых профилей, изготовленная с использованием готовых элементов из металла и оргстекла.

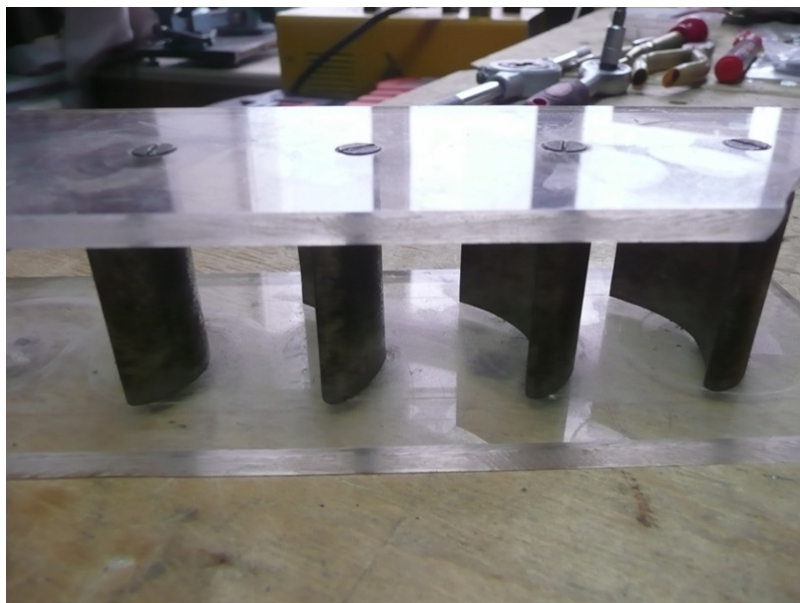


Рис.1 Модельная решетка, изготовленная без применения аддитивных технологий

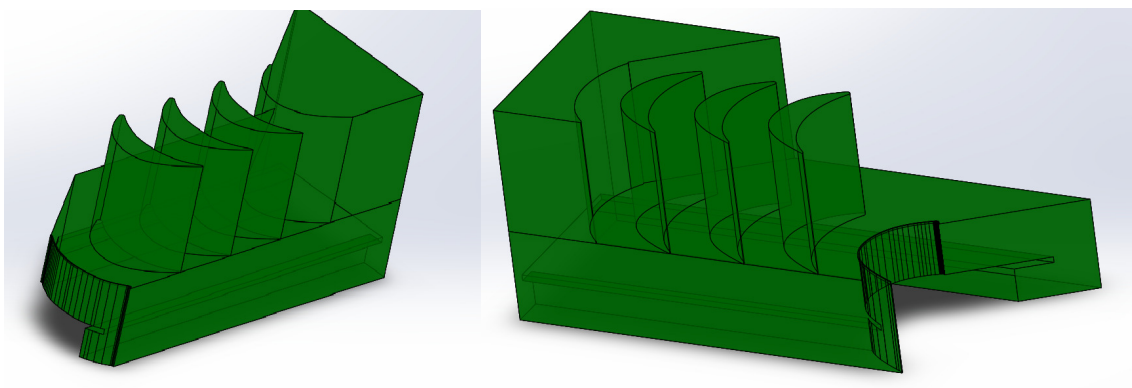


Рис. 2. Модели турбинной решетки

На рис.2 представлена трехмерная модель решетки профилей, разработанная на одном из пакетов для твердотельного моделирования. Результат изготовления показан на рис.3

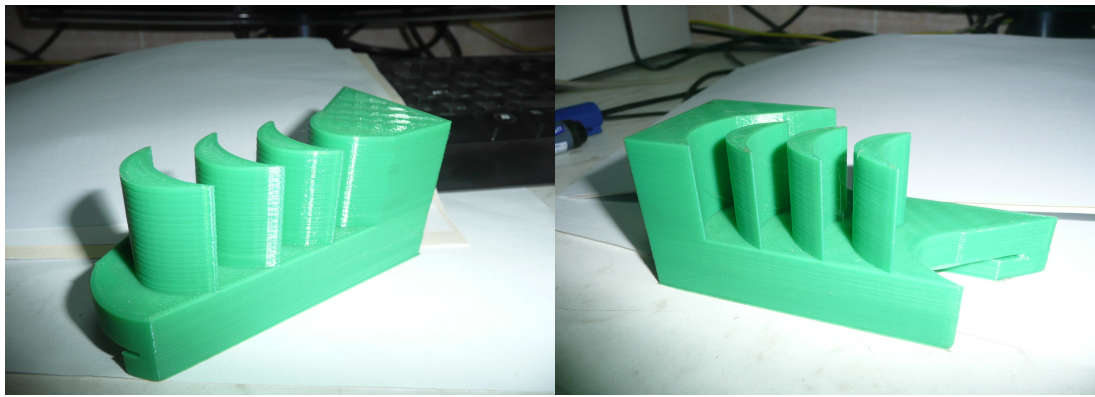


Рис. 3. Распечатанный элемент решетки профилей.

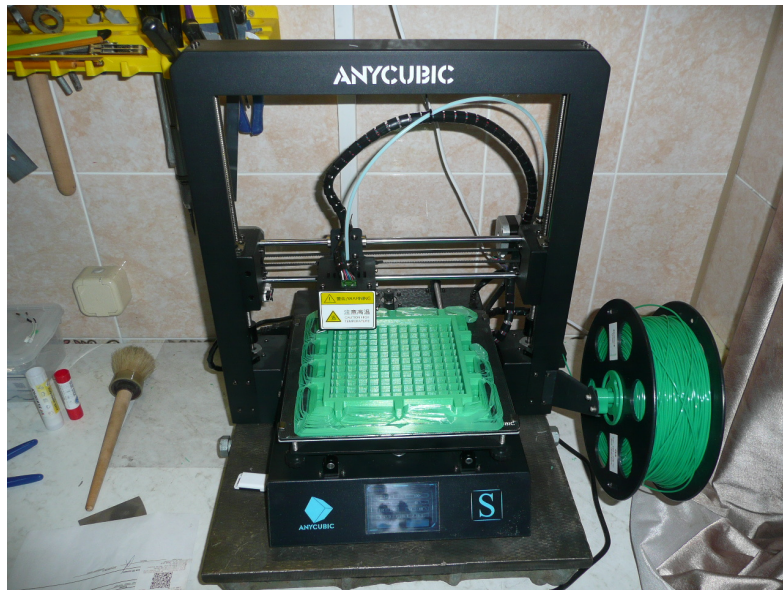


Рис. 4. 3D принтер за работой

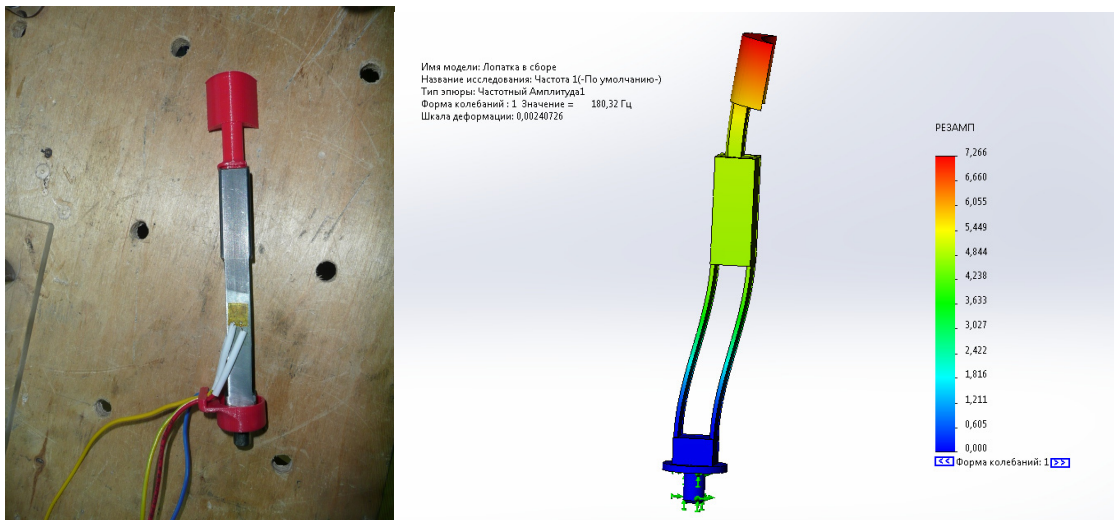


Рис. 5. Смоделированный и созданный с использованием 3Д печати элемент экспериментальной установки

### Результаты и их обсуждение

На создание элемента проточной части турбомашины уходит меньше затрат по времени по сравнению с изготовлением из готовых элементов, которые еще необходимо собрать. Распечатанный элемент сразу готов к установке без окончательной сборки и доводки, которая была

сделана на этапе проектирования трехмерной модели. Полученные детали обладают достаточно точной формой и приемлемой прочностью для работы в установке (рис. 5).

Доступность и компактность, невысокие требования к внешним условиям оборудования для 3Д печати (рис.3) позволяет размещать его практически в любом доступном для этого месте.

### **Заключение**

Благодаря аддитивным технологиям имеется практическая возможность изготовления деталей сложной формы для использования их в натурном аэродинамическом эксперименте с приемлемыми затратами и доступностью для широкого круга пользователей.

### **Литература**

[1]. *Краснов Н.Ф.* Прикладная аэродинамика // Учебное пособие для вузов. М.: «Высшая школа». – 1974. – 732 с. с ил.

[2]. *Повх И.Л.* Аэродинамический эксперимент в машиностроении // Л.: «Машиностроение». – 1974. –480 с.



## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ ЗЕМСНАРЯДОВ ПРИ ДОБЫЧЕ ПЕСКА

Ващенко Анастасия Витальевна

sveridova.alenka@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Ушаков Никита Александрович

mail:niktia3010@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Савин Владимир Юрьевич

savin.study@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Добыча речного песка является довольно сложным процессом и трудозатратным, но его свойства уникальны, а область применения многогранна. Речной песок широко востребован во многих областях: строительные работы, дорожные, производство, благоустройство территории и декоративные работы, сельское хозяйство. В данной работе произведен анализ работы насосного оборудования земснаряда добывающей, речной песок, компании, которая находится в Перемышльском районе Калужской области. В качестве грунтового насоса на данном предприятии используется лопастной насос типа ГРyТ. Выявлены основные поверхности грунтового насоса с повышенным износом. В результате анализа был определен характер износа. Даны рекомендации для направления работ по уменьшению износа рабочих колес и повышению ресурса насосных установок земснарядов*

**Ключевые слова:** Ключевые слова: земснаряд, добыча песка, лопастной насос, абразивный износ

В народном хозяйстве широко востребован речной песок, полученный при разработке карьеров и добычи со дна рек земснарядами. Такой песок отличается высоким качеством, что обусловлено этапом промывки в технологии его добычи и, как следствие, минимизацией различных примесей, таких как органические вещества, глина, гравий, уголь и др.

Существует две основные технологические схемы землесосных снарядов: гидроэлеваторная и с использованием лопастного грунтового насоса.

Эжекторные (гидроэлеваторные) снаряды представляют собой землесосные машины, где в качестве всасывающего органа используется струйный насос (струйный аппарат, эжектор).

Гидроэлеваторы отличаются простотой конструкции, но имеют достаточно низкий КПД, составляющий 20-30%.

Благодаря большому КПД предпочтительным методом добычи песка является добыча с помощью грунтового лопастного насоса. Основная рабочая часть земснаряда – это гидротранспортирующая установка, в которую входят насос, привод, всасывающий пульпопровод, напорный трубопровод, соединяющий насос с плавающим пульпопроводом. В зависимости от присутствующих в районе карьера коммуникаций, используют приводы насоса: электрический, дизельный, дизель-электрический и т.д.

В рамках научной работы по теме «Перекачивание абразивных гидросмесей» был произведен анализ работы насосного оборудования земснаряда добывающей компании, находящейся в Перемышльском районе Калужской области.

Основное насосное оборудование представлено насосом ГруТ производительностью 3000 м<sup>3</sup>/ч и напором 72 м. Отличительным признаком насосов данного типа является то, что в наружном корпусе установлен внутренний корпус с кольцевым отводом и защитными дисками [1].

Был произведен анализ износа насоса. Наибольшему износу подвержено рабочее колесо. Особо выделяется повышенный износ рабочего колеса на входе (рис. 1.). Характер износа – глубокий чешуйчатый. В целом характер износа говорит об использовании насоса в неоптимальных режимах и вероятной рециркуляции на входе.

По мнению отраслевых специалистов, при выборе насоса и проектанты, и поставщики оборудования редко задумываются о процессах, происходящих в перекачиваемой гидросмеси конкретного состава и проточной части грунтовых насосов. В основном, определяющими факторами при выборе насосов являются значения подачи, напора, потребляемой мощности и КПД [2].

Особенностью большинства насосов для перекачивания гидросмесей с крупными включениями является перерасширение меридианных сечений, что приводит к существенному снижению их гидравлических качеств. Это часто ведет к возникновению вихрей на входе и выходе рабочего колеса и снижению гидравлического КПД насоса [3].



Рис. 1. Износ входной кромки лопасти рабочего колеса

Использование насосов в неоптимальных режимах приводит к рециркуляции на входе и выходе из насоса, повышенному абразивному износу, снижению энергоэффективности насосных систем.

Для оптимизации процессов перекачивания гидросмесей необходимо произвести разбивку гидросмесей на определенные группы и в рамках каждой группы установить особенности изменения структуры потока. Группа должна определяться фракционным составом, концентрацией, абразивностью.

Так, особенностью добычи песка на рассматриваемом карьере является преобладание мелкофракционного зерна (до 0,5 мм) и большой процент гравия в гидросмеси, причем определенный объем работ производится только на гравии.

Определение оптимальных углов атаки при профилировании входных участков лопастей с учетом группы гидросмеси является одной из важнейших задач исследования при разработке методики расчета насосов при перекачивания абразивных гидросмесей.

Разработка методики проектирования лопастного насоса с учетом группы гидросмеси позволит оптимизировать структуру потока, уменьшить износ рабочего колеса, выровнять износ рабочего колеса по основным поверхностям, тем самым увеличить КПД и ресурс насосной установки.

## Литература

[1] *Малюшенко В.В.* Динамические насосы: Атлас / В.В. Малюшенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 84 с.

[2] *Дубовой В., Мызников И., Твердохлеб И.* Проблемы работоспособности грунтового насоса в горнорудном производстве. [Электронный ресурс]. URL: [https://hms.ru/reference\\_materials/816/9586/?ysclid=194fkwgqd3658353425](https://hms.ru/reference_materials/816/9586/?ysclid=194fkwgqd3658353425) (дата обращения: 10.10.2022г.)

[3] *Карелин В.Я.* Износ лопастных гидравлических машин от кавитации и наносов/ В.Я. Карелин – М.: Машиностроение, 1970. – 184 с.



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Азаренко Никита Александрович

Kotl99@yandex.ru

КФ МГТУ им. Баумана

Шитохина Ольга Григорьевна

shitohina@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В статье рассмотрены основные характерные особенности типовых систем автоматического регулирования (САР), применяющихся в составе паротурбинных установок (ПТУ). Проведен сравнительный анализ САР, используемых в составе ПТУ. Показано, что переход к электрогидравлическим системам регулирования нового поколения позволяет повысить быстродействие САР, точность регулирования частоты вращения ротора и мощности турбины, снизить нечувствительность отдельных узлов САР на разных режимах, упростить ее настройку и ремонт, уменьшить массогабаритные показатели узлов систем регулирования. Для регулирования основных теплофизических параметров турбин с повышенными требованиями по точности позиционирования (до 0,01 мм), быстродействию (до 0,2-0,5 секунд) и развиваемым усилиям (до 30000-40000 Н), производимыми в РФ, целесообразно использовать электромеханический привод прямого действия, что позволяет повысить надежность работы и упростить систему регулирования*

**Ключевые слова:** гидродинамическая САР, электрогидравлическая САР, электромеханическая САР

Системы автоматического регулирования (САР) паровых турбин являются одними из наиболее сложных систем современных энергоустановок, существенно влияющих на эффективность и особенность работы ТЭС, АЭС и т.д. Основными задачами регулирования ПТУ являются:

- автоматическое поддержание заданной частоты вращения ротора турбоагрегата при его автономной работе на индивидуальную нагрузку в соответствии со статической характеристикой и заданной степенью неравномерности,
- регулирование и поддержание электрической мощности генератора,
- регулирование и поддержание давления промежуточного отбора пара [1].

По функциональному составу задействованного оборудования САР, применяющиеся для регулирования параметров ПТУ, могут быть поделены на гидродинамические, электрогидравлические и электромеханические. Основной функциональный признак такого деления – то, каким образом происходит управление положением исполнительного регулирующего органа (отсечного золотника, клапана парораспределения или даже арматуры).

В гидродинамическая САР, напор, развиваемый насосом, зависит от частоты вращения его рабочего элемента (колесо, шестерня, винт). Если вал насоса связать непосредственно или через редуктор с валом турбины, то развиваемый им напор отображает частоту вращения ротора турбины. Это свойство насоса используют для создания гидродинамической системы регулирования, в которой он является датчиком частоты вращения. САР имеет ряд характерных особенностей, среди которых можно отметить насос-регулятор (НР) с пологой (слабопадающей) напорной характеристикой, использующийся и как источник маслоснабжения системы регулирования-защиты-смазки, и как датчик частоты вращения – по перепаду давления на НР (рис.1) [2]. Все элементы системы регулирования, которые должны воспринимать импульс изменения частоты вращения (ЧВ), соединены между собой импульсными масляными линиями и подключены к напорной линии НР, слив же отработавшего масла в динамических режимах поступает на всасывание НР, а не в масляный бак, поддерживая постоянство напора. Импульс изменения ЧВ усиливается при помощи трансформатора давления, улавливается чувствительным элементом (отсечным

золотником) и обрабатывается исполнительным органом – гидравлическим сервомотором регулирующего клапана в сторону уменьшения изменения ЧВ, реализуя принцип управления по отклонению.

Гидродинамическая САР конструктивно определяла облик систем регулирования ПТУ в течение нескольких десятков лет [2] и заложила прочную основу для дальнейшего их развития.

Электрогидравлическая САР (ЭГСАР) – САР, в которой перемещение исполнительного регулирующего органа (гидравлического механизма) происходит при помощи электрогидравлического усилителя. Таким усилителем обычно выступает линейный электромеханический привод (ЭМП) (рис.2), представляющий собой бесщёточный электродвигатель со специальным блоком цифрового управления, в связке с отсечным золотником блока регулирования [3].

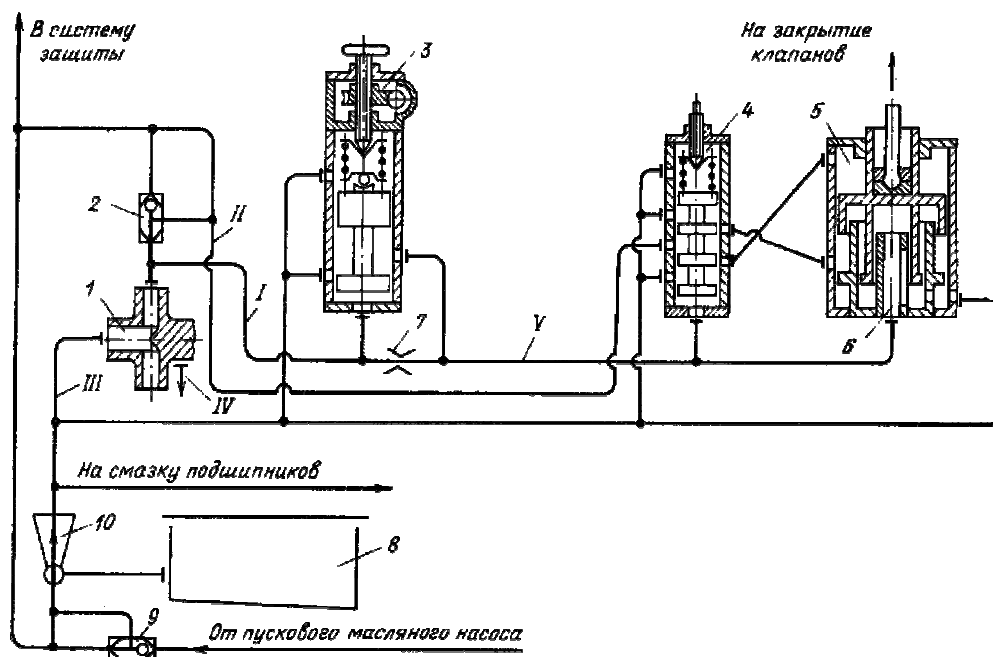


Рис.1 Принципиальная схема автоматического регулирования конденсационной турбины КТЗ

Если в гидродинамической САР положение (отклонение от «нейтрали») отсечного золотника в блоках регулирования (БР) определялось изменением давления масла в импульсной линии, то в ЭГСАР оно определяется прямым воздействием от ЭМП по управляющему электрическому сигналу из системы управления (микропроцессора). В новых БР, объединяющих в своём корпусе только отсечной золотник и сервомотор, был сохранен уровень давления масла, принятый ранее в гидродинамических САР, что позволило избежать дополнительной отработки новых типов уплотнений в системе маслоснабжения. Благодаря исключению из БР многочисленных проточных каналов, камер, импульсных линий и исключению из состава системы отдельных узлов, массогабаритные показатели гидромеханической части удалось существенно снизить при одновременном упрощении как её изготовления, так и настройки. Текущий сигнал от датчика положения, установленного на сервомоторе или на регулирующем клапане, используется для коррекции управляющего сигнала на ЭМП.

Характерной особенностью ЭГСАР является высокая точность и быстрое действие регулирования (обеспечиваемые, в том числе и конструкцией ЭМП), а также возможность полной автоматизации процесса пуска и работы ПТУ.

Электромеханическая САР – САР, в которой перемещение исполнительного регулирующего органа происходит путём прямого воздействия на него электромеханического привода («прямой привод») (рис.3).

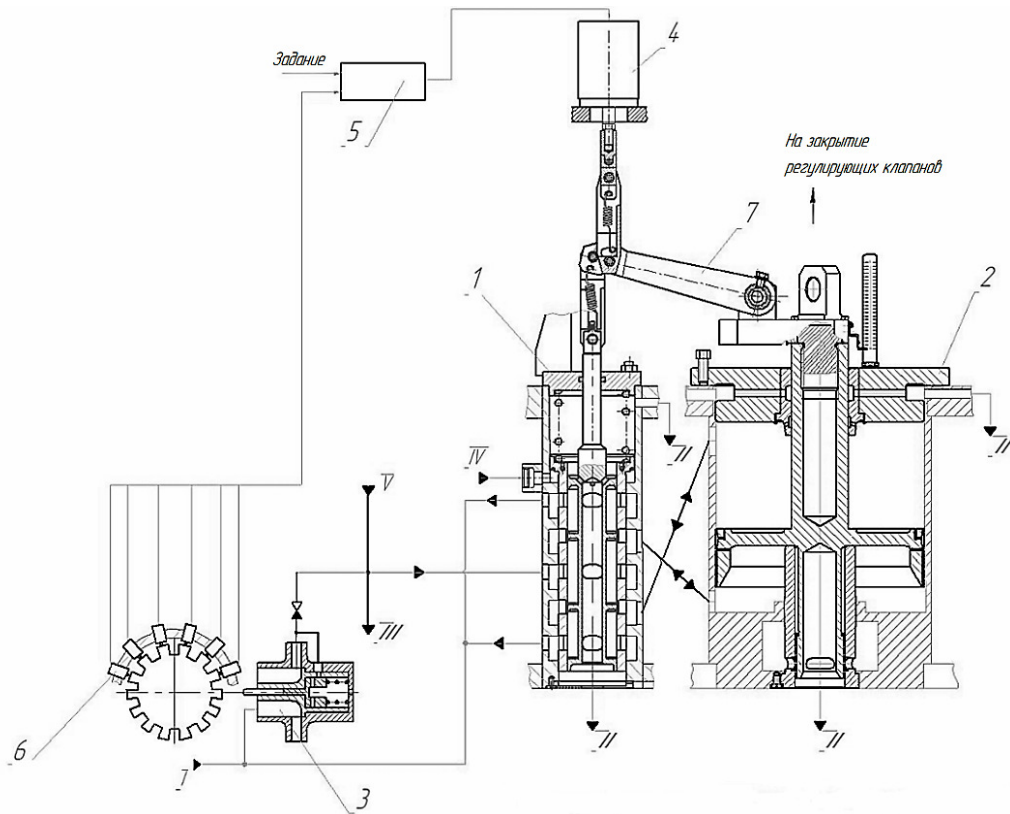


Рис.2 Принципиальная схема системы регулирования ЭГСАР

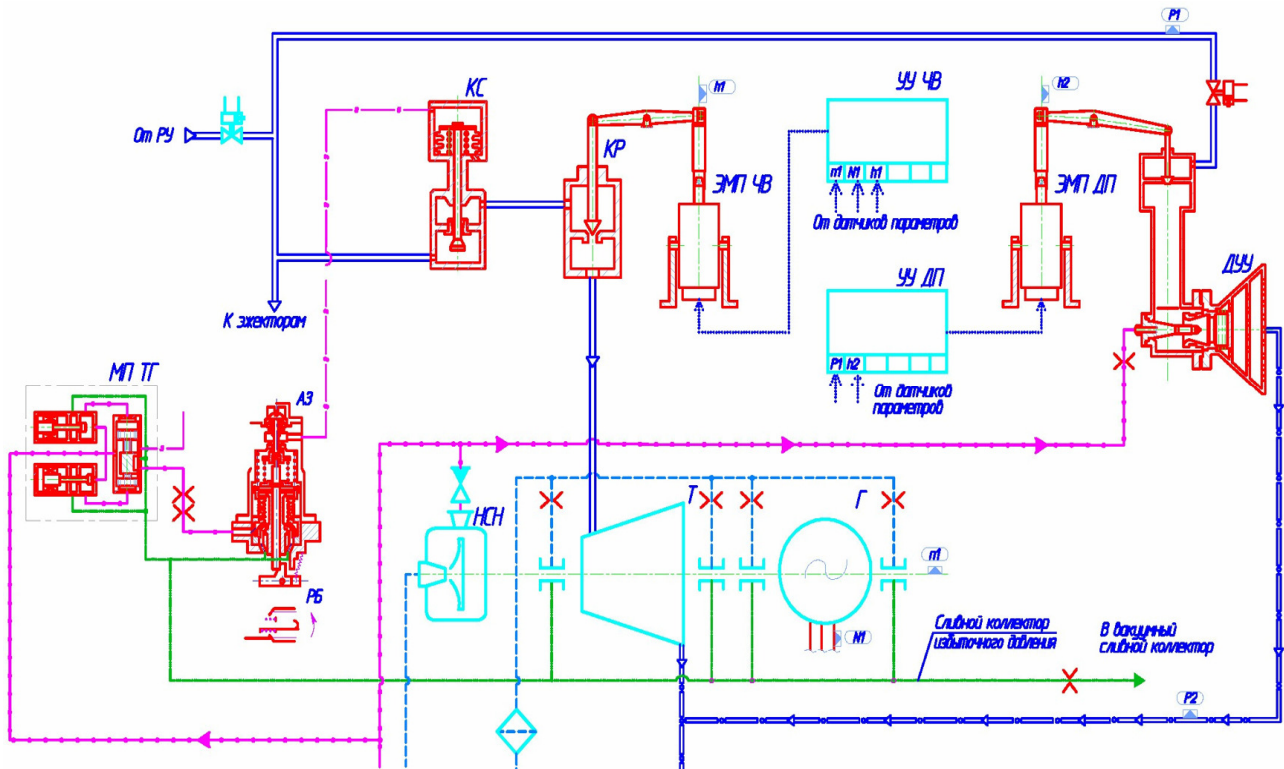


Рис.3 Электромеханическая САР

ЭМП при этом аналогичен по типу с применяемым в ЭГСАР, однако должен обладать достаточным перестановочным усилием и требуемым быстродействием. Промежуточное звено – отсечной золотник с сервомотором и БР, характерное для ЭГСАР, при этом исключается. В САР ПТУ системы подобного типа реализованы так же в контурах регулирования ряда теплофизиче-

ских параметров, таких как температура масла и воды, давление пара в концевых уплотнениях, уровень в конденсатосборнике и регенеративных подогревателях [4].

Ввиду конструктивных ограничений у имевшихся ЭМП по быстродействию (более 1 с) и развиваемым усилиям (не более 2,5-3 кН) их применение для регулирования быстропротекающих процессов, таких как регулирование частоты вращения ротора или давления пара перед ПТУ, до недавнего времени оставалось невозможным [4], в то время как выбор ЭМП был сравнительно невелик.

На основе вышеизложенного можно составить таблицу сравнительного анализа типов САР (табл. 1).

Таблица 1

### Сравнительного анализа типов САР

Достоинства	Недостатки
<b>Гидродинамическая</b>	
просто ремонтировать надежна надежна и стабильна в эксплуатации более энергонезависима, чем ЭГСАР элементы и узлы хорошо отработаны за многолетнюю эксплуатацию	очень «чувствительна» к качеству рабочего масла значительно более сложна в изготовлении и эксплуатации, чем ЭГСАР требует более трудоёмкой процедуры настройки большое количество маслопроводов затрудняет обеспечение герметичности более трудоёмкие процедуры настройки
<b>Электрогидравлическая</b>	
более высокое быстродействие и точность поддержания регулируемого параметра сокращение количества узлов системы и маслопроводов расход масла существенно ниже рабочий диапазон регулирования шире возможна полная автоматизация работы и непрерывная техническая диагностика	требования к качеству и чистоте рабочего масла остаются неизменными 7 дополнительные вопросы, связанные со стыковкой ЭУЧ и ГМЧ более энергоёмка, чем ГСАР.
<b>Электромеханическая</b>	
все достоинства, указанные для ЭГСАР не требует рабочего масла в связи с исключением промежуточных элементов надёжность, работы повышается	Для регулирования быстропротекающих и высоконагруженных процессов ряд доступных к использованию ЭМП весьма ограничен либо ЭМП данного типа потребляют более высокие мощности

Таким образом основным направлением модернизации систем регулирования ПТУ является замена гидравлических САР турбомеханизмов на электрогидравлические и электромеханические, разработанные на базе микропроцессорной цифровой техники с использованием быстродействующих электромеханических линейных приводов с целью повышения качества регулирования параметров и упрощения системы маслоснабжения.

### Литература

[1]. *Регулирование и автоматизация паровых турбин и газотурбинных установок*: Учебное пособие/Под общей редакцией В.Б. Новоселова. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2003. – 344 с.

- [2]. *Паровые турбины малой мощности КТЗ* / В.И. Кирюхин, Н.М. Тараненко, Е.П. Огурцова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 215 с.
- [3]. *Булкин А.Е.* Автоматическое регулирование энергоустановок. – М.: Изд. дом МЭИ, 2009.– 508 с.
- [4]. *Кириллов А.А, Кушбасов А.Н.* Концепция разработки оборудования для блочной АТГУ и ПТУ. Анализ существующих схем регулирования и предложения по их модернизации. Материалы X молодежной научно-технической конференции «Взгляд в будущее – 2012». – С.-Пб.: Изд-во ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», 2012. – 356 с.

**СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ХАРАКТЕРИСТИК КРЫЛОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ЖУКОВСКОГО****Тешабаев Кирилл Тимурович****kirill.teschabaev@yandex.ru***КФ МГТУ им. Баумана***Музаровский Виталий Павлович****muzharovskiy@internet.ru***КФ МГТУ им. Баумана***Ильичев Владимир Юрьевич****ivl2003@mail.ru***КФ МГТУ им. Баумана*

*Для создания основополагающих элементов современных энергетических и транспортных установок (лопатки турбин, компрессоров, вентиляторов; крылья самолётов, гребные винты кораблей) применяются крыловые профили. Наиболее известным видом такого профиля является аэродинамический профиль Жуковского, на котором при расчётном режиме его обтекания создаётся подъёмная сила. Многовариантный расчёт профиля Жуковского является довольно трудоёмкой задачей, нуждающейся в применении средств автоматизации. Целью описываемой работы является разработка программного продукта, позволяющего быстро производить расчёт крылового аэродинамического профиля Жуковского при разном наборе исходных данных. По результатам расчёта должны строиться графические зависимости координат образующей профиля, распределения скоростей и давлений по контуру образующей, а также зависимость подъёмной силы от угла атаки. Описаны особенности кода созданной программы на языке Python, а также применённые при его написании библиотеки дополнительных функций. В заключении перечислены рекомендуемые области применения полученного в ходе работы программного продукта, а также приведён план по продолжению исследования проблемы обтекания аэродинамических профилей*

**Ключевые слова:** *крыло, профиль Жуковского, подъёмная сила, программирование, язык Python*

Описываемая в статье работа посвящена разработке методики автоматизированного проектирования профиля Жуковского по заданным теоретическим зависимостям. Для разработки компьютерной программы был использован свободно распространяемый и самый популярный на данный момент язык Python. Смысл этого программного обеспечения в том, чтобы студенты лучше понимали аэродинамику крыла Жуковского.

### *Методы*

Для создания программного продукта на языке Python была использована расчётная методика, основанная на теории крыла Жуковского [1]. Рассмотрим набор операций, последовательно прописанных в созданном коде программы:

1. Осуществление импорта дополнительных модулей:

- **Math** для определения математических (в частности, тригонометрических) функций;
- **Matplotlib.Pyplot** для визуализации выполненных расчётов [2];
- **Kivy** для создания современного пользовательского интерфейса;
- **Sys** для отработки системных событий.

2. С помощью функций библиотеки **Kivy** осуществлено задание размеров окна и цвета фона, создание и определение мест расположения виджетов:

- текстовых меток;
- полей ввода исходных данных;
- программных кнопок с назначением событий.

3. Блок заполнения текстовых полей значениями исходных данных для расчёта примера, в котором также использованы команды из модуля Kivy. Данные заносятся в текстовые поля при нажатии на кнопку «Вставить значения по умолчанию».

4. Блок получения пользовательских исходных данных из текстовых полей при нажатии на кнопку «Расчитать профиль»: радиуса конформного отображения первой образующей окружности  $R_1$ , относительного изгиба профиля  $h/R_1$ , относительного приращения радиуса для второй окружности  $\varepsilon/R$ , угла набегания потока (угла атаки)  $\alpha$  [3].

5. Вычисление геометрических параметров, указанных на рис. 1 и не зависящих от угла конформного отображения  $\omega$  (угла обхода образующей профиля).

6. Создание пустых массивов, для дальнейшего заполнения их результатами расчётов при разных углах  $\omega$  – занесения в них координат  $x$  и  $y$ , а также значений скоростей обтекающего профиля потока (относительно скорости  $V_0$  набегающего потока)  $V/V_0$  и значений давлений на профиле (относительно давления набегающего потока)  $\bar{p}$ .

7. Определение основной, циклически выполняемой, функции программы, предназначенной для вычисления координат профиля, относительных скоростей и давлений при изменении угла  $\omega$  от 0 до 360° и заполнение созданных в п. 6 массивов полученными значениями.

8. Визуализация результатов расчётов с помощью функций модуля Matplotlib. Pyplot путём формирования трёх графиков:

- зависимости относительной скорости обтекающего профиль потока  $V/V_0$  от координаты  $x$  также для спинки и для корытца;
- зависимости относительного давления  $\bar{p}$  на спинке и на корытце от координаты  $x$ ;
- зависимости подъёмной силы  $P$  от изменяющегося от -90° до 90° угла атаки  $\alpha$ , возникающей из-за набегающего со скоростью  $V_0$  потока, имеющего плотность  $\rho$ .

9. Создание функции для закрытия окна программы при нажатии на кнопку «Выход».

### *Полученные результаты*

В качестве исходных данных для расчёта примера приняты следующие значения: радиус конформного отображения первой образующей окружности  $R_1 = 30$  мм; относительный изгиб профиля  $h/R_1 = 0.15$ ; относительное приращение радиуса второй образующей окружности  $\varepsilon/R = 0.1$ ; угол атаки  $\alpha = 5^\circ$ ; скорость набегания потока  $V_0 = 10$  м/с; плотность набегающего потока  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

Вид интерфейса программы при нажатии на кнопку «Вставить значения по умолчанию», приведён на рис. 1.

После запуска расчёта путём нажатия на кнопку «Расчитать профиль» появляются изображение профиля крыла и график скорости потока вблизи спинки и корытца профиля по отношению к скорости набегающего потока (рис. 2).

Из графика (см. рис. 2) видно, что на спинке профиля скорость больше, чем на корытце и в основном превышает скорость набегающего потока. Согласно закону Бернулли, это вызывает перепад давлений, являющийся причиной появления подъёмной силы  $P$  [3].

Данный перепад давлений также подтверждается графиком, полученным с помощью созданной программы (рис. 3). Из рисунка видно, что давление, действующее на корытце, значительно выше, чем действующее на спинку, поэтому возникает подъёмная сила, направленная снизу-вверх. Подъёмная сила будет равна нулю, если набегающий поток направить под углом  $\alpha = -\lambda$  (рис. 2). По расчётам данная величина  $\alpha$  в этом случае должна быть равна  $-8.53^\circ$ . Это подтверждается следующим графиком, который показывает зависимость подъёмной силы от угла атаки  $\alpha$ .

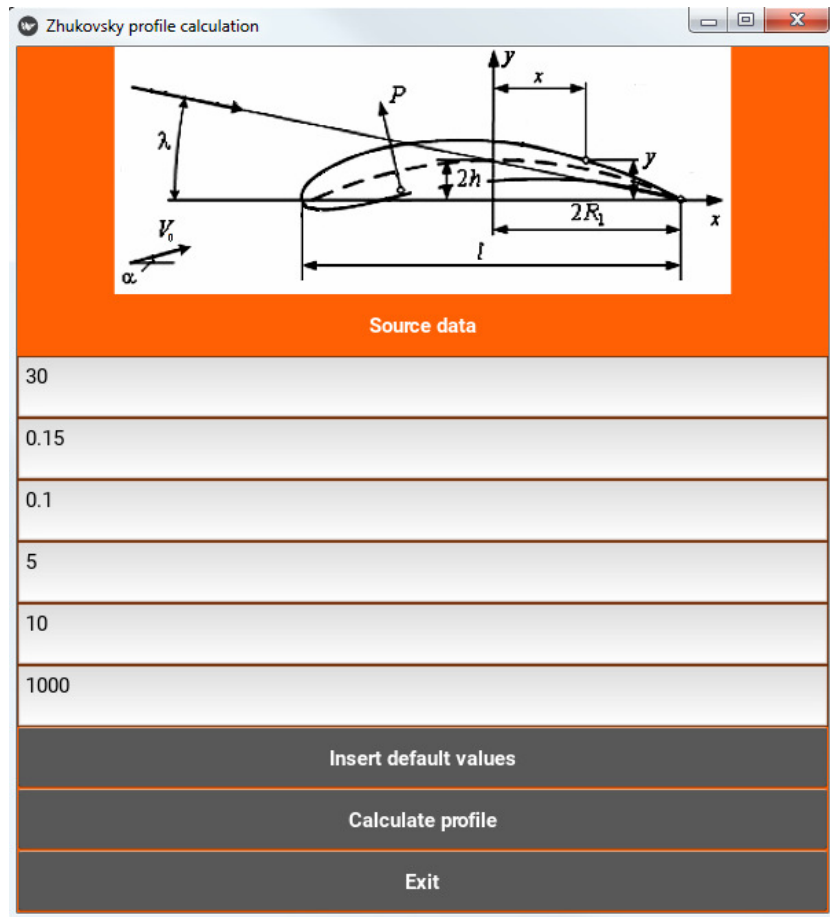


Рис. 1. Вид интерфейса программы при нажатии на кнопку «Вставить значения по умолчанию»

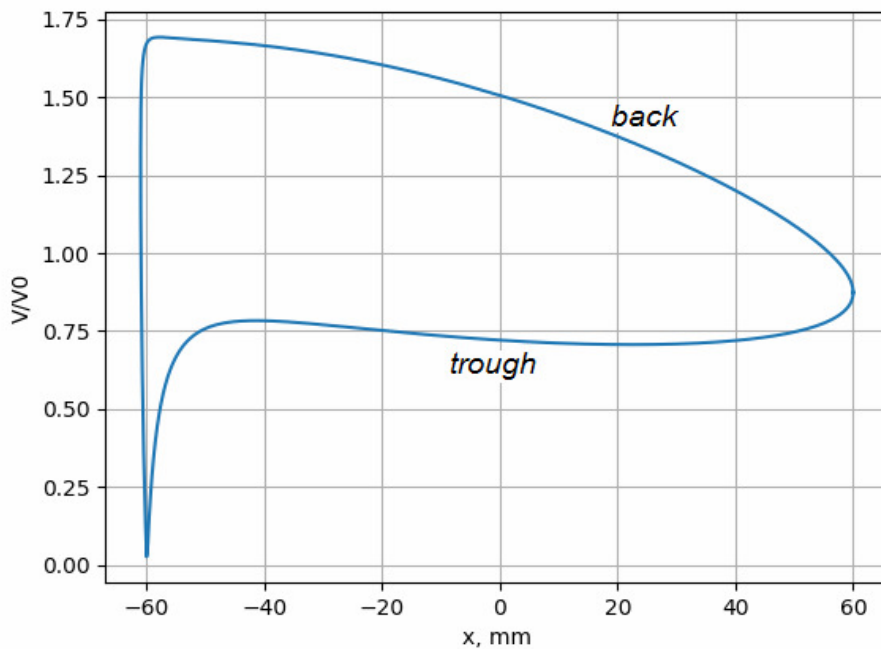


Рис. 2. График относительной скорости потока вблизи профиля Жуковского



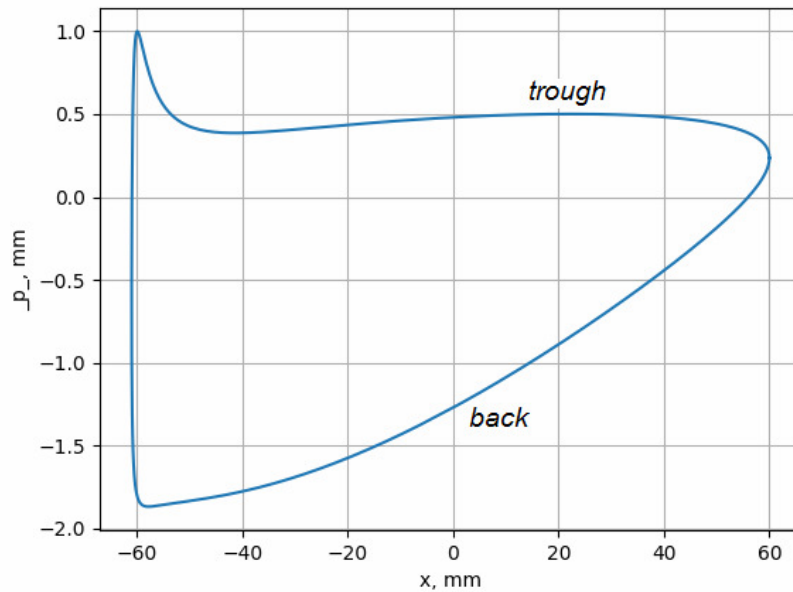


Рис. 3. График относительного давления на профиле Жуковского

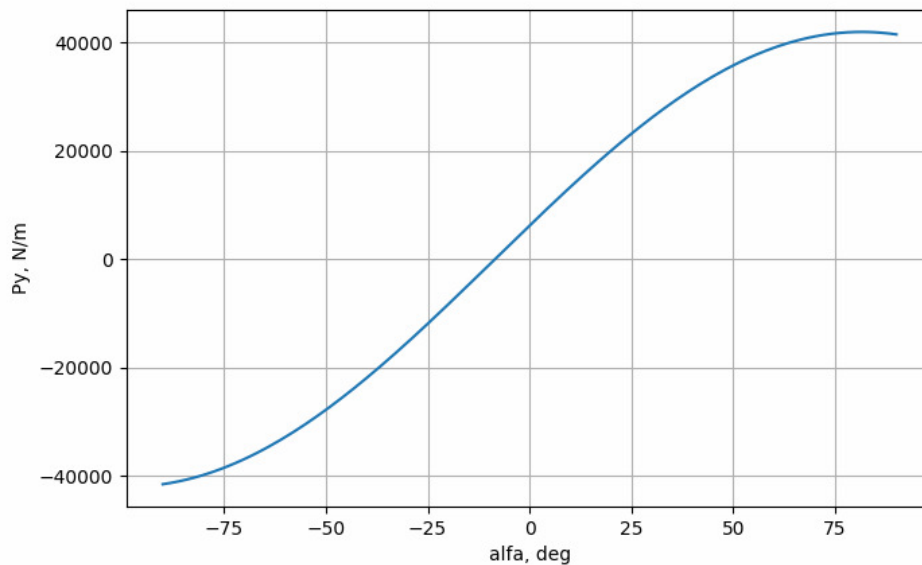


Рис. 4. Зависимость подъёмной силы от угла атаки.

Видно, что при уменьшении угла атаки ниже значения  $8.53^\circ$  подъёмная сила приобретает значение меньше нуля, т.е. направлена сверху-вниз.

### Вывод

Можно рекомендовать использование созданного программного продукта для расчёта аэродинамического крылового профиля Жуковского в следующих областях: в учебных заведениях; в проектных организациях; для обучения специалистов; в качестве примера для обучения навыкам программирования в среде Python.

### Литература

[1]. Makarov V.N., Makarov N.V., Lifanov A.V., Materov A.Y., Kitonsa H. Mathematical model of conformal mappings in the theory of radial grids of mine turbomachines. // Springer Proceedings in Mathematics and Statistics. - 2020. - P. 337-346.

- [2]. *Ilichev V.Y.* Investigation of characteristics of fractal wire antennas made in the form of Koch curve. // *European Journal of Natural History*. - 2021. - № 2. - P. 41-46.
- [3]. *Gorban I.M., Lebid O.G.* Numerical modeling of the wing aerodynamics at angle-of-attack at low Reynolds numbers. // *Understanding Complex Systems*. - 2019. - P. 159-179.

## **СЕКЦИЯ 5.**

### **МЕТОДЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ; АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ**

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ  
КАРТЫ ГЛУБИНЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ****Кандаурова Ксения Игоревна****kkandaurova@gmail.com***КФ МГТУ им Н.Э. Баумана***Гафуров Эмиль Тимурович****Zack.t.brom@yandex.ru***КФ МГТУ им Н.Э. Баумана***Литовченко Данила Михайлович****romgan97@mail.ru***КФ МГТУ им Н.Э. Баумана***Корлякова Мария Олеговна****mkorlyakova@ya.ru***КФ МГТУ им Н.Э.Баумана*

*Получение информации о глубине из 2D-изображений очень важно в области обработки изображений и компьютерного зрения. Информация о глубине может применяться при преобразовании 2D в 3D, переориентации изображений, интерпретации сцен, реконструкции 3D-сцен и редактировании изображений на основе глубины. Информация о глубине изображения предоставляется в виде карты глубины. Карта глубины – это изображение, содержащее информацию, связанную с расстоянием до интересующего объекта или сцены от точки наблюдения. Построение карт глубины может осуществляться различными методами. Рассмотрим сравнение основных характеристик нескольких методов: восстановление плотной карты глубины по диспаритету в стереопаре кадров, восстановление карты глубины из стереопары в нейросетевой регрессионной модели, метод Pattern-Affinitive Propagation (PAP), методы монокулярного нейросетевого анализа глубины и метод глубокой порядковой регрессии для монокулярной оценки глубины. Рассмотрим основные положения каждой из моделей*

**Ключевые слова:** *нейронные сети, карта глубины*

Получение информации о глубине из 2D-изображений очень важно в области обработки изображений и компьютерного зрения. Информация о глубине может применяться при преобразовании 2D в 3D, переориентации изображений, интерпретации сцен, реконструкции 3D-сцен и редактировании изображений на основе глубины. Информация о глубине изображения предоставляется в виде карты глубины. Карта глубины – это изображение, содержащее информацию, связанную с расстоянием до интересующего объекта или сцены от точки наблюдения. Построение карт глубины может осуществляться различными методами. Рассмотрим сравнение основных характеристик нескольких методов: восстановление плотной карты глубины по диспаритету в стереопаре кадров, восстановление карты глубины из стереопары в нейросетевой регрессионной модели, метод Pattern-Affinitive Propagation (PAP), методы монокулярного нейросетевого анализа глубины и метод глубокой порядковой регрессии для монокулярной оценки глубины. Рассмотрим основные положения каждой из моделей.

Карты глубины по диспаритету. Исследуется расстояние между эквивалентными точками ректифицированных изображений одного объекта в стереопаре кадров. Чем дальше находится объект, тем меньше его диспаритет. Это самый старый подход к решению проблемы, который предполагает рассматривание сцены пиксель за пикселем и поиск соответствия на основе дескрипторов этих пикселей. Предъявляет высокие требования к этапу калибровки стереопары.

Метод восстановления глубины по стереопаре кадров в нейросетевом автоэнкодере. Решает задачу анализа глубины как задачу регрессии и ставит в соответствие каждой точке исходных кадров непрерывную оценку глубины. Не требует ректификации, но имеет значительную

вычислительную сложность на этапе обучения и эксплуатации, т. к. непрерывно оценивает 2 спаренных изображения в нейронной сети значительного размера.

Метод PAP. Данный метод не требует предварительных знаний и основывается на полученных данных, изучает не локальную близость, а неограниченные локальные парные отношения. Рассмотрим основные шаги реализации алгоритма:

1) Определяем метрику любых двух пикселей в предсказанных изображениях. Используется оценка средней относительной ошибки (REL) для карт глубины, среднеквадратическая ошибка (RMSE) для карт нормалей поверхностей, а метрики типа Жакарда – для сегментации.

2) Пара пикселей имеет связь, когда их метрики меньше заданного порога. Формируется множество пикселей, которые обеспечивают близость по всем 3м картам. PAP использует не-локальные попарные сходства как матрицу сходства для кодирования взаимосвязей областей [1].

Методы монокулярного нейросетевого анализа глубины. Решает задачу анализа глубины как задачу регрессии одного кадра RGB на непрерывную оценку глубины. Не требует ректификации, имеет значительно меньшую вычислительную сложность по сравнению с методами стереоанализа, но, как и все нейросетевые подходы, показывает значительные требования к объему обучающей выборки и высокую вычислительную сложность на этапе обучения и эксплуатации. Качество анализа таких моделей несколько ниже, но результат формируется быстрее, чем в стереопарах.

Метод глубокой порядковой регрессии для монокулярной оценки глубины. В отличие от существующих разработок для монокулярной оценки глубины, метод разбивает непрерывную глубину на ряд интервалов и представляет обучение нейросети глубины как задачу порядковой регрессии. После получения дискретных значений глубины можно превратить стандартную задачу регрессии в задачу многоклассовой классификации [2]. Распространенным способом квантования интервала глубины  $[\alpha, \beta]$  в набор репрезентативных дискретных значений является равномерная дискретизация. Однако по мере того, как значение глубины становится больше, информация для оценки глубины становится менее богатой, а это означает, что ошибка оценки больших значений глубины обычно больше. Поэтому принято использовать дискретизацию с использованием стратегии равномерной дискретизации глубины в логарифмическом пространстве [3].

Для построения карты глубины можно использовать StereoPi (стереоскопическая камера, основанная на Raspberry Pi) и подключенные к ней две камеры для Raspberry Pi. Для реализации алгоритма анализа глубины потребуется Raspbian Stretch (операционная система), OpenCV (библиотека компьютерного зрения), Picamera (пакет для работы с камерами Raspberry Pi), StereoVision (пакет для работы со стереокамерами).

Предварительный анализ показывает, что наиболее затратными, но при этом наиболее эффективными являются методы на основе нейросетевого анализа карты глубины. Они формируют плотное представление и обеспечивают независимость от процедур калибровки камер. Более быстрые процедуры монокулярного анализа на сегодняшний день демонстрируют значительное повышение скорости анализа и формируют качественное описание сцены.

Заключение. Для анализа 2D-изображений можно использовать различные подходы. Наиболее интересными на текущем уровне технологий и представляются модели монокулярного анализа в нейронных сетях, которые обучаются на обобщенных наборах данных. А результаты их работы могут быть легко подстроены к конкретным аппаратным средствам за счет простой процедуры калибровки.

## Литература

[1] Zhenyu Zhang, Zhen Cui, Chunyan Xu, Yan Yan, Nicu Sebe, Jian Yang Pattern-Affinitive Propagation across Depth, Surface Normal and Semantic Segmentation – URL: [https://openaccess.thecvf.com/content\\_CVPR\\_2019/papers/Zhang\\_Pattern-Affinitive\\_Propagation\\_Across\\_Depth\\_Surface\\_Normal\\_and\\_Semantic\\_Segmentation\\_CVPR\\_2019\\_paper.pdf](https://openaccess.thecvf.com/content_CVPR_2019/papers/Zhang_Pattern-Affinitive_Propagation_Across_Depth_Surface_Normal_and_Semantic_Segmentation_CVPR_2019_paper.pdf)

- [2] A. Dai, A. X. Chang, M. Savva, M. Halber, T. Funkhouser, and M. Nießner. Scannet: Richly-annotated 3d reconstructions of indoor scenes. In CVPR, 2017.
- [3] C. Godard, O. Mac Aodha, and G. J. Brostow. Unsupervised monocular depth estimation with left-right consistency. CVPR, 2017.

**РАСЧЕТ ЭТАЛОННЫХ ТОКОВ В АЛГОРИТМЕ УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ****Мельников Дмитрий Владимирович****melnikov-dv@yandex.ru***КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана***Петровичев Максим Александрович****petrovichevma@student.bmstu.ru***КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*В работе рассматриваются стратегии управления генератором на постоянных магнитах с переменной частотой вращения. Диапазон изменения скорости ротора может изменяться от 3-до 5 раз. Известно, что управлять таким генератором можно через активный выпрямитель используя при этом алгоритм векторного управления. Этот алгоритм часто реализуется во вращающейся синхронно с ротором системе координат (dq-координаты). В алгоритме управления возникает необходимость расчета эталонных токов во внутреннем контуре управления. В работе на основе математической модели электрических цепей генератора на постоянных магнитах и входных цепей активного выпрямителя предложены аналитические способы их вычисления в зависимости от выбранной стратегии управления. Получены зависимости эталонных токов в системе координат dq от поддерживаемого напряжения на выходе активного выпрямителя, частоты вращения ротора и электрического момента генератора. Эти зависимости необходимо аппроксимировать или хранить в памяти контроллера в табличном виде. Такой подход позволяет, измеряя напряжение звена постоянного тока и вычисляя необходимый момент, автоматически в режиме реального времени определить эталонные токи для внутреннего контура регулирования*

**Ключевые слова:** генератор, векторное управление, активный выпрямитель, математическая модель напряжения, широтно-импульсная модуляция

В настоящее время электрические генераторы на постоянных магнитах находят широкое применение в автономной энергетике, в частности, в электроагрегатах с переменной частотой вращения. Основным преимуществом применения таких электрических машин являются массогабаритные показатели. Для некоторых объектов, в составе которых имеются такие электрические машины, необходима стабилизация выходного напряжения при широком диапазоне изменения нагрузки и частоты вращения ротора электрической машины. Так диапазон изменения скорости ротора может изменяться от 3 до 5 раз. Одним из решений построения таких систем является использование генераторов на постоянных магнитах совместно с активным трехфазным выпрямителем (рис. 1), что по мнению многих разработчиков, является наиболее универсальным решением, так как такие системы могут использоваться в установках любого класса и любой мощности, они позволяют максимально реализовать достоинства систем с переменной скоростью вращения. Следует отметить, что в зависимости от уровней напряжений на генераторе и требований качества выходного напряжения DC/DC преобразователь может отсутствовать.

Генераторы на постоянных магнитах имеют хорошо известные преимущества [1, 2], но также имеют и важный недостаток: напряжение на выходе меняется прямо пропорционально частоте вращения ротора. Этим и обуславливается большой разброс напряжений на входе в активный выпрямитель. Этот недостаток и компенсируется работой преобразователя [2, 3], выполняющего функции выпрямителя и стабилизатора выходного напряжения. Стабилизация выходного напряжения достигается путем изменения глубины модуляции активного выпрямителя и изменения фазы генерируемого входного тока относительно напряжения генератора [2, 3].

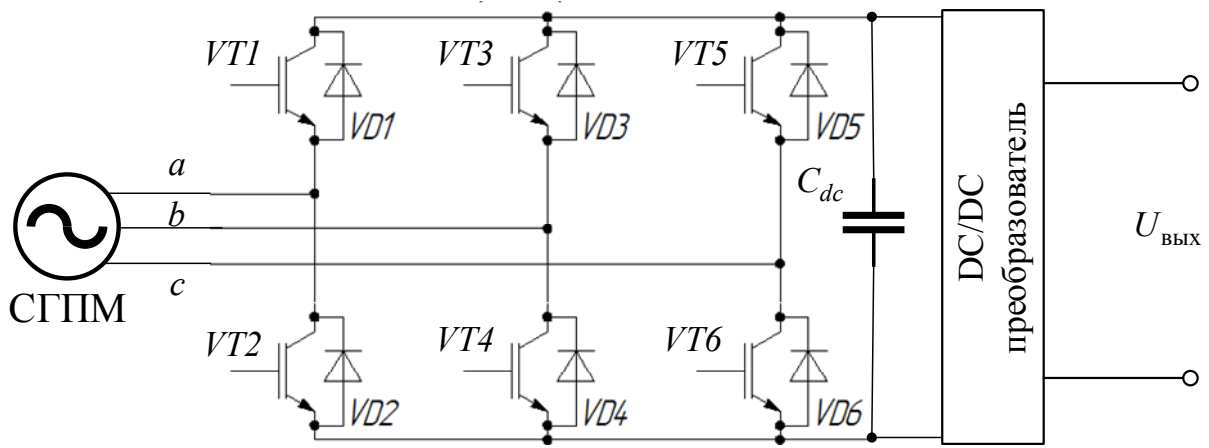


Рис. 1. Схема СГПМ с активным выпрямителем

Для наилучших энергетических и массогабаритных показателей необходимо выбирать параметры электрической машины так, чтобы рабочая точка, соответствующая номинальной мощности с коэффициентом мощностиравным единице, находилась на оптимальной частоте вращения. Эта частота должна определяться исходя из наиболее вероятного режима работы системы. Тогда на низких оборотах с максимальной нагрузкой, когда входного напряжения недостаточно для формирования требуемого напряжения, путем формирования, емкостного входного тока можно «довозбудить» генератор и поднять напряжение до требуемой величины. На высоких оборотах и холостом ходу путем формирования, индуктивного тока снижается величина потокосцепления в зазоре генератора и его излишнее напряжение опускается до требуемой величины [2, 3, 4]. Этим достигается стабилизация выходного напряжения во всем диапазоне изменения частоты вращения электрической машины.

Благодаря использованию широтно-импульсной модуляции активный выпрямитель может формировать входной ток синусоидальной формы, что является еще одним достоинством данной схемы. Но в этом есть и недостаток: из-за широтно-импульсной модуляции появляются динамические потери в транзисторах и снижается КПД.

Активный выпрямитель на базе инвертора с широтно-импульсной модуляции позволяет следующее:

- регулировать коэффициент мощности потребляемой энергии от генератора;
- осуществлять глубокое регулирование выходного напряжения или напряжения в звене постоянного тока, включая возможность его повышения.

Перед математическим моделированием необходимы аналитические исследования и определения стратегии управления, с использованием обобщенной модели. Математическая модель электрических цепей генератора на постоянных магнитах и входных цепей активного выпрямителя во вращающейся синхронно с ротором системе координат ( $dq$ ) при условии ориентации оси  $d$  по продольной оси синхронного генератора имеет вид [4, 5, 6]:

$$\begin{aligned}
 u_d &= R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - Z_p \omega_p L_q i_q, \\
 u_q &= R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + Z_p \omega_p (L_d i_d + \Psi_M), \\
 M_{эл} &= \frac{3}{2} Z_p [(L_d i_d + \Psi_M) i_q - L_q i_q i_d].
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где  $u_d, u_q, i_d, i_q$  напряжения и токи во входной цепи активного выпрямителя;  $L_d, L_q$  – эквивалентные индуктивности генератора;  $\omega_p$  – частота вращения ротора;  $\Psi_M$  –



потокосцепление, обусловленное постоянными магнитами;  $Z_p$  – количество пар полюсов;  $R_s$  – активное сопротивление обмотки статора;  $M_{эл}$  – крутящий момент (электромагнитный момент) ротора.

Уравнение вращения ротора можно представить в виде

$$J \frac{d\omega_p}{dt} = M_{эл} - M_c - F\omega_p, \quad \frac{d\theta}{dt} = \omega_p. \quad (2)$$

где  $M_c$  – момент нагрузки,  $F$  – коэффициент трения,  $\theta$  – угол положения ротора.

Входные напряжения активного выпрямителя ( $u_d, u_q$ ) связаны с напряжениями в системе управления ( $u_{yd}, u_{yq}$ ) соотношением вида

$$\begin{bmatrix} u_d & u_q \end{bmatrix}^T = k_u \begin{bmatrix} u_{yd} & u_{yq} \end{bmatrix}^T,$$

где коэффициент усиления активного выпрямителя зависит от способа модуляции.

Активная ( $P$ ), реактивная ( $Q$ ) и полная мощности ( $S$ ) на входе активного выпрямителя определялись с помощью известных соотношений [5, 6, 7]:

$$P = \frac{3}{2}(u_d i_d + u_q i_q), \quad Q = \frac{3}{2}(u_d i_q - u_q i_d), \quad S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}. \quad (3)$$

Используя (3), можно найти  $\phi$  – угол сдвига между выходным напряжением и током генератора, тем самым определив нужную глубину модуляции и сориентировав магнитное поле генератора. Одним из способов управления магнитным полем генератора является полеориентированное управление, основанное на поддержание заданных токов по осям  $d, q$ .

Магнитное поле статора определяется токами статора, поэтому для системы управления необходимо определить задание (уставку) по статорным токам, а именно по его составляющим  $i_d$  и  $i_q$ . Согласно (1), токи статора определяют момент генератора, а количество оборотов ротора определяет величину напряжения на обмотках статора. Поэтому уровень напряжения в звене постоянного тока (на выходе активного выпрямителя) будет зависеть от токов статора, электрического момента и числа оборотов ротора генератора. В связи с этим, чтобы правильно задать токи статора  $i_d, i_q$ , необходимо определить следующие зависимости

$$i_d^3 = f(u_{dc}, \omega_p, M_{эл}^3) \quad \text{и} \quad i_q^3 = g(u_{dc}, \omega_p, M_{эл}^3), \quad (4)$$

где  $i_d^3, i_q^3$  – задатчики токов соответственно по осям  $d$  и  $q$ ;  $u_{dc}$  – выпрямленное напряжение в звене постоянного тока;  $M_{эл}$  – электрический крутящий момент.

Эти зависимости можно определить методом подбора с использованием большого количества экспериментов на реальной установке. Зависимости (4) можно определить расчетным путем. Предлагается задать зависимости табличным способом с последующей аппроксимацией. Сгенерировать таблицу соответствия для (4) можно используя две стратегии: поддержание максимального крутящего момента на ампер тока статора; ослабления поля. Выбор между двумя стратегиями основан на следующем коэффициенте:

$$K_c = U_m / U_{m\_max},$$

где  $U_m$  – амплитуда напряжения статора,  $U_{m\_max}$  – максимально допустимое амплитудное напряжение статора.

В случае когда коэффициент  $K_c$  больше 1, необходимо генерировать задатчики токов  $i_d^3$ ,  $i_q^3$  используя стратегию ослабления поля (на практике этот коэффициент может варьироваться в зависимости от способности генератора работать с некоторой перегрузкой). В противном случае, задатчики токов  $i_d^3$ ,  $i_q^3$  рассчитываются с использованием стратегии максимального крутящего момента на ампер.

Всистемемогут иметь место обе стратегии (при малых оборотах – первая, при больших – вторая).

**Стратегия максимального крутящего момента.** Эта стратегия позволяет генерировать задатчики токов в области постоянного электрического крутящего момента (возникающего ниже номинальной скорости). Имеем следующие соотношения:

$$i_d = -I_m \sin \beta, \quad i_q = I_m \cos \beta, \quad (5)$$

где  $\beta$  – угол вектора тока статора,  $I_m$  – амплитуда тока статора.

Используя (5) и (1) можно записать уравнение крутящего момента:

$$M_{эл} = \frac{3}{2} Z_p \left[ (L_d - L_q) i_d i_q + \Psi_m i_q \right],$$

$$M_{эл} = \frac{3}{2} Z_p \Psi_m I_m \cos \beta + \frac{3}{4} Z_p (L_q - L_d) I_m^2 \sin 2\beta.$$

Для получения максимального крутящего момента с наименьшей возможной амплитудой тока статора согласно выбранной стратегии, необходимо, чтобы удовлетворялось следующие требование

$$\frac{dM_{эл}}{d\beta} = 0.$$

Отсюда имеем

$$-\frac{3}{2} Z_p \Psi_m I_m \sin \beta + \frac{3}{2} Z_p (L_q - L_d) I_m^2 (\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) = 0.$$

Подставляя в последнее выражение  $\sin \beta$  и  $\cos \beta$ , определенные через (5) получим связь задатчиков токов определенные согласно стратегии поддержания максимального момента (обозначим их  $i_{dMM}$ ,  $i_{qMM}$ )

$$i_{dMM} = \frac{\Psi_m}{2(L_q - L_d)} - \sqrt{\frac{\Psi_m^2}{4(L_q - L_d)^2} + i_{qMM}^2}. \quad (6)$$

Поставляя (6) в выражение для момента (1), получим зависимость для определения  $i_{qMM}$

$$9Z_p^2 (L_q - L_d)^2 i_{qMM}^4 + 6M_{эл} Z_p \Psi_m i_{qMM} - 4M_{эл}^2 = 0. \quad (7)$$

Таким образом, по заданным значениям моментов можно определить по (7)  $i_{qMM}$ , а по (6)  $i_{dMM}$ .

**Стратегия ослабления поля.** Допустимое напряжение звена постоянного тока ограничивается преобразователем. Максимальное напряжение статора

$$U_m = \sqrt{u_d^2 + u_q^2} \leq U_{m\_max}. \quad (8)$$

Уравнения, описывающие электромагнитные процессы электрической машины на постоянных магнитах в установившемся режиме имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} u_d &= R_s i_d + Z_p \omega_p L_q i_q, \\ u_q &= R_s i_q + Z_p \omega_p (L_d i_d + \Psi_M). \end{aligned} \quad (9)$$

Возведя в квадрат обе части (8) и учитывая (7), получим

$$U_m = \sqrt{(R_s i_d + Z_p \omega_p L_q i_q)^2 + (R_s i_q + Z_p \omega_p (L_d i_d + \Psi_M))^2},$$

где  $U_m$  – фазное (амплитудное) напряжение статора, которое связано с выпрямленным напряжением соотношением  $U_m \approx u_{dc} / \sqrt{3}$ .

Принимая во внимание выражение для момента, получим следующую систему алгебраических уравнений

$$\begin{cases} u_{dc} / \sqrt{3} = \sqrt{(R_s i_d + Z_p \omega_p L_q i_q)^2 + (R_s i_q + Z_p \omega_p (L_d i_d + \Psi_M))^2}, \\ M_{эл} = \frac{3}{2} Z_p [(L_d i_d + \Psi_M) i_q - L_q i_q i_d]. \end{cases} \quad (10)$$

Задавшись конкретными значениями  $u_{dc}$ ,  $\omega_p$ ,  $M_{эл}$  и решив относительно токов систему (11) можно построить зависимости

$$i_d^3 = f(u_{dc}, \omega_p, M_{эл}^3) \text{ и } i_q^3 = u_{dc} (u_{dc} \omega_p, M_{эл}).$$

Далее эти зависимости необходимо аппроксимировать или хранить в памяти контроллера в табличном виде. Такой подход позволяет, измеряя напряжение звена постоянного тока и вычисляя необходимый момент, автоматически в режиме реального времени определить эталонные токи для внутреннего контура регулирования.

## Литература

- [1]. Харитонов С.А. Электромагнитные процессы в системах генерирования электрической энергии для автономных объектов: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 536 с.
- [2]. Бачурин П.А., Гейст А.В., Коробков Д.В. и др. Система генерирования электрической энергии постоянного тока на базе магнитоэлектрического генератора и активного выпрямителя // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2015. № 2 (59). С. 43-58.
- [3]. Харитонов С.А., Коробков Д.В., Бачурин П.А. Система электропитания постоянного тока с магнитоэлектрическим генератором // Электропитание. 2014. № 3. С. 7-12.
- [4]. Исмаилов Ф.Р. Имитационная модель авиационного стартер-генератора // Авиакосмическое приборостроение. – 2014. – № 9. – С. 27–32.

- [5]. *Черных И.В.* Математическое моделирование электротехнических устройств в Matlab. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 288 с. ил. (Серия «Проектирование»).
- [6]. *Мельников Д.В.* Проекционно-матричный метод синтеза контура регулирования частоты вращения ротора паровой турбины // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. 2013. № 4 (93). С. 43-53.
- [7]. *Мельников Д.В., Окар М., Чжо Ту.А.* Математическое моделирование систем регулирования энергетических турбин // Научное обозрение. 2015. № 20. С. 144-149.

## **СЕКЦИЯ 8.**

### **ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ**

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ТЕСТИРОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Чикишев Андрей Денисович

chikischev2012@yandex.ru

КФ МГТУ им. Баумана

Белов Юрий Сергеевич

iuk4-kf@mail.ru

КФ МГТУ им. Баумана

*Количество выпускаемого программного обеспечения растет, следовательно и растет потребность в его тестировании. Есть множество способов автоматизировать процесс тестирования, в том числе и с применением нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения, которые ускоряют и удешевляют производство тестов. Данные инструменты полностью меняют подход к тестированию и позволяют разработчикам повышать качество выпускаемых продуктов в короткие сроки, автоматически генерировать и поддерживать тесты программных интерфейсов, создавать модульные тесты, вести цикл разработки программного обеспечения. В данной статье рассматриваются области применения нейронных сетей в сфере тестирования и приводятся продуктивные примеры алгоритмов, которые освобождают специалистов от совершения монотонной работы и уменьшают количество потенциальных проблем, связанных с человеческим фактором*

**Ключевые слова:** машинное обучение, нейронные сети, тестирование, автоматизация тестирования, API Test Generator

Появление искусственного интеллекта (ИИ) продолжает трансформировать технологический ландшафт. Его применение в нескольких аспектах разработки программного обеспечения растет. Одной из областей разработки программного обеспечения, где внедрение ИИ может продвигаться вперед, является тестирование программного обеспечения. Тестирование программного обеспечения имеет решающее значение для обеспечения выпуска программных продуктов, отвечающих как стандартам соответствия, так и требованиям пользователей к качеству. В данной статье рассматриваются следующие темы:

1. Отличие применения ИИ в контексте автоматизации тестирования программного обеспечения от его более широкого определения.
2. Преимущества использования искусственного интеллекта и машинного обучения для осуществления современного тестирования API.

**ИИ в автоматизации тестирования программного обеспечения.** Использование ИИ в разработке программного обеспечения все еще развивается, но уровень, на котором он в настоящее время используется в автоматизированном тестировании программного обеспечения, ниже по сравнению с более продвинутыми областями изучения, такими как системы автономного вождения или голосовое управление, машинный перевод и робототехника.

Применение ИИ в инструментах тестирования программного обеспечения направлено на упрощение жизненного цикла разработки программного обеспечения (SDLC). Благодаря применению рассуждений, решению проблем и, в некоторых случаях, машинному обучению, ИИ можно использовать для автоматизации и сокращения количества рутинных задач при разработке и тестировании [1].

Ценность ИИ заключается в уменьшении прямого участия разработчика или тестировщика в самых рутинных задачах. По-прежнему есть большая потребность в человеческом интеллекте для применения бизнес-логики, стратегического мышления и творческих идей. Далее приведены примеры использования AI и ML в тестировании ПО.

**Искусственный интеллект для тестирования программного обеспечения.** Одним из препятствий на пути к успешному внедрению инструментов статического анализа является управление большим количеством предупреждений и работа с ложными срабатываниями (предупреждениями, которые не являются реальными ошибками) в результатах. Команды разработчиков программного обеспечения, которые анализируют устаревшую или существующую кодовую базу, борются с первоначальными результатами, которые они получают при статическом анализе, и настолько стараются избежать этот опыт, что не предпринимают дальнейших усилий. Одной из причин перегруженности является количество стандартов, правил (проверок), рекомендаций и метрик, которые возможны с помощью современных инструментов статического анализа.

Команды разработчиков программного обеспечения имеют уникальные требования к качеству. Не существует универсальных рекомендаций по программам проверки или стандартам кодирования. У каждой команды есть свое определение ложного срабатывания, часто означающее «все равно», а не «это технически неправильно». Предлагается решать эту проблему с помощью искусственного интеллекта и машинного обучения для приоритизации выводов, полученных в результате статического анализа, для улучшения взаимодействия с пользователем и внедрения таких инструментов.

В данном случае используют метод для быстрой классификации результатов в выходных данных инструмента статического анализа либо как что-то, что команда хочет видеть, либо как что-то, что команда хочет подавить, просматривая небольшое количество результатов и создавая классификатор на основе метаданных, связанных с тем выводом.

Этот классификатор основан на результатах предыдущих классификаций результатов статического анализа в контексте как исторического подавления нерелевантных предупреждений, так и предварительного определения приоритетов значимых результатов для исправления внутри кодовой базы.

Конечные результаты классифицируются двумя способами:

- Представление интереса для исследовательской группы.
- Элементы, которые можно подавить.

Это значительно улучшает взаимодействие с пользователем, направляя разработчиков к предупреждениям, которые с наибольшей вероятностью применимы к их проекту.

**Искусственный интеллект для автоматизации генерации и параметризации модульных тестов.** Рассмотрим пример использования искусственного интеллекта в различных решениях тестирования программного обеспечения для разработчиков, который включает в себя статический анализ, модульное тестирование, охват и отслеживаемость. Применяв в данной области нейронные сети, можно запустить автоматическое создание тестовых сценариев, которые помогают разработчикам заполнить пробелы при запуске с разреженной обвязкой JUnit [2].

Плагины IDE (Parasoft, IntelliJ IDEA) добавляют полезную автоматизацию в практику модульного тестирования с простыми действиями в один клик для создания, масштабирования и обслуживания модульных тестов. Используя данные плагины с поддержкой ИИ, пользователи могут добиться более высокого охвата кода, значительно сократив время и усилия, необходимые для создания всеобъемлющего и значимого набора тестовых примеров.

Один из способов сделать это – упростить создание заглушек и макетов для изоляции тестируемого кода. Базовый ИИ позволяет наблюдать за тестируемым модулем, чтобы определить его зависимости от других классов [3]. Когда создаются экземпляры этих зависимостей, он предлагает пользователю смоделировать их для создания более изолированных тестов. Автоматическое создание необходимых макетов и заглушек сокращает усилия на одной из самых трудоемких частей создания тестов.

**Использование AI и ML для автоматизации создания и обслуживания тестов API.** Другим примером использования машинного обучения является Smart API Test Generator. Он выходит за рамки тестирования записи и воспроизведения, используя искусственный интел-

лект и машинное обучение для преобразования тестов пользовательского интерфейса в полноценные автоматизированные сценарии тестирования API.

Генератор тестов Smart API использует рассуждения, чтобы понять шаблоны и взаимосвязи в различных вызовах API, сделанных во время работы с пользовательским интерфейсом. На основе этого анализа строится ряд вызовов API, представляющих базовые вызовы интерфейса, выполняемые во время потока пользовательского интерфейса. Затем он применяет машинное обучение, наблюдая за тем, что можно применить к различным ресурсам API, и сохраняет их в виде шаблона в собственной структуре данных[4]. Эта внутренняя структура обновляется путем изучения других тестовых случаев в пользовательской библиотеке, чтобы изучить различные типы поведения при использовании API.

Целью ИИ здесь является создание более продвинутых тестов, а не простое повторение того, что делал пользователь, как это происходит при простом тестировании с записью и воспроизведением. Как работает Smart API Test Generator:

1. Распознает закономерности внутри трафика.
2. Создает комплексную модель данных наблюдаемых параметров.
3. Создает и включает автоматические тесты API, применяя изученные шаблоны к другим тестам API, чтобы улучшить их и помочь пользователям создавать более продвинутые сценарии автоматизированного тестирования.

Полученные автоматические тесты API являются более полными, пригодными для повторного использования, масштабируемыми и устойчивыми к изменениям.

**Заключение.** Взрывной рост, наблюдаемый на рынке программного обеспечения, предполагает, что для решения проблем в повседневной деятельности будет выпускаться все больше программного обеспечения. Однако для того, чтобы программное обеспечение функционировало эффективно и как можно быстрее выходило на рынок, необходимы автоматизация и применение нейронных сетей при тестировании программного обеспечения. Искусственный интеллект позволяет решать задачу, связанную с автоматизацией тестирования, сокращая сроки тестирования продуктов и уменьшая количество ошибок, вызванных человеческим фактором. Также ИИ позволяет освобождать тестировщиков от рутинных задач, сохраняя ресурсы на более важную и творческую деятельность.

## Литература

[1]. *P. Singhal, S. Kundu, H. Gupta and H. Jain*, "Application of Artificial Intelligence in Software Testing," 2021 10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), 2021, pp. 489-492, doi: 10.1109/SMART52563.2021.9676244.

[2]. *A. Rauf and M. N. Alanazi*, "Using artificial intelligence to automatically test GUI," 2014 9th International Conference on Computer Science & Education, 2014, pp. 3-5, doi: 10.1109/ICCSE.2014.6926420

[3]. *Старолетов С.М.* Основы тестирования и верификации программного обеспечения : учебное пособие / С. М. Старолетов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 344 с. – ISBN 978-5-8114-5239-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/138181> (дата обращения: 29.10.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

[4]. *T. M. King, J. Arbon, D. Santiago et al*, "AI for Testing Today and Tomorrow: Industry Perspectives," 2019 IEEE International Conference On Artificial Intelligence Testing (AITest), 2019, pp. 81-88, doi: 10.1109/AITest.2019.000-3.



## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УМНОГО ГОРОДА

**Красавин Евгений Васильевич**

**aleks\_is@bk.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**Полпудников Сергей Викторович**

**polpud@yandex.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**Калашников Артем Сергеевич**

**artem-kalashnikov-02@bk.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**Трешневская Вероника Октавиановна**

**votres@yandex.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Модель «умного города» используется многими организациями для крупных городов по всему миру. Эта модель включает в себя различные разнородные элементы, такие как киберфизические системы, интернет оборудование, беспроводные сети, беспилотные летательные аппараты и требует наличия серверов и организации каналов обмена данными и шлюзов между ними и узлами умного города. Стабильная и корректная работа узлов умного города невозможна без принятия мер информационной безопасности. В данной работе производится анализ коммуникационных технологий для связей между узлами и конечными устройствами и используемых ими протоколов с целью выработки рекомендаций по применению с точки зрения информационной безопасности. Реализация предлагаемых мер информационной безопасности позволяет повысить стабильность и корректность работы узлов умного города*

**Ключевые слова:** *умный город, информационная безопасность, коммуникационные протоколы*

В настоящее время большинство крупных городов начинают применение модели «умного города». Умный город [1], [2] может насчитывать тысячи устройств, каждое из которых должно отправлять отчет о своем текущем состоянии. Эти данные от множества узлов удобнее хранить и обрабатывать централизованно, что требует наличия серверов и организации каналов обмена данными и шлюзов между ними и узлами умного города.

Информационные технологии используются для повышения качества жизни жителей и для повышения эффективности использования городской инфраструктуры. Эти технологии находят свое применение в медицине, транспорте, образовании, энергетике и во многих других областях. Примерами таких технологий являются:

- WirelessSensorNetworks (WSNS) – используются для отслеживания состояния и инфраструктуры умного города в режиме реального времени [3].
- InternetofThings (IoT) – облегчает интеграцию физических объектов в городскую сеть [4].
- Cyber-PhysicalSystems (CPS) – используется для обеспечения связи между физическим и кибермиром в умных городах [5].
- Робототехника, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – используется для обеспечения автоматизации и предоставления полезных услуг [6].
- Туманные вычисления – используются для обеспечения поддержки с низкой задержкой определения местоположения, лучшей поддержки мобильности, а также потоковой передачи и поддержки в режиме реального времени для приложения «умного города» [7].

- Облачные вычисления – обеспечивает эффективную платформу для хранения и вычисления данных для поддержки приложения «умного города».
- Анализ больших данных – используется для принятия оптимизированных и интеллектуальных краткосрочных или долгосрочных решений, на основе полученных данных для улучшений действий «умного города».

Вместе с тем, в настоящее время отсутствуют какие-либо стандарты в этом направлении, хотя предварительная работа ведется [8].

Особо остро стоит проблема информационной безопасности.

Информация, поступающая с оконечных устройств, различных датчиков обычно обрабатывается центрами обработки данных с использованием облачных или туманных технологий.

Связь, описывающая коммуникации между узлом и конечными устройствами – это соединение Nod-to-Device (узел – устройство).

Для выработки рекомендаций рассмотрим возможные технологии более подробно.

**2G (GSM).** Эти сети используются умными устройствами для передачи данных, так как способны передавать их на большие расстояния (10-15 км), а также делают это в режиме реального времени. Также их преимуществом является то, что данные передаются по специально выделенным частотам и уже имеется готовая сеть базовых станций. Однако явным недостатком их использования является стоимость большого количества сообщений из-за тарифов сотовых операторов.

**3G.** Данная сеть изначально создана для передачи большого объема данных в режиме реального времени. Также она обладает высокой скоростью связи, но она большее энергопотребление устройствами и не обладает стабильным покрытием (сеть может быть недоступна в сельской и лесной местности, а также в подвалах и колодцах).

**Wi-Fi.** Сеть Wi-Fi, также как и 3G, была создана для передачи большого объема данных в режиме реального времени. Также она обладает очень высокой скоростью передачи данных и поддержкой на пользовательских устройствах. Однако дальность передачи данных составляет несколько десятков метров, что не подходит для устройств, расположенных в сельской местности, и отсутствие стандартной поддержки mesh-сетей. К недостаткам можно отнести стоимость устройств и роутеров, а также большое энергопотребление устройства.

Сети дальнего радиуса чаще всего используются для передачи сигнала на большие расстояния. Самые используемые сети в этой категории – LoRaWAN и NB-IoT. Они передают данные на несколько километров при условии, что устройство распознает свой шлюз.

Сети такого типа подходят для случаев, когда необходимо собирать данные с различных удаленных объектов, но могут быть неприменимы, если требуется передавать данные датчикам в реальном времени. Все устройства могут создавать связь только на небольшие промежутки времени согласно требованию регулятора, поэтому передача и прием сигнала могут иметь задержку - от пары секунд и до нескольких минут (а в некоторых случаях даже часов). Но из-за того, что нет необходимости постоянно поддерживать связь между устройствами, заряд батареи расходуется медленнее, и они могут работать без дополнительной зарядки месяцами, а то и годы.

**LoRaWAN** хорошо подходит для сельской местности – чаще всего в таком типе местности нет хорошего покрытия от действующих сотовых операторов, и мы не можем использовать их сети для передачи данных. Поэтому необходимо будет установить личную базовую станцию (так называют шлюз в этой сети), которая будет получать данные от устройств по технологии LoRaWAN, преобразовывать и отправлять сигналы на сервер по обычным каналам связи. Обычно базовую станцию и сервер устанавливают в непосредственной близости и соединяют с помощью проводных линий.

Для реализации такого подхода необходимы большие вложения в оборудования, но он может обеспечить передачу данных даже из самых удаленных мест. Но при этом невозможно полностью занять частоту передачи данных: все устройства, использующие протокол

LoRaWAN, работают в едином диапазоне частот, поэтому возникает риск взаимных помех. Современный город – это целая среда с огромным количеством всевозможных радиосигналов, помех. Поэтому, несмотря на то, что сети LoRaWAN и сейчас могут использоваться в крупных городах, их постепенно вытесняет другие технологии.

**NB-IoT** лучше справляется с передачей данных в развитых городах, где уже имеются современные и надёжные средства связи. Это вид связи, рекомендованный операторами "большой четверки". Каждому оператору выделен свой радиочастотный диапазон, вследствие чего вероятность того, что будут создаваться взаимные помехи, крайне мала. Сеть проста в развертывании - для подключения к сети достаточно заключения договор с оператором на использование SIM-карт или сразу готовых устройств.

Для связи устройств с узлами используются различные протоколы. В целях конвергенции протоколов для беспроводных и проводных сетей, а также промышленной автоматизации используется стек протоколов (TCP/UDP/IP). Поэтому доступно только ограниченное множество криптографических функций (симметричные шифры, которые используют установленные вручную ключи). Сами устройства должны устанавливаться в физически защищенных средах, а их подключение посредством аппаратных соединений, которые могут обеспечить большинство служб безопасности. В табл. 3 представлены протоколы взаимодействия для связи Node-to-Device [9].

Таблица 3.

**Протоколы взаимодействия для связи Node-to-Device**

Уровень	Протоколы
PHY & MAC Layer	WLAN: 802.11, WPAN: 802.15, PLC: PRIME, Automation: CIP
WirelessProtocolStacks	Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee
AdaptationLayer	WLAN/WPAN: 6LowPAN, PLC: PRIME IPv6 SSCS, Automation: Ethernet/IP
Transport/NetworkLayers	UDP over IPv6, TCP over IPv6, IPv6 Stack
Application Layer (Publish-Subscribe Messaging)	CoAP, MQTT, AMQP, RTPS
Routing	RPL, PCEP, LISP (Cisco)
Security	802.1AR – Secure Device Identity 802.1AE – Media Access Control (MAC) Security 802.1X – Port-Based (Authenticated) Media Access Control IPsec AH & ESP, Tunnel/Transport Modes (D)TLS – (Datagram) Transport Layer Security

"Умные здания" и "умные сети водоснабжения", могут использовать протоколы из класса персональных вычислительных сетей (PAN), такие как IEEE 802.15.4 (Zigbee) и 801.15.1 (Bluetooth). Они характеризуются меньшей пропускной способностью, низким энергопотреблением и малым радиусом действия. Приложения, требующие больших диапазонов, такие как интеллектуальная транспортировка, протоколы производства, управления, которые относятся к классу локальных вычислительных сетей (LAN), такие как IEEE 802.11 (WiFi). Приложения, требующие широкополосной связи, такие как беспилотные летательные аппараты и интеллектуальная сеть, могут использовать протоколы, относящиеся к классу глобальных сетей (WAN), такие как IEEE 802.16 (WiMAX), сотовые и спутниковые. Все эти протоколы предусматривают поддержку асинхронных и синхронных подключений к данным и имеют различные показатели надежности и безопасности. Однако большинство функций безопасности требуют дополнительной обработки и могут привести к

дополнительным задержкам и потреблению энергии, что надо учитывать, прежде чем включать такие функции.

Кроме того, необходимо следовать следующим рекомендациям.

При передаче данных с помощью любой сети необходима организация защиты данных на каждом из уровней узла: физического объекта, канала обмена данными и программы.

Для защиты самого устройства и шлюза на физическом уровне необходимо ограничить доступ к местам установки устройств от риска несанкционированного доступа посторонними лицами. На уровне передачи данных необходимо шифрование каналов связи устройства и его станции, а также канала связи узла с сервером. На уровне ПО обновления должны быть актуальны и проверяться на подлинность для того, чтобы исключить дистанционную несанкционированную загрузку вредоносного программного кода на устройство.

Для защиты сервера обработки данных на физическом уровне необходимо предусмотреть ограничение доступа к серверу. На уровне передачи данных необходимо шифрование не только в каналах связи между сервером и шлюзом, а также между сервером и конечными пользователями. Также на сервере необходима защита операционной системы. У платформы обычно есть выход в общий интернет – это веб- или мобильные приложения куда выводятся результаты. С учетом этого необходимо ограничить доступ на управление, сделав его только со стороны локальной сети, исключить видимость из внешней сети элементов системы, административных входов.

Для защиты устройств с установленным программным обеспечением для мониторинга данных на физическом уровне необходима защита от несанкционированного доступа к данным, например, путем авторизации, возможно двухфакторной. На уровне передачи данных необходима контентная фильтрация для исключения скачивания подозрительного и вредоносного программного обеспечения. На уровне ПО необходима авторизация, разделение ролей в системе, чтобы простые пользователи не имели право на редактирование данных и внос изменений в систему; необходимо регулярно менять пароль. Также необходимо регулярное проведение аудита пользователей на предмет актуальности для исключения доступа к устройствам посторонних и уволившихся сотрудников.

Несмотря на обилие технологий, наиболее пригодны для применения LaRoWAN и NB-IoT. При этом технология LaRoWAN способна наладить связь даже там, где нет устойчивой и постоянной связи, хотя для этого необходимо сделать крупные вложения в инфраструктуру. NB-IoT позволяет использовать уже готовую инфраструктуру с защищенным каналом связи, но на данный момент такая технология доступна лишь в некоторых крупных городах. Все остальные решения накладывают сильные ограничения на выбор устройств либо делают вас зависимыми от подрядчика. Стабильная и корректная работа узлов умного города невозможна без принятия мер информационной безопасности.

## Литература

[1]. Stamatina Th. Rassia, Panos M. Pardalos. Smart City Networks. Through the Internet of Things. – Springer, 2017. –237 с.

[2]. Germaine Halegoua. Smart Cities. – MIT Press, 2020 – 248 с.

[3]. Watteyne T, Pister KSJ (2011) Smarter cities through standards-based wireless sensor networks. IBM J Res Dev 55(1.2):1–7.

[4]. Zanella A, Bui N, Castellani A, Vangelista L, Zorzi M (2014) Internet of things for smart cities. IEEE Internet Things J 1(1):22–32.

[5]. Gurgun L, Gunalp O, Benazzouz Y, Gallissot M (2013) Self-aware cyber-physical systems and applications in smart buildings and cities In: Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe, pages 1149–1154. EDA Consortium.

[6]. Ermacora G, Rosa S, Bona B (2015) Sliding autonomy in cloud robotics services for smart city applications In: Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Extended Abstracts, 155–156.. ACM.

[7]. Mohammed F, Idries A, Mohamed N, Al-Jaroodi J, Jawhar I (2014) Uavs for smart cities: Opportunities and challenges In: Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2014 International Conference on, 267–273.. IEEE.

[8]. Информационные технологии УМНЫЙ ГОРОД. Показатели. Предварительный национальный стандарт Российской федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://d-russia.ru/wp-content/uploads/2020/01/smart-city-1st.pdf>

[9]. Еременко Д.А., Шоров А.В. Анализ сетевой безопасности эталонной архитектуры умных вычислений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://izv.etu.ru/assets/files/sh-tbtvtp-2017\\_10\\_p13-18.pdf](https://izv.etu.ru/assets/files/sh-tbtvtp-2017_10_p13-18.pdf)

**СЕКЦИЯ 10.**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЙ

Панина Екатерина Александровна

panina.kaluga@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Белов Юрий Сергеевич

ysbelov@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Существуют разные способы построения 3-D модели реального объекта, один из них – фотограмметрия. Актуальность данной статьи обусловлена широким применением фотограмметрических методов в разных прикладных областях. Целью работы является анализ и сравнение существующих фотограмметрических алгоритмов, цель которых – нахождение характерных точек на изображении, а так же выявление особенностей их работы. В данной статье рассмотрены различные фотограмметрические алгоритмы, обрабатывающие изображения и выдающие наборы характерных точек, по которым в последствии можно создать модель объекта. Для каждого алгоритма приводится математическое обоснование его работы. Среди рассмотренных алгоритмов выделяются наиболее эффективные и производительные, появляется возможность оценить удобство использования алгоритма в зависимости от задачи, а так же сравнить степень точности и устойчивости к шумам*

**Ключевые слова:** фотограмметрия, характерные точки, алгоритмы поиска характерных точек

Для создания 3D моделей реальных объектов существуют множество методов: от чисто ручных, включающих в себя измерение и перенос в данных в специальную программу и аппаратных, к которым можно отнести лазерное сканирование, которое по своей сути позволяет строить модель сразу по мере сканирования, до более программно-автоматизированных, к которым относится метод фотограмметрического сканирования.

Согласно определению, фотограмметрия – это научно-техническая дисциплина, занимающаяся определением характеристик объектов, та-ких как форма, размеры, положение в пространстве и т. д. по их изображениям [1].

### Основные алгоритмы

Существует множество алгоритмов фотограмметрии, результатами работы которых является множество характерных точек, описывающих границы объектов на изображении. Ниже представлен перечень таких алгоритмов:

- Алгоритм Маравеца,
- Алгоритм Харриса,
- Угловой детектор Ши-Томази,
- Алгоритм Фёрстнера,
- Алгоритм SUSAN,
- Алгоритм Тряковица,
- Быстрый алгоритм,
- Алгоритм CSS (curvature scale space),
- Детектор характерных точек, основанный на глобальных и локальных свойствах кривизны,
- Алгоритм CPDA [2],[3].

Все 10 алгоритмов, которыми, скорее всего не ограничивается перечень существующих методов нахождения характерных точек на изображениях) призваны определять угловые точки, обладающие следующими свойствами:

- способность четко выделяться на фоне,
- независимость от аффинных преобразований,
- стабильность по отношению к появлению шумов,
- глобальная уникальность,
- интерпретируемость.

Эти определения были выдвинуты в 1992 году Хараликом и Шапиро [4]. Позднее, в 2006 определение дополнилось следующими пунктами [5]:

- повторяемость, независимая от положения съемки,
- отличительность,
- локальность,
- массовость, позволяющая выделять малые объекты,
- точность,
- эффективность обнаружения.

Все представленные выше алгоритмы можно условно разделить на две группы:

- алгоритмы, вычисляющие угол внутри маленького окошка размером  $(x, y)$ .
- алгоритмы, углы изображения в которых определяются сегментацией круговых окрестностей.

Ниже будут рассмотрены алгоритмы, относящиеся к первой группе и основывающие свои вычисления на размере окна, мере интенсивности и отклика угла.

Алгоритм Маравеца вычисляет изменение интенсивности для каждого пикселя внутри маленького окошка размером  $(x, y)$ , сдвиг которого относительно полного изображения равен  $(u, v)$ , схема смещения представлена на рисунке 1., по следующей формуле:

$$V_{u,v}(x, y) = \sum_{a,b \in W} (I(x+u+a, y+v+b) - I(x+a, y+b))^2 \quad (1)$$

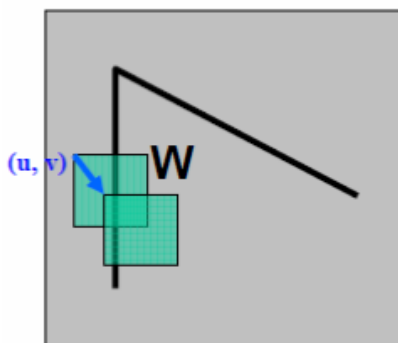


Рис. 1. Смещение «окна» вычислений

Далее, с помощью оценочной функции внутри окошка находится та точка, которая наиболее вероятно может являться углом

$$C(x, y) = \min (V_{u,v}(x, y)) \quad (2)$$

Важно отметить, что должно быть задано пороговое значение для отсеечения «ложных» углов. Так, в каждом окошке проходит данная процедура, затем повторяющиеся точки удаляются.

Алгоритм Харриса является улучшенной версией алгоритма Маравеца. Его предложили Харрис и Стефенс в 1988 году. Алгоритм Харриса [6] для каждого пикселя со сдвигом  $(u, v)$  и вычисляет матрицу градиента серого  $M_H$ :

$$M_H = \sum_{u,v} w(u, v) \begin{bmatrix} I_U^2 & I_U I_V \\ I_U I_V & I_V^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Здесь  $w(u, v)$  – это весовая функция.

Меру отклика угла можно выразить следующим образом:



$$R(u, v) = \det(M_H) - k_H * [Tr(M_H)]^2 \quad (4)$$

R всегда оказывается положительна для угловых особых точек.

Для найденных R находятся локальные максимумы выбираются в качестве угловых характерных точек

Алгоритм Ши-Томази аналогичен алгоритму Харриса, за исключением того, как рассчитывается мера отклика угла  $R$ .

$$R = \min(\lambda_1, \lambda_2) \quad (5)$$

Здесь  $\lambda_1$ , и  $\lambda_2$  – расстояние до края окошка.

Алгоритм Фестнера так же основан на алгоритме Харриса, в нем используется та же мера отклика угла, но его отличительное особенностью является явное вычисление собственных значений. Так как этот алгоритм обладает лучшей локализацией, его часто используют в качестве дополнения к алгоритму Харриса [7].

### Заключение

Если проследить хронологию возникновения данных алгоритмов, мож-но четко увидеть, что каждый следующий является модификацией предыдущего, улучшающий его точность или скорость вычисления. В книге «Digital Image Processing» Приводится сравнение алгоритмов по ряду признаков, таких как эффективность, устойчивость к шуму, скорость. Согласно этому сравнению, алгоритм Фестнера эффективнее всех вышеописанных по качеству обнаружения точек и устойчивости к шуму, а алгоритм Маравеца является самым быстрым [7]. В системах, требующих как можно большей скорости определения и прощающих погрешности можно использовать алгоритмы более простые и быстрые, одновременно, малоустойчивые к шуму. А системы, для которых не критично время выполнения могут применять алгоритмы более устойчивые к шумам и имеюшие более точные вычисления, что делает их значительно более медленными.

### Литература

- [1]. Михайлова А. П., Чибуничева А. Г. «Курс лекций по фотограмметрии», МИИГАиК, Москва, 2011 г. [Электронный ресурс] URL: [https://web.archive.org/web/20150915193603/http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Курс\\_лекций\\_по\\_фотограмметрии\\_МИИГАиК](https://web.archive.org/web/20150915193603/http://www.racurs.ru/wiki/index.php/Курс_лекций_по_фотограмметрии_МИИГАиК) (дата обращения 06.10.2022).
- [2]. Borui Li, Chundi Mu, Tao Wang, Qian Peng. Comparison of Feature Point Extraction Algorithms for Vision Based Autonomous Aerial Refueling – 2014 [Электронный ресурс] URL: <https://arxiv.org/vc/arxiv/papers/1405/1405.6163v1.pdf> (дата обращения 13.10.22)
- [3]. Детекторы углов // Хабр: [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/post/244541/> (дата обращения: 25.10.2022)
- [4]. V. Rodehorst, A. Koschan. Comparison and evaluation of feature point detectors, 2006. [Электронный ресурс] URL: [https://www.cv.tu-berlin.de/fileadmin/fg140/Comp\\_vr.pdf](https://www.cv.tu-berlin.de/fileadmin/fg140/Comp_vr.pdf) (дата обращения 20.10.22)
- [5]. Tinne Tuytelaars, Krystian Mikolajczyk. Local Invariant Feature Detectors: A Survey, 2008. – 109с.
- [6]. Fatemeh Pazoki; Amir Mousavinia; Fatemeh Abdoni. Accelerated 4PCS Algorithm for Point Cloud Registration // ieeexplore [Электронный ресурс] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9780529/> (дата обращения: 25.09.2022)
- [7]. Abhishak Yadav, Poonam Yadav. Digital Image Processing, 2009.- 224с.

## АНАЛИЗ МРТ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ И VGG-16

Петров Артем Ильич

artemchik-2000@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Белов Юрий Сергеевич

ysbelov@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Что произошло в машинном обучении за последнее время, и что это означает для будущего анализа медицинских изображений? За последние несколько лет машинное обучение привлекло к себе огромное внимание. Глубокие нейронные сети сегодня являются самыми современными моделями машинного обучения в различных областях, от анализа изображений до обработки естественного языка, и широко применяются в академических и промышленных кругах. Эти разработки имеют огромный потенциал для технологий медицинской визуализации, анализа медицинских данных, медицинской диагностики и здравоохранения в целом, который постепенно реализуется. С быстрым развитием технологии искусственного интеллекта использование технологии искусственного интеллекта для сбора клинических данных стало основной тенденцией в медицинской промышленности. Использование передовых алгоритмов искусственного интеллекта для анализа медицинских изображений, одной из важнейших составляющих клинической диагностики и принятия решений, стало активной областью исследований как в промышленности, так и в академических кругах*

**Ключевые слова:** машинное обучение, глубокое обучение, медицинская визуализация, МРТ

Медицинская визуализация играет важную роль в различных клинических приложениях, таких как медицинские процедуры, используемые для раннего выявления, мониторинга, диагностики и оценки лечения различных заболеваний. Основы принципов и реализации искусственных нейронных сетей и глубокого обучения необходимы для понимания анализа медицинских изображений в компьютерном зрении. Подход глубокого обучения к анализу медицинских изображений становится быстрорастущей областью исследований. Глубокое обучение широко используется в медицинской визуализации для обнаружения наличия или отсутствия заболевания.

Поставщики медицинских услуг генерируют и собирают огромные объемы данных, содержащих чрезвычайно ценные сигналы и информацию, со скоростью, намного превосходящей ту, которую могут обрабатывать “традиционные” методы анализа [1]. Таким образом, машинное обучение начинает широко применяться в области медицины, поскольку это один из лучших способов интеграции, анализа и составления прогнозов на основе больших разнородных наборов данных. Глубокое обучение в здравоохранении применяется для одномерного анализа биосигналов и прогнозирования медицинских событий, например, судороги и остановки сердца, для компьютерного обнаружения и диагностики, поддержки принятия клинических решений и анализа выживаемости, для открытия лекарств и в качестве помощи в выборе терапии, для повышения операционной эффективности, анализ электронных медицинских карт.

Использование машинного обучения в целом и глубокого обучения в частности в здравоохранении все еще находится в зачаточном состоянии, но в академических кругах есть несколько основополагающих идей, и многие крупные компании реализуют проекты в области здравоохранения, основанные на машинном обучении.

## Алгоритмы глубокого обучения

Традиционно модели машинного обучения обучают выполнять полезные задачи на основе ручного управления. При глубоком обучении компьютеры автоматически изучают полезные представления и функции непосредственно из необработанных данных, минуя этот ручной и трудный шаг.

Главной общей характеристикой методов глубокого обучения является их акцент на автоматическом изучении представлений данных – это и является основным различием между подходами глубокого обучения и более «классическим» машинным обучением.

В медицинской визуализации интерес к глубокому обучению в основном вызван сверточной нейронной сетью.

### Сверточные нейронные сети (СНС)

Сверточные нейронные сети - мощный способ изучить полезные представления изображений и других структурированных данных [1]. Прежде чем стало возможным эффективно использовать СНС, эти функции, как правило, должны были быть спроектированы вручную или созданы менее мощными моделями машинного обучения. Как только стало возможным использовать функции, полученные непосредственно из данных, многие функции, созданные вручную, оказывались почти бесполезными по сравнению с детекторами функций, обнаруженных с помощью СНС.

Слои, разделяющие СНС, имеют иерархическую систему. СНС включает в себя: входные данные, скрытые блоки, сверточные аспекты, пакетные уровни нормализации и свертки. Переменные СНС определяются эмпирически и эмпирически поддерживаются методом проб и ошибок.

### VGG-16

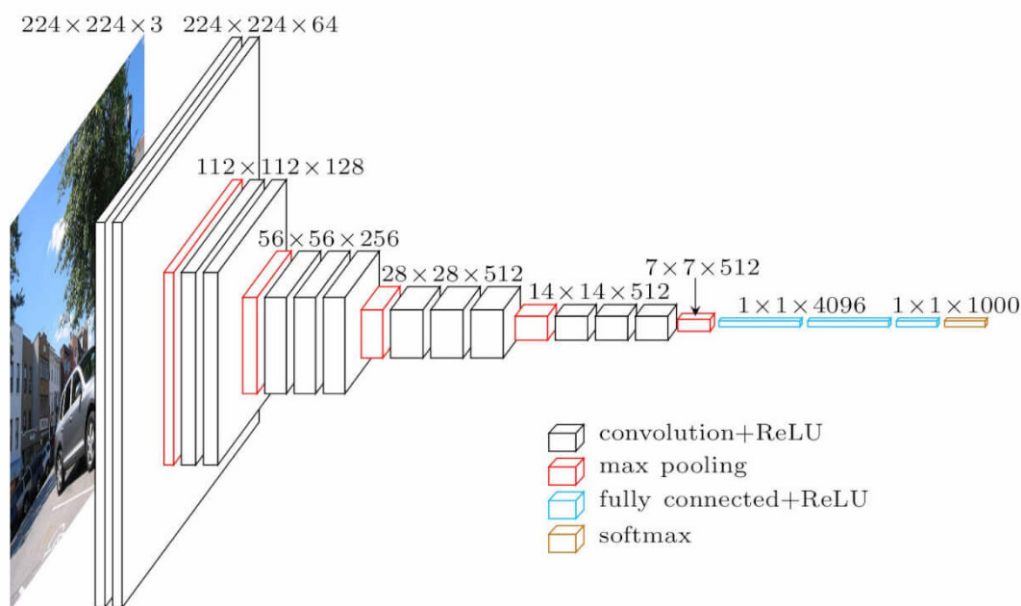


Рис. 1. Архитектура VGG-16

Модель извлечения признаков VGG16 обладает способностью извлекать огромное количество данных и обеспечивает хорошую точность. Это один из самых популярных методов извлечения признаков изображения, который работает лучше, если для задач классификации применяется какая-либо модель глубокого обучения. Модель VGG16 реализована на коллекции МРТ-снимков. Различные слои используются в полной архитектуре конструкций предлагаемых моделей для извлечения функций. Архитектура VGG16 – это очень маленькая архитектура, состоящая из свертки, полностью подключенного и объединяющего слоя [2,3]. Эта архитектура растет с увеличением количества слоев [2]. Размер входного изображения для этой сети всегда устанавливается равным  $224 \times 224$  пикселям, а размер фильтра –  $3 \times 3$  [4]. На

последнем этапе этой сети она состоит из функции активации, которая способна предоставлять вероятности классов выходным уровням.

### Ансамблевая модель

Для решения многих задач машинного обучения ансамблевое моделирование является самым современным решением, поскольку оно объединяет возможности прогнозирования нескольких моделей таким образом, что может быть достигнута более высокая производительность. Различные наборы обучающих данных или методы моделирования используются вместе в ансамблевом моделировании, которое дополнительно объединяет прогнозы каждой базовой модели, чтобы выдать единую прогностическую производительность для неизвестных данных. Использование ансамблевых моделей направлено на снижение способности к обобщению прогнозов. При использовании нескольких моделей ошибка прогнозирования уменьшается до тех пор, пока базовые модели неоднородны и независимы.

Комбинирование глубокого обучения направлено на повышение эффективности путем объединения функций из разных моделей в уникальную прогнозируемую функцию. Кроме того, ансамблевое обучение может быть классифицировано по ансамблям данных, а классификаторы зависят от масштаба интеграции. Поскольку набор функций включает в себя больше данных о МРТ-изображениях, чем все классификаторы вместе взятые, ожидается, что включение на этом уровне улучшит производительность классификации. Ансамбль классификаторов состоит из выходных наборов классификаторов, в которых выходные данные определяются методами голосования. В отличие от этого, ансамбль признаков состоит из извлеченных признаков, заданных для классификации конечного результата.

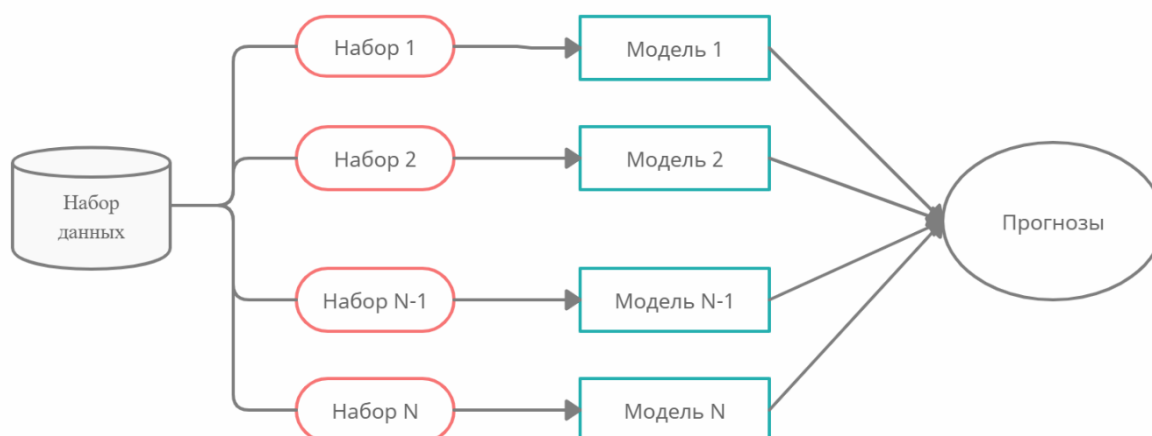


Рис. 2. Архитектура ансамблевой модели

### Заключение

Очевидно, что глубокие нейронные сети очень полезны, когда стоит задача принимать точные решения на основе сложных наборов данных. Но они сопряжены с некоторыми серьезными проблемами и ограничениями, которые надо либо принять, либо попытаться преодолеть. Некоторые из них носят общий характер: от технических проблем, связанных с отсутствием математических и теоретических основ многих центральных моделей и методов глубокого обучения, и возникающих в результате трудностей в принятии точного решения о том, что именно делает одну модель лучше другой, до социальных проблем, связанных с максимизацией и распространением технологических преимуществ.

Однако с глубоким обучением в области медицинской визуализации есть некоторые проблемы. Одна из них заключается в том, что медицинские изображения часто бывают трехмерными, а трехмерные сверточные нейронные сети развиты так же хорошо, как и их 2D-аналоги. Можно быстро решить проблемы, связанные с потреблением памяти и вычислений при использовании СНС с данными изображений более высокой размерности.

## Литература

- [1]. *D. Ravi, C. Wong, F. Deligianni, M. Berthelot, J. Andreu-Perez, B. Lo, et al.* Deep learning for health informatics IEEE J Biomed Health Inform, 21 (2017), pp. 4-21
- [2]. *M. Toğaçar, B. Ergen, Z. Cömert, F. Özyurt.* A deep feature learning model for pneumonia detection applying a combination of mRMR feature selection and machine learning models IRBM, 41 (4) (2020), pp. 212-222
- [3]. *J. Pardede.* Department of informatics engineering, institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Indonesia, B. Sitohang, S. Akbar, and M. L. Khodra, “Implementation of transfer learning using VGG16 on fruit ripeness detection Int. J. Intell. Syst. Appl., 13 (2) (2021), pp. 52-61
- [4]. *P. Xu, J. Zhao, J. Zhang.* Identification of intrinsically disordered protein regions based on deep neural network-VGG16 Algorithms, 14 (4) (2021), p. 107

## МНОГОУРОВНЕВЫЙ АНАЛИЗ ГОЛОСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ

Вялых Софья Андреевна

sofiyavyalykh@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Белов Юрий Сергеевич

ysbelov@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Классификация и распознавание эмоций играет очень важную роль в аффективных хвычислениях и способствует созданию реальных приложений в самых разных областях, таких как развлечения, медицина, оборона, торговля и образование. Эти приложения включают в себя видеоигры, виртуальную реальность, распознавание боли, обнаружение лжи, классификацию расстройств аутистического спектра (РАС), анализ уровня стресса и определение уровня внимания. Этот широкий спектр приложений изучает распознавание эмоций, которое может быть сделано с использованием выражения лица, речи и физиологических данных. Исследования в данной области набирают обороты и имеют большую значимость для людей уже сейчас, что позволяет применять и совершенствовать разработки, в том числе, благодаря синтезу существующих методов и программ*

**Ключевые слова:** машинное обучение, нейронные сети, распознавание эмоций, интеллект, программирование

Развитие технологий искусственного интеллекта способствовало развитию взаимодействия человека с компьютером и других областей. При взаимодействии человека с компьютером, чтобы машина могла точно воспринимать и понимать эмоции пользователя в режиме реального времени, тем самым улучшая качество обслуживания машины, широко изучалось распознавание эмоций пользователя. В реальной жизни, поскольку голосовой вывод не только удобен, но и содержит богатую эмоциональную информацию, взаимодействие человека с компьютером в основном осуществляется в форме голоса. Речь несет огромное количество лингвистической, паралингвистической и нелингвистической информации, необходимой для взаимодействия человека с компьютером. Само по себе понимание языковой информации не позволит компьютеру полностью понять цель говорящего. Чтобы компьютеры вели себя как люди, системы распознавания речи должны обрабатывать невербальную информацию, например эмоциональное состояние говорящего. В результате для развития машинного понимания человеческих эмоций требуется распознавание эмоций на основе речи. В данной статье рассматривается преимущество использования искусственных нейронных сетей для распознавания не только человеческого голоса, но и эмоций.

### **Эмоциональные категории и набор данных для распознавания эмоций в речь**

Существует много видов человеческих эмоций, и исследователи делят их на дискретные и непрерывные [4]. В области распознавания эмоций, существует шесть основных эмоций, предложенных Полом Экманом, а именно: гнев, отвращение, страх, счастье, печаль и удивление, используются наиболее широко. В отличие от дискретной классификации эмоций, некоторые ученые считают, что эмоции непрерывны и постепенно меняются в пространстве [4]. Любое эмоциональное состояние можно сопоставить с точкой в пространстве, и дискретная модель описания эмоции не может полностью охватить эмоцию в реальной жизни. Непрерывное эмоциональное описание использует непрерывные координатные точки в пространстве для описания эмоциональных состояний. Размер значения координат представляет интенсивность эмоций в каждом измерении. Пространственное расстояние координатных точек в мерном пространстве указывает на сходство и различие эмоций. Поэтому целью классифи-

кации эмоций является нахождение соответствия между координатными точками и эмоциональными состояниями в пространстве измерений. Категории эмоций разделены на четыре квадрата в двумерной декартовой системе координат [1]. Чем ближе система координат к началу координат, тем менее интенсивна эмоция, и наоборот. В настоящее время в области исследования распознавания речевых эмоций существует множество видов корпусов, доступных для исследований, таких как немецкая база данных EMO-DB, датская база данных DES, CASIA (Институт автоматизации Китайской академии наук) база данных и англоязычная база данных IEMOCAP. Однако из-за влияния разных географических местоположений, особенностей произношения и прямых различий между культурами и языками разные корпуса имеют определенные особенности. Между метками настроений в разных базах данных нет особенно жестких границ. Определения тегов неоднородны, поэтому не существует общей базы данных речевых эмоций, на которую могли бы ссылаться все исследователи.

### Процесс распознавания эмоций на основе речи

Распознавание речевых эмоций в основном делится на следующие звенья: создание базы данных эмоций, предварительная обработка речевого сигнала, извлечение признаков, обучение модели и тестирование модели [2]. Процесс идентификации показан на рис. 1.

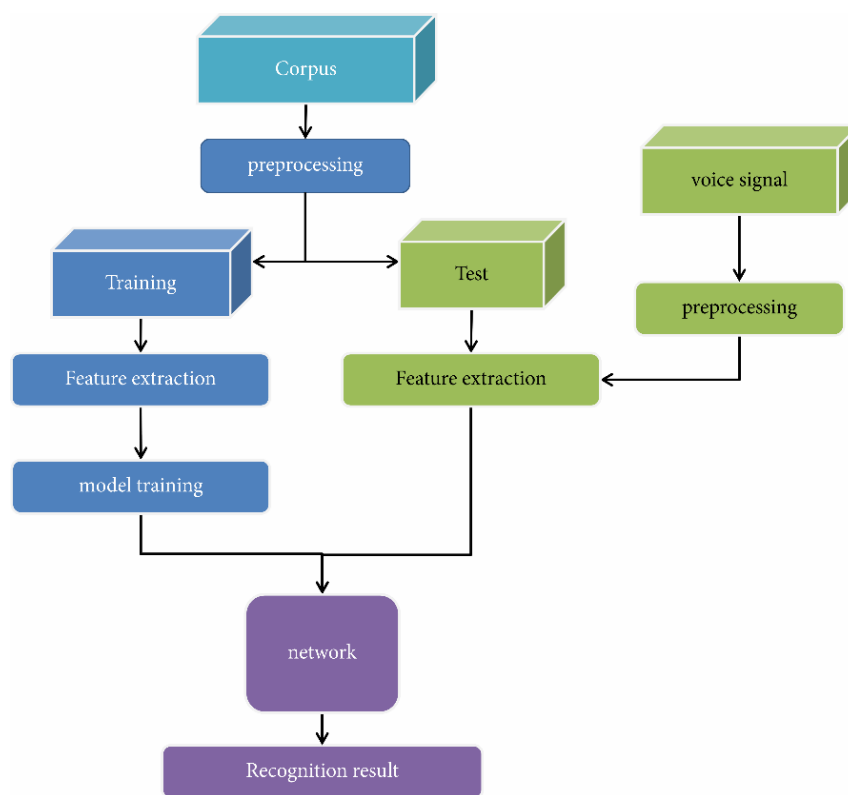


Рис. 1. Процесс идентификации

Корпус является источником данных для обучения и тестирования модели, где тестовые образцы могут использовать данные из корпуса или реальных голосов. Предварительная обработка относится к преобразованию собранного речевого сигнала в цифровой сигнал, который может быть распознан компьютером с помощью технологии аналоговой и цифровой обработки; применение аппаратных или программных технологий; и выполнение таких операций, как предсказание, кадрирование, управление окнами и шумоподавление. Извлечение признаков относится к извлечению акустических признаков, которые могут представлять эмоции, с помощью инструментов извлечения признаков, таких как openSMILE, инструменты с открытым исходным кодом openEAR, или анализа основных компонентов и других алгоритмов выделения признаков из предварительно обработанных данных [3]. Извлеченные признаки необходимы для того, чтобы иметь возможность лучше представлять неотъемлемые характеристики исходной речи. Обучение модели относится к процессу построения модели

распознавания речевых эмоций. Обучение общих моделей осуществляется с использованием алгоритмов машинного обучения или глубокого обучения. Тестирование модели относится к вызову обучающей модели, вводу тестового набора в обученную модель, использованию результата классификации для расчета индекса оценки, а затем оценке производительности модели в соответствии с индексом оценки. Так, например, сеть LSTM, представляющая механизм внимания, может полагаться на это, чтобы узнать вес каждого шага и выразить его в виде взвешенной комбинации. Структура сети LSTM, в которой представлен механизм внимания, показана на рис. 2.

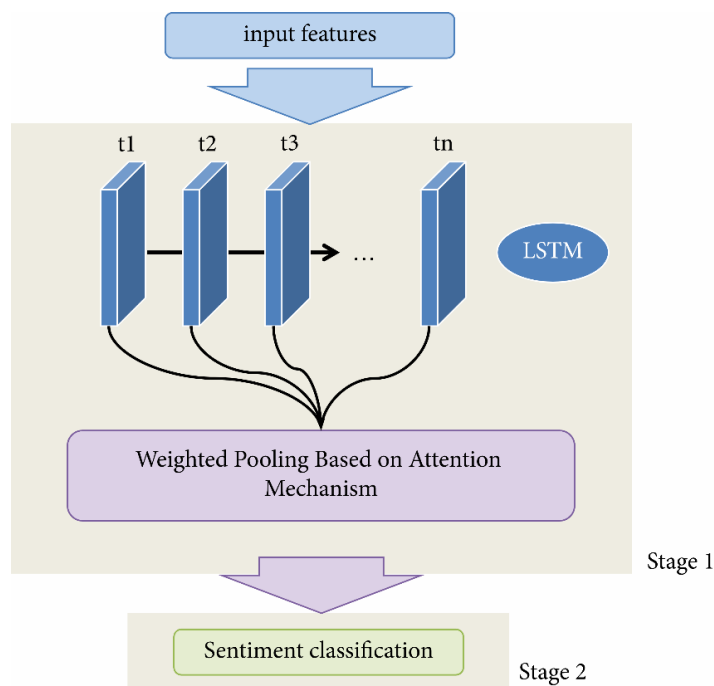


Рис. 2. Структура сети LSTM

### Модели, используемые в задаче распознавания речи

Применение методов статистической теории распознавания образов стало важным этапом в развитии автоматического распознавания речи (АРР). Одним из факторов повышения качества распознавания стало использование мощного аппарата математической статистики и теории вероятностей. Статические методы распознавания речи лежат в основе практически всех известных инструментариев. Наиболее популярными технологиями сегодняшний день являются технологии, основанные на скрытых Марковских моделях (СММ). Благодаря СММ можно достичь высокой точности распознавания, а также хорошему представлению речевого сигнала. Другим классом моделей, обеспечивающих акустико-фонетическое моделирование, являются модели искусственных нейронных сетей (ИНС). Такой вид моделей стал активно использоваться в системах распознавания речи с середины 1980-го года. В то время исследователи разработали и предложили большое количество различных архитектур нейронных сетей. Каждый из методов в отдельности имеет свои недостатки, поэтому в начале 90-х годов прошлого века ученые пришли к идее комбинирования двух подходов, которую они определили, как гибридную СММ/ИНС модель. В результате специалисты смогли повысить точность распознавания речи, при этом СММ обеспечивают возможность моделирования долгосрочных зависимостей, а ИНС – возможность дискриминантного обучения.

### Заключение

Эффективное и точное распознавание эмоций играет очень важную роль в развитии взаимодействия человека с компьютером и других областях. Учитывая, что речь является основным способом взаимодействия человека с компьютером, в данной статье в основном изучается распознавание эмоций по речевым данным. Существует множество исследований по применению моделей глубокого обучения для распознавания эмоций. Высокие результаты в дан-



ной теме показывают такие IT компании, как IBM, Microsoft, Google, Yandex. Однако еще ни один инструмент из существующих сейчас не может достичь 100% точности распознавания. В этой статье рассматриваются различные варианты многоуровневого анализа голоса для распознавания человеческих эмоций.

## Литература

[1]. *Hinton G. et al.* Deep neural networks for acoustic modeling in speech recognition: The shared views of four research groups //IEEE Signal Processing Magazine. – 2012. – Т. 29. – №. 6. – С. 82-97.

[2]. *Ростовцев, В. С.* Искусственные нейронные сети : учебник для вузов / В. С. Ростовцев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 216 с. – ISBN 978-5-8114-7462-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/160142> (дата обращения: 07.10.2022). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

[3]. *Carolina Machado, J. Paulo Davim.* Emotional Intelligence and Neuro-Linguistic Programming: New Insights for Managers and Engineers (Manufacturing Design and Technology, 2019, pp. 68-81, doi: 10.1201/b22180.

[4]. *Кипяткова И. С., Карпов А. А.* Разновидности глубоких искусственных нейронных сетей для систем распознавания речи //Труды СПИИРАН. – 2016. – Т. 6. – №. 49. – С. 80-103.

**ОСНОВЫ ГЕНЕРАЦИИ МУЗЫКИ В ВОЛНОВОМ И НОТНОМ ФОРМАТАХ****Мосин Евгений Дмитриевич****med18ki118@student***КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана***Белов Юрий Сергеевич****ysbelov@bmstu.ru***КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*В эпоху больших данных спрос на короткие саундтреки вырос благодаря стремительному развитию потоковых платформ. От таких саундтреков не требуется высокий художественный уровень, однако немногие музыканты захотят тратить свое время на написание большого количества малосодержательной музыки. Целью работы является исследование основ генерации музыки, рассмотрение генерации музыки в волновом (mp3, wav и т.д.) и нотном (MIDI) форматах с поиском различий и преимуществ в подходах генерации музыки в двух различных форматах. Рассмотренный фрагмент позволяет подробнее рассмотреть идею генерации музыки в волновом и нотных форматах, теоретически рассчитать количество элементов, которое нужно сгенерировать для создания целостного музыкального произведения в обоих форматах, а также основные подходы к предварительному энкодингу данных для генерации музыки в нотном формате*

**Ключевые слова:** генерация музыки, волновой формат, нотный формат, сэмплирование

**Основные форматы представления музыки в компьютере**

Музыку в современных компьютерах можно представить двумя способами: в виде оцифрованного звукового сигнала (Форматы mp3, wav и т.д., позволяющие хранить звук в их амплитудных и частотных представлениях) или в качестве набора нот, по аналогии с классическими нотными листами (формат MIDI), в которых не учитываются нюансы звукоизвлечения, музыка в таком формате представляется в виде потока музыкальных событий.

**Основы синтеза музыкальных данных**

Синтез в волновом формате представляет собой синтез 44 100 единиц данных в одной секунде классического студийного трека. Односекундные треки не несут практический интерес, поэтому целесообразно рассматривать хотя бы полуминутную студийную запись. Для генерации полуминутной студийной записи с частотой сэмплирования 44 100 понадобится сгенерировать 1.3 млн значений. Для сравнения: генерация RGB-изображение в разрешении 512x512 потребует генерации около 700 тыс. значений, что в два раза меньше. Становится очевидно, что такое количество значений избыточно, для обучения такой модели нужно огромное количество ресурсов. В итоге возникает фундаментальная проблема генерации слишком большого объема данных.

Возможное решение данной проблемы - генерировать музыку в MIDI формате. Благодаря компактной форме хранения музыкальной информации, генерация музыки в виде MIDI файла требует намного меньше вычислительных ресурсов по сравнению с генерацией качественной музыки в волновых форматах. Также, MIDI файлы легко могут быть загружены в программы секвенсоры, которые конвертируют трек из нотного формата в любой звуковой формат.

Эффективность данного метода заключается в том, что с самым базовым MIDI форматом запись сокращается в разы по сравнению с волновыми форматами. Используя всего 2048 нот можно получить трек продолжительностью до 2-х минут, в то время как для генерации такого трека в волновом формате потребуются сгенерировать около 5 млн значений. В добавок к этому, открывается огромный творческий простор для того, чтобы придумать оптимальный способ кодирования данных.

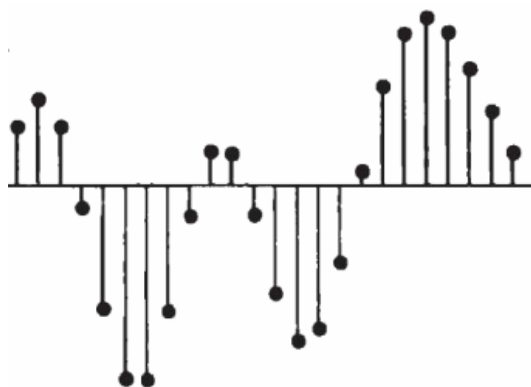


Рис. 1. Визуализация волнового формата хранения музыки

### Кодирование музыкальных данных

Основной принцип кодирования данных при таком подходе заключается в уменьшении числа значений путем создания нового алфавита из нот. При этом делать всё слишком сжатым нежелательно – можно потерять важную информацию. Самый простой классический способ - event-based MIDI энкодинг.

Есть несколько форматов MIDI файлов. Формат 0 содержит один трек, форматы 1 и 2 содержат несколько треков. Чаще всего на практике используются MIDI с форматом 1, где под каждый инструмент отводится свой трек: на одном треке играют гитары, на другом скрипка и т.д. Это вносит некоторые трудности при построении грамматики - нужно следить за тем, что происходит на другом треке. Поэтому целесообразно конвертировать формат 1 и 2 в формат 0, чтобы все инструменты были на одном треке.

В MIDI представлении каждая нота имеет 3 основных характеристики. По вертикальной оси задается высота ноты от ноты до (C0) субконтроктавы до ноты до (C8) пятой октавы. По горизонтальной оси задается длительность ноты. Отдельно внизу вынесены громкости для каждой ноты (чем выше столбец – тем громче нота, а также цвет каждой ноты тоже указывает на ее громкость). Для каждого инструмента существует своя дорожка с последовательностями нот. MIDI файл состоит из произвольного количества таких дорожек для каждого инструмента (рис. 2.).

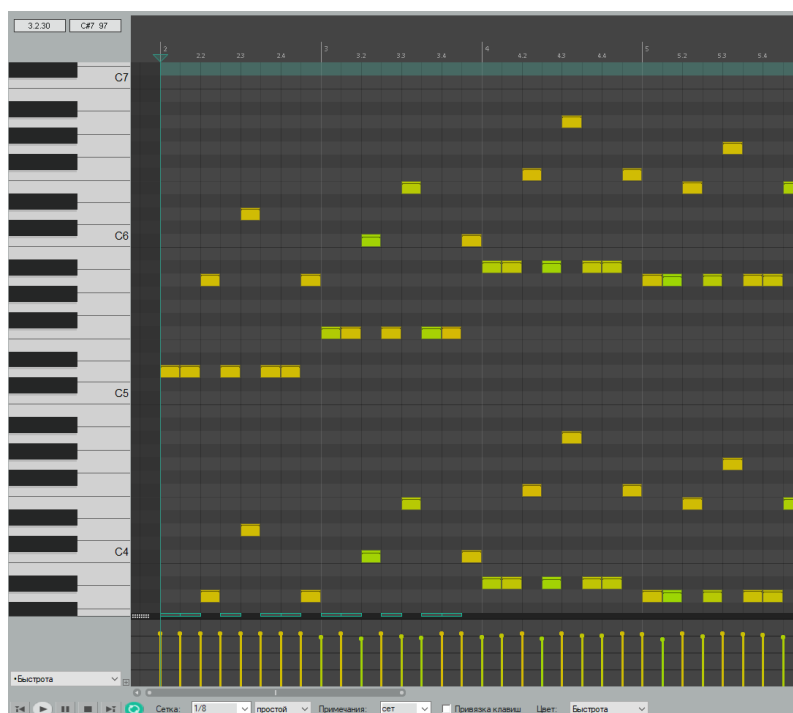


Рис. 2. Пример MIDI файла

Суть event-based MIDI энкодинга заключается в отслеживании нажатия и отпускания клавиш, с учетом силы нажатия. MIDI преобразуется в последовательность событий нажатия, отпускания клавиш (по 128 токенов), установки громкости (32 токена) и шага по времени (100 токенов).



Рис. 3. Пример Event-based encoding

После энкодинга полученный файл можно перевести в формат XML и получить еще более удобное представление (рис. 4.).

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?><br><!DOCTYPE MIDIFile
PUBLIC<br> "-//Recordare//DTD MusicXML 0.9 MIDI//EN"
<br> "http://www.musicxml.org/dtds/midixml.dtd"><br><MIDIFile><br>
<Format>0</Format><br><TrackCount>1</TrackCount><br>
<TicksPerBeat>384</TicksPerBeat><br><TimestampType>Absolute</TimestampType><br>
<Track Number="0"><br> <Event><br> <Absolute>0</Absolute><br> <ControlChange
Channel="2" Control="91" Value="46"/><br> </Event><br> <Event>
<br> <Absolute>0</Absolute><br> <ProgramChange Channel="2" Number="49"/>
<br> </Event><br> <Event><br> <Absolute>0</Absolute><br> <ControlChange
Channel="2" Control="0" Value="0"/><br> </Event><br>...<br> <Event>
<br> <Absolute>24908</Absolute><br> <NoteOff Channel="11" Note="41"
Velocity="127"/><br> </Event><br> <Event><br> <Absolute>24912</Absolute>
<br> <NoteOn Channel="11" Note="41" Velocity="127"/><br> </Event><br> <Event>
<br> <Absolute>24956</Absolute><br> <NoteOff Channel="11" Note="41"
Velocity="127"/><br> </Event><br> <Event><br> <Absolute>24960</Absolute>
<br> <NoteOn Channel="11" Note="41" Velocity="127"/><br> </Event><br>...<br>
</Track><br></MIDIFile><br><br>* This source code was highlighted with Source
Code Highlighter.
```

Рис. 4. Пример XML файла, полученного из MIDI после энкодинга

В данном файле хранится вся информация о мелодии. Тег <TicksPerBeat> отвечает за темп мелодии, в данном примере тем составляет 384. Вначале устанавливаются настройки каналов для каждого инструмента. Самой важной частью являются теги <NoteOn> и <NoteOff> – они отвечают за проигрывание и остановку звучания ноты. Эти теги содержат канал, на котором играет нота, номер ноты и ее скорость воспроизведения. В данном примере используется абсолютное время для каждого события, однако можно генерировать XML и с относительным временем. Абсолютное время – время, прошедшее с самого начала трека, а относительное время – время, прошедшее с момента последнего события. В случае генерации мульти инструментальной композиции удобнее брать абсолютное время, по которому можно легко сгруппировать различные музыкальные события, произошедшие в один и тот же момент времени.

### Заключение

Генеративная музыка хороша не только для персонального пользования, к примеру для использования на фоне в каком-нибудь видеоролике или видеоигре. На сегодняшний день различные гостиницы, салоны красоты, рестораны, парки развлечений, бары и другие бизне-

сы платят большие деньги за использование музыки, которую они ставят для гостей. Современные модели способны создавать самые разные композиции в различных жанрах на любой вкус, поэтому возможность генерировать музыку с помощью нейронных сетей позволит бизнесу сэкономить, не тратя большие деньги и не нарушая авторские права.

По опыту различных сервисов и проектов по генерации музыки сложилась устойчивая пропорция – при генерации символьной музыки около 60% времени и ресурсов уходит на энкодинг, около 30% затрачивается на сбор данных и всего лишь 10% затрачивается на обучение модели.

Таким образом, уникальность каждого нового проекта и сервиса сводится к созданию своего эффективного метода энкодинга MIDI файлов.

## Литература

[1]. *Kun Zhao, Siqu Li, Juanjuan Cai, Hui Wang, Jingling Wang* «An Emotional Symbolic Music Generation System based on LSTM Networks», 2019 IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC).

[2]. *Ke Chen, Weilin Zhang, Shlomo Dubnov, Gus Xia, Wei Li* «The Effect of Explicit Structure Encoding of Deep Neural Networks for Symbolic Music Generation», 2019 International Workshop on Multiplayer Music Representation and Processing (MMRP).

[3]. *Ahmet Emin*, «Piano Music Generation with a Text Based Musical Note Representation using LSTM Models», 2011 29th Signal Processing and Communications Applications Conference.

[4]. *Huanru Henry Mao, Taylor Shin, Garrison W. Cottrell* «DeepJ: Style-Specific Music Generation», 2018 12th IEEE International Conference on Semantic Computing.

## ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Левин Артем Олегович

levinao@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Белов Юрий Сергеевич

ysbelov@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Диффузионные модели являются одним из нескольких подходов к решению проблемы генерации изображений. Основываясь на результаты работ [1, 2], был произведен анализ диффузионных моделей и их влияния на процесс генерации изображений с его последующими результатами. Целью работы является исследование применения диффузионных моделей для генерации изображений, с обзором их архитектуры, концепцией обучения таких моделей и основными принципами их работы. Основываясь на получение в процессе данной работы данные, рассмотренные диффузионные модели являются оптимальным решением для генерации изображений, в сравнение с перечисленными аналогами, ввиду способности моделирования сложных распределений естественных изображений, используя при этом минимальное количество вычислительных ресурсов, благодаря использованию пространства меньшей размерности (latent space)*

**Ключевые слова:** диффузионные модели, генерация изображений, пространства меньшей размерности

### Общие сведения

Генерация или же синтез изображений – сфера искусственного интеллекта, в рамках которой компьютеры обучаются интерпретировать и понимать визуальный мир. В настоящее время данная область активно развивается, становясь при этом все более доступной широкому кругу людей, несмотря на необходимость больших вычислительных ресурсов.

Для синтеза сложных естественных изображений с высоким разрешением зачастую используются масштабные модели, основанные на правдоподобии, потенциально содержащие миллиарды параметров. Примером такой технологии могут послужить авторегрессионные модели (AR).

В то же время, было обнаружено, что результаты генеративно-состязательных нейронных сетей (GANs) в основном сводятся к использованию данных с ограниченной изменчивостью, поскольку процедура состязательного обучения внутри таких моделей проблематично масштабируется для моделирования сложных мультимодальных распределений.

### Применение диффузионных моделей

В последнее время диффузионные модели, построенные на основе иерархии шумоподавляющих автокодировщиков, используются в различных областях искусственного интеллекта, в том числе и в сфере генерации изображений, задавая при этом уровень самой технологии в данной области.

Более того, диффузионные модели могут быть легко применены не только для генерации изображений, но и для выполнения множества современных задач в отличие от других типов генеративных моделей. Будучи моделями, основанными на правдоподобии, диффузионные модели демонстрируют стабильность обучения, в отличии от Генеративно-состязательных сетей (GANs).

Основываясь на совместном использовании параметров, диффузионные модели способны моделировать очень сложные распределения естественных изображений, не требуя при этом миллиардов параметров, как, например, авторегрессионные модели (AR).

Диффузионные модели – это вероятностные модели, предназначенные для изучения распределения данных  $p(x)$  путем постепенного удаления шума из нормально распределенной

переменной, что соответствует обучению обратному процессу фиксированной цепи Маркова длины  $T$ .

Для синтеза изображений наиболее успешные модели полагаются на перевзвешенный вариант вариационной нижней границы  $p(x)$ , который отражает сопоставление результатов с шумоподавлением. Эти модели можно представить как равновзвешенную последовательность шумоподаляющих автокодировщиков  $\epsilon_\theta(x_t, t); t = 1 \dots T$ , которые обучены предсказывать исходный вариант их входных данных  $x_t$ , где  $x_t$  – версия входных данных  $x$  с наложенным на нее шумом. Исходя из этого, соответствующая задача может быть упрощена до

$$L_{DM} = \mathbb{E}_{x, \epsilon \sim N(0,1), t} [\|\epsilon - \epsilon_\theta(x_t, t)\|_2^2],$$

с  $t$ , равномерно выбранным из  $\{1, \dots, T\}$ .

Главная идея состоит в том, чтобы смешать изображение и гауссовский шум. А далее обучить нейросеть из зашумленных изображений восстанавливать оригиналы (рис. 1).

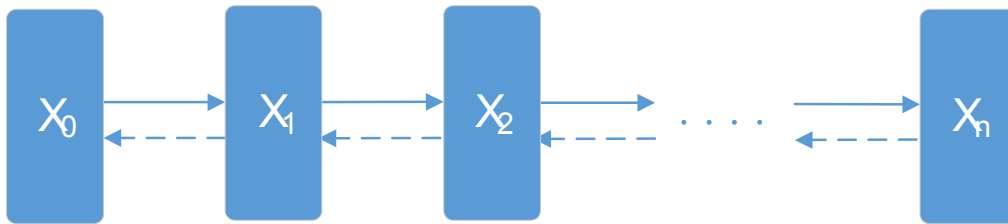


Рис. 1. Схема процесса добавления шума к входному изображению

Если подать такой нейросети на вход чистый шум, то постепенно она превратит его в правдоподобное изображение (рис. 2).

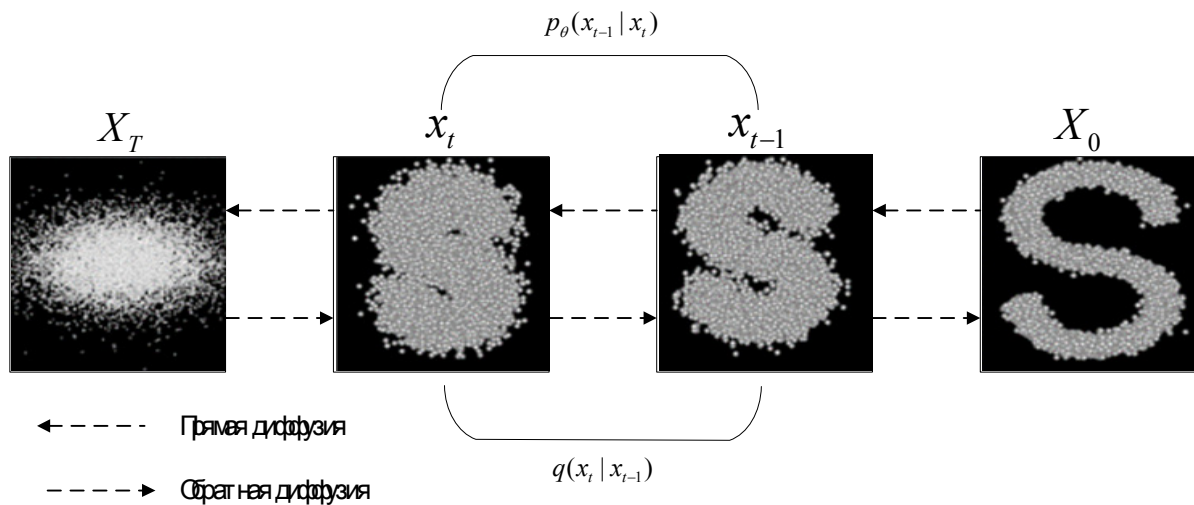


Рис. 2. Алгоритм диффузионных моделей с использованием технологии шумоподавления

### Концепция обучения диффузионных моделей

Общая концепция обучения с использованием диффузионных моделей состоит из нескольких пунктов:

1. В качестве входных данных подается исходное изображение.
2. Итеративно добавляется Гауссовский шум, до тех пор, пока от исходного изображения ничего не останется, и оно полностью превратится в шум.

3. Производится обратное диффузионное преобразование, в процессе которого, в качестве новых входных данных поступают уже ранее частично зашумленные или полностью состоящие из шума изображения.

4. Полученные изображения итеративно приводятся к финальному изображению, постепенно убирая из них шум, основываясь на ранее полученные данные внутри модели.

Однако, изображение с разрешением 512x512 состоит из 262 144 пикселей и если применить диффузионный процесс к ней напрямую, то на вычисления такой задачи будет уходить много вычислительных ресурсов, что усложняет процесс тренировки.

**Принцип работы диффузионных моделей**

Для того, чтобы производить генерацию изображений значительно быстрее и, не требуя при этом огромных вычислительных мощностей, изображения отображаются в пространство меньшей размерности(latent space), где и производятся вычисления (Рис. 3.), а результат обратно разжимается с помощью вариационный автокодировщика (Variational Autoencoder - VAE).

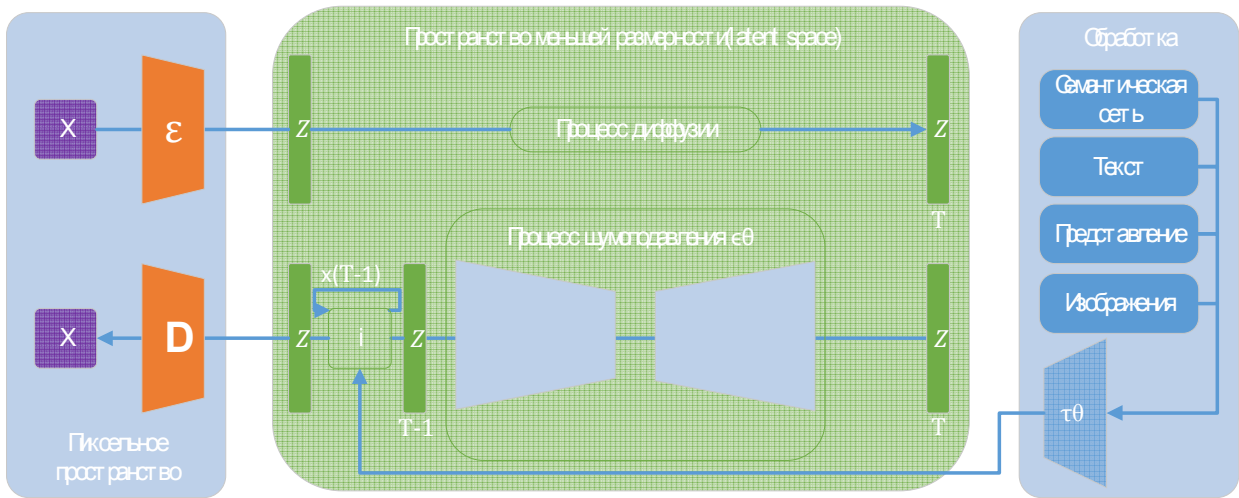


Рис. 3. Схема принципа работы диффузионных моделей

Все это включает в себя возможность построения сети, состоящей в первую очередь из двумерных сверточных слоев, что приводит исходную задачу к следующему виду:

$$L_{LDM} := E_{\epsilon(x), \epsilon \sim N(0,1), t} \left[ \|\epsilon - \epsilon_{\theta}(z_t, t)\|_2^2 \right]$$

Данная компонента обеспечивает итеративное превращение шума в результирующее изображение. Поскольку прямой процесс является фиксированным,  $Z_t$  может быть эффективно получена из  $\epsilon$  в процессе самого обучения нейронной сети, а выборки из  $p(z)$  могут быть декодированы в пиксельное пространство за одну итерацию через  $D$ , что по итогу обеспечивает достаточно качественно сгенерированное изображение при минимально затраченных ресурсах компьютера.

**Заключение**

Таким образом, диффузионные модели являются оптимальным решением для генерации изображений среди своих непосредственных аналогов, ввиду способности моделирования сложных распределений естественных изображений, используя при этом минимальное количество вычислительных ресурсов, благодаря использованию пространства меньшей размерности, что в результате приводит к значительному увеличению скорости генерации результирующих изображений.



## Литература

[1]. *R. Rombach, A. Blattmann, D. Lorenz, P. Esser and B. Ommer*, "High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models," *2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2022, pp. 10674-10685, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.01042.

[2]. *S. Gu et al.*, "Vector Quantized Diffusion Model for Text-to-Image Synthesis," *2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2022, pp. 10686-10696, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.01043.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕКСТА В РЕЧЬ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Белоножко Павел Евгеньевич

belonozhkope@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Белов Юрий Сергеевич

ysbelov@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Преобразование текста в речь – одна из задач, решаемая моделями глубокого обучения. Основными проблемами в реализации таких моделей являются дефицит наборов данных и время ее обучения. Решением выступает генеративная модель преобразования текста в речь, основанная на Tacotron и WaveNet. Целью работы является рассмотрение общего конвейера SPSS и генеративной модели глубокого обучения на основе Tacotron и WaveNet для ее использования в качестве основного инструмента реализации системы по преобразованию текста в речь. В данной статье рассмотрены основные принципы построения общего конвейера статистической и генеративной модели синтеза речи из текста, её преимущества и недостатки, а также технологии, используемые при реализации таких моделей. Рассмотрен метод оценки качества генерируемой речи MOS*

**Ключевые слова:** текст в речь, Tacotron, WaveNet, мел-спектрограмма, MOS

### Общие сведения

Технологии глубокого обучения становятся все более популярными в области искусственного интеллекта. Одной из таких технологий является преобразование текста в речь (text-to-speech, TTS). Задача такой системы – воспроизводить речь из текста голосом человека, выбранного пользователем. Данные системы начали свое развитие в 2016 году и до сих пор большая часть исследований сосредоточена на том, чтобы сделать их более эффективными, звучащими более естественно, с правильным произношением, живой интонацией и минимумом фонового шума.

В последние пару десятилетий доминирующими методами для TTS были последовательный синтез и статистический параметрический синтез речи. В последовательном синтезе фонемы предсказываются из текста, который аннотируется просодической и фонетической контекстной информацией. Затем небольшие блоки предварительно записанных сигналов, соответствующих предсказанной фонеме, сшиваются вместе для создания речи. В параметрическом синтезе модель представляет собой параметризованную модель с параметрами речи, такими как высота тона, продолжительность, интенсивность и т. д.

Основной проблемой генерации качественной речи является дефицит наборов данных. Для обучения обычной модели TTS, такой как Tacotron, требуются сотни часов профессионально записанной речи. Однако, решением этой проблемы является модель статистического параметрического синтеза речи (SPSS), которая клонирует голос, а не преобразует его. Если преобразование голоса представляет собой форму передачи стиля в сегменте речи от одного голоса к другому, то клонирование состоит в захвате голоса говорящего для преобразования текста в речь на основании произвольных данных [1].

### Модель синтеза речи

Методы последовательного синтеза звука (CSS) используют большую базу данных исходных звуков, сегментированных на единицы, и алгоритм выбора параметров, который находит последовательность параметров, которые лучше всего соответствуют синтезируемому звуку

или фразе, называемой целью. Отбор осуществляется по дескрипторам параметров, являющихся характеристиками, извлеченными из исходных звуков, или приписываемым им дескрипторам более высокого уровня. Затем выбранные параметры могут быть преобразованы для полного соответствия целевой спецификации и объединены. Однако, если база данных достаточно велика, высока вероятность того, что будет найден соответствующий блок, поэтому потребность в применении преобразований, которые всегда ухудшают качество звука, снижается.

Статистический параметрический синтез речи (SPSS) относится к группе методов TTS, управляемых данными. В SPSS взаимосвязь между признаками, вычисленными для входного текста, и выходными акустическими признаками изучается с помощью статистической генеративной модели (называемой акустической моделью). Таким образом, полная структура SPSS включает в себя конвейер для извлечения особенностей текста для синтеза речи, а также систему, способную реконструировать форму звуковой волны из акустических характеристик, созданных акустической моделью, которая называется вокодер (vocoder) [2]. В отличие от акустической модели, другие две части конвейера могут быть полностью спроектированы без использования статистических методов. На рис. 1 изображена общая структура конвейера SPSS.

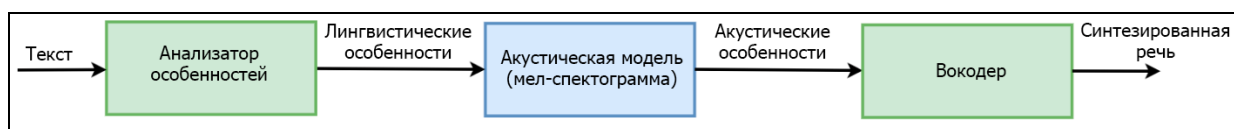


Рис. 1. Общий конвейер SPSS

Синий прямоугольник – это исключительно статистическая модель, в то время как зеленые прямоугольники могут представлять собой инженерные процессы и/или статистические модели. Большинство систем TTS состоят из двух модулей: первый модуль преобразует текстовую информацию в акустические характеристики (анализатор особенностей), а второй генерирует образцы речи из ранее сгенерированной акустической информации (вокодер).

#### Генеративная модель синтеза речи из текста

Несмотря на все преимущества статистической модели, звук часто звучит приглушенно и неестественно по сравнению с человеческой речью. На сегодняшний день эффективным аналогом конвейера SPSS, который обеспечивает качество звука, соперничающее с качеством реальной человеческой речи, являются генеративные модели. Большинство из них основано на моделях глубокого обучения WaveNet и Tacotron. Данные модели не являются полноценными системами преобразования текста в речь. Каждая из них является лишь частью большого набора моделей и эвристик, которые вместе образуют механизм преобразования текста в речь [3].

Механизм преобразования текста в речь - это часть программного обеспечения, которая преобразует текст в речь (аудио). Этот процесс обычно разделен на конвейер, где каждый шаг в нем представляет собой собственную модель или набор моделей. Пример конвейера изображен на рис. 2, он может включать:

- Нормализация: преобразование произнесенных токенов (чисел, дат и т. Д.)
- Пометка части речи: маркировка слов по их части речи.
- Преобразование фонем: преобразование слов в фонетическое представление, такое как IPA.
- Высокоуровневый синтез звука: преобразование фонем в высокоуровневое представление звука, такое как мел-спектрограмма, F0, огибающий спектр, коэффициенты LSP или LPC и т. Д.
- Синтез формы сигнала: преобразование высокоуровневого представления в конечный звуковой сигнал.

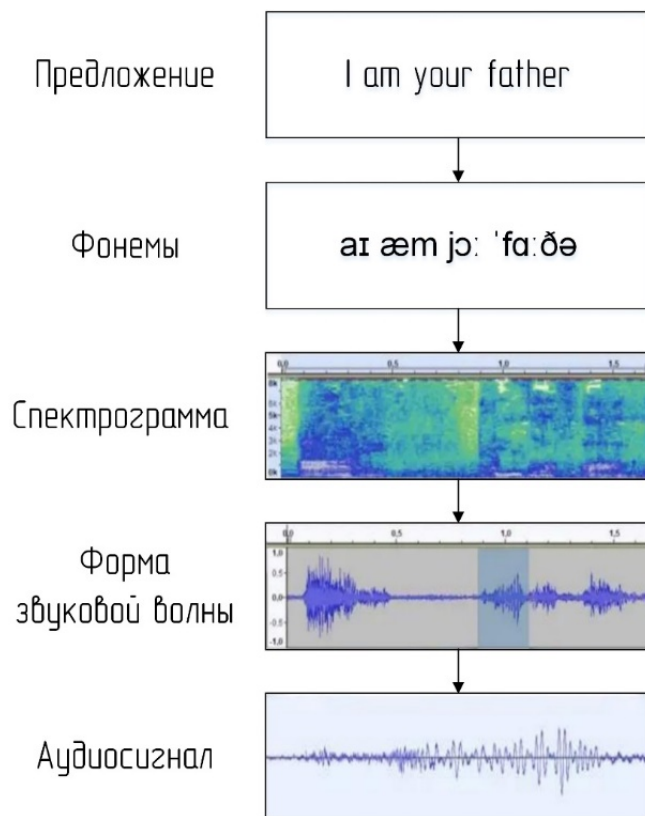


Рис. 2. Конвейер генеративной модели преобразования текста в речь

### Особенности WaveNet

Входные данные для WaveNet (лингвистические характеристики) требуют значительных знаний в предметной области, включая сложные системы анализа текста, а также надежный лексикон (руководство по произношению) [4].

WaveNet в качестве анализатора особенностей использует модель Tacotron. Это последовательная (sequence-to-sequence) архитектура для создания голосовых спектрограмм из последовательности символов. Tacotron упрощает традиционный конвейер синтеза речи, заменяя генерацию лингвистических и акустических характеристик одной нейронной сетью, обученной только на данных. Чтобы передать результирующие спектрограммы в вокодер, Tacotron использует алгоритм Гриффина-Лима, за которым следует кратковременное преобразование Фурье. Такой подход создает характерные артефакты и более низкое качество звука. Поэтому модель WaveNet использует Tacotron исключительно для генерации голосовых спектрограмм и предлагает свой собственный вокодер (WaveNet Vocoder или WaveRNN), который преобразует голосовые спектрограммы в образцы формы волны во временной области. Он использует авторегрессионную генеративную модель, которая может реконструировать форму волны из промежуточных акустических характеристик. Волновая рекуррентная нейронная сеть (WaveRNN), использующая рекуррентные слои, повышает эффективность выборки без ущерба для ее качества. В частности, она может реализовать высококачественный синтез в реальном времени за счет введения вентилируемого рекуррентного блока (GRU) и остаточного блока [5].

Промежуточным звеном модели WaveNet являются голосовые спектрограммы или мел-спектрограммы, на основании которых происходит генерация речи. Главным показателем в ней является единица измерения высоты звука – мел. Она основана на психофизиологическом восприятии звука человеком, и зависит от частоты. Таким образом, мел-спектрограмма – это обычная спектрограмма, где частота выражена в мелах, а не в герцах. Переход к такому виду спектрограмм осуществляется через применение мел-фильтров, которые представляют собой треугольные функции, равномерно распределенные на мел-шкале. Пре-

имуществом такой спектрограммы является большой объем сохраняемой информации, которая необходима для генерации более качественной речи.

### **Оценка MOS**

Для оценки воспроизводимой речи обычно используются качественные оценки (хорошо или плохо), которые субъективно характеризуют процесс. Поэтому достаточно удобно использовать количественные методы, чтобы выразить оценку в виде числа. Такой подход называется усредненной оценкой разборчивости речи (Mean Opinion Score, MOS). Она дает численное представление о качестве генерируемой речи. MOS выражается числовым значением от 1 до 5, где 1 – низкое качество, и 5 – высокое качество. Изначально такая оценка формировалась на основе опроса экспертов-наблюдателей, однако сегодня MOS часто составляется с помощью объективного метода измерения, приближающегося к человеческому рейтингу.

### **Заключение**

Описанная модель преобразования текста в речь на сегодняшний день является наиболее эффективной, так как в ней используются современные решения Tacotron и WaveNet, качество которых оценивается высокими баллами по шкале MOS. Несмотря на это, технологии генерации речи продолжают развиваться и появляются новые модели, такие как SampleRNN, WaveGlow, LPCNet, MelNet, что обеспечивает непрерывное развитие данной области и улучшение качества воспроизводимой речи.

### **Литература**

[1]. V. Aggarwal, M. Cotescu, N. Prateek, J. Lorenzo-Trueba and R. Barra-Chicote, "Using Vaes and Normalizing Flows for One-Shot Text-To-Speech Synthesis of Expressive Speech", ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2020, pp. 6179-6183, doi: 10.1109/ICASSP40776.2020.9053678.

[2]. M. -J. Hwang, F. Soong, E. Song, X. Wang, H. Kang and H. -G. Kang, "LP-WaveNet: Linear Prediction-based WaveNet Speech Synthesis", 2020 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), 2020, pp. 810-814.

[3]. Y. Gu et al., "ByteSing: A Chinese Singing Voice Synthesis System Using Duration Allocated Encoder-Decoder Acoustic Models and WaveRNN Vocoders," 2021 12th International Symposium on Chinese Spoken Language Processing (ISCSLP), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISCSLP49672.2021.9362104.

[4]. R. Liu, B. Sisman, F. Bao, G. Gao and H. Li, "Modeling Prosodic Phrasing With Multi-Task Learning in Tacotron-Based TTS," in IEEE Signal Processing Letters, vol. 27, pp. 1470-1474, 2020, doi: 10.1109/LSP.2020.3016564.

[5]. L. Jeerapradit, A. Suchato and P. Punyabukkana, "HMM-based Thai Singing Voice Synthesis System," 2018 22nd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSEC.2018.8712801.

## МОДЕЛЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

Тронов Кирилл Александрович

kirtron@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Белов Юрий Сергеевич

iu4-kf@mail.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Отсутствие данных неизбежно в беспроводных сенсорных сетях из-за таких проблем, как перебои в работе сети, техническое обслуживание или отказ сенсора и т. д. Использование статистики для восстановления может дать хорошие оценки недостающих данных при дискретных значениях временного ряда [1], однако восстановить последовательные отсутствующие сенсорные данные сложно. Другим широко используемым подходом является восстановление отсутствующего параметра на основе других доступных параметров в наборах данных, отслеживаемых одновременно [2]. Во системах все отслеживаемые параметры, как правило, теряются в один и тот же период времени из-за проблем с сетью или отключением электроэнергии. В этом случае больше нельзя предсказать недостающие точки данных на основе других параметров. В данной статье предлагается модель восстановления последовательностей (SSIM) для восстановления недостающих данных в беспроводных сенсорных сетях с использованием современной архитектуры глубокого обучения последовательностей и сетей долговременной кратковременной памяти. Использование в качестве скрытых единиц слоев сетей с долговременной кратковременной памятью эффективно решает данные проблемы за счет использования большего количества контекстов и свойств предыдущей последовательности [3]*

**Ключевые слова:** восстановление последовательностей данных, SSIM, глубокое обучение, беспроводные сенсорные сети

**Отсутствующие данные.** Отсутствующие данные – это значение для наблюдения, которому не присвоено значение. Отсутствующее значение либо пусто, либо содержит термины, такие как N/A, missing и т. д. В большинстве беспроводных сенсорных сетей датчики работают совместно для мониторинга различных характеристик целевой системы.

В этих случаях предполагается, что распределения недостающих и полных данных одинаковы, и недостающие данные могут быть предсказаны из полных данных. Этот тип механизма отсутствия данных называется полным случайным отсутствием (MCAR). Это предполагается большинством существующих методов вменения отсутствующих данных и, следовательно, также предполагается в этой статье. На рис. 1 показан распространенный сценарий отсутствия данных датчика временных рядов.

Серые блоки (см. рис. 1) выделяют доступные данные временных рядов (красные сплошные линии), а белые пустые области представляют отсутствующие последовательности данных.

В этом случае все данные датчика за тот же период времени отсутствуют. Это может быть вызвано целым рядом факторов, в том числе нестабильным питанием датчика, ошибками передачи данных или регулярным обслуживанием устройства. Чтобы сформулировать задачу, предположим, что имеется  $n$  номеров временных рядов, сгенерированных различными датчиками в рассматриваемой сети беспроводных датчиков. Каждый временной ряд имеет числовые значения с одним и тем же временным интервалом. Все временные ряды  $TS$  можно представить следующим образом:  $TS^T = \{ts_1, ts_2, \dots, ts_n\}$ .

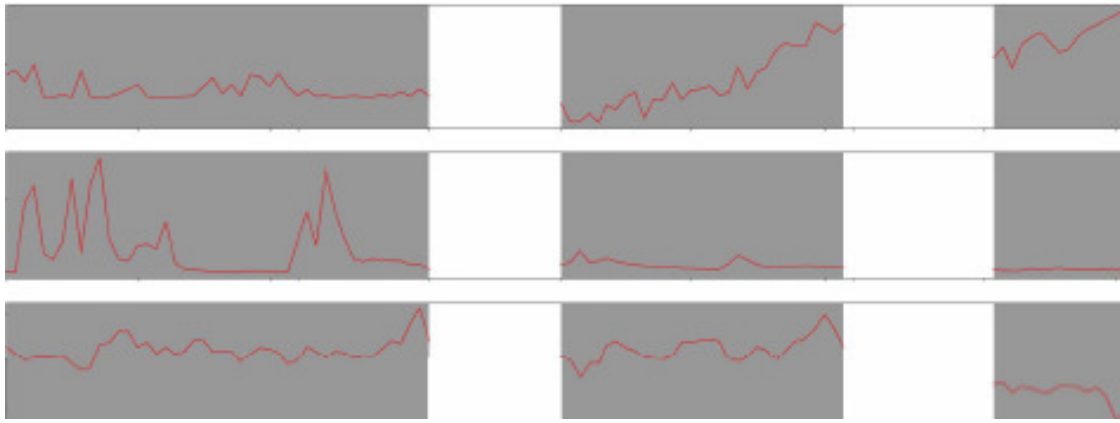


Рис. 1. Временные ряды с постоянными отсутствующими данными

Как показано на рис. 1, частичные последовательные точки данных за несколько периодов времени отсутствуют для всех временных рядов TS. Пусть  $d_i$  и  $ts_i \setminus d_i$  обозначают недостающие данные и оставшиеся данные во временном ряду  $ts_i$  соответственно. Следовательно, все доступные данные в сети беспроводных датчиков могут быть представлены в виде:  $R^T = \{ts_1 \setminus d_1, ts_2 \setminus d_2, \dots, ts_n \setminus d_n\}$ , где  $\setminus$  представляет собой операцию удаления элементов из последовательности. Для одного временного ряда  $ts_k$  задача состоит в том, чтобы получить хорошие оценки для отсутствующей последовательности данных  $d_k$  путем изучения всех доступных данных  $R$ . В этой задаче предполагается, что размер оставшихся данных намного больше, чем размер недостающих данных, так что выбранная модель будет иметь достаточно информации.

**SSIM (Модель последовательного восстановления данных).** SSIM использует архитектуру последовательностей с механизмом внимания, как показано на рис. 2, где кодер и декодер являются двумя ключевыми функциональными компонентами.

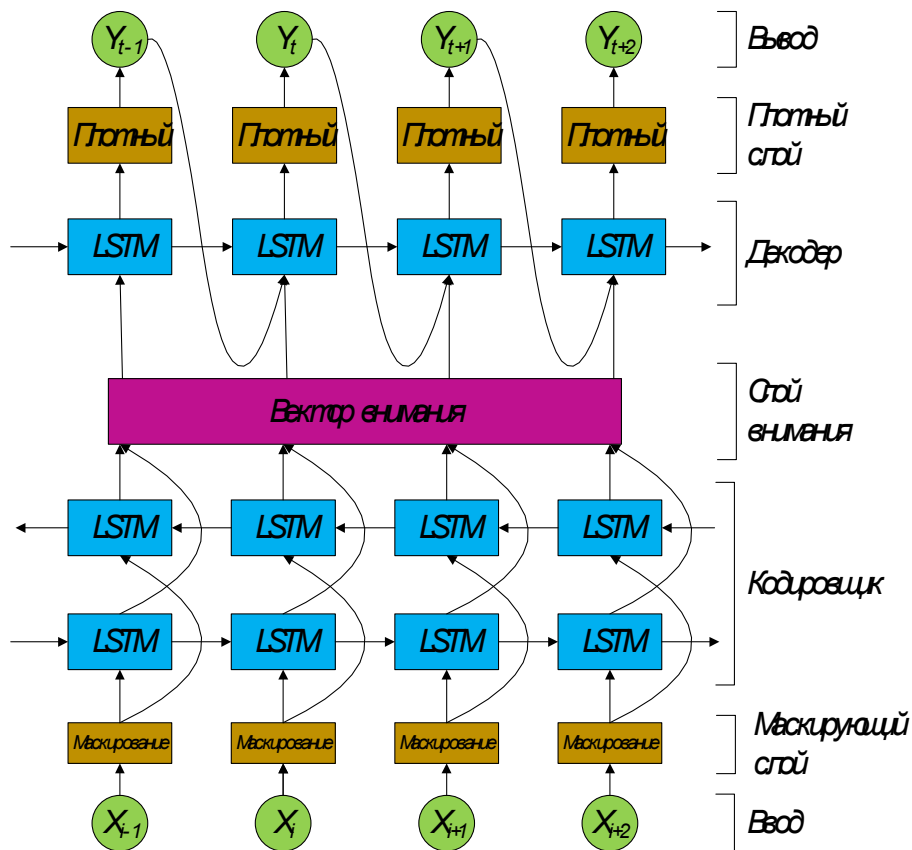


Рис. 2. Архитектура SSIM

Кодер в SSIM (см. рис. 2) – это BiLSTM, который состоит из прямого LSTM и обратного LSTM. Декодер в SSIM представляет собой однонаправленный LSTM. Выпадающие слои также включены как в кодировщик, так и в декодер. Маскирующий слой добавляется для удаления дополненных нулями векторов во входных последовательностях. Плотный слой с линейной функцией активации укладывается в прогнозы продукта с непрерывными значениями.

После ввода данных временных рядов маскирующие слои модели отфильтровывают дополненные нулями векторы в выборках входных данных и передают их кодировщику. Кодер обрабатывает входной временной ряд и отображает его в многомерный вектор. Декодер получает входные данные от вектора и выдает целевые последовательности данных. Кроме того, механизм внимания позволяет декодеру научиться фокусироваться на определенном диапазоне входной последовательности для различных выходных данных. Затем конечным плотным слоем рекурсивно генерируется целевая последовательность.

**Кодировщик BiLSTM:** в отличие от общей задачи прогнозирования, в которой доступны только прошлые данные, задача восстановления отсутствующих данных отличается тем, что можно использовать как прошлые, так и будущие точки данных для восстановления отсутствующих данных [4]. Для этого в данной модели используется двунаправленная сеть LSTM (BiLSTM) в качестве кодера. BiLSTM расширяет общий LSTM, обрабатывая последовательности входных данных с двух направлений с помощью двух отдельных LSTM. Общим входом LSTM является последовательность переменной длины  $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , где  $x_i \in R_d$ , а  $d$  представляет признаки в каждом временном индексе  $i$ . В каждом временном индексе LSTM поддерживает свое внутреннее скрытое состояние  $h$ , что приводит к скрытой последовательности  $\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ .

$$\begin{aligned} i_t &= \sigma(W_{xi}x_t + W_{hi}h_{t-1} + b_i) \\ f_t &= \sigma(W_{xf}x_t + W_{hf}h_{t-1} + b_f) \\ c_t &= f_t \otimes c_{t-1} + i_t \otimes \tanh(W_{xc}x_t + W_{hc}h_{t-1} + b_c) \\ o_t &= \sigma(W_{xo}x_t + W_{ho}h_{t-1} + b_o) \\ h_t &= o_t \otimes \tanh(c_t) \end{aligned}$$

где  $i$ ,  $f$  и  $o$  относятся к элементам ввода, забывания и вывода соответственно.  $c$ ,  $\sigma$  и  $\otimes$  представляют вектор ячеек, сигмовидную функцию и поэлементное умножение. В BiLSTM вместо одной последовательности  $h$  BiLSTM считывает входные последовательности с двух направлений, чтобы вывести две последовательности со скрытыми состояниями, а именно:

прямые состояния  $\vec{h} = \{\vec{h}_1, \vec{h}_2, \dots, \vec{h}_n\}$  и обратные состояния  $\overleftarrow{h} = \{\overleftarrow{h}_1, \overleftarrow{h}_2, \dots, \overleftarrow{h}_n\}$ . Затем скрытые состояния с временным индексом  $i$  объединяются следующим образом:  $h_i = [\vec{h}_i; \overleftarrow{h}_i]$ .

Выход кодировщика BiLSTM представляет собой последовательность скрытых состояний  $\{h_1, h_2, \dots, h_n\}$ , которая имеет ту же длину  $n$ , что и входная последовательность  $x$ .

**Декодер LSTM с вниманием:** декодер отвечает за рекурсивное создание выходной последовательности  $y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ . В этой части выбран декодер LSTM с механизмом внимания, аналогичным механизму глобального внимания Луонга [5]. В отличие от обычных моделей последовательностей, предназначенных для обработки естественного языка, проблема восстановления данных, рассматриваемая в работе, требует выходных данных с непрерывными значениями. Следовательно, вместо вычисления распределения вероятностей для следующих возможных выходных данных поверх слоя LSTM добавляется полносвязный слой с линейной функцией активации для получения прогнозов с непрерывными значениями. Для декодера оценка  $y_t$  в момент времени  $t$  вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned} y_t &= \text{Linear}(W[s_t; c_t] + b) \\ s_t &= \text{LSTM}(y_{t-1}, s_{t-1}, c_t) \end{aligned}$$



где  $s_t$  – скрытое состояние декодера в момент времени  $t$ ,  $c_t$  – вектор контекста внимания, а  $[s_t; c_t]$  представляет собой конкатенацию скрытого состояния декодера и вектора контекста. Параметры  $W$  и  $b$  отображают конкатенацию на размер скрытых состояний декодера, а линейные слои производят окончательное предсказание  $y_t$ . В каждом индексе времени кодирования  $t$  вектор контекста внимания  $c_t$  может быть описан как взвешенная сумма скрытых состояний, переданных кодером BiLSTM:

$$c_t = \sum_{i=1}^n a_{ii} h_i$$

Вес  $a_{ii}$  каждого скрытого состояния  $h_i$  вычисляется по формуле

$$e_{ii} = a(s_{t-1}, h_i)$$

$$a_{ii} = \text{soft max}(e_{ii})$$

где  $e_{ii}$  представляет собой корреляцию между скрытыми состояниями вокруг  $h_i$  и выходом в момент времени  $t$ .  $a$  – это сеть с прямой связью, которую можно обучать совместно с другими компонентами декодера LSTM. Функция активации softmax применяется к  $e_{ii}$ , чтобы гарантировать, что сумма всех весов внимания нормализована до 1. Интуитивно это реализует механизм внимания в декодере. Декодер определяет части входной последовательности, на которые он обращает внимание. Предоставляя декодеру механизм внимания, информация может быть распределена по всей последовательности данных, которая может быть выборочно извлечена декодером соответственно.

**Заключение.** В данной статье была предложена модель восстановления отсутствующих последовательностей данных в сенсорных сетях на основе глубокого обучения. После ввода данных временных рядов маскирующие слои модели отфильтровывают дополненные нулями векторы в выборках входных данных и передают их кодировщику BiLSTM. Кодировщик обрабатывает данные в каждом временном индексе, как в прямом, так и в обратном направлении и генерирует скрытый выходной вектор. Затем скрытый вектор обрабатывается декодером LSTM, и конечным плотным слоем рекурсивно генерируется целевая последовательность. Во время этого процесса декодер вычисляет веса внимания в каждом индексе времени, чтобы он мог сосредоточиться на определенных частях ввода для получения соответствующей информации.

## Литература

- [1] *B. Fekade, T. Maksymyuk, M. Kyryk, and M. Jo*, “Probabilistic recovery of incomplete sensed data in IoT,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 5, no. 4, pp. 2282–2292, Aug. 2018.
- [2] *J. Zhou and Z. Huang*, “Recover missing sensor data with iterative imputing network,” in *Proc. Workshops 32nd Artif. Intell. (AAAI) Conf.*, New Orleans, LA, USA, Feb. 2018, pp. 209–215.
- [3] *N. Jaques, S. Taylor, A. Sano, and R. Picard*, “Multimodal autoencoder: A deep learning approach to filling in missing sensor data and enabling better mood prediction,” in *Proc. 7th Int. Conf. Affective Comput. Intell. Interact. (ACII)*, San Antonio, TX, USA, Oct. 2017, pp. 202–208.
- [4] *Тронов К.А., Белов Ю.С.* АЛГОРИТМ СКОЛЬЗЯЩЕГО ОКНА ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВЫБОРОК ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ // В сборнике: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ДОСТИЖЕНИЯ. Сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научной конференции. Санкт-Петербург, 2022. С. 32-34.
- [5] *T. Luong, H. Pham, and C. D. Manning*, “Effective approaches to attention-based neural machine translation,” in *Proc. Conf. Empirical Methods Nat. Lang. Process.*, Lisbon, Portugal, Sep. 2015, pp. 1412–1421.

**СЕКЦИЯ 12.**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.  
ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ**

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ

Мишкин Александр Евгеньевич

alex.mishkin2000@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Чухраев Игорь Владимирович

chukhraev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Обработка информации в системах работающих под управлением микропроцессоров существенно влияет на скорость, качество и объем занимаемой памяти в таких системах. Целью работы является анализ известных методов обработки информации в микропроцессорных системах, определение их достоинств и недостатков. Информационные технологии, используемые в обычных ЭВМ затруднительно применять в микропроцессорных системах. В работе определяется необходимость обработки информации в микропроцессорных системах, выделены критерии сравнения и проведен сравнительный анализ методов обработки информации. Рассмотренные методы, их достоинства и недостатки, позволяют определить наиболее подходящий алгоритм для решения конкретной поставленной задачи. Были определены наиболее подходящие методы для обработки информации, принимаемой по интерфейсам UART, SPI, ГОСТ Р 52070-2003, ГОСТ 18977-79*

**Ключевые слова:** микропроцессорные системы, методы обработки информации, обработка информации, интерфейсы передачи данных

### Введение

Микропроцессорная техника с каждым годом все активнее используется в различных сферах. Универсальность, гибкость и простота проектирования аппаратуры, большие возможности по усложнению алгоритмов обработки информации – все это делает микропроцессорные системы перспективными. Микропроцессорные системы используются как в бытовых приборах, так и в целях обработки сигналов и информации в сложнейших вычислительных комплексах.

Особенности микропроцессоров (невысокая тактовая частота, ограниченная разрядность регистров, минимальный объем памяти) не позволяют использовать информационные технологии, традиционные для обычных ЭВМ [1]. Однако, в процессе работы микропроцессорной системы постоянно происходит обмен информацией между различными устройствами системы. Существует 3 способа обмена информацией внутри микропроцессорных систем: программно-управляемый обмен, обмен по прерываниям, обмен в режиме прямого доступа к памяти [2]. Программно-управляемый обмен, в основном, используется для инициации обмена, а обмен по прерываниям – для получения данных.

Обработка данных подразумевает получение данных, а значит методы обработки данных строятся на работе с получением данных по прерываниям и дальнейших действиях с ними. Таких методов можно выделить 4: независимая обработка, обработка очереди, комбинированная обработка, событийная обработка. Рассмотрим специфику и области применения каждого из методов.

### Критерии сравнения

В процессе работы микропроцессорной системы постоянно происходит обмен информацией между различными устройствами системы с помощью интерфейсов. К программной составляющей интерфейса относится строгий порядок, алгоритм взаимодействия устройств, реализованный в виде специальных программ [3].

Для соблюдения этих правил используются методы обработки данных, для характеристики которых можно выделить следующие основные критерии:

1. Время обработки пакета данных – критерий, который показывает за какое число тактов процессора (или время) происходит обработка информации, переданной в данном пакете от момента получения первого байта данных до конца обработки
2. Время нахождения в прерывании – время, которое микроконтроллер находится в обработке прерывания
3. Требуемая память – память, необходимая для работы метода
4. Обработка многократных прерываний – критерий, показывающий возможен ли вызов более значимого прерывания внутри менее значимого
5. Синхронность передачи данных – показывает требуется ли синхронизация приема и передачи данных
6. Наличие внешнего арбитра – указывает, осуществляется ли обработка данных по внешним условиям или непосредственно внутри прерывания
7. Необходимость наличия мастера (ведущего) устройства – определяет, необходимо ли, чтобы одно из устройств в системе обмена задавало «ход» обмена

### **Интерфейсы получения данных**

**UART** – это интерфейс универсального асинхронного приемопередатчика, широко применяемый для связи микроконтроллера с внешним устройством по двухпроводной схеме [4].

Интерфейс **SPI** был придуман компанией Motorola, а в настоящее время используется в продукции многих производителей [5]. Шина SPI организована по принципу «ведущий-ведомый» и предназначена для подключения внешних устройств. В качестве ведущего устройства обычно выступает микроконтроллер. Подключенные к ведущей шине внешние устройства являются ведомыми.

Интерфейс по **ГОСТ Р 52070-2003**. Данный интерфейс определяет принцип передачи сигнала через трансформатор. Согласно ГОСТу, название интерфейса – последовательный магистральный интерфейс системы электронных модулей. Для простоты часто называют «манчестерский интерфейс» или «MILSTD 1553» (согласно американской версии стандарта).

Интерфейс по **ГОСТ 18977-79** фактически описывает стандарт фирмы ARINC – ARINC-429. ARINC-429 является стандартом авиатранспортной промышленности на передачу цифровых данных между элементами систем.

### **Методы обработки информации**

**Независимая обработка.** Независимая обработка – метод обработки информации, при котором данные, полученные в информационном сообщении (пакете), обрабатываются непосредственно внутри прерывания. Скорость выполнения такой обработки зависит только от содержания пакета. В случае необходимости только аккумулирования данных данный метод выполняется за  $3 \cdot n$  команд: считывание байта данных из буфера приемопередатчика, запись байта данных в аккумулирующий массив, очистка флага прерывания. В этом случае  $n$  – длина пакета. В случае же, если пакет содержит инструкцию к выполнению, время будет зависеть от того, как долго данную инструкцию выполнять. К недостаткам данного метода можно отнести высокую вероятность потери данных, в случаях, например, очень высокого темпа обмена, сложной инструкции к выполнению. Также недостатками являются ограниченность использования циклов внутри прерывания (высок риск «зависания»), вероятность многократных прерываний (прерывание внутри прерывания). Однако, если предусмотреть все «опасные» ситуации, то такой метод является наиболее быстрым.

**Обработка очереди.** Обработка очереди – метод обработки, при котором данные, полученные в информационном сообщении, аккумулируются внутри прерывания, а обрабатываются позднее, во время простоя микроконтроллера. Массив, в который помещаются запросы на обработку называется очередью сообщений, который работает по принципу FIFO (First In First Out – «Первый зашел, первый вышел»). Соответственно, помимо памяти, выделяемой под аккумулирующие массивы данному методу необходимо выделять память и под очередь,

в которой будет храниться информация, о том, что нужно провести обработку. Данный метод позволяет избежать от возможного пропуска данных. Однако, в свою очередь, требует больших затрат памяти, а также увеличенное время обработки пакета, т.к. очередь до выполнения обработки может пройти через некоторый промежуток времени. В связи с последним данный метод работает хуже, чем независимая обработка в системах, где ответ на сообщение необходимо предоставить в фиксированный короткий промежуток времени.

**Комбинированная обработка.** Метод комбинированной обработки включает в себя элементы независимой обработки и обработки очереди. Его суть заключается в том, что при получении данных происходит независимая обработка до тех пор, пока система не считает верный заголовок, после чего формируется сообщение только с телом пакета, которое обрабатывается по методу обработки очереди. Такой подход позволяет снизить затраты памяти, выделяемые под массивы и очередь, однако накладывает ограничения на структуру информационного сообщения.

**Событийная обработка.** Событийная обработка – метод обработки, при котором данные начинают обрабатываться при происхождении какого-либо внешнего события (например, нажатии кнопки). Данный метод используется реже, чем два предыдущих, в связи со своей спецификой. К плюсам данного метода можно отнести точно определенную во времени обработку данных. Также стоит отметить легкость реализации данного метода в системах с обменом по принципу «рукопожатие», т.е. когда на посылаемое сообщение необходимо дать ответ о том, что сообщение получено. К недостаткам можно отнести то, что с помощью данного метода невозможно реализовать непрерывный обмен, т.к. постоянно требуется внешнее воздействие.

Сравнительный анализ рассмотренных выше методов обработки информации на основе выделенных критериев представлен в табл. 1.

Таблица 1.

### Сравнительный анализ методов обработки информации

	Независимая обработка	Обработка очереди	Комбинированная обработка	Событийная обработка
Время обработки пакета	Минимально	Зависит от нагрузки на систему	Зависит от нагрузки на систему	Минимально
Время нахождения в прерывании	Зависит от сложности выполняемых операций	Минимально	Минимально, если в канале нет неожиданных данных	Минимально
Требуемая память	Не требуется	В зависимости от вместимости очереди	В зависимости от вместимости очереди	Не требуется
Обработка многократных прерываний	Высокая вероятность	Низкая вероятность	Низкая вероятность	Нет
Синхронность передачи данных	Допустима	Недопустима	Недопустима	Недопустима
Наличие внешнего арбитра	Нет необходимости	Необходим	Необходим	Нет необходимости
Необходимость наличия мастера	Нет	Нет	Нет	Да

Определим наиболее подходящие методы обработки для каждого из описанных выше интерфейсов:

- Интерфейс UART. Для данного интерфейса наилучшим образом подходит метод обработки очереди или комбинированный метод. По данному интерфейсу могут передавать достаточно большие объемы данных, которые могут быть командами к управлению, в следствии чего, время нахождения в прерывании может сильно увеличиться, как и вероятность многократных прерываний, что ведет к потери данных. Обработка очереди лучше всего решает данные проблемы.
- Интерфейс SPI. Данный интерфейс является синхронным, поэтому наиболее подходящим будет метод независимой обработки, допускающий работу с синхронными интерфейсами.
- Интерфейс по ГОСТ Р 52070-2003 и Интерфейс по ГОСТ 18977-79. Данные интерфейсы в большинстве случаев принимают большие объемы данных с размером слова в 16 бит. Для их обработки наилучшим образом подходит комбинационный метод, т.к. для создания очереди большого объема требуется много памяти, следовательно для уменьшения объема очереди можно уменьшить количество данных, которые будут туда записывать. Комбинационный метод обладает подходящими свойствами.

### **Заключение**

Таким образом, каждый из рассмотренных методов имеет свои преимущества и недостатки. В критериях времени обработки данных и требуемой памяти наилучшим является независимый метод. Однако проблема многократных прерываний может затруднить его реализацию. Поэтому данный метод лучше всего использовать в небольших системах с малым количеством интерфейсов. Метод обработки очереди и комбинированный методы, наоборот, подходят для сложных систем, а также систем мониторинга, т.е. когда важен факт сбора получаемых данных и не важна отправка ответа. Событийный метод стоит использовать в системах с внешним «мастером», который будет указывать, когда начинать обработку данных.

### **Литература**

- [1]. *Anishin N.S. Bulatnikova I.N.* Integer information processing in microprocessor control systems // 2005 Proceedings of the Southern Federal University. Technical sciences. – №1 (45). – С. 92-93.
- [2]. *Melnikov A.A. Melnikov A.A. Melnikov A.A.* Microprocessors, microcontrollers and single-chip microprogrammable devices // Sputnik+. – 2010. – 21 с.
- Alieva E.V.* Hardware interrupt. Controller interrupted // 2017. – NOVAINFO. - №58. – С. 47-55.
- [3]. *Yaroslavtseva A. I., Popova A. A., Ustyukov D. I.* Organization of interaction of single-board computers with peripheral devices using the UART interface // methods and means of processing and storing information. Interuniversity collection of scientific papers. Ryazan State Radiotechnical University named after V.F. Utkin. Ryazan, 2020. – С. 130-134.
- [4]. *Gorochniy V.V.* Digital SSI/SPI interface unit // 2018. – STUDEN. - №10-4(30). – С. 29-32.

## АРГУМЕНТАЦИЯ ВЫБОРА МЕТОДА ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ АУДИОФАЙЛОВ ПОВЕРХ ПРОТОКОЛА HTTP ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ

Фролов Владимир Александрович

Vovafrolov21@yandex.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Вершинин Евгений Владимирович

vershinin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Потоковая передача мультимедиа – это одна из ключевых инноваций в современную технологическую эпоху, которая предоставляет потребителю высококачественный медиаконтент по запросу и в режиме реального времени в любом месте и в любое время. На сегодняшний момент благодаря повсеместному распространению браузеров и, как следствие, протокола HTTP, большинство систем, использующих потоковую передачу аудиофайлов представляют из себя веб-приложения, примерами которых могут служить набирающие популярность музыкальные веб-сервисы, голосовые чаты или интернет радио. Подобные системы в упрощенном виде чаще всего представляют из себя клиент-серверные приложения. Во время разработки подобных приложений существует необходимость уделять особое внимание выбору конкретных решений и технологий, посредством которых будет осуществляться отправка аудиофайлов в режиме реального времени. В зависимости от требуемых критериев возможно использовать технологии адаптивной потоковой передачи данных или метод опережающей загрузки. Важно отметить, что каждый из подходов позволяет организовать воспроизведение в реальном времени как сформированных на сервере файлов, так и динамически изменяемых живых трансляций*

**Ключевые слова:** веб-разработка, потоковая передача, аудио, прогрессивная загрузка, адаптивная потоковая передача

### Обзор технологий адаптивной потоковой передачи данных поверх протокола HTTP

Рассмотрим технологии адаптивной потоковой передачи медиаданных поверх протокола HTTP, использование которых позволяет наиболее гибко организовать передачу контента с учетом задержки и пропускной способности сети. Главной особенностью данных технологий является то, что клиент при проигрывании медиафайла подгружает с сервера небольшие фрагменты длительностью в несколько секунд. При этом информация об их последовательности, времени воспроизведения и дополнительных опциях содержится в заранее подготовленном сервером файле – манифесте. В процессе проигрывания медиафайла манифест необходимо обновлять и производить подгрузку дополнительных фрагментов. Обобщенная схема адаптивной потоковой передачи аудиоданных представлена на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная схема адаптивной потоковой передачи аудиоданных

Важно уточнить, что применение адаптивной потоковой передачи поможет наилучшим образом решить проблемы, связанные трансляцией больших объемов данных, так как они позволяют не загружать полностью файл во время его передачи. Однако стоит ожидать повышения затрат на кодирование и хранение данных, что приведет к увеличению количества информации в несколько раз. [1]

Одними из наиболее распространенных технологий адаптивной потоковой передачи аудио являются: Apple HTTP Live Streaming (HLS) и MPEG-DASH.

Рассмотрим их по отдельности, выделив преимущества и недостатки, которыми стоит руководствоваться при выборе конкретной технологии во время разработки веб-приложения.

Apple HTTP Live Streaming (HLS) - это протокол для потоковой передачи медиаконтента в реальном времени поверх протокола HTTP. HLS входит составной частью в собственное программное обеспечение Apple, такое как QuickTime, Safari, MacOS и IOS. Apple HLS может использовать в качестве клиента любые современные браузеры с поддержкой HTML5 и Media Source Extensions. [2]

Достоинства технологии HLS:

- Поддержка взаимодействия с устройствами на базе решений компании Apple (IOS, MacOS, Safari), а также с большинством браузеров;
- Широкая поддержка имеющимся парком кодеров;
- Поддержка различными приложениями и готовыми плеерами.

Недостатки технологии HLS:

- Является корпоративным форматом, который с течением времени может исчерпать поддержку.

MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) - это протокол для потоковой передачи медиаконтента в реальном времени поверх протокола HTTP, который в отличие от HLS является независимым от поставщика международным стандартом, ратифицированным MPEG и ISO. [3]

Достоинства технологии MPEG-DASH:

- Является отраслевым стандартом, следовательно, со временем его интеграция в различных решениях упростится;
- Хорошая поддержка существующими кодерами и готовыми плеерами.

Недостатки технологии MPEG-DASH:

- Отсутствует поддержка в мобильном браузере Safari устройств компании Apple.

Конкретная технология адаптивной потоковой передачи, которую необходимо выбрать во время разработки веб-приложения, в основном зависит от заявленных требований. Необходимо обозначить свои приоритеты, прежде чем решать, использовать HLS, MPEG-DASH или любую другую из существующих технологий.

Технологии HLS и MPEG DASH являются доминирующими на рынке потоковой передачи, и с точки зрения качества, обе технологии практически не отличаются друг от друга, за исключением двух важных факторов: совместимость и поддержка.

HLS более широко совместим, чем MPEG-DASH. Существует более двух миллиардов пользователей IOS, большинство из которых не смогут воспроизводить аудиопотоки MPEG-DASH, если они не используют сторонние браузеры. Однако MPEG-DASH, являясь стандартизированным форматом, со временем будет только увеличивать поддержку при том, что HLS будучи корпоративным форматом может ее исчерпать.

### **Обзор метода опережающей загрузки**

Метод опережающей загрузки – повсеместно применяемый способ трансляции аудио в реальном времени, который представляет из себя процесс загрузки цифровых медиафайлов и позволяет пользователю получить доступ к содержимому без предварительного скачивания.

Современные форматы аудиофайлов содержат в своем заголовке данные, которых достаточно, для того, чтобы клиент начал воспроизведение (количество семплов, частота семплирования и т.д.). Следовательно, при отправке сервером аудио и получении клиентом того са-



мого заголовка с минимально необходимым для воспроизведения количеством фрагментов файла, возможно приступить к проигрыванию звука до завершения полной загрузки. При этом параллельно будет происходить скачивание оставшейся части медиафайла.

Важным замечанием является то, что в отличии от технологий адаптивной потоковой передачи, требующих дополнительных API для работы в браузере, данный метод позволяет использовать на стороне клиента «чистое» браузерное API, поддерживаемое всеми современными браузерами. Помимо этого, метод опережающей загрузки позволяет значительно уменьшить нагрузку на сервер, так как при его применении не возникает необходимости постоянно обновлять манифест и производить предварительное разделение медиафайла на фрагменты. Также данный метод предоставляет возможность использовать любые аудиокодеки и форматы потока. [2]

### Использование метода опережающей загрузки для статических медиафайлов

В общем виде звуковоспроизведение методом опережающей загрузки для статического медиафайла выглядит следующим образом. На клиенте создается объект класса «Audio» браузерного API, посредством которого происходит проигрывание и загрузка аудиофайла по необходимому URL. К примеру, при нажатии на кнопку воспроизведения медиафайла, браузер пользователя отправляет GET запрос по данному URL, на что сервер отвечает статус кодом 200 (HTTP/1.1 200 OK) и начинает отправку файла. В свою очередь, после получения заголовка и первого фрагмента браузер начинает проигрывать аудио. Данный процесс представлен на рис. 2.

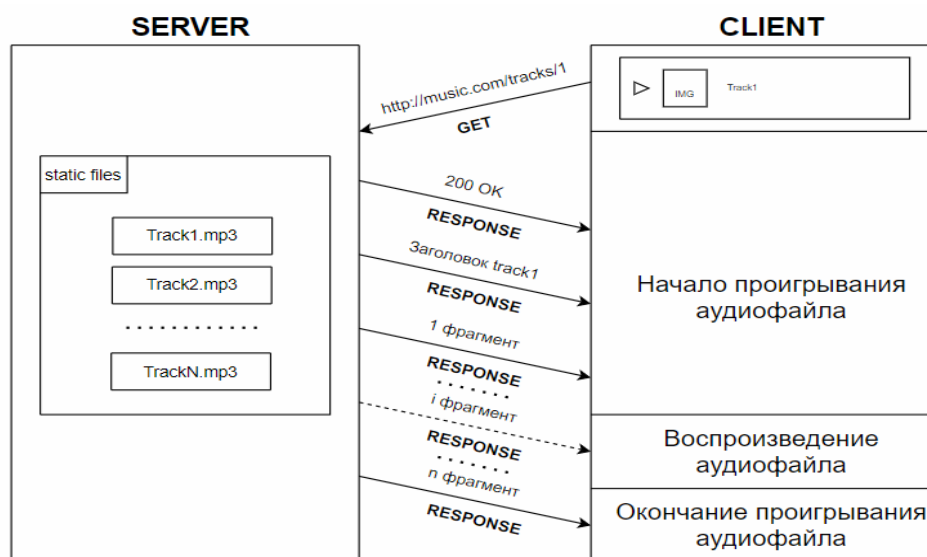


Рис. 2. Обобщенная схема воспроизведения статического аудиофайла методом опережающей загрузки

Более подробно рассмотрим последовательную загрузку фрагментов аудиофайла. За фрагмент будем принимать минимальное целое количество аудиосемплов достаточное для начала проигрывания звука. Каждый последующий фрагмент, полученный в процессе загрузки, должен добавляться в конец буфера на клиенте и воспроизводится в том же порядке. При этом для получения ровного звучания без прерываний по завершении проигрывания фрагмента в буфере должен уже находиться следующий фрагмент.

На рис. 3 представлена ситуация, в которой клиентом был загружен заголовок аудиофайла, а также первый и второй фрагмент. В момент времени на рис. 3 происходит загрузка третьего фрагмента и параллельный проигрыв аудио на первом фрагменте. При этом каждый из фрагментов состоит из пяти аудиосемплов, количество которых в реальности значительно больше.

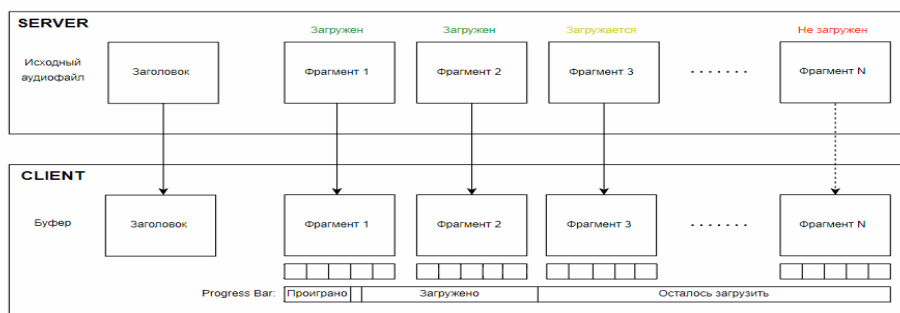


Рис. 3. Схема скачивания и воспроизведения фрагментов статического аудиофайла при использовании опережающей загрузки

### Использование метода опережающей загрузки для динамически изменяемых медиа-файлов

Метод опережающей загрузки хорошо работает со статическими файлами, однако его можно применить и для аудиотрансляций, если представить динамически изменяемый мадиопоток как файл, создаваемый сервером в реальном времени. В таком случае сервер должен имитировать отправку аудиофайла клиенту путем отсылки фрагментов аудиотрансляции при каждом их создании. При этом сервер формирует виртуальный файл трансляции, который находится в оперативной памяти и представляет из себя буфер. Данный буфер должен состоять из двух фрагментов, один из которых предназначен для отправки клиенту, а другой для записи новой части трансляции.

На рис. 4 представлена ситуация, когда сервер закончил формирование второго фрагмента и производит его отправку на клиент, параллельно с чем происходит создание очередного фрагмента путем приема аудиопотока с микрофона. В свою очередь, клиент воспроизводит первый фрагмент аудиотрансляции, который был ранее отослан.

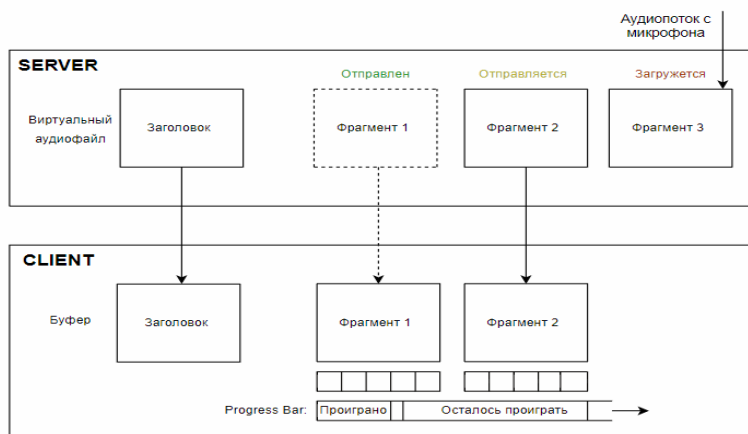


Рис. 4. Схема скачивания и воспроизведения фрагментов динамически изменяемого аудиофайла при использовании опережающей загрузки

Исходя из схемы, приведенной на рис. 4, клиент может присоединиться к аудиотрансляции в любой момент времени. Изначально он должен получить заголовок виртуального аудиофайла, после чего начать принимать фрагменты, отсылаемые сервером.

### Заключение

В данной научно-исследовательской работе приведены различные способы организации потоковой передачи аудиофайлов поверх протокола HTTP, а именно рассмотрены технологии адаптивной потоковой передачи данных и метод опережающей загрузки.

Каждый из этих подходов позволяет воспроизводить в реальном времени как сформированные на сервере статические аудиофайлы, так и динамически изменяемые аудиотрансля-

ции. Это означает, что данные способы являются универсальными и подходят для любой задачи потоковой передачи аудио в веб-приложениях.

Однако, в ходе исследования было выяснено, что технологии адаптивного потокового вещания в отличие от метода опережающей загрузки обладают меньшей гибкостью настройки, имеют проблемы с браузерной совместимостью (в случае протокола MPEG-DASH) и поддержкой (в случае протокола HLS), а также при их использовании сильнее загружаются веб-сервера. Несмотря на это, метод опережающей загрузки в отличие от технологий адаптивного потокового вещания не подстраивает передачу под скорость соединения и задержки в сети, а также не позволяет фрагментировано отправлять аудиофайлы большого размера.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что технологии адаптивной передачи аудио наилучшим образом подойдут для веб-приложений, в которых необходимо работать с аудиофайлами большого размера, передача которых должна происходить с адаптивным битрейтом. Примерами таких приложений могут служить различные аудиотрансляции в реальном времени: интернет радио, голосовые чаты. В свою очередь метод опережающей загрузки наилучшим образом подойдет для веб-приложений, передающих файлы небольшого размера, например, для музыкального веб-сервиса.

## Литература

[1]. *Маричев, А. В.* Анализ существующих технологий адаптивной передачи потоковых данных / А. В. Маричев, Д. А. Щетникова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2018. – № 1(24). – С. 47-49. – EDN YWQPCN.

[2]. *Лобов, И. В.* Использование контейнера Ogg для организации потоковой трансляции в реальном времени над протоколом HTTP методом опережающей загрузки / И. В. Лобов, В. Г. Готман // Информационные технологии. – 2018. – Т. 24. – № 2. – С. 87-96. – EDN YPOXYX.

[3]. *Никоноров, Р. А.* MPEG-dash как инструмент потокового вещания / Р. А. Никоноров, А. Ю. Якжин // Перспективы развития науки и образования: Сборник научных трудов по материалам XXVIII международной научно-практической конференции, Москва, 30 апреля 2018 года / Под общей редакцией А.В. Туголукова. – Москва: Индивидуальный предприниматель Туголуков Александр Валерьевич, 2018. – С. 250-252. – EDN XODONV.

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ВИДЫ И ВОЗМОЖНОСТИ НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ

Трибусян Богдан

tribusyanb@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Гагарин Юрий Евгеньевич

gagarin\_je@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Развитие человечества непосредственно влечет за собой увеличение количества выпускаемой продукции различной сложности, что наталкивает на мысль об автоматизации. Однако, человек задумывался не только упростить процесс управления, вычисления или измерения чего-либо, он задумывался над специальной системой, способной решить более сложную, многоэтапную задачу. Изобретение ЭВМ открывает человеку новые возможности и дает пищу для размышлений. Целью работы является изучение истории развития искусственного интеллекта, его видов, технологий для создания и возможностей на сегодняшний день. В статье исследуется история развития, с упоминанием важных изобретений, внесших свой вклад в историю и побудивших к построению новых устройств. Обозначаются виды и освещаются основные технологии для создания искусственного интеллекта*

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, история развития, технологии

### История развития

Человек с древнейших времен занимается производством того или иного продукта. Изначально он заинтересован в улучшении не только качества самого продукта, но и его производства. Одним из вариантов улучшений качества и производства является автоматизация – процесс применения технических, вычислительных и управленческих систем, для частичного или полного освобождения человека от деятельности. Однако, человек задумывался не только упростить процесс управления, вычисления или измерения чего-либо, он задумывался над системой, способной решить более сложную, многоэтапную задачу. За несколько десятков лет до изобретения первой ЭВМ люди уже задумываются над человекоподобными машинами. С изобретением ЭВМ вопрос и вовсе становится актуальным, формируется поколение ученых, философов, озадаченных вопросом о возможности машин думать.

В 1945г в своем эссе «Как можем мыслить мы» В. Буш предположил о существовании системы, которая станет дополнением к памяти человека и сможет работать с основами ассоциативного мышления, хранить и передавать между другими системами. Через 5 лет в своей работе «Вычислительные машины и разум» А.Тьюринг поднимает важный вопрос: «Могут ли машины мыслить?». Ученый не дает конкретного ответа на этот вопрос, а лишь приводит эксперимент, основанный на игре в имитацию. Суть эксперимента заключалась в том, что судья должен отгадать по запискам с кем он разговаривает: с человеком или компьютером. Если судья не смог бы определить с кем он разговаривает: с машиной или человеком, тогда было бы разумным заключить, что машина интеллектуальна. Термин «искусственный интеллект» был предложен Д. Маккартни в 1956г. на конференции, на которой были собраны исследователи из разных областей для открытого обсуждения. Конференция не оправдала ожиданий, поскольку договориться о стандартных методах для этой области не удалось, но все согласились, что искусственный интеллект достижим. Благодаря этой конференции интерес к искусственному интеллекту возрастает, появляется множество разработок в этой области. В 1965г. изобретается первая экспертная система, которая на основе информации о веществе и его спектрометрии выдает молекулярную структуру неизвестного органического соединения. Годом позже В.Вейценбаум создал ELIZA – интерактивная компьютерная программа,

которая могла поддерживать беседу с человеком. Создатель изначально хотел показать насколько общение между машиной и человеком поверхностное, однако многие приписывали Elize антропоморфные характеристики. В 1970-х интерес к изучению области искусственного интеллекта начинает пропадать, обуславливается это тем, что программы были ограничены и могли решать только тривиальные задачи по ряду причин:

- Первая причина заключается в ограниченности мощности компьютера. Не хватало памяти или скорости обработки данных для выполнения задач.
- Вторая причина - комбинаторный взрыв. В начале 1970-х американский ученый Р.Карп показал, что существует множество задач, которые могут быть решены только за экспоненциальное время (по размеру входных данных).
- Третья причина - знание здравого смысла и рассуждения. Для решения определенного круга задач искусственному интеллекту может потребоваться огромный объем информации, например, в задаче естественного языка.
- Четвертая причина - парадокс Моравека. Парадокс заключается в том, что для компьютеров доказательство теорем и решение геометрических задач считается легкой задачей, но задачи, которые считаются простыми для человека, например, распознавание объектов, считаются трудными для компьютера.

Несмотря на возросший интерес в 1980-х годах, изобретения, внесшие вклад в развитие ИИ, появляются лишь в середине 1990-х. Одним из таких является суперкомпьютер IBM DeepBlue, который в 1997 году обыграл в шахматы чемпиона мира Гарри Каспарова.

С наступлением нового тысячелетия, компьютеры, вследствие падения стоимости, начинают использоваться повсеместно. Вычислительные мощности растут каждые два года, что в свою очередь дает возможность развития области ИИ, который постепенно становится частью человеческой жизни. Робот-пылесос, голосовой помощник, поисковая система, распознающая речевые запросы – все эти изобретения приходятся на первое десятилетие XXI века. Весной 2016 года, произошло знаменательное событие в истории развития ИИ – матч по настольной игре Go между компьютером и лучшим игроком. Считалось, что для изобретения машины, способной побеждать этой игре необходимо будет десять лет, но это произошло намного раньше. Матч был завершен со счетом 4:1 в пользу компьютера. Победа стала важным событием в сфере исследований искусственного интеллекта.

### **Системы искусственного интеллекта**

В течение всей истории развития искусственного интеллекта производились попытки дать точное определение понятию, однако мнения расходились, особенно при появлении новых научных идей. В своей работе Павлов С.Н определяет понятие системы искусственного интеллекта – это компьютерная, креативная система (многофункциональная, интегрированная, интеллектуальная) со сложной структурой, использующая накопление и корректировку знаний (синтаксической, семантической, прагматической информации) для постановки и достижения цели (целенаправленного поведения), адаптации к изменениям среды и внутреннего состояния путем изменения среды или внутреннего состояния [1].

Виды искусственного интеллекта (ИИ) также неоднозначно определены, в обобщенном варианте их 3:

- Слабый ИИ - используется сегодня повсеместно. Способен быть реактивной (реагирующей) системой, которая не имеет памяти и воспоминаний о прошлом, и дает ответ, исходя из текущей оценки ситуации. Также может быть и системой с ограниченной памятью, суть которой заключается в том, что машина способна определить промежуток времени собирать информацию и на основе ее совершать действия: система автопилота у машин.
- Сильный ИИ – следующий уровень развития искусственного интеллекта. Компьютер сможет считывать и анализировать человеческие эмоции, будет максимально приближен к способностям человека и будет способен пройти тест Тьюринга.

- Супер ИИ–заключительный этап, существует только в теории. Предполагается, что благодаря эволюции компьютер достигнет уровня человеческого мозга и у него появится самосознание. Сторонники теории опасаются, что самосознание машины может привести к полной самостоятельности и к катастрофе.

Выделяют несколько главных технологий для создания искусственного интеллекта (ИИ):

- Машинное обучение – считается одной из основных технологий. Основанная на том, что компьютер способен выполнять множество схожих между собой задач без использования конкретных команд, благодаря этому он способен находить закономерности в сложных задачах, анализировать и выдавать точные ответы.
- Глубокого обучения – раздел машинного обучения, подразумевающий слои абстрактного анализа и иерархические методы. Обработкой массива данных занимаются искусственные нейронные сети (ИНС), созданные по аналогии с человеческими нейронами головного мозга. В основе концепции лежит нелинейная обработка и обучение. Нелинейная обработка подразумевает несколько слоев, входными данными которого являются выходные данные предыдущего. Между слоями устанавливается иерархия, с целью упорядочивания важности данных. Обучение бывает контролируемое и неконтролируемое. Отличие в том, что выход нейронной сети сравнивают с желательным выходом и формируют вектор ошибок, для применения поправок к сети. Используется в компьютерном зрении для извлечения информации из изображений.
- Обработки и генерации естественного языка – технология, направленная на решение задач по обработке текстов на естественном языке: машинный перевод, классификация текстов, извлечение именованных сущностей, фактов и отношений. Также к этой технологии относится задача создания и работы вопросно-ответных и диалоговых систем (чат-боты), а также саммаризация (реферат, аннотация текста).

### **Заключение**

Подводя итог, можно сказать, что с одной стороны человечество добилось большого прогресса, и системы искусственного интеллекта используются повсеместно: голосовые помощники, переводчики, распознавание объектов по фото, видео и много другое. С другой стороны, человечество все также далеко, как и 70 лет назад, до создания компьютера, который изначально задумывался. Однако это, конечно, не означает, что человек отказывается от размышлений и попыток, а просто совершенствует подход.

### **Литература**

- [1]. Павлов С.Н. Системы искусственного интеллекта. – Т.: Эль Контент, 2011. – Ч. 1. – 176 с.
- [2]. Боровская Е.В., Давыдова Н.А. Основы искусственного интеллекта. – М.: Лаборатория знаний, 2010. – 127 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА C4.5 ДЛЯ ПОСТРОЕНИЙ ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ

Хомутов Дмитрий Валерьевич

dimah877@gmail.com

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Гагарин Юрий Евгеньевич

gagarin\_je@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Дерево решений – метод автоматического анализа данных, способный классифицировать большие данные. Это решение основано на древовидной структуре с решениями типа “Если, то”. Данный метод относится к сфере машинного обучения, так как в ходе его работы специальный алгоритм обучается анализировать определённый тип входных данных. В этой работе будет раскрыт один из алгоритмов, использующий дерево решений – C4.5. Целью работы является изучение конкретного алгоритма C4.5, принципа его работы и сферы использования. В статье исследуется структура алгоритма, его поведение с определённым набором данных, требования для использования данного алгоритма. Рассматривается определённый пример, где алгоритм, использующий в ходе работы дерева решений, C4.5 может быть применим*

**Ключевые слова:** машинное обучение, дерево решений

Дерево решений – метод автоматического анализа данных, способный классифицировать большие данные. Это решение основано на древовидной структуре с решениями типа “Если, то”. В этой работе будет раскрыт один из алгоритмов, использующий дерево решений – C4.5.

**Требования алгоритма C4.5.** Чтобы данный алгоритм смог построить такую структуру, необходимо обеспечить его специальным начальным множеством данных, которое способно дать достаточно информации для составления дерева.

Начальное множество должно соответствовать специальным требованиям Деревьев Решений:

- Данные представляют из себя специальную таблицу, её столбцы – определённые признаки, нужные для анализа при составлении дерева, а её строки – примеры данных.
- Строки должны содержать специальный атрибут – метку класса, по которому алгоритм будет определять принадлежность данных с определённым условием к конкретным классам.
- Примеры должны относиться только к одному классу, причём метки не должны содержать какую-либо вероятность принадлежности к классу (эта задача относится к нечётким деревьям решений).

**Описание принципа работы алгоритма C4.5.** В самом начале алгоритм строит пустое дерево, в корневом узле которого находится всё множество начальных данных. Далее он разбивает это множество на подмножества, выбирая определённый атрибут и формируя первое правило, количество самих подмножеств соответствует количеству уникальных значений атрибута. Данная процедура рекурсивно проводится для всех подмножеств до остановки алгоритма специальным условием.

Выбирая атрибут для разбиения, необходимо убедиться, является ли последующее разбиение наилучшим. Пусть выбирается атрибут  $A$ , имеющий ряд значений  $a_1, a_2, \dots, a_p$ , тогда создаётся  $p$  подмножеств  $S_1, S_2, \dots, S_p$  с распределёнными примерами с соответствующими значениями внутри. Также введём переменные  $C_1, C_2, \dots, C_k$  как множество классов  $C$ ,  $N(S)$  - количество примеров во множестве  $S$ . Обозначим  $N(C_j, S)$  как количество примеров класса  $C_j$

в множестве  $S$ , а  $U$  – количество неопределённых значений атрибута  $A$  в примерах. В итоге вычисляются следующие величины:

$$Info(S) = -\sum_{j=1}^k \frac{N(C_j S)}{N(S)-U} \log \frac{N(C_j S)}{N(S)-U} - \text{энтропия, выявляющая среднее количество информации для определения класса примера из множества } S.$$

$Info_x(S) = \sum_{i=1}^n \frac{N(S_i)}{N(S)-U} Info(S_i)$  – энтропия уже после разбиения  $X$  на подмножества по атрибуту  $A$ . Число  $n$  – количество полученных подмножеств.

$$Gain(X) = \frac{N(S)-U}{N(S)} (Info(S) - Info_x(S)) - \text{критерий прироста информации. Его значение сравнивается со значениями при выборе других атрибутов и нужным выбирается тот, который максимизирует прирост.}$$

Далее проверяются все новые подмножества. Если в каком-либо подмножестве встречаются данные, принадлежащие к разным классам, все предыдущие шаги выполняются рекурсивно, иначе создаётся новое правило.

Стоит учесть, что алгоритм выше применим для дискретных атрибутов. Если мы имеем дело также с непрерывными, то мы ищем пороги значений атрибутов, делящие список значений на два подмножества, и применяем к ним формулы выше, далее сравниваем тот же критерий, что и в случае с дискретными данными.

**Пример работы алгоритма C4.5.** Для большего понимания сферы использования, приведём небольшой пример, для чего мы будем использовать специальную библиотеку, доступную для языка программирования python, Chefboost. Нам надо построить модель, которая бы показывала, стоит ли сегодня человеку сходить на улицу. Существует ряд данных с информацией о погоде на улице, температуре, денежном достатке, свободных сегодня друзьях и конечном решении, причём значения атрибутов в некоторых строках будут отсутствовать:

Outlook	Temp	HasFriend	Rich	Decision
Sunny	-20	True		Yes
Sunny	-30	True		No
Windy	-15	True	True	Yes
Windy	-15	False	False	No
Rain	20	False	False	No
Rain	15	True	False	No
Rain	24	True	True	Yes
Rain	-20	False	True	Yes
Sunny	24	True	False	Yes
Sunny	18	True	False	Yes

Рис. 1. Файл с обучающими данными test\_info.txt

Выберем эти данные из файла и занесём в специальную команду fit, создающая саму модель для последующей классификации:

```
if __name__ == '__main__':
    df = pd.read_csv("test_info.txt")
    config = {'algorithm': 'C4.5'}
    model = Chef.fit(df.copy(), config, target_label='Decision')
```

Рис. 2. Считывание информации из файла и занесение в метод создания модели

В итоге метод возвращает готовую модель и создаёт файл, описывающий её как функцию:



```

def findDecision(obj): #obj[0]: Outlook, obj[1]: Temp, obj[2]: HasFriend, obj[3]: Rich
    # {"feature": "Rich", "instances": 10, "metric_value": 0.971, "depth": 1}
    if obj[3]<=False:
        # {"feature": "Outlook", "instances": 7, "metric_value": 0.9852, "depth": 2}
        if obj[0] == 'Sunny':
            # {"feature": "Temp", "instances": 4, "metric_value": 0.8113, "depth": 3}
            if obj[1]>-30:
                return 'Yes'
            elif obj[1]<=-30:
                return 'No'
            else: return 'No'
        elif obj[0] == 'Rain':
            return 'No'
        elif obj[0] == 'Windy':
            return 'No'
        else: return 'No'
    elif obj[3]>False:
        return 'Yes'
    else: return 'Yes'

```

Рис. 3. Файл модели

Далее эту модель можно использовать для предсказания отношения новых данных в виде списка значений к определённому классу:

```

decision = Chef.predict(model, ['Sunny', 20, 0, 0])
print("Should you go out today:", decision)

```

Рис. 4. Код добавления новой информации в функцию предсказания и вывод результата на экран

Should you go out today: Yes

Рис. 5. Вывод результата

Использование алгоритма C4.5 для решения задачи классификации дает возможность получить соответствующую модель для предсказания классификации новых данных.

## Литература

- [1]. *J. Ross Quinlan. C4.5: Programs for Machine learning.* – Morgan Kaufmann Publishers, 1993.– 302 p.
- [2]. *Чубукова И.А. DataMining.* – Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ», 2016. – 470 с.

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГОЛОСА В ТЕКСТ. АЛГОРИТМЫ И ПЛАТФОРМЫ

Гришин Олег Даниилович

grishinod@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Гагарин Юрий Евгеньевич

gagarin\_je@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В статье приводится обзор технологий и методов, применяемых для распознавания речи и ее автоматической транскрибации. Также рассмотрены готовые решения, предоставляемые в виде API с закрытым исходным кодом*

**Ключевые слова:** преобразование голоса в текст, транскрибация, нейросети

### Сферы применения

На протяжении всего периода человеческой истории, начиная с создания письменности, изложение какой-то информации в виде текста, будь то мыслей, идей или просто содержания уже имеющихся текстов, представляло собой важную, но монотонную и кропотливую работу. В наше время информационных технологий и искусственного интеллекта, эту задачу можно решить намного проще – просто надиктовать машине необходимую информацию, а она уже самостоятельно распознает речь, разложит ее на лексемы и представит в текстовом эквиваленте.

Возможности транскрибаторов невероятно упрощают работу представителей таких профессий, как писатели, лекторы, блогеры, а также обслуживают потребности людей с нарушениями слуха или тех, кто имеет низкую скорость печати. На данный момент преобразователи голоса в текст имеют множество практических применений в уже существующих программных комплексах и представлены в них в виде модуля.

Примерами использования преобразователей голоса могут служить большинство современных мессенджеров, предоставляющих возможность как записи голосовых сообщений, так и обработки таких сообщений встроенным транскрибатором, который представляет отправленную запись в виде текста. Также режим голосового ввода имеют большинство поисковых систем, популярные онлайн-переводчики, многие программы для создания документов или заметок. Не стоит забывать и о применении технологии в бизнесе, а именно аналитики телефонных обращений, в которую входит группировка похожих ответов, выделение ключевых слов и составление отчетов для сотрудников; расшифровка аудиоматериалов для ведения стенографий конференций, встреч или совещаний; а также использовании голосовых ассистентов в колл-центрах для автоматизации решения простых проблем, таких как выдача ссылок на необходимую информацию, переключение на профильного специалиста или даже для полноценного диалога с пользователем. Сферы применения технологии автоматической транскрибации многогранны и имеют тенденции к расширению.

### Методы и технологии

Технология распознавания речи появилась еще в 1927 году в США вместе с Televox – роботом, сконструированным на реле и трех камертонах, который был способен улавливать и реагировать на последовательность звуков. С тех пор возможности технологий росли, словари известных машине слов увеличивались, алгоритмы переходили от распознавания цельных звуковых отпечатков к отдельным фонемам и слогам, системы переходили от полностью аналоговых к цифровым, а качество распознавания перестало критично зависеть от диктора и четкости произнесенных им фраз. Но действительно качественное преобразование человеческой речи в текст стало возможным только с развитием машинного обучения и нейросетей.

При создании алгоритма “speech-to-text” преобразователя и его удобоваримой для использования реализации возникало великое множество проблем, начиная от выбора минимальных фонетических единиц для распознавания, заканчивая нивелированием воздействия посторонних шумов при записи и акцента диктора. Первые системы распознавания слов (1927 – начало 1960-х) работали на принципе фиксации последовательности тональностей звуков, были сильно зависимы от голоса диктора и посторонних шумов, дорогостоящими, занимали много места, а также не имели прикладного применения из-за их малой эффективности.

В наше время ошибки распознавания текста свелись к минимуму, но при наличии таковых, возможное слово угадывается из контекста при помощи рекуррентной нейросети (англ.: Recurrent Neural Networks – RNN). Рекуррентная нейросеть для распознавания речи хороша тем, что после продолжительной тренировки, анализируя различные произношения она научится с высокой точностью различать фонемы и составлять из них слова вне зависимости от качества и характера произношения. И даже «додумывать» с высокой точностью в рамках контекста слова, которые не удалось распознать однозначно [4]. Архитектура долгой краткосрочной памяти (англ.: Long Short-Term Memory – LSTM) для рекуррентных нейросетей сделала еще более точным предугадывание слов, исходя из контекста. Это, в свою очередь, позволило создать алгоритм транскрибации текста в реальном времени.

В настоящее время, перечисленные выше методы как правило комбинируются в современных платформах. Их сочетание позволяет получить более высокое качество распознавания, чем использование каждой модели отдельно.

### **Платформы и API**

Технология транскрибации речи прошла долгий путь и находится на пике качества итогового продукта, но даже сейчас присутствуют определенные сложности в ее использовании. Для перевода аудио в текст нужны предварительно обученные нейросети, массивы эталонных звуков, инструменты машинного обучения и обработки языка, большие вычислительные мощности. А чтобы настроить программы конвертации из аудио в текст, понадобятся эксперты в области машинного обучения. Из-за высокого порога входа имеет смысл обратиться к компаниям-гигантам, предоставляющие свои облачные решения с закрытым исходным кодом.

Одной из популярных платформ, использующих эту технологию, является Google Speech Recognition от компании Google. Голосовой поиск перешел от смешанных гауссовых моделей (англ. Gaussian Mixture Model – GMM) к технологии глубоких нейросетей (англ. Deep Neural Networks – DNN), а затем к конкурентным нейронным сетям, которые были основаны на нейросетевой темпоральной классификации (англ. Connectionist Temporal Classification – CTC) и дискриминантном анализе для последовательностей, адаптированном для обучения подобных структур. Для распознавания речи Google применяет разновидность рекуррентных нейросетей с длинной кратковременной памятью. Это позволяет запоминать и обрабатывать информацию лучше, чем другие нейронные сети, что также позволяет использовать автоматическую пунктуацию в распознанном тексте. Из преимуществ платформы можно выделить возможность распознавания непрерывной речи; распознавание более 120 языков; настройку распознавания особых терминов, редких слов или фраз; несколько моделей машинного обучения для повышения точности; а также большое комьюнити (англоязычное). Из недостатков – условно-бесплатная модель распространения, короткая бесплатная квота, а также частые изменения сервера и адреса сервера, что приводит к необходимости постоянно исправлять уже готовый продукт [1].

Microsoft также является крупным игроком в мире API для распознавания голоса. Преобразование речи в текст с помощью служб Azure Speech Services позволяет преобразовывать аудиопотоки в реальном времени в текст, который приложения, инструменты или устройства могут использовать, отображать и выполнять действия в качестве входных данных для команды. Эта служба работает с использованием той же технологии распознавания, которая используется Microsoft для продуктов Cortana и Office. Также это часть доверительных служб Microsoft, которые гарантируют безопасность данных. Та же функция распознавания голоса

позволяет программному обеспечению адаптироваться к стилям и паттернам речи конкретного пользователя. В качестве дополнительного преимущества он также предлагает больше пользовательских вариантов словарного запаса, чем Google. Из плюсов платформы можно выделить повышенную безопасность данных с помощью алгоритмов распознавания голоса, транскрипцию в реальном времени, настраиваемый словарный запас, возможности преобразования текста в речь для естественных речевых паттернов. Из минусов - встроенные ограничения из-за того, что API создается для общих целей, а также решение использует микросервисы, которые могут быть полезны для решения отдельных задач, но не подходят для более крупных.

Среди отечественных решений выделяются следующие.

Cloud Voice с сервисом распознавания речи Voice ASR от компании VK. Сервис использует ASR (Automatic Speech Recognition) – технологию распознавания речи, основанную на нейронных сетях. ВКонтакте использует его для создания субтитров к видео, расшифровки голосовых сообщений, и многого другого. Инструмент работает как с отдельными аудиофайлами, так и с потоковым аудио. Для распознавания вы можете выбрать одну из двух моделей. Нейтральная подходит для внятной речи, как в телешоу или интервью, а спонтанная поможет, когда вам нужно обработать более обыденную речь со сленгом и ненормативной лексикой. Под капотом у решения сразу три нейронные сети: одна отвечает за распознавание речи, вторая находит подходящие слова, а третья расставляет знаки препинания. Технология предназначена для того, чтобы справляться с ежедневной обработкой сотен миллионов сообщений различной продолжительности, качества и содержания. Каждое сообщение расшифровывается очень быстро – примерно через 1,5 секунды после отправки. Преимуществами решения является большая база материала для нейросетей, т.к. технология используется в крупнейшей в СНГ социальной сети, высокая скорость расшифровки, а также демократичная система платы за использование. Недостатком является поддержка только русского языка.

SpeechKit – это сервис от компании Яндекс, который позволяет разработчикам использовать технологии распознавания речи, синтеза речи и выделения семантических объектов в произносимом тексте. Сервисная инфраструктура специально разработана с учетом больших нагрузок, чтобы гарантировать доступность и бесперебойную работу серверов даже при большом количестве одновременных запросов. Акустическая модель Yandex SpeechKit аналогична системе распознавания речи Google и принимает аудиопоток в качестве входных данных и выводит распределение вероятностей по сенамам (обычно 1/3 фонемы). Используется логарифмический и масштабированный спектр, который соответствует законам слухового восприятия человека (преобразование Mel). Платформа также эволюционировала от смешанной гауссовой модели к глубоким нейронным сетям, что почти удвоило качество распознавания. Яндекс предоставляет доступ к сервису SpeechKit через HTTP API. Преимущества: хорошая документация, поддержка 14 языков, высокая скорость распознавания. Недостатки: 30-дневный пробный период с момента первого запроса. В качестве особенности можно выделить ориентацию на русский язык [1].

### **Заключение**

Каждый из API-интерфейсов преобразования речи в текст имеет свои сильные и слабые стороны. Наличие конкуренции на рынке позволяет не мириться с ограничениями одной платформы, а просто выбрать другую, отталкиваясь от требований и предпочтений. Конечно, нынешний уровень развития технологий распознавания текста не является пределом технического прогресса, и, учитывая растущее количество мобильных устройств, голосовых помощников и всеобщую компьютеризацию, можно с уверенностью сказать, что интеграция голосового взаимодействия с машиной будет только увеличиваться.

### **Литература**

[1]. *Гаврилович Н.В., Сейтвелиева С.Н.* Анализ коммерческих систем распознавания речи с открытым API // Таврический научный обозреватель. – 2016. – С. 201-205

[2]. Будник А.В., Горбадей О.Ю., Дубровский В.В. и др. SPEECH AND VOICE RECOGNITION SYSTEM BASED ON MACHINE LEARNING METHODS // Материалы XXV Международной научно-технической конференции. – 2020. – С. 222-223.

[3]. Егунов В.А., Панюлайтис С.В. Распознавание речевых команд с использованием нейронных сетей // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – №3. – С. 53-61.

[4]. Тампель И.Б., Карпов А.А. Автоматическое распознавание речи. Учебное пособие. // СПб: Университет ИТМО. – 2016. – С. 138.

[5]. Титов Ф.М. Обзор задачи автоматического распознавания речи // Научные исследования и инновации. – 2021. – №9. – С. 223-228.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ПО РАСПОЗНАВАНИЮ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В РАМКАХ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Каширин Дмитрий Сергеевич

kashirindmitry@mail.ru

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Ильичев Владимир Юрьевич

patrol8@yandex.ru

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Лаврентьева Галина Владимировна

lavrentyeva\_g@list.ru

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

Силкин Максим Игоревич

maks.klebo@mail.ru

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Умение управлять эмоциями, вовремя замечать их, проживать, а также справляться с ними может быть стимулом к развитию человека и источником энергии. Напротив, неумение распознавать эмоции и контролировать их может вызывать долговременный стресс, а также оказать негативное влияние на жизнь и здоровье человека, быть причиной онкологических заболеваний. Целью работы является создание алгоритма разработки системы автоматизированного распознавания психофизиологического состояния человека в режиме реального времени выбранным методом анализа биологических сигналов (электроэнцефалограммы (ЭЭГ), электрокардиограммы (ЭКГ), фотоплетизмограммы и температуры) со стороны физиологического здоровья человека. В ходе данного исследования предполагается измерение эмоциональных и физиологических реакций индивида при помощи носимых устройств в различных условиях, выделение значительных изменений в биологических сигналах во время эмоциональных состояний, проверка на выделение стандартных паттернов для каждой эмоциональной реакции, использование быстрого преобразования Фурье для извлечения спектральной информации из сигналов, а также искусственных нейронных сетей (ИНС) в качестве адаптивного метода для решения поставленной задачи. Разработанная технология поможет справиться с проблемой «эмоционального выгорания», лучше понимать людей и их поведение, развивать эмоциональный интеллект. Результаты исследования могут быть использованы в медицинских целях в качестве помощника для постановки правильного диагноза пациенту, а проверенные экспериментом алгоритмы послужат основой для создания мобильной системы автоматической оценки и мониторинга психоэмоционального состояния индивида*

**Ключевые слова:** электрокардиограмма, электроэнцефалограмма, умные часы, быстрое преобразование Фурье, нейросеть, язык Python

### Построение модели

Ускорение ритма жизни и экспоненциальное увеличение информационного шума становится причиной больших стрессовых нагрузок на современного человека. Чтобы справиться с таким количеством поступающей из вне информации, мозг человека вынужден все чаще прибегать к методам сбережения внутренних ресурсов: искусственно ставить барьеры для поступающей информации, сопротивляться обучению, автоматизировать реакции на раздражители. Это в свою очередь провоцирует людей на неосознанные действия, вызывает апатию, приводит к депрессии и не способствует развитию обучающегося. В связи с этим остро встает проблема развития эмоционального интеллекта индивида. Человек все чаще задается вопросом: «Как сохранить свое здоровье и здоровье окружающих в условиях накопившегося стресс-

са?» Технология автоматизированного распознавания психофизиологического состояния человека поможет справиться с проблемой, а также лучше понимать людей и их поведение.

Эмоции – это психофизиологические или ментальные реакции человека на объекты и события окружающего мира. Эмоции влияют на различные аспекты человеческой жизни, включая внимание, обучение, развитие, достижение целей, коммуникацию, состояние настроения и мотивацию [1].

Умение управлять эмоциями, вовремя замечать их, проживать, а также справиться с ними, может быть стимулом к развитию человека и источником энергии. Напротив, неумение распознавать эмоции и контролировать их может вызывать долговременный стресс, а также оказать негативное влияние на жизнь и здоровье человека, быть причиной онкологических заболеваний [2]. По мнению специалистов, сами по себе эмоции нейтральны. Им придает окраску наша реакция. Именно от неё зависит, как эмоция повлияет на наше самочувствие и здоровье [3].

С развитием технологий и носимых гаджетов (умных часов и других портативных устройств), с усовершенствованием встроенных в них датчиков для регистрации изменения электроэнцефалограммы (ЭЭГ), электрокардиограммы (ЭКГ), фотоплетизмограммы и температуры наиболее удобным способом распознавания эмоций в режиме реального времени становится анализ биологических сигналов со стороны физиологического здоровья человека [4].

За последнее десятилетие было произведено много научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для создания новых подходов и методов распознавания эмоций. От выбора подхода зависит то, как исследователи анализируют и классифицируют эмоции. Из множества подходов можно выделить два основных: дискретный и конструктивистский [5].

Дискретный подход предполагает наличие устойчивых паттернов эмоций у человека, как объекта исследования. Согласно данному подходу, существует определенная нейросетевая структура мозга и соответствующая ей закономерность в биологических сигналах для каждой эмоции.

Конструктивистский подход предполагает, что эмоции конструируются у объекта исследования в зависимости от поведенческих или ценностных моделей. Данный подход предполагает проведение нескольких измерений параметров ЭЭГ с целью создания эффективной основы для изучения и классификации эмоций у каждого отдельного объекта исследования. Наиболее показательной моделью этого подхода является описательная модель (VAD – «валентность», «напряжение», «возбуждение») [6].

В настоящее время ЭЭГ является надежной и простой в осуществлении технологией, используемой для измерения активности мозга. Обнаружение эмоций с помощью сигналов ЭЭГ осуществляется в несколько этапов, выполняемых последовательно. Традиционно эти этапы включают в себя удаление помех из сигналов ЭЭГ, извлечение временных или спектральных признаков из осциллограммы или спектрограммы сигнала ЭЭГ, соответственно, и разработка многоклассовой стратегии классификации.

Традиционные методы для распознавания эмоциональных реакций предполагают извлечение признаков эмоций из фиксированной группы одних и тех же каналов ЭЭГ для всех объектов исследования. Однако в некоторых исследованиях зафиксировано, что при одной и той же эмоциональной реакции у разных объектов исследования может происходить активация различных областей мозга, то есть эмоциональная реакция может меняться от человека к человеку и от одного эмоционального состояния к другому [3].

В данной работе приводится алгоритм разработки системы по распознаванию психофизиологического состояния человека в режиме реального времени. Алгоритм включает следующие шаги.

1. Измерить эмоциональные и физиологические реакции по ЭЭГ и ЭКГ у нескольких объектов исследования в различных условиях, а также сравнить полученные результаты с готовыми имеющимися базами данных (DEAP, SEED dataset [7]).

2.Использовать методы быстрого преобразования Фурье [8] и ZTW (zero-time windowing) [9] – метод окна с нулевым временем для извлечения спектральной информации из сигналов ЭЭГ и ЭКГ.

3.Обосновать и выбрать методы для анализа сигнала ЭЭГ и ЭКГ, демонстрирующие значительные изменения активности мозга во время эмоциональных состояний.

4.Провести проверку на выделение стандартных паттернов для каждой эмоциональной реакции.

Для демонстрации алгоритма обработки и программной реализации этапа по расшифровке сигнала ЭКГ методом быстрого преобразования Фурье с помощью создаваемой программы на языке Python взят звук биения сердца из сети Интернет в формате mp3, который затем преобразовывался в файл формата wav. На рисунке 1 показана осциллограмма сигнала ЭКГ, прочитанная из формата wav, на которой отображается зависимость его амплитуды в условных безразмерных единицах от времени в секундах.

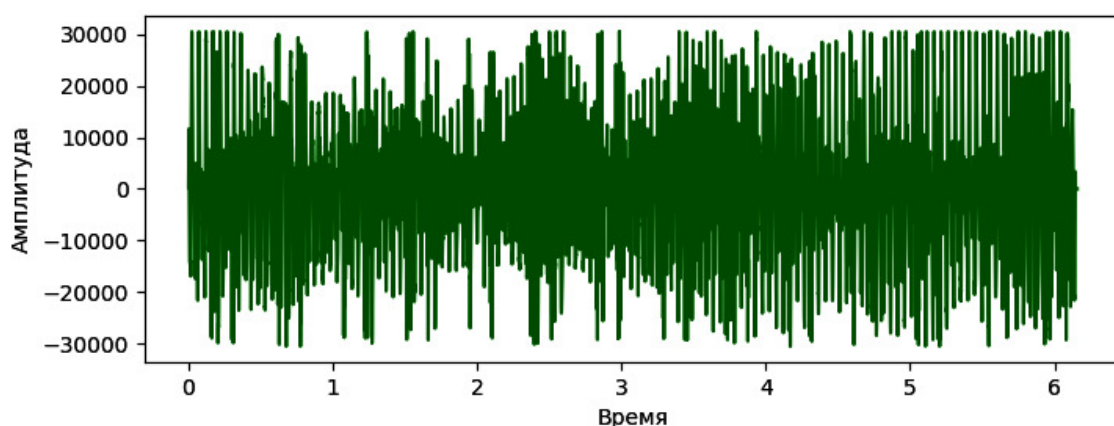


Рис. 1. Электрокардиограмма, прочитанная из формата wav

На рис. 2 представлен результат вывода спектрограммы сигнала ЭКГ с помощью команд библиотеки функций Matplotlib.pyplot., полученной средствами метода быстрого преобразования Фурье. При этом амплитуда спектральных составляющих сигнала выражена в условных безразмерных единицах.

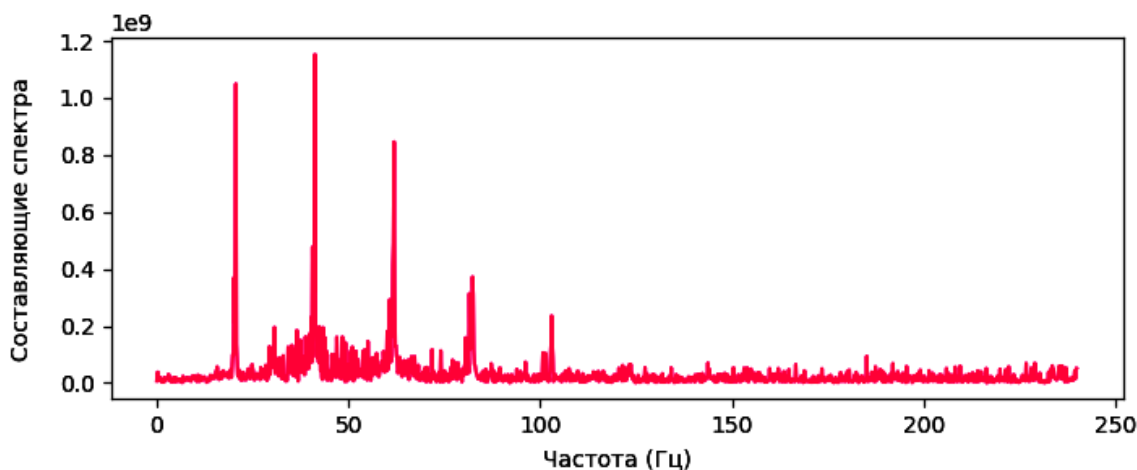


Рис. 2. Результат получения спектра электрокардиограммы



## Результаты и их обсуждения

Из полученной спектрограммы сигнала ЭКГ видно значительное возрастание амплитуды на частотах 22 Гц, 44 Гц, 66 Гц, 88 Гц и 106 Гц. Однако амплитуда частотных составляющих с частотой более 106 Гц в спектре ЭКГ мала. Таким образом, в результате анализа методом быстрого преобразования Фурье удалось выявить 5 базовых кратных друг другу гармоник.

При обработке сигналов ЭКГ или ЭЭГ выбранным методом в режиме реального времени, значения частот и амплитуд гармоник будут различаться в зависимости от психофизиологических состояний индивида. Вычисляя количество гармоник, их частот и отношения амплитуд, планируется найти закономерность значительных изменений биологической активности нервной системы во время различных эмоциональных состояний, а также выявить аномалии от нормального состояния для использования данной программы в качестве помощника в диагностировании различных болезней.

Считаем научно обоснованным применение искусственных нейронных сетей (ИНС) в качестве адаптивного метода для решения поставленной задачи в виду изменения частотных и амплитудных характеристик получаемой в режиме реального времени кардиограммы индивида [10]. В качестве исходных данных сети будем использовать полученные в ходе спектрального анализа гармоники и частоты. При этом для применения ИНС следует проработать следующий алгоритм.

1. Осуществить подготовку выборки данных для обучения искусственной нейронной сети и получение синхронизированных сигналов ЭЭГ [11].

2. Создать программный комплекс по отображению сигналов и расчету параметров, которые в последствии будут использованы для создания нейронной сети.

3. Создать нейронную сеть для получения значений эмоций по модели VAD - «валентность», «напряжение», «возбуждение».

4. Проанализировать результаты, полученные искусственной нейронной сетью.

5. Распознать психоэмоциональное состояние человека по полученным результатам.

С целью выявления различных аномалий психоэмоционального состояния человека, а также сбора статистических данных планируется осуществлять непрерывный мониторинг состояния индивида при помощи ранее упомянутых носимых гаджетов.

## Заключение

Результаты исследования могут быть использованы в медицинских целях в качестве помощника для постановки правильного диагноза пациенту. При этом проверенные экспериментом алгоритмы послужат основой для создания мобильной системы автоматической оценки и мониторинга психоэмоционального состояния индивида. Данная система будет состоять из датчика для регистрации состояния и программы с алгоритмом обработки непрерывных результатов измерений для смартфона. В качестве испытания применения программных средств для выполнения первого этапа исследований нами разработан макет приложения для смартфона, через которое пользователь мог бы просматривать результаты измерений биологических сигналов и, реагируя на них, корректировать свое эмоциональное состояние. В качестве датчика пульса в данном случае используется фотоплетизмограф, встроенный в умные часы.

## Литература

[1]. *Plutchik R., Kellerman H.* Emotion: Theory, Research, and Experience. – L.: Academic Press, 1980. – Vol. 1. Theories of Emotion. – 399 p.

[2]. *Дмитриева А.Д., Подплетько М.В.* Влияние эмоций на здоровье и деятельность человека // Психология развития и образования. – 2020. – №1. – С.16–18.

[3]. *Баррет Л.Ф.* Как рождаются эмоции. Революция в понимании мозга и управлении эмоциями. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. – 649 с.

- [4]. *Hasnul M.A., Alelyani S., Mohana M., Aziz A.A.* Electrocardiogram-Based Emotion Recognition Systems and Their Applications in Healthcare // [Электронный ресурс]. – URL:<https://doi.org/10.3390/s21155015> (дата обращения: 15.09.2022).
- [5]. *Карташова А.А.* Подходы к распознаванию эмоций в интеллектуальных системах // Технологос. – 2020. – № 2. – С. 15–24.
- [6]. *Balan O., Moise G., Petrescu L. et al.* Emotion Classification Based on Biophysical Signals and Machine Learning Techniques. // [Электронный ресурс]. – URL:[https://www.researchgate.net/figure/The-VAD-Valence-Arousal-Dominance-model-spanned-across-the-six-basic-emotions\\_fig1\\_338118399](https://www.researchgate.net/figure/The-VAD-Valence-Arousal-Dominance-model-spanned-across-the-six-basic-emotions_fig1_338118399) (дата обращения: 15.09.2022).
- [7]. *Koelstra S., Muehl C., Soleymani M. et al.* DEAP: A Database for Emotion Analysis using Physiological Signals // IEEE. – 2011. – № 3. – P. 18–31.
- [8]. *Ильичев В.Ю.* Гармонический анализ сложного сигнала колебаний газотурбинного электроагрегата // Научно-практический журнал «Заметки Ученого». – 2021. – № 12. – С. 82–86.
- [9]. *Gannouni S., Aledaily A., Belwafi K., Aboalsamh H.* Emotion detection using electroencephalography signals and a zero-time windowing-based epoch estimation and relevant electrode identification // [Электронный ресурс] –URL:<https://www.nature.com/articles/s41598-021-86345-5/> (дата обращения: 1.10.2022).
- [10]. *Ильичев В.Ю., Чухраев И.В.* Обработка данных с использованием глубокого обучения генеративно-сопоставительной нейронной сети (gan) // ЗАО «Издательство «Радиотехника». – 2021. – Т.23, №5. – С. 51–56.
- [11]. *Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.* Обработка статистических данных методом глубокого обучения с использованием модуля keras. // Научное обозрение. Технические науки. – 2020. – № 5. – С. 16–20.
- [12]. *Mehrabian A.* Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in temperament. // Current Psychology. – 1996. – Т.4, № 14. – P. 261–292.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИБКОГО И ТРАДИЦИОННОГО МЕТОДОВ ВЕБ-РАЗРАБОТКИ

Мовсисян Манан Аликовна

movmamma@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Вершинин Евгений Владимирович

vershinin@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Разработка веб-сайта - это сложный процесс, но отличается от стандартной деятельности по разработке программного обеспечения. Традиционные методы, такие как водопадная модель, V-образная модель, итеративная модель, спиральная модель, позволяющие разрабатывать программные системы, не полностью подходят для разработки веб-систем потому, что процесс и ограничения веб-сайтов отличаются от традиционных этапов процесса. Данная работа посвящена обоснованию выбора гибкого метода разработки веб-сайтов, который поддерживает параллельную и итеративную разработку. Метод был проанализирован с использованием трех проектов. Проведенный анализ показал, что предложенный метод больше подходит для разработки веб-сайта*

**Ключевые слова:** веб-разработка, веб-приложение, веб-сайт, agile, методы разработки, процесс разработки

### Проблема использования стандартного процесса разработки

В настоящее время вся информация передается в виде веб-ресурсов: образование, медицина, интернет-магазины, бизнес, государственные услуги. Некоторые из них представляют собой простые одностраничные веб-сайты, но сложная многостраничная система с несколькими элементами требует больше времени и затрат на завершение, а также больше опыта, необходимого для обработки различных элементов.

Программная инженерия имеет дело с систематическим, дисциплинированным и поддающимся количественной оценке подходом к разработке, эксплуатации и сопровождению программного обеспечения. В традиционном процессе разработки программного обеспечения используются различные модели программных процессов, но эти модели не могут быть использованы непосредственно для разработки веб-сайтов, поскольку содержание веб-сайта часто меняется. Поэтому необходимо модифицировать традиционный процесс разработки, используя разные методологии.

Процесс и ограничения веб-сайтов отличаются от этапов процесса, предлагаемых обычными методами разработки программного обеспечения. Разработка веб-сайта также требует большего количества изменений от заказчика. Таким образом, для сложного процесса разработки веб-сайта требуется приемлемая, простая методология.

### Стандартный процесс разработки программного обеспечения и его недостатки

Такие этапы, как анализ, проектирование, кодирование, тестирование и техническое обслуживание, систематически выполняются в классическом процессе разработки программного обеспечения. Изменения во время разработки не принимаются. Существуют различные модели разработки программного обеспечения:

- Водопадная (каскадная) модель
- Инкрементная модель
- Модель V
- Спиральная модель
- Итеративная модель
- Модель RAD

Недостатки классических моделей разработки:

- Тестирование веб-сайта отличается от тестирования другой программной системы. Уклон в тестировании делается на внешний вид и полноту содержания веб-ресурса.
- В традиционных методах кодированию уделяется больше внимания. Но в процессе разработки веб-сайта особое внимание уделяется его проектированию, юзабилити и дизайну.
- Аспекты проектирования и качество дизайна веб-сайта не учитываются традиционными методами.
- Жесткий регламент проекта и проблема с адаптацией к внешним и внутренним изменениям.

### Предлагаемая архитектура: модель веб-разработки на основе метода Agile

В отличие классической разработки, Agile предполагает быстроту реагирования, итеративный подход разработки и эффективное межличностное общение между разработчиками и клиентом, гибко адаптируя процесс к различным видам изменений. В водопадной модели разработки, которая считается стандартом, проект состоит из функциональных задач, где каждая последующая работа четко регламентирована и начинается строго после окончания предыдущей, например, тестирование начнется только после того, как написан весь код. Жесткая определенность и обилие регламентирующей документации обуславливают длину производственного цикла. При этом продукт считается готовым лишь после выполнения всех этапов [1].

Разработчики сочли невозможным создание инновационных продуктов с использованием старых, жестких методологий и в 2001 году подписали манифест на основе новых принципов перспективной разработки, в результате которого появился Agile.

Гибкая модель характеризуется работой, выполняемой короткими итерациями. В каждой итерации собирается множество задач: анализ, проектирование, разработка, тестирование. После каждой итерации разработчики проводят анализ результатов и повторно приоритизируют их для следующей итерации [2].

Веб-приложения предоставляют сложный набор контента и функциональных возможностей огромному числу конечных пользователей. Поскольку требования развиваются с течением времени проекта и изменения будут происходить часто, нужно использовать поэтапный процесс разработки. Постепенная разработка различных частей продукта позволяет нам управлять изменениями в нем. Используя доступные требования, разработчики могут разработать веб-приложение и выпустить релиз. Затем дополнительные требования включаются в первый выпуск и выпускается следующий инкремент и так далее. Этот процесс может продолжаться бесконечно из-за частых изменений требований.

Модель веб-разработки, основанная на Agile, показана на рис. 1.

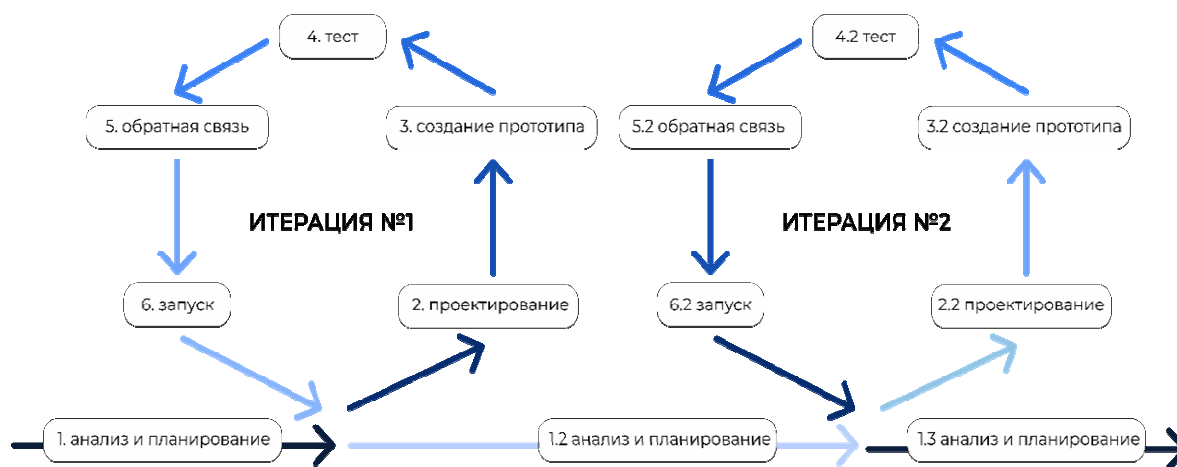


Рис. 1. Модель веб-разработки, основанная на Agile

Эта архитектура системы показывает простой и кратчайший путь разработки веб-сайта.

### Анализ производительности предлагаемой модели веб-разработки

Для анализа эффективности предложенной модели веб-разработки были приняты во внимание 3 проекта. Эти проекты были разработаны с использованием традиционного метода и предложенной модели веб-разработки (Agile). Для традиционного процесса разработки выбрана водопадная модель.

В эксперименте фиксируются: количество дней, необходимых для каждого этапа; общее количество дней для завершения проекта; стоимость проекта, рассчитанная по формуле:

$$\text{Стоимость} = (\text{Стоимость рабочего дня} * \text{количество проектировщиков}) * \text{Общее количество дней для завершения.}$$

Данные три сайта были разработаны командой из двух человек, стоимость рабочего дня для одного проектировщика условно принята за 1000 рублей.

Таблица 1.

### Продолжительность и стоимость проектов с использованием традиционного метода (Водопад)

Этапы(кол-во дней)\Веб-сайт	Проект 1	Проект 2	Проект 3
Требование	2	3	3
Проектирование (дизайн)	4	2	5
Реализация	3	1	6
Тестирование	1	1	2
Внедрение изменений	2	2	4
Кол-во потраченных дней	12	9	20
Итоговые затраты	24 000 рублей	18 000 рублей	40 000 рублей

На следующих рисунках 2 и 3 показано графическое представление учета продолжительности и затрат проектов с использованием традиционного метода.

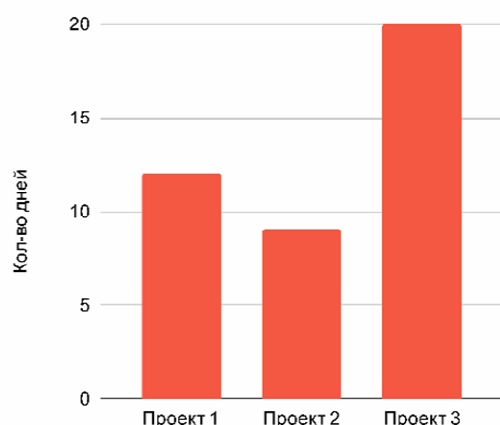


Рис. 2. Продолжительность проекта с использованием метода Водопад

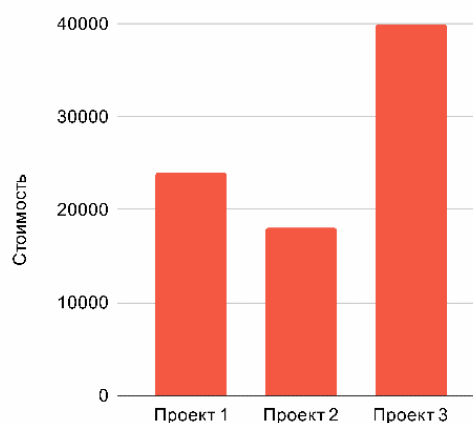


Рис. 3. Затраты на проект с использованием метода Водопад

**Продолжительность и стоимость проектов с использованием метода  
гибкой веб-разработки**

Этапы(кол-во дней)\Веб-сайт	Проект 1	Проект 2	Проект 3
Анализ требований и проектирование	3	2	4
Тестирование	1	2	4
Внедрение изменений	1	0	1
Кол-во потраченных дней	5	4	9
Итоговые затраты	10 000 рублей	8 000 рублей	18 000 рублей

На следующих рисунках 4 и 5 показано графическое представление учета продолжительности и затрат проектов с использованием предлагаемого гибкого метода

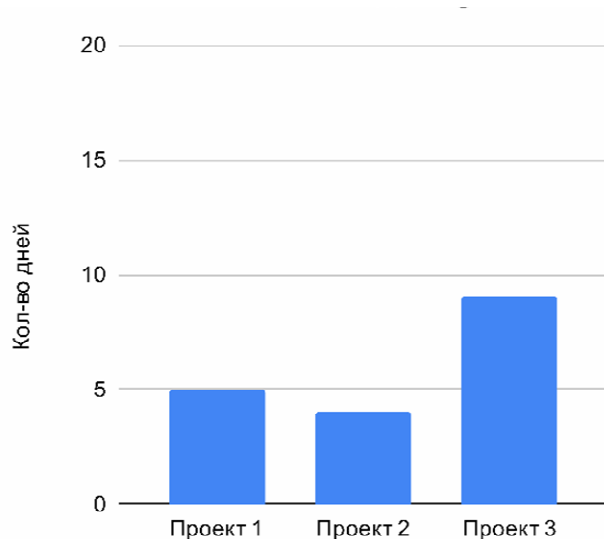


Рис. 4. Продолжительность проекта с использованием гибкого метода Agile.

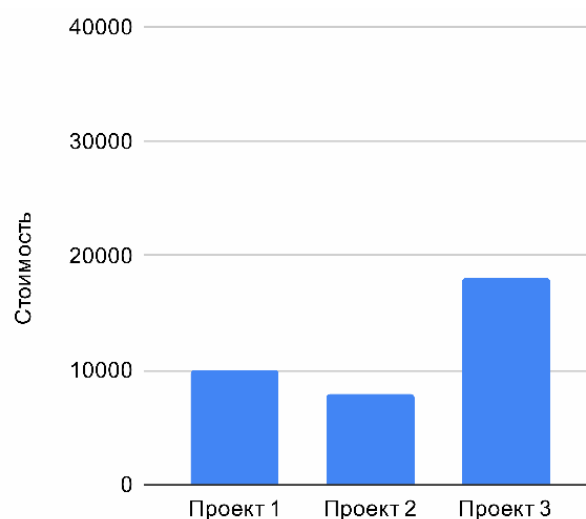


Рис. 5. Затраты на проект с использованием гибкого метода Agile

По результатам эксперимента можно утверждать, что гибкая модель разработки Agile больше подходит для разработки веб-ресурсов, нежели традиционный метод, так как продолжительность проекта и затраты на него снизились в 2 раза.

**Преимущества гибкого метода для создания веб-ресурсов**

Agile больше ориентирован на внешний вид продукта, практически не требуются различные расчеты для разработки. Чтобы сделать веб-сайт привлекательным, могут быть использованы различные изображения, аудио- и видеоклипы. Ручное тестирование выполняется с использованием набора тестовых примеров и требований пользователя.

**Ограничения при использовании гибкого метода**

Предложенный процесс может быть использован только для разработки стартапов и небольших проектов (веб-сайты, игры, интерфейсы). Модель не желательно использовать для разработки масштабных, долгосрочных проектов, где требуются четкие границы и структура.

**Заключение**

В работе проанализированы различные подходы к проектированию веб-приложений. Для анализа производительности предложенной модели, был проведен эксперимент с разработкой трех веб-ресурсов на основе обоих методов (гибкого и традиционного). Полученные резуль-

таты показали, что предлагаемая модель разработки на основе Agile является более оптимальной для проектирования небольших веб-проектов.

## Литература

[1]. *Что* такое Agile: зачем и где используется [Электронный ресурс] URL: <https://www.bigdataschool.ru/wiki/agile>

[2]. *Agile*: что это такое и где используется, принципы методологии [Электронный ресурс] URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/metodology-agile/>

[3]. *Кирьянов, Б. А.* Применение гибкой методологии Agile в управлении проектами / Б. А. Кирьянов // Техника и технологии: теория и практика: сборник статей Международной научно-практической конференции, Пенза, 25 марта 2020 года. – Пенза: "Наука и Просвещение" (ИП Гуляев Г.Ю.), 2020. – С. 38-42. – EDN YJJPQQ.

[4]. *Азаров, А. Е.* Обзор подходов к разработке программного обеспечения в стиле / А. Е. Азаров, В. А. Глаголев // III Международный научно-образовательный форум "Хэйлунцзян-Приамурье": сборник материалов Международной научной конференции, Биробиджан, 03 октября 2019 года. – Биробиджан: Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема, 2019. – С. 691-694. – EDN SQCNIO.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ API СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ ПРИЛОЖЕНИЯ

**Бибиков Андрей Павлович**

**bibikovap@student.bmstu.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**Гагарин Юрий Евгеньевич**

**gagarin\_je@bmstu.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*В связи с проникновением интернета практически во все сферы жизни современного человека растёт и потребность в новых веб-приложениях, что ставит перед разработчиками задачу по выбору наиболее оптимального подхода построения архитектуры прикладного интерфейса взаимодействия с серверной частью приложения. В данной статье рассматриваются популярные на текущий момент способы построения API серверной части веб-приложения: REST API, gRPC и GraphQL. Для каждого из рассматриваемых подходов построения прикладного интерфейса приведена его характеристика и проведён анализ способов его применения. В ходе обзора у рассматриваемых подходов выделены сильные и слабые стороны. В результате анализа сделан вывод, что выбор способа построения прикладного интерфейса взаимодействия зависит от возлагаемой на сервис задачи*

**Ключевые слова:** веб-приложения, REST, gRPC, GraphQL, API серверной части

### **Введение**

При разработке приложения, имеющего серверную и клиентскую часть, неизбежно возникает задача построения архитектуры прикладного интерфейса взаимодействия клиентской части с серверной. До недавнего времени в области разработки web-приложений доминировал архитектурный стиль REST API, однако, вместе с всё большим развитием обозначенной сферы, прониканием её во всё новые сферы применения прикладного программного обеспечения с постепенным вытеснением ею нативных десктопных приложений и распространением помимо монолитного подхода к архитектуре – сервис-ориентированного и микросервисного подходов, у REST API появились альтернативы, лучше отвечающие на новые вызовы, чем ставший стандартным подход REST API.

Современными конкурентами упомянутой технологии выступают такие архитектурные подходы как GraphQL и gRPC. Однако данные стили проектирования не являются априори лучшими чем REST API, а обладают набором преимуществ и недостатков, что обуславливает необходимость сравнительного анализа для выявления наиболее подходящей сферы их применения.

### **Архитектура REST**

Смысл архитектурного подхода заключён в самом его названии, являющимся аббревиатурой: Representational State Transfer, эта передача состояния представления происходит с помощью предопределённого набора операций – обычно в виде HTTP запросов: GET, POST, PUT, DELETE. Ответ на запрос обычно предоставляется в формате JSON или XML.

REST архитектура накладывает ряд ограничений: предоставление единообразного интерфейса, деление приложения на независимые части: клиент и сервер, отсутствие сохранения информации о состоянии клиента, кэширование клиентами ответов сервера, многоуровневость архитектуры, возможность предоставления исполняемого кода в качестве ответа от сервера.



Ключевым понятием для рассматриваемого архитектурного подхода является понятие «ресурса». В качестве идентификатора для ресурса выступает его унифицированный указатель – URL. Приложение, написанное в соответствии с правилами архитектурного стиля REST, формирует прикладной интерфейс взаимодействия из списка URL-адресов, которые должны принимать и обрабатывать запросы-операции получения, сохранения, обновления и удаления данных.

Серверное приложение, имеющее прикладной интерфейс, построенный в соответствии с архитектурным подходом REST, имеет ряд преимуществ:

- Высокая производительность за счёт использования кэша;
- Простота предоставляемых интерфейсов взаимодействия в виде URL-адресов;
- Лёгкая масштабируемость и изменяемость за счёт разделения клиента и сервера и независимости ресурсов друг от друга;
- Прозрачность за счёт предоставления стороннему наблюдателю информации о том, что произошло с запросом и ответом в виде кодов состояния.

Главным недостатком архитектуры REST является отсутствие гибкости в отношении выборки в силу ограничений, накладываемых создателем интерфейса взаимодействия, что часто приводит либо к чрезмерности выборки, когда сервис возвращает в ответе на запрос приложения-клиента излишние данные, либо недостаточной выборке, когда клиент не может получить все требуемые данные по одному запросу, что приводит к необходимости создания множества схожих запросов.

### **Архитектура gRPC**

gRPC – архитектура, разработанная компанией Google, в основе которой лежит архитектурный подход, предшествовавший появлению REST, а именно Remote Procedure Call. Приложения, построенные в соответствии с данным архитектурным стилем, позволяют вызывать выполнение функции на удалённом сервере в определённом формате и в том же формате получить ответ.

Данная архитектура построения API была разработана с целью обеспечить высокую скорость передачи данных между микросервисами, которым необходимо взаимодействовать между собой, и интеграцию микросервисов разработанных на разных языках программирования.

gRPC имеет ряд положительных отличительных особенностей:

- Для кодирования данных используется Protobuf, который существенно ускоряет передачу сообщений за счёт строгой спецификации и сериализации и десериализации данных в двоичном формате;
- Использование технологии HTTP 2, что позволяет использовать мультиплексирование, при получении множественных запросов от нескольких клиентов, обрабатывая их параллельно одновременно;
- Поддержка балансировки нагрузки клиентом, что избавляет от необходимости настраивать балансировку нагрузки используя веб- и прокси-серверы.

В то же время у данной архитектуры можно выделить несколько существенных недостатков:

- Отсутствие поддержки HTTP 2 в браузерах, из-за чего для запросов из браузера появляется необходимость использовать либо прокси, либо перекодирование в JSON формат, что сводит на нет преимущества HTTP 2, что обуславливает эффективность архитектуры gRPC при взаимодействии между приложениями-микросервисами;
- Нечитабельность, обуславливаемая кодированием запросов в Protobuf, представляемым в формате двоичного кода, из-за чего разработчику приходится прибегать к дополнительному программному обеспечению для анализа работы запросов.

## Архитектура GraphQL

GraphQL был разработан компанией Facebook, как новый подход к реализации архитектуры создания прикладного интерфейса взаимодействия, в котором реализуется подход к представлению данных в виде взаимосвязанного графа.

Центральным понятием в GraphQL как и в REST является «ресурс», однако реализуется принципиально иной подход к представлению ресурсов. В рассматриваемой архитектуре в отличие от REST представление отдельной сущности ресурса отделено от способа его получения. Предоставляемое приложение API определяет не структуру и объём ресурса, а лишь набор доступных ресурсов, данные о структуре и объёме указываются клиентом непосредственно в запросе. Данный архитектурный подход оказывается очень гибким при составлении запросов, решая проблему чрезмерной или недостаточной выборки, а также облегчает разработку клиентской части.

В то же время такой подход к предоставлению доступа к ресурсам имеет свои недостатки: в отличие от архитектурного подхода REST предоставляющего множество конечных точек доступа к данным в виде URL-адресов, GraphQL предоставляет единственную точку доступа, что не позволяет производить кэширование запросов, увеличивая объём трафика и усложняет настройку запросов.

### Заключение

Принимая во внимание указанные сильные и слабые стороны рассматриваемых архитектурных подходов к проектированию прикладного интерфейса взаимодействия, можно выделить наиболее подходящие случаи их применения.

В случае сравнительно большой системы, в которой между собой должно взаимодействовать с высокой скоростью передачи данных большое количество приложений-микросервисов, работающих на различных платформах, наиболее подходящим будет решение, предоставляемое архитектурой gRPC.

Использование GraphQL будет наиболее целесообразно в системах, содержащих большие объёмы разнородных данных, доступ к которым часто необходим в различных структурных конфигурациях.

В иных случаях, наиболее целесообразным является реализация архитектурного подхода REST API, так как будут сохраняться высокие затраты на имплементацию вышеописанных архитектур при невозможности использовать их положительные стороны.

## Литература

[1]. *Гридин В.Н., Анисимов В.И., Васильев С.А.* Методы повышения производительности современных веб-приложений [Текст] / Гридин В.Н., Анисимов В.И., Васильев С.А. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2020. – № 2. – С. 193-200.

[2]. *Шор А. М.* Сравнительный анализ подходов в разработке api веб-приложений [Текст] / Шор А. М. // StudNet. – 2020 – № 9. т. 3 – С. 533-540.

[3]. *Gaitatzis T.* Learn REST APIs: Your guide to how to find, learn, and connect to the REST APIs that powers the Internet of Things revolution. 2 edition. BackupBrain Press, 2019, 181 p.

[4]. *Porcello E. Banks A.* Learning GraphQL: Declarative Data Fetching for Modern Web Apps. O'Reilly Media, 2018, 200p.

[5]. *Sazanavets F.* Microservices Communication in .NET Using gRPC: A practical guide for .NET developers to build efficient communication mechanism for distributed apps. Packt Publishing, 2022, 486p.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПОДБОРА СПЕЦИАЛИСТОВ: ЭВОЛЮЦИЯ, ОСОБЕННОСТИ, КВАЛИФИКАЦИЯ****Шошин Никита Олегович****shoshinno@student.bmstu.ru***КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана***Чухраев Игорь Владимирович****chukhraev@bmstu.ru***КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Современный подбор персонала требует учёта большого количества требований к кандидатам, сами требования могут меняться довольно быстро, и увеличивающееся количество кандидатов создаёт высокую нагрузку на рекрутеров. Применение различных электронных систем, как правило, улучшает показатели найма и работы с сотрудниками, но эффективность таких систем оказывается разной. В этой работе рассмотрены лидирующие представители отрасли, обозначены особенности технологий, которые они применяют и сделаны выводы о влиянии наличия того или иного функционала на востребованность этих сервисов. Целью работы является выделение основных конкурентных преимуществ существующих рекрутинговых систем, обзорный анализ существующего рынка систем подбора персонала в России и за рубежом. Выделенные признаки позволяют выдвинуть определённые требования к разрабатываемым системам рекрутинга, определяющие актуальность разрабатываемой системы на текущий момент, учитывая основные тенденции развития рынка. Кроме того, обзор конкурентов и сервисов, которые они предлагают, даёт понимание необходимого стека технологий, который нужно будет применить для удовлетворения всех требований*

**Ключевые слова:** рекрутинг, системы подбора персонала, нейросети

**Путь развития рекрутинговых систем и их особенности**

По данным опроса, проведённым сервисом «Работа.ру» в 2022 году 71% опрошенных планирует сменить работу в текущем году. Кроме того, особенно высокий спрос на ИТ-специалистов уровней middle и senior, связанный с оттоком кадров из страны [4]. Специалисты считают, что необходимо принимать комплексные меры для решения возникающих затруднений, предлагая такие решения как полный перенос всего бизнеса в другие страны, перепрофилирование и привлечение специалистов после курсов, улучшение условий труда и другие методы. Вся эта нагрузка ложится на плечи рекрутеров организаций.

«Рекрутерами» называют специалистов по подбору и найму персонала. Это название произошло от слова «рекрут» - человек, добровольно шедший служить в армию. Рекрутеры выбирают подходящих кандидатов из заявившихся. Процесс называют рекрутингом. Рекрутинг классифицируют по четырём методам: Поиск руководителей, поиск и подбор менеджеров высшего и среднего звена, прямой поиск или классический рекрутмент и скрининговый метод (первичный отбор) [1]. Первые две методологии предполагают скорее работу с имеющимися контактами и данными. А вторые два – более открытые, и предполагают размещение вакансии в СМИ или других агрегаторах. О них и будет идти речь в этой статье.

Для поиска работы, на сегодняшний день, большинство использует информационные ресурсы. Это стало классическим методом поиска работы, заменив собой объявления в газетах и прочие архаичные методы. Это произошло потому, что такие площадки для поиска работы предоставляют огромное количество преимуществ как работодателю, так и соискателю. Во-первых – публикуя объявления в СМИ, газетах или в рекламе по телевизору – кроме целевой аудитории мы тратим деньги и время в основном на «случайные» просмотры, часто вакансия

может просто потеряться в потоке информации, нужный соискатель может просто не пользоваться выбранным источником информации – и это только малая часть минусов старых методов. Агрегаторы вакансий и резюме, кроме того, что организуют встречу работодателя и соискателя на «одной площадке» ещё предлагают много плюсов. Например, обратную связь – количество просмотров, откликов, сравнительный анализ, статистику, продвижение, надёжно фиксируют и передают данные без искажений, облегчают рассылку вакансий и резюме на большое количество адресов, и многое другое.

### **Обзор отечественных и зарубежных сервисов**

Рассмотрим отечественные и зарубежные агрегаторы вакансий и резюме. В частности, нас будет интересовать как такие ресурсы помогают рекрутерам находить нужных сотрудников. Из Российских сервисов рассмотрим три крупнейших - HeadHunter.ru, Rabota.ru, Avito.ru.

Начнём с лидера рынка – HeadHunter. На ресурсе располагается чуть менее миллиона вакансий и более 60 млн. резюме соискателей [3]. В неделю делает чуть меньше трёх миллионов приглашений на собеседование. Как и у конкурентов у сайта есть удобный поиск, раздел с новостями о рынке труда, каталог средних зарплат, техподдержка онлайн. Имеется удобная система составления хорошего резюме, размещается информация о курсах обучения. Но не только это привело к тому, что HeadHunter используют крупнейшие компании – ретейл, банки и рестораны. Система ещё используется и для управления кадрами на предприятии. Эта интеграция позволяет ей лучше оценивать новые кадры. Всё дело в том, что с 2020 года HeadHunter внедряет нейросети в процесс поиска персонала, и начал делать это первым в РФ. Нейросеть анализирует текущий состав предприятия, и таким образом формирует некоторый портрет сотрудника, который нужен для предприятия. Такой подход позволяет ранжировать список соискателей после прохождения воронки поиска – отсеивания всех соискателей не проходящих жёсткие фильтры, такие как возраст, наличие образования, опыт и подобные. По подсчётам HeadHunter такое ранжирование помогает сэкономить в среднем до 50 часов работы рекрутера на найм одной позиции. Для компаний с высокой текучестью кадров это очень значительные цифры.

Конкурентом для HeadHunter является портал Работа.ру. Там представлено свыше 200 тысяч предложений о работе, и более 3 млн актуальных резюме, ищущих работу в данный момент, и более 20 млн в базе [4]. У сервиса очень удобное мобильное приложение, по количеству установок опережающее HeadHunter. Однако, Работа.ру ничего не говорит о применении нейросетевых моделей в поиске. Но, косвенно можно предположить, что компания работает в этом направлении. На собственном сайте они ищут специалистов, а в вакансиях указывают на сотрудничество со СберПодбор – ещё одной системой поиска сотрудников.

Авито – очень многофункциональный ресурс. В этом его основное преимущество – соискатель «не покидает» привычную среду. Авито предлагает более 720 тысяч вакансий и более 300 тысяч резюме. К минусам можно отнести большое количество объявлений мошенников, которые плохо проверяются, а также отсутствие помощи при составлении резюме. Кроме того, из-за многофункциональности сайта он не так хорошо адаптирован именно к поиску работы, как конкуренты. Но предоставляет знакомый интерфейс.

Перейдём к иностранным площадкам – рассмотрим Hired, Huma и Paradox. Это наиболее типичные представители всех зарубежных площадок, которые удалось найти при подготовке данной статьи. У всех из них есть один общий минус – в любой момент они могут прервать свою работу для пользователей из России, но на момент подготовки статьи все доступны.

Начнём с Hired. Данный ресурс интересен, прежде всего, использованием нейросетей в работе с соискателями. Для обучения моделей было проведено более 30 миллионов интервью. Hired использовали большое количество экспертов – специалистов рекрутеров для оценки интервью, и результаты этих оценок использовались как обучающая выборка. После чего модель проверяли статистически, что бы исключить дискриминацию по расе, полу и возрасту. О таком преимуществе не пишет ни один из изученных конкурентов. Это позволило модели сосредоточиться на навыках, поведении и компетенциях, характерных для вакан-

сии, а не на нерелевантной информации, такой как то, как был одет кандидат, в каком университете он учился и какие ключевые слова встречаются в его резюме [2].

Перейдём к Nigma – это HRM система. То есть, как и HeadHunter она позволяет ещё и управлять имеющимся персоналом. За счёт чего так же может пользоваться этими данными для подбора нового персонала. Nigma также имеет некоторую нейросеть, которая позволяет ранжировать соискателей по опыту других компаний. Иначе говоря – нейросеть выберет те резюме, которые наиболее похожи на те, что ранее выбирали HR других компаний, и поднимет их в выдаче. Этот подход используют многие компании, и он оправдывает себя. Такая система просто обучается за счёт большого количества доступной информации и при этом значительно увеличивает релевантность выдачи.

Третьим продуктом рассмотрим Paradox – фактически, это скорее встроенный чат-бот помощник, который может частично взять функции рекрутера, и ответить соискателю на простые вопросы, а также провести первичное интервью – заполнить анкету, сформировать списки. Такое решение скорее применимо для сайтов компаний, и имеет очень узкую область применения.

### **Заключение**

Подведём итоги – каким же должен быть сервис для подбора персонала? Конечно, важен удобный интерфейс, наличие мобильного приложения и большая база вакансий. Однако, анализ рынка показывает что за последние 3-4 года вперёд значительно вырвались ресурсы предлагающие аналитику резюме при помощи нейросетей. Наличие ранжирования вакансий привело к значительному увеличению трафика на таких ресурсах, а сайты где таких функций нет люди покидают. Кроме того, среди сайтов предлагающих такие решения также возникает конкуренция. Преимуществами может быть, например, модель учитывающая предвзятость некоторых экспертов или специалистов по подбору персонала, имеющая место быть ранее в вашей компании. Кроме того, ориентация на общий опыт так же может быть полезна. Возможно, владение соискателем какой-либо новой технологией может быть незамечено рекрутером, так как он не является специалистом в данной области, но будет являться важным актуальным преимуществом. Такой параметр не учтётся при поиске по ключевым словам, но если другие рекрутеры чаще нанимают соискателей с таким навыком, то будет логично поднять такое резюме в выдаче.

На сегодняшний день в России нет сервисов, которые бы учитывали все эти особенности. Нагрузка на рекрутеров растёт год к году, текучесть кадров увеличивается. Очевидна необходимость создания отечественной системы рекрутинга, учитывающей все новые тенденции развития таких систем.

### **Литература**

[1]. Аллин О.Н., Сальникова Н.И. Кадры для эффективного бизнеса. Подбор и мотивация персонала. – М.: Генезис, 2005. – 248 с. – (Бизнес-психология).

[2]. Hagan M.T., Neural Network Design (2nd Edition). – Kansas.:Matlab, 2014. – 800с.

[3]. [https://hh.ru/article/28?from=footer\\_new&hhtmFromLabel=footer\\_new&hhtmFrom=main](https://hh.ru/article/28?from=footer_new&hhtmFromLabel=footer_new&hhtmFrom=main) (датаобращения – 06.11.2022)

[4]. <https://rabota.ru/about/> (дата обращения – 06.11.2022)

## ПРОТОКОЛЫ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ АРХИТЕКТУРЫ IOT

Сафронов Никита Сергеевич

safronovns@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Гагарин Юрий Евгеньевич

gagarin\_je@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Миллиарды устройств по всему миру могут передавать информацию между собой благодаря Интернету вещей. Для того, чтобы организовать и контролировать эту передачу, а также для обработки информации используются различные протоколы. Целью работы является теоретическое исследование протоколов Интернета вещей и их классификация в зависимости от уровня архитектуры. Из-за очень разнообразного набора прикладных задач в IoT не существует единой коммуникационной технологии, способной обеспечить экономичность и оптимальную производительность во всех сценариях использования. Именно поэтому на каждом из уровней архитектуры Интернета вещей существует множество различных протоколов для организации взаимодействия между устройствами. IPSO, одна из организаций, занимающаяся стандартизацией отрасли, выделила альтернативные стеку IP протоколы для интернета вещей с учётом всех накладываемых ограничений и решаемых IoT задач

**Ключевые слова:** Интернет вещей, протоколы IoT, архитектура IoT

**Проблемы применения стека IP в области IoT**

Поскольку интернет вещей развивается очень быстро, к нему подключается всё большее количество разнородных умных устройств. Устройства IoT питаются от батареи и имеют минимальные ресурсы вычисления и хранения. Из-за ограниченного характера подобного рода устройств возникают различные коммуникационные проблемы:

*Адресация и идентификация:* поскольку миллионы умных вещей будут подключены к Интернету, необходимо большое адресное пространство и наличие уникального адреса для каждого смарт-объекта.

*Связь с низким электропотреблением:* передача данных между устройствами является энергоемкой задачей.

*Протоколы маршрутизации с низкими требованиями к памяти и эффективными схемами связи.*

*Высокая скорость связи без потерь информации.*

*Мобильность умных вещей.*

Устройства IoT обычно подключаются к Интернету через стек IP. Данный стек очень сложен, имеет высокое электропотребление и требует большого объема памяти. Отсюда возникла необходимость модификации стека IP так, чтобы обеспечить связь в ограниченных условиях.

**Протоколы IoT на различных уровнях архитектуры**

Инженерная рабочая группа Интернета (IETF) разработала альтернативные протоколы для связи между устройствами IoT с использованием IP. Альянс Интернет-протокола для смарт-объектов (IPSO) опубликовал документацию, описывающую альтернативные протоколы и стандарты для уровней стека IP и дополнительно вводимого уровня адаптации, который используется для связи между умными объектами. Перейдём к рассмотрению протоколов различных уровней сети.

*Физический и MAC уровень.* Протокол IEEE802.15.4 (*Zigbee*) предназначен для обеспечения связи между компактными и недорогими встраиваемыми устройствами с низким энергопотреблением, которым требуется длительное время автономной работы. Он определяет стандарты и протоколы для физического и канального (MAC) уровней стека IP. Он поддерживает связь с низким энергопотреблением, а также недорогую связь и связь на короткие расстояния. В таком случае с настолько ограниченными ресурсами нам нужен небольшой размер пакета, узкая полоса пропускания и низкая мощность передачи.

Для передачи требуется очень небольшая мощность (максимум один милливатт), что составляет лишь один процент от мощности, используемой в сетях Wi-Fi или сотовых сетях. Это ограничивает дальность связи. Из-за ограниченной дальности связи устройства должны работать совместно, чтобы обеспечить многоскачковую маршрутизацию на большие расстояния. В результате размер пакета ограничен только 127 байтами, а скорость передачи ограничена 250 кбит/с. Схема кодирования в IEEE802.15.4 имеет встроенную избыточность, которая делает связь надежной, позволяет обнаруживать потери и обеспечивает повторную передачу потерянных пакетов. Этот протокол также поддерживает короткие 16-битные адреса ссылок для уменьшения размера заголовка, коммуникационных накладных расходов и требований к памяти.

*Wi-Fi* (IEEE 802.11) использует радиоволны, чтобы два устройства могли обмениваться информацией. Эта технология чаще всего используется для подключения интернет-маршрутизаторов к таким устройствам, как компьютеры, планшеты и телефоны; однако его можно использовать для соединения любых двух аппаратных компонентов. Wi-Fi – это локальная беспроводная сеть, работающая в соответствии со стандартом 802.11, установленным Институтом инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). Wi-Fi может использовать как глобальные радиодиапазоны 2,4 ГГц, так и 5 ГГц. 802.11b, 802.11g и 802.11n работают в диапазоне 2,4 ГГц. Диапазон чувствителен к помехам от некоторых устройств Bluetooth, а также некоторых микроволновых печей и сотовых телефонов.

*WiMax* (IEEE 802.16) расшифровывается как Worldwide Interoperability for Microwave Access. Эта беспроводная технология позволяет передавать данные со скоростью 30–40 мегабит в секунду. Этот термин относится конкретно к интероперабельным реализациям семейства беспроводных сетей IEEE 802.16. Эта технология когда-то использовалась несколькими операторами мобильной связи, в частности Sprint, для доставки беспроводных данных своим клиентам. Sprint, наряду со многими другими операторами, которые использовали эту технологию, с тех пор перешли на использование более быстрых сетей LTE 4G для передачи данных. Эту технологию можно использовать как в помещении, так и на улице, однако устройства WiMax обычно обеспечивают лучший сигнал при использовании вне помещений.

*Уровень адаптации.* IPv6 считается лучшим протоколом для связи в IoT из-за его масштабируемости и стабильности. Первоначально считалось, что такие громоздкие IP-протоколы не подходят для связи в сценариях с маломощными беспроводными каналами, такими как IEEE802.15.4. 6LoWPAN решает эту задачу, обеспечивая связь с использованием IPv6 по протоколу IEEE802.15.

Устройства 6LoWPAN могут обмениваться данными с другими IP-устройствами в интернете. Сети 6LoWPAN подключаются к Интернету через шлюз, который также имеет поддержку протокола для преобразования между IPv4 и IPv6. Заголовки IPv6 недостаточно малы, чтобы уместиться в пределах небольшого 127 байт стандарта 802.15.4. Фактически, уровень адаптации выполняет следующие три оптимизации, чтобы уменьшить коммуникационные издержки: 6LoWPAN *сжимает заголовков* пакетов IPv6 для уменьшения накладных расходов. 6LoWPAN *фрагментирует IPv6 пакет*, поскольку минимальный размер единицы передаваемой информации IPv6 составляет 1280 байт, а максимальный размер кадра в IEEE 802.15.4 составляет 127 байт. Также 6LoWPAN *поддерживает маршрутизацию* по коротким адресам на канальном уровне, а не на сетевом.

*Сетевой уровень.* Рабочая группа IETF ROLL разработала протокол маршрутизации (RPL) для сетей с низким энергопотреблением и потерями.

RPL является протоколом маршрутизации, основанным на векторах расстояния. Он описывает, как ориентированный на пункт назначения ациклический граф строится с узлами после обмена векторами расстояния. Набор ограничений и целевая функция используются для построения графа с наименьшим путем. Целевая функция и ограничения могут различаться в зависимости от задачи. Построение начинается с корневого узла. Корень начинает отправлять сообщения соседним узлам, которые затем обрабатывают сообщение и решают, присоединяться или нет, в зависимости от ограничений и целевой функции. Впоследствии они пересылают сообщение своим соседям и формируется граф. Все узлы в графе могут отправлять пакеты вверх к корню.

*Транспортный уровень.* TCP на данный момент является доминирующим протоколом на данном уровне в Интернете, его используют многие другие протоколы, в том числе прикладной протокол MQTT.

TCP надёжен и упорядочен, но при этом тяжеловесен и основан на постоянном соединении, что влечет повышенные расходы памяти и энергии. Поэтому UDP считается предпочтительным протоколом на данном уровне, поскольку он не требует установки канала передачи и является легковесным.

*Уровень приложений.* Данный уровень отвечает за форматирование и представление данных. Уровень приложения в Интернете обычно основан на HTTP. Однако, HTTP не подходит в условиях ограниченных ресурсов, так как является довольно избыточным. Разработаны многие альтернативные протоколы для интернета вещей, такие как CoAP и MQTT.

CoAP был разработан для обеспечения связи для узлов и сетей с ограничениями для приложений IoT и их подключения к Интернету. CoAP был разработан для обеспечения передачи данных в условиях минимальных ресурсов. На транспортном уровне CoAP использует UDP. CoAP, как и HTTP, стандартизирован рабочей группой IETF Constrained RESTful Environments (CoRE). Протокол ориентирован на клиент-серверное взаимодействие. Сервер предоставляет ресурсы в виде URL-адресов, а клиенты получают к ним доступ с помощью нескольких указанных команд, таких как GET, PUT, POST и DELETE.

Разработанный как открытый стандарт OASIS и рекомендованный ISO, протокол MQTT нацелен на передачу данных с небольшой пропускной способностью и минимальными ресурсами. Обычно он использует набор протоколов TCP/IP, который сначала устанавливает соединение, а затем разрешает многократный обмен данными, пока одна из сторон не отключится. Технология MQTT работает с использованием архитектуры подписчика/подписки MQTT и делит сеть издателей и подписчиков.

Архитектура издателя/подписчика делит клиентские устройства сети на 2 категории: издатели и подписчики. Издатели представляют собой устройства или узлы, которые вводят данные в систему, а подписчики – это конечные устройства или узлы, которые получают данные. Отправляемые данные представлены в виде различных топиков, брокер сортирует топики, отправленные издателем, и отправляет их соответствующему клиенту, который ранее подписался на указанный топик.

### **Заключение**

Установлены основные проблемы, стоящие перед устройствами IoT: адресация и идентификация, связь с низким электропотреблением, высокая скорость связи без потерь информации, мобильность умных вещей. Для использования стека IP в IoT Инженерная рабочая группа Интернета (IETF) разработала альтернативные протоколы на каждом уровне, при этом добавив новый уровень архитектуры – адаптации. В связи с этим проведена классификация протоколов в зависимости от уровней архитектуры: физический (Zigbee, Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth), адаптации (6LoWPAN), сетевой (RPL), транспортный (TCP, UDP) и приложения (CoAP, MQTT).



## Литература

- [1]. *Перри Л.* Архитектура интернета вещей. Москва, ДМК Пресс, 2018, 456 с.
- [2]. *Суомалайнен А.* Интернет вещей: видео, аудио, коммутация. Москва, ДМК Пресс, 2019, 104 с.
- [3]. *J. P. Vasseur, A. Dunkel.* Ip for smart objects. White Paper 1. IPSO Alliance, 2008, 112 p.
- [4]. *Z. Sheng, S. Yang, Y. Yu, A. Vasilakos et al.* A survey on the IETF protocol suite for the internet of things: standards, challenges, and opportunities. IEEE Wireless Communications, 2013, vol. 20 (6), pp. 91–98.

## ПРОГРАММНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

**Ильичев Владимир Юрьевич**

**patrol8@yandex.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**Силкин Максим Игоревич**

**maks.klebo@mail.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**Каширин Дмитрий Сергеевич**

**kashirindmitry@mail.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**Лаврентьева Галина Владимировна**

**lavrentyeva\_g@list.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

**Вершинин Евгений Владимирович**

**vershinin@bmstu.ru**

*КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*В данной работе представлены программные методы для определения состояния человека по результату его электрокардиографии и ретине глазного яблока. Рассматриваются два способа определения состояния человека – с использованием нейронных сетей и быстрого преобразования Фурье. Используются и описаны основные библиотеки и инструменты необходимые для разработки - InceptionV3, Gan сеть, Keras, Scipy. Язык программирования был выбран Python. Описаны преимущества платформы разработки. При использовании алгоритмов, связанных с нейронными сетями, необходимо использовать изображения в качестве входных данных. В методе быстрого преобразования Фурье используются биологические сигналы. Приведены алгоритмы реализации каждого из методов. Целью работы является изучение способов реализации данного программного комплекса. Рассмотренные методы позволят врачам более точно определить заболевание или состояние пациента.*

**Ключевые слова:** *python, нейронные сети, преобразование Фурье, состояния человека*

В настоящее время все большее развитие получают био-цифровые технологии, направленные на сближение медицины и биологии с hi-tech индустрией. При этом био-цифровые технологии требуют усовершенствования существующих и разработку новых портативных диагностических устройств для контроля психофизиологических показателей человека. Особенно актуально использование мобильных устройств и беспроводных технологий передачи данных, в том числе о физиологическом и психофизиологическом состоянии человека.

Алгоритм реализации поставленной цели включает следующий шаг:

1. провести анализ современных литературных источников и разработок по теме исследования;
2. изучить и описать применение нейронных сетей и преобразования Фурье;
3. проанализировать методы правильного распознавания и обработки входных данных.

### **Использование нейронных сетей**

Для определения психофизиологического состояния человека могут быть использованы два программных способа. Первый способ - применение нейронных сетей подходит, как для определения эмоционального состояния человека, так и для распознавания болезней по входным данным. Машинное обучение используется для обработки больших массивов данных

для получения новой информации при помощи мощной техники и совершенных методик создания нейронных сетей и их глубокого обучения [1].

Рассмотрим алгоритм создания этого способа:

1. При создании обучающейся модели искусственного интеллекта подключим модуль keras. Этот модуль все чаще используется при машинном переводе текстов, распознавании условных графических обозначений, образов и даже людей по фотографиям. Язык программирования Python и Keras и прочие дополнительные модули имеют следующие преимущества:

- модульность, компактность, расширяемость;
- лёгкость освоения неспециалистами;
- множество инструментов работы с нейронными сетями;
- реализация принципов глубокого обучения, получившего известность в последнее время и способного создавать прогнозы для более широкого круга явлений, чем традиционные способы обучения (таких как ненаправленная графическая модель);
- возможность эффективного использования графических процессоров (видеокарт) для вычислений;
- широкие возможности визуализации результатов с использованием модуля Matplotlib [2].

2. Для более качественного обучения модели нейронной сети применим генеративно-состязательную сеть (gan) для расширения дата сета. В качестве входных данных используются фотографии ретины глазного яблока или электрокардиографии, преобразованные в формат изображения. Этот шаг необходим для более качественного обучения модели. Данная нейросетевая модель состоит из двух частей. Первый модуль — это генератор. Его задачей является обучение, направленное на наиболее точное воспроизведение обучающих образцов – семплов. Второй модуль – дискриминатор, предназначен для оценивания точности результатов, выданных генератором, сравнивая их с обучающими образцами. При несоответствии выходных результатов дискриминатор подаёт команду генератору на переобучение, и только при условии, когда дискриминатор классифицирует вновь созданные данные как достаточно приближённые к реальным, обучение генератора прекращается [3].

3. Финальным шагом при распознавании входных изображений является обучение нейронной сети InceptionV3 из библиотеки Keras. Для более быстрой обработки дата сета создадим генератор, конвертирующий изображение в единый размер и формат. Настроим количество слоев сети в соответствии с требованиями компьютера. Создадим верхнюю часть модели для определения классов заболевания или эмоций. Реализуем веса и загрузим их в итоговую модель. Определим количество эпох и общее число тренировочных объектов, представленных в одном батче. Запустим процесс обучения и ждем окончания. Inception V3 – это модель глубокого обучения, основанная на сверточных нейронных сетях, которая используется для классификации изображений. Inception V3 - это улучшенная версия базовой модели Inception V1, которая была представлена как GoogLeNet в 2014 году. Как следует из названия, она была разработана командой Google. В общей сложности модель Inception V3 состоит из 42 уровней. Архитектура данной нейронной сети, как показано на рис. 1, состоит из нескольких сверточных слоёв.

### **Быстрое преобразование Фурье**

Следующий программный способ определения состояния человека является выделение гармонических составляющих сложных динамических сигналов и применение преобразования Фурье. Такой метод больше применим к электрокардиографии, так как входные данные предоставляются в виде осциллограммы. Наиболее распространенным способом преобразования таких данных в спектрограмму являются разложение в ряд Фурье [4]. Для применения программных методов используется вариант реализации разложения Фурье, который был назван быстрым преобразованием Фурье (FFT) [5]. При реализации этого способа использован язык программирования Python совместно с библиотекой Scipy, в которой содержится огромное количество необходимых настроек и аргументов для гармонического анализа.

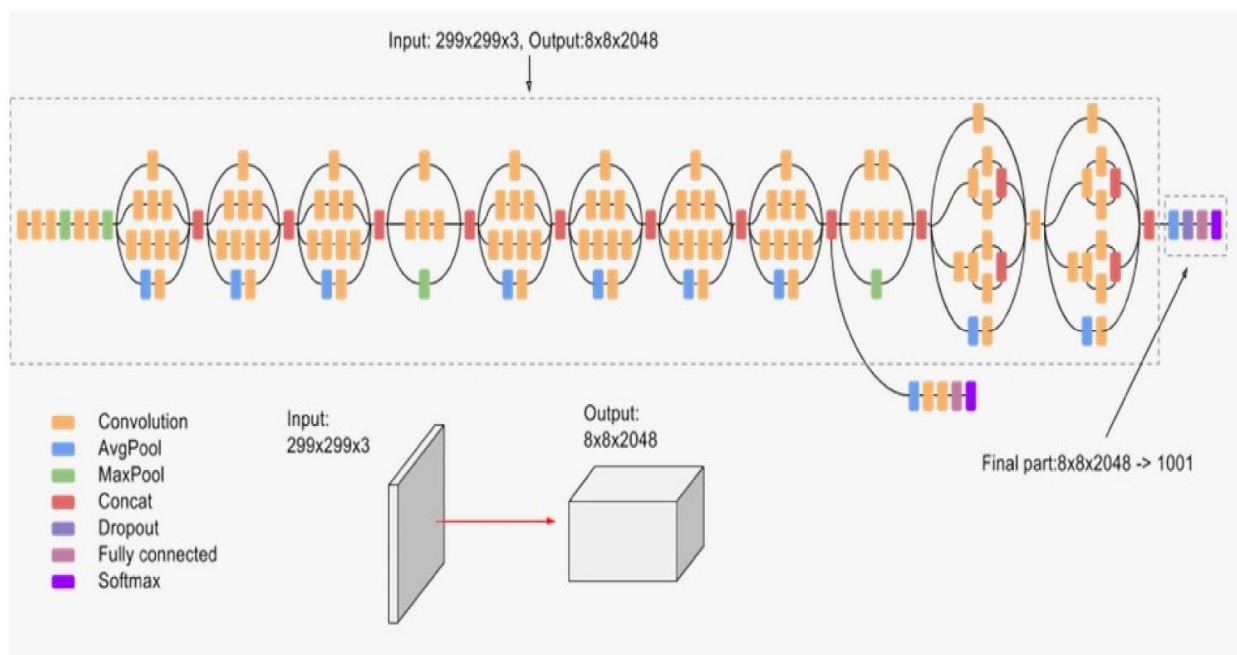


Рис. 1. Архитектура InceptionV3

Входными данными, в зависимости от анализов, являются файлы с расширением EDF и фотографии, впоследствии преобразованные в сигнал. Рассмотрим пошагово алгоритм данного способа:

1. а) Если входные данные являются снимками сетчатки глаза, то импортируем библиотеки `matplotlib.pyplot`, `numpy`. Преобразовываем изображения в 3 матрицы с 2 измерениями. Для выполнения 2D FFT сглаживаем изображение, преобразовав его в оттенки серого. С помощью функции `calculate_2dft` конвертируем результат в сигнал.

б) Для электрокардиограмм в формате `edf` импортируем библиотеку `mne` и используем функции `mne.io.read_raw_edf` и `data.get_data` для получения сигналов.

2. Импортируем функцию `fft` (для быстрого преобразования Фурье) из библиотеки `Scipy` и функцию `arange` (для создания упорядоченного списка частот) из библиотеки обработки массивов `Numpy`.

3. Используя быстрое преобразование Фурье, создаем числовые списки одинаковой длины для амплитуды ускорения и для частоты колебаний.

4. С помощью функций вывода графики выводим зависимость амплитуды от частоты (спектрограмма колебаний) [6].

5. Проанализировав выходные данные, распознаем состояние человека.

### Заключение

По сетчатке глаза определяется такие болезни, как катаракта, глаукома, нарушение сетчатки и т.д. Электрокардиография используется для распознавания психического состояния человека.

Результаты исследования могут быть использованы в медицинских целях, например, для постановки правильного диагноза пациента. Планируется изучение новых методов определения состояния пациента по другим критериям.

### Литература

[1]. Чумаков В.Е. Использование технологии Deep Learning. // В сборнике: Траектория научно-технологического развития России с учетом глобальных трендов. сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. Е.П. Ткачевой. – 2019. – С.172–175.

[2]. *Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.* Обработка статистических данных методом глубокого обучения с использованием модуля keras. // Научное обозрение. Технические науки. – 2020. – №5. – С.16–20.

[3]. *Ильичев В.Ю., Чухраев И.В.* Обработка данных с использованием глубокого обучения генеративно-сопоставительной нейронной сети (gan). // ЗАО «Издательство «Радиотехника». – 2020. – Т.23. – №5. – С.51–56.

[4]. *Мищенкова О.В., Черепов И.В.* Фурье-анализ в термогазодинамических задачах при расчете тепловых двигателей. // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2012. – № 3. – С.154–159.

[5]. *Кошелева Д.Д., Доронина А.В.* Преобразование Фурье и быстрое преобразование Фурье. // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 38. – С.626–632.

[6]. *Ильичев В.Ю.* Гармонический анализ сложного сигнала колебаний газотурбинного электроагрегата. // Научно-практический журнал «Заметки Ученого». – 2021 – №12-2. – С.82–86.

## **СЕКЦИЯ 14.**

# **ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НИР В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС**

## ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ ВЫПУКЛОГО ПРАВИЛЬНОГО ИКОСАЭДРА

Орешкина Алла Юрьевна

oreshkinaayu@student.bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

Сулина Ольга Владимировна

sulinaolga@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В работе предложен способ построения трех ортогональных проекций икосаэдра по заданной длине стороны многогранника. Построение проекций ребер многогранника основано на свойстве идентичности фронтальной и профильной проекций соответствующих ребер икосаэдра. Описан способ построения трехмерной геометрической модели многогранника в системе КОМПАС-3D. Построение осуществляется способом создания в геометрическом пространстве модели каркаса поверхности на основе параметрического моделирования вершин и ребер многогранника, дальнейшей сшивки поверхностей с созданием твердого тела. В работе проведен сравнительный анализ ассоциативных видов по модели и ортогональных проекций икосаэдра. Получена конгруэнтность результатов исследования. Способ построения чертежа и модели икосаэдра может применяться в учебном процессе в курсах дисциплин: «Инженерная графика», «Начертательная геометрия» и «Компьютерная графика»*

**Ключевые слова:** икосаэдр, трехмерная модель, ортогональные проекции, электронная геометрическая модель, многогранник

Выпуклый правильный икосаэдр – это геометрическое тело, состоящее из 20 граней, каждая из которых является правильным треугольником. Многогранник имеет 12 вершин, 30 ребер, 5 ребер, примыкающих к вершинам. Икосаэдр имеет центр симметрии, 15 осей симметрии и 15 плоскостей симметрии [1].

Построим ортогональные проекции икосаэдра по заданной длине ребра – 50 мм. Расположим икосаэдр в системе плоскостей проекций, таким образом, чтобы ось икосаэдра была перпендикулярна к горизонтальной плоскости проекций. Построение рационально начинать с горизонтальной проекции: построим 2 правильных пятиугольника со стороной, равной длине стороны икосаэдра. Пятиугольники должны быть повернуты на половину длины ребра. Один из них является видимым, другой – нет. Вершины пятиугольников представляют собой 10 вершин икосаэдра, соединим их, получив 10 горизонтальных проекций ребер (рис. 1). Для построения фронтальной проекции проведем линии связи из проекций ребер многогранника.

Для построения недостающих проекций рассмотрим свойства икосаэдра: ребро икосаэдра, проходящее через вершину перпендикулярно противоположенной стороне икосаэдра [2].

Таким образом, ребро 1–6 перпендикулярно ребру 5–11 **5 – 11**. Эти ребра расположены в плоскостях параллельных профильной плоскости проекций и угол между отрезками на профильной проекции не искажается. Вследствие перпендикулярности угол  $\varphi$  между ребром 1–6 и фронтальной плоскостью проекций равен углу между ребром 5–11 **5 – 11** и горизонтальной плоскостью проекций. Следовательно, горизонтальная проекция ребра 1–6 равна фронтальной проекции ребра 5–11.

Построим на фронтальной проекции четыре горизонтальные вспомогательные прямые, на которых лежат проекции ребер на расстоянии  $c$  и  $b$  соответственно. Спроецируем ребра и определим видимость. Профильную проекцию построим по двум данным в соответствии с определенными координатами вершин многогранника (рис.1).

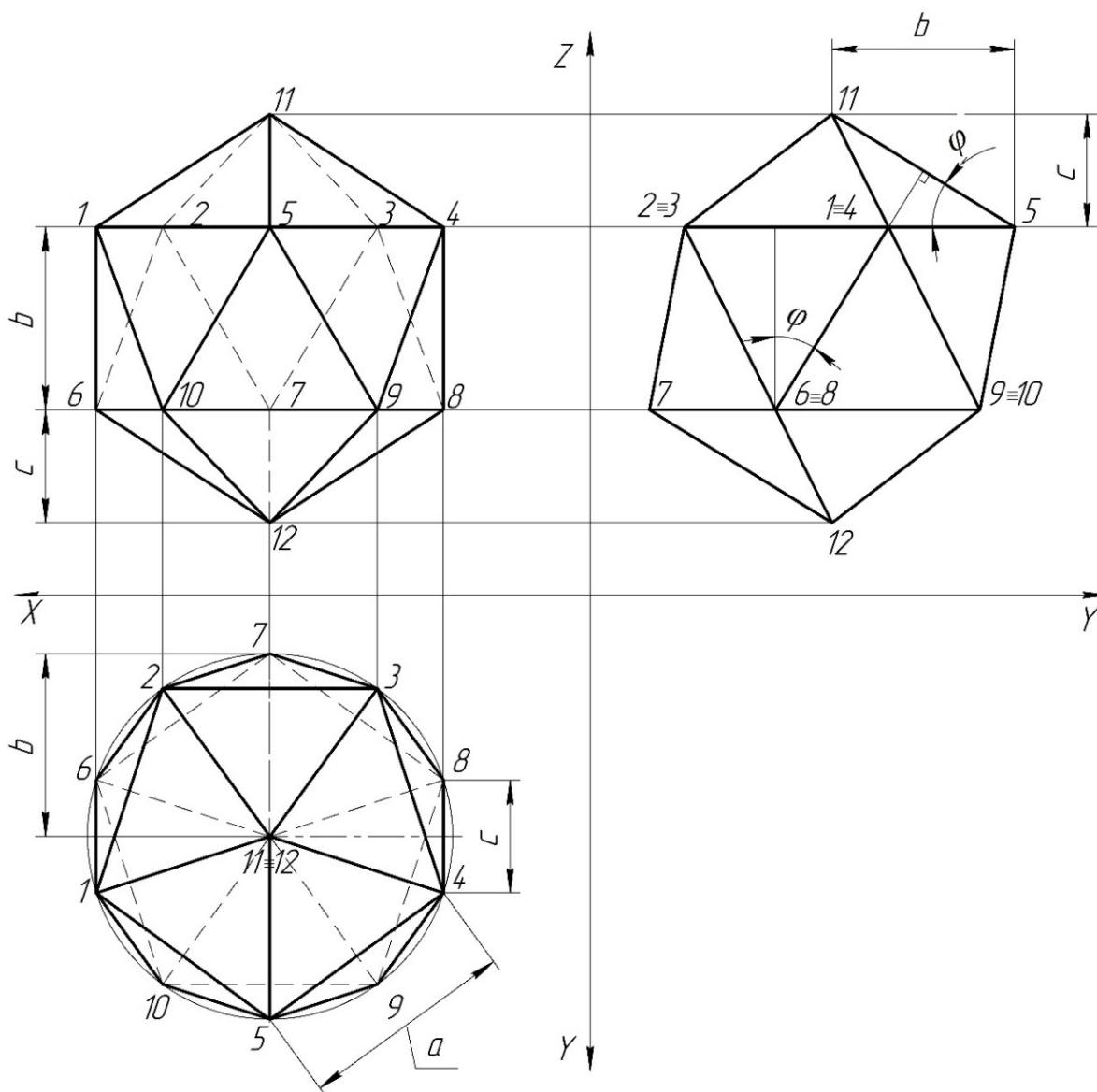


Рис. 1. Построение проекций икосаэдра по заданной длине стороны

Построим электронную геометрическую модель икосаэдра в системе КОМПАС-3D с заданной длиной ребра 50 мм. Создадим эскиз в горизонтальной плоскости в документе «деталь». В эскизе строим правильный пятиугольник с длиной стороны 50 мм, строим описанную окружность вокруг многоугольника и создаем правильный десятиугольник, вписанный в эту окружность. Измеряем расстояние  $b$  – радиус описанной окружности. Строим вспомогательный плоскости, параллельные горизонтальной плоскости на расстоянии  $b/2$  и  $b/2$ . В этих плоскостях строим проекции многоугольников с длиной стороны 50 мм с относительным поворотом на  $180^\circ$ . Строим вертикальную ось симметрии модели икосаэдра (рис. 2). Строим



отрезок в пространстве модели, соединяющий точку на оси и вершину многогранника, задаем длину отрезка в параметрическом режиме 50 мм, определяя, таким образом, положение вершины икосаэдра. Строим проекции четырех граней. Создаем заплатки согласно выделенным ребрам – это грани многоугольника, создаем «сшивку» поверхностей с созданием твердого тела (рис. 2).

Создаем ассоциативный чертеж и накладываем виды на построенные проекции икосаэдра (рис. 1). Виды и проекции совпадают.

Рассмотренный способ построения проекций и электронной геометрической модели икосаэдра является точным и может быть применяться в учебном процессе.

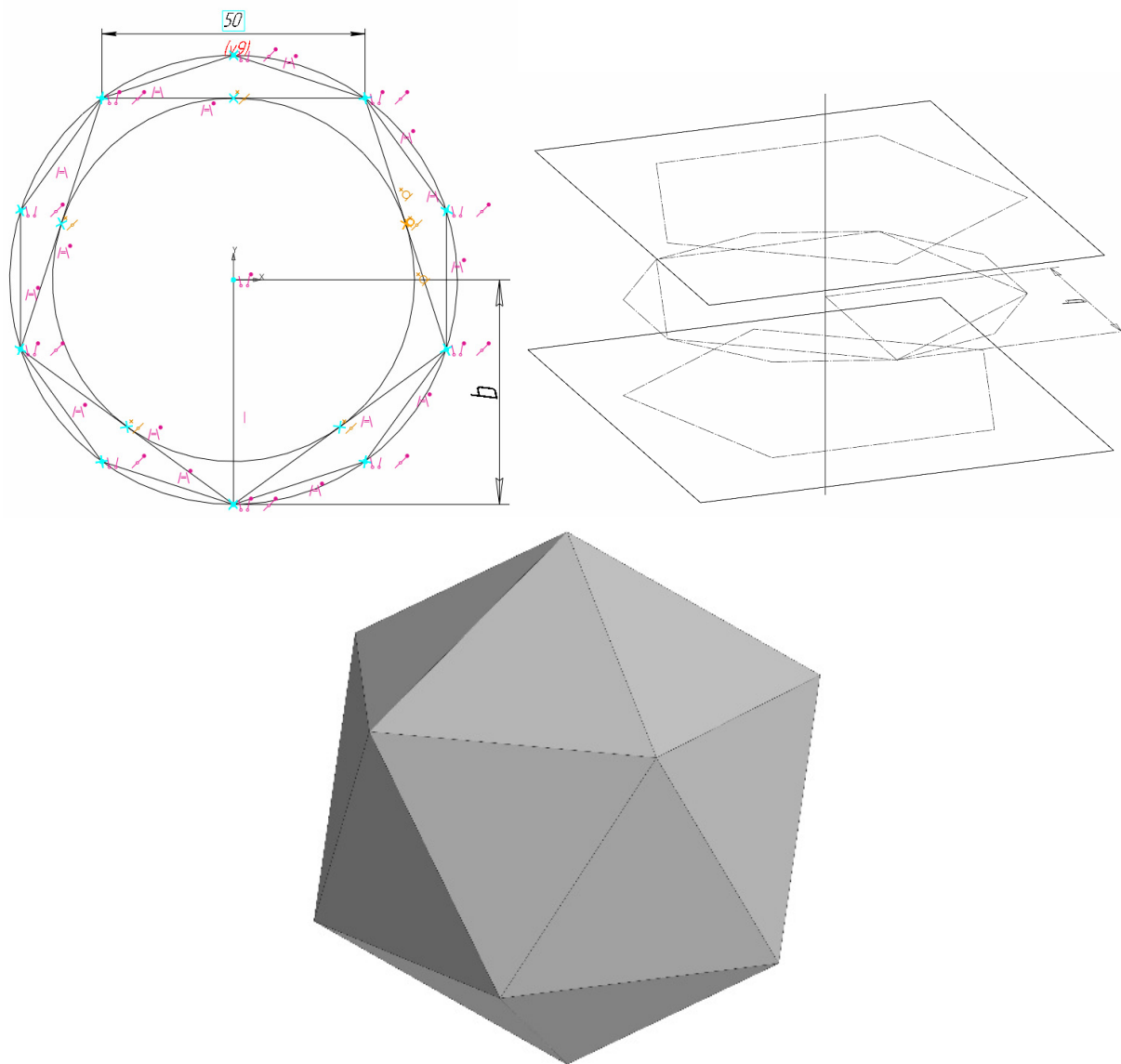


Рис. 2. Построение трехмерной модели икосаэдра по заданной длине стороны

## Литература

- [1]. Смирнова И. М. В мире многогранников. – М.: Просвещение, 1995.
- [2]. Начертательная геометрия: учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1987. – 319 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 2. ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА..... 3

*Машин И.С., Антохин М.С., Зыбин И.Н.*

ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРА МЕЖДУ ДЕТАЛЯМИ НА ПРОЧНОСТЬ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ.....4

*Антохин М.С., Машин И.С., Зыбин И.Н.*

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ КРОМОК НА НАЛИЧИЕ  
ОКСИДОВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ДЕТАЛЕЙ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ .....8

### СЕКЦИЯ 4. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГИДРОМАШИНЫ ..... 13

*Сухоненков И.А., Шевелев Д.В.*

ОСОБЕННОСТИ УПЛОТНЕНИЙ ВАЛОВ ТУРБИН ОЦР .....14

*Голиков А.С., Чубаров Ф.Л.*

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ  
.....18

*Ващенко А.В., Ушаков Н.А., Савин В.Ю.*

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ ЗЕМСНАРЯДОВ  
ПРИ ДОБЫЧЕ ПЕСКА .....22

*Азаренко Н.А., Шитохина О.Г.*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТИПОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ДЛЯ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК .....25

*Тешабаев К.Т., Мужаровский В.П., Ильичев В.Ю.*

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
КРЫЛОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ЖУКОВСКОГО .....30

### СЕКЦИЯ 5. МЕТОДЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ; АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ..... 35

*Кандаурова К.И., Гафуров Э.Т., Литовченко Д.М., Корлякова М.О.*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ ГЛУБИНЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ  
.....36

*Мельников Д.В., Петровичев М.А.*

РАСЧЕТ ЭТАЛОННЫХ ТОКОВ В АЛГОРИТМЕ УПРАВЛЕНИЯ ГЕНЕРАТОРА  
НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ .....39

### СЕКЦИЯ 8. ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ ..... 45

*Чикишев А.Д., Белов Ю.С.*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО  
ОБУЧЕНИЯ В ТЕСТИРОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ .....46

<i>Красавин Е.В., Полудников С.В., Калашиников А.С., Треишевская В.О.</i>	
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УМНОГО ГОРОДА.....	49
<b>СЕКЦИЯ 10.</b>	
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>54</b>
<i>Панина Е.А., Белов Ю.С.</i>	
АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЙ .....	55
<i>Петров А.И., Белов Ю.С.</i>	
АНАЛИЗ МРТ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ И VGG-16 .....	58
<i>Вялых С.А., Белов Ю.С.</i>	
МНОГОУРОВНЕВЫЙ АНАЛИЗ ГОЛОСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭМОЦИЙ.....	62
<i>Мосин Е.Д., Белов Ю.С.</i>	
ОСНОВЫ ГЕНЕРАЦИИ МУЗЫКИ В ВОЛНОВОМ И НОТНОМ ФОРМАТАХ .....	66
<i>Левин А.О., Белов Ю.С.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ ДИФфуЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	70
<i>Белоножко П.Е., Белов Ю.С.</i>	
ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕКСТА В РЕЧЬ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ.....	74
<i>Тронов К.А., Белов Ю.С.</i>	
МОДЕЛЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ.....	78
<b>СЕКЦИЯ 12.</b>	
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ.....</b>	<b>82</b>
<i>Мишкин А.Е., Чухраев И.В.</i>	
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ.....	83
<i>Фролов В.А., Вершинин Е.В.</i>	
АРГУМЕНТАЦИЯ ВЫБОРА МЕТОДА ПОТОКОВОЙ ПЕРЕДАЧИ АУДИОФАЙЛОВ ПОВЕРХ ПРОТОКОЛА НТТР ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ.....	87
<i>Трибусян Б., Гагарин Ю.Е.</i>	
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ВИДЫ И ВОЗМОЖНОСТИ НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ .....	92
<i>Хомутов Д.В., Гагарин Ю.Е.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА С4.5 ДЛЯ ПОСТРОЕНИЙ ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ .....	95

<b>Гришин О.Д., Гагарин Ю.Е.</b>	
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ГОЛОСА В ТЕКСТ. АЛГОРИТМЫ И ПЛАТФОРМЫ.....	98
<b>Каширин Д.С., Ильичев В.Ю., Лаврентьев Г.В., Силкин М.И.</b>	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ПО РАСПОЗНАВАНИЮ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ В РАМКАХ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ .....	102
<b>Мовсисян М.А., Вершинин Е.В.</b>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИБКОГО И ТРАДИЦИОННОГО МЕТОДОВ ВЕБ-РАЗРАБОТКИ.....	107
<b>Бибиков А.П., Гагарин Ю.Е.</b>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОСТРОЕНИЯ API СЕРВЕРНОЙ ЧАСТИ ПРИЛОЖЕНИЯ .....	112
<b>Шошин Н.О., Чухраев И.В.</b>	
ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПОДБОРА СПЕЦИАЛИСТОВ: ЭВОЛЮЦИЯ, ОСОБЕННОСТИ, КВАЛИФИКАЦИЯ .....	115
<b>Сафронов Н.С., Гагарин Ю.Е.</b>	
ПРОТОКОЛЫ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ АРХИТЕКТУРЫ IOT.....	118
<b>Ильичев В.Ю., Силкин М.И., Каширин Д.С., Лаврентьев Г.В., Вершинин Е.В.</b>	
ПРОГРАММНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА .....	122
<b>СЕКЦИЯ 14.</b>	
<b>ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НИР В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС .....</b>	<b>126</b>
<b>Орешкина А.Ю., Сулина О.В.</b>	
ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ ВЫПУКЛОГО ПРАВИЛЬНОГО ИКОСАЭДРА.....	127

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ  
И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ**

**Материалы  
Всероссийской научно-технической конференции**

**Том 1**

*Научное издание*

Все работы публикуются в авторской редакции. Авторы несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений

Подписано в печать 28.11.2022  
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс»  
Печ. л. 8,38. Усл. п. л. 7,79

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Оригинал-макет подготовлен в Редакционно-издательской группе  
отдела научной инновационной деятельности  
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана  
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87