

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

---

# **Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе**

**Всероссийская научно-техническая конференция**

(Калуга, 14–16 ноября 2023 года)

**Материалы конференции**

В двух томах

Том 1



Москва

**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
**2024**

УДК 378:001.891  
ББК 74.58:72  
Н34

Издание доступно в электронном виде по адресу  
<https://bmstu.press/catalog/item/8144/>

**Руководитель конференции:**

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

**Оргкомитет конференции:**

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

**Члены оргкомитета:**

*Андреев В.В.*, д-р техн. наук, профессор  
*Косушкин В.Г.*, д-р техн. наук, профессор  
*Горбунов А.К.*, д-р физ.-мат. наук, профессор  
*Перерва О.Л.*, д-р экон. наук, профессор  
*Рамазанов А.К.*, канд. физ.-мат. наук, доцент  
*Мельников Д.В.*, канд. техн. наук, доцент  
*Анкудинов А.А.*, канд. техн. наук, доцент  
*Максимов А.В.*, канд. техн. наук, доцент  
*Орлик Г.В.*, канд. техн. наук, доцент  
*Жинов А.А.*, канд. техн. наук, доцент

*Корнюшин Ю.П.*, д-р техн. наук, профессор  
*Шаталов В.К.*, д-р техн. наук, профессор  
*Мазин А.В.*, д-р техн. наук, доцент  
*Мальшиев Е.Н.*, канд. техн. наук, доцент  
*Пономарев А.И.*, канд. техн. наук, доцент  
*Шубин А.А.*, канд. техн. наук, доцент  
*Сломинская Е.Н.*, канд. техн. наук, доцент  
*Пащенко В.Н.*, канд. техн. наук, доцент  
*Бирюкова Е.А.*, канд. филос. наук, доцент

Н34

**Научно-технические технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе** : Всероссийская научно-техническая конференция (Калуга, 14–16 ноября 2023 года) : материалы конференции : в 2 т. / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калужский филиал МГТУ имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». — Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024.

ISBN 978-5-7038-6244-5  
Т. 1. — 426, [2] с. : ил.  
ISBN 978-5-7038-6266-7

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. В первый том сборника вошли материалы секций 1–11.

УДК 378:001.891  
ББК 74.58:72

*Издается в авторской редакции.*

ISBN 978-5-7038-6266-7 (т. 1)  
ISBN 978-5-7038-6244-5

© Калужский филиал МГТУ  
им. Н.Э. Баумана, 2024  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024

***Секция 1. Прогрессивные  
технологии, оборудование  
и инструментальные системы***



УДК 621.95

## Производство хирургических сверл и анализ влияния получаемой геометрии на процесс обработки костных тканей

© Борисов Сергей Андреевич

borisov123467@yandex.ru

SPIN-код: 3493-8290

Бысов Сергей Александрович

bysov.s@bmstu.ru

SPIN-код: 2717-6210

*Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Рассмотрены основные способы обработки поверхностей хирургических сверл. Представлены данные о влиянии геометрических параметров инструмента на протекание производства отверстий в костной ткани. Показана сравнительная характеристика существующих исследований. Сделаны выводы о геометрии, соответствующей оптимальному процессу сверления, что можно применять для дальнейшего изучения и совершенствования конструкций производящихся хирургических сверл, используемых в стоматологии, ортопедии и прочих смежных направлениях медицины.*

**Ключевые слова:** *геометрический параметр, конструкция, инструмент, обработка, сверление, медицина, хирургия*

Хирургические сверла применяются для подготовки ложа, служащего местом установки имплантата. Значения параметров шероховатости и точности размеров поверхностей отверстия являются основными факторами, влияющими на дальнейшую остеоинтеграцию. При обработке важным откликом является значение температуры костных тканей, определяющее вероятность отмирания клеток. При проектировании инструмента учитывается технологичность, расширение возможностей применения, эргономичность. Цель работы — обзор существующих знаний, связанных с производством и работой медицинского инструмента.

Предпочтительные свойства материалов — стойкость, малое значение коэффициента трения, устойчивость к коррозии и воздействию агрессивных химических сред. Основные материалы — инструментальная сталь (17-4PH, 440A, M2), твердые сплавы. Также используется СТМ (сверхтвердый материал), представляющий собой диоксид циркония, частично стабилизированный иттрием, и диоксид алюминия.

Средний диапазон значений диаметра хирургических сверл составляет 1...6 мм, длины — 31...53 мм. Из-за своих малых габаритов сверла изготавливаются монолитными. Для уменьшения термического повреждения также производятся двухступенчатые сверла [1]. Применяется вышлифовывание стружечных канавок. Метод глубинного однопроходного шлифования является самым производительным [2]. Рекомендуется полирование поверхностей стружечных канавок и лезвий режущих кромок для облегчения отвода стружки [1].

Сверла из СТМ изготавливаются способом жароизостатического прессования.

Основные конструкции хвостовиков — «прямой» и универсальный «для углового наконечника». Второй тип производится фрезерованием/точением канавки и фрезерованием лыски.

Применяемое оборудование: заточные станки с ЧПУ, токарные автоматы, электроэрозионные вырезные станки, пятиосевые шлифовальные станки с ЧПУ, оборудование для нанесения покрытий.

Распространенные покрытия — DNT<sup>2</sup> (углеродно-титановое), DLC (алмазоподобный углерод). Основными методами нанесения DLC являются химическое осаждение из паровой фазы с помощью плазмы, физическое осаждение из паровой фазы.

Ряд технологических процессов включает пассивирование для нивелирования врожденной коррозии, помещение в соляной туман для проверки коррозионной стойкости нержавеющей стали, лазерную маркировку для контроля транспортирования изделий, ионное полирование, пескоструйную, ультразвуковую очистку.

Для контроля глубины сверления на режущей части наносится лазерная маркировка темного оттенка. Для производительной смены инструмента на свободной поверхности выполняется цветовая кодировка/лазерная маркировка, содержащая информацию о типоразмере.

Угол при вершине участвует в процессе центрирования сверла. Совместный эффект осевой и тангенциальной сил препятствует определению его оптимального размера [1].

Для заднего угла выбирается оптимальное значение, уменьшение которого приводит к разрушению инструмента, увеличение — большему отводу тепла в сверло. На практике применяется больший задний угол [1].

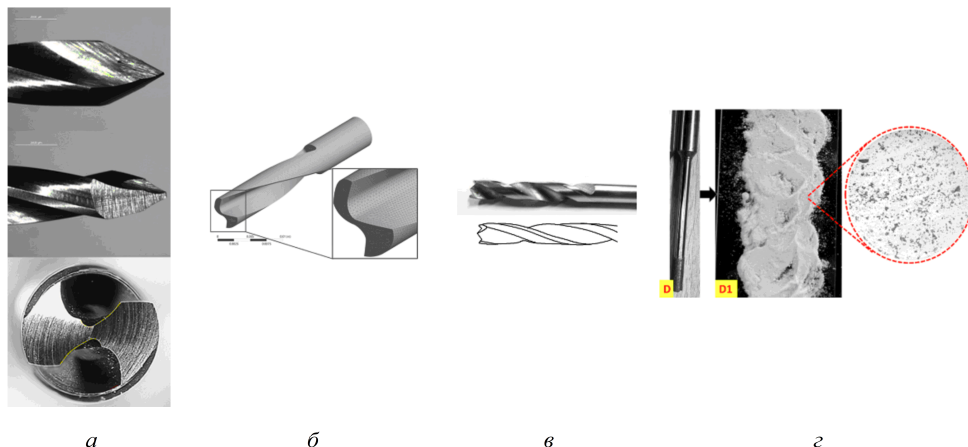
Чем меньше значение угла подъема гелисы, тем меньше температура нагрева. Максимальная температура достигается при угле 40°, это объясняется большой осевой силой и увеличенным количеством стружки, переносимым при малых углах подъема. Однако при значениях 45° и 50° температура уменьшается [3].

При увеличении размеров перемычки площадь трения становится больше, температура растет. Зависящее от рассматриваемого геометрического параметра максимальное значение температуры достигается при величине перемычки, составляющей 50 % диаметра сверла. При большой величине перемычки также ухудшается захват материала, усложняется позиционирование инструмента [3].

На рисунке приведены четыре конструкции сверл различных авторов, рассматриваемые в данной работе.

В статье Enokida Makoto, Kanaya Haruhisa, Uehara Kazutake, Ueki Masaru и Nagashima Hideki предлагается модифицированная модель, обеспечивающая большее значение подачи (в 3,4–7 раз) и меньший нагрев тканей (46,2...73,9 °С). Используется серповидная форма режущих кромок с углом

при вершине  $55^\circ$ ,  $60^\circ$ , задним углом  $28^\circ$ ,  $15^\circ$  соответственно. Уменьшение угла при вершине позволяет увеличить диапазон значений угла наклона сверла к поверхности кости, предотвращая соскальзывание. Малая режущая кромка перемычки обеспечивает уменьшение осевой силы и фрикционного тепла. Форма режущей кромки производится симметричной подточкой со срезанием части поперечной кромки и главных режущих кромок [4].



Хирургические сверла:  
*а* — с серповидной формой режущих кромок; *б* — с параболической формой режущей кромки;  
*в* — с тремя режущими кромками; *г* — с тонкослойной алмазной крошкой

Актуальная разработка Vaidya Pravin, Dutta Abir, Rooj Suparna, Talukdar Rahul, Bhombe Komal, Seesala Venkata, Quazi Syed Zahiruddin, Bandyopadhyay Tapas и Dhara Santanu — сверло с режущей кромкой параболической формы. Данная геометрия обеспечивает более полный контакт поверхностей крепежного изделия и костной ткани. Крутящий момент уменьшается, позволяя использовать более легкие в управлении сверлильные машины. Оптимальные значения переднего угла для уменьшения угла трения составляют  $22,75 \dots 25,44^\circ$ , угла подъема гелисы —  $28^\circ$ . Параболическая форма получается качательным движением заточки. Перемычка не производится [5].

Yang Yi, Chengyong Wang, Qin Zhe, Xu Linlin, Song Yue и Chen Han рекомендуют конструкцию сверла с тремя режущими кромками. Применяется W-образная форма вершины, предотвращающая соскальзывание. Уменьшение осевой силы при скорости сверления  $0 \dots 6000$  об/мин, увеличение при скорости  $6000 \dots 10000$  об/мин, минимум при  $5000$  об/мин. Температура сверления уменьшается при больших скоростях [6].

Agarwal Raj, Gupta Vishal и Singh Jaskaran описали применение тонкослойной алмазной крошки. Она требует меньшей силы резания и при нанесении на режущую часть полого сверла, работающего в условиях вращательного ультразвукового сверления кости, способна производить порошкообразную стружку, уменьшая вероятность возникновения нежелательных скоплений продуктов

обработки. Традиционные и параболические стружечные канавки также облегчают перемещение стружки. Для адгезии алмазного абразивного материала на внутренних поверхностях стержня инструмента используется метод гальванического осаждения [7].

Основное отличие моделей — геометрия режущей части. Положительные тенденции — уменьшение тепловой энергии при одновременном увеличении производительности, изменение лишь отдельных элементов традиционных конструкций, стремление обеспечить более устойчивое положение сверла при врезании, уход от большой величины перемычки, уменьшение осевой силы резания. Недостаток большей части рассмотренных решений — увеличение денежных затрат производства, связанное с дополнительным оборудованием.

В данной работе предлагается использовать конструкцию с серповидной формой режущих кромок из-за более простого изготовления, возможности модифицирования уже имеющихся сверл. Для улучшения процесса сверления возможна обработка поперечной кромки и деление «ленточки» на две поверхности (предотвращение увода сверла, лучшее перемещение стружки).

Работа может быть полезна для анализа современных конструкций хирургических сверл и разработки методов их совершенствования.

Эффективная геометрия хирургического сверла подразумевает уменьшение износа инструмента, легкое перемещение стружки, минимальные механические повреждения кости (расслоение поверхности), предотвращение продолжительной передачи тепловой энергии тканям и возникновения локального термического некроза.

## Литература

- [1] Islam M.A., Kamarrudin N.S., Daud R., Noor F.M., Azmi A.I., Razlan Z.M. A Review of Surgical Bone Drilling and Drill Bit Heat Generation for Implantation. *Metals*, 2022, vol. 12, art. 1900. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/365242684\\_A\\_Review\\_of\\_Surgical\\_Bone\\_Drilling\\_and\\_Drill\\_Bit\\_Heat\\_Generation\\_for\\_Implantation](https://www.researchgate.net/publication/365242684_A_Review_of_Surgical_Bone_Drilling_and_Drill_Bit_Heat_Generation_for_Implantation) (accessed September 16, 2023).
- [2] Палей М.М. *Технология производства металлорежущих инструментов*. Москва, Машиностроение, 1982, 256 с.
- [3] Akhbar A., Faizal M. Drilling of Bone: Effect of Drill Bit Geometries on Thermal Osteonecrosis Risk Regions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H Journal of Engineering in Medicine*, 2018. <https://doi.org/10.1177/0954411918819113>
- [4] Makoto E., Haruhisa K., Kazutake U., Masaru U., Hideki N. An Experimental Comparative Study of Drilling Efficiency and Temperature Elevation with Unmodified and Modified Medical Drills in Pig Tibia Bone. *Heliyon*, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02189>
- [5] Pravin V., Abir D., Suparna R., Rahul T. et al. Design Modification of Surgical Drill Bit for Final Osteotomy Site Preparation Towards Improved Bone-implant Contact. *Heliyon*, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16451>
- [6] Yang Yi, Chengyong Wang, Qin Zhe, Xu Linlin, Song Yue, Chen Han Drilling Force and Temperature of Bone by Surgical Drill. *Advanced Materials Research*, 2010. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.126-128.779>
- [7] Raj A., Vishal G., Jaskaran S. A Novel Drill Bit Design for Reducing Bone-chip Morphology in Orthopaedic Bone Drilling. *Materials Today: Proceedings*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.408>



## Production of Surgical Drills and Analysis of the Effect of the Resulting Geometry on the Processing of Bone Tissue

© | Borisov S.A.

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

| Bysov S.A.

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

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The main methods of surface treatment of surgical drills are considered. Data on the influence of geometric parameters of the tool on the production of holes in the bone tissue are presented. Comparative characteristics of existing studies are shown. Conclusions are drawn about the geometry corresponding to the optimal drilling process, which can be used for further study and improvement of the designs of surgical drills used in dentistry, orthopedics and other related areas of medicine.*

**Keywords:** *geometric parameter, construction, tool, processing, drilling, medicine, surgery*

УДК 621.91.01

## Мобильные приложения для решения технологических задач

© Германов Даниил Александрович  
Малышев Евгений Николаевич

daniil.germanow@yandex.ru  
malen@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Представлено сравнение значений режимов резания, которые рассчитаны вручную и с помощью приложения «FSWizard Pro». Цель доклада — определить достоверность информации, предоставляемой приложением FSWizard Pro. Определено численное соответствие таких значений как, зависимость скорости резания от диаметра заготовки, зависимость подачи на оборот от диаметра заготовки, зависимость подачи на оборот от глубины резания, зависимость скорости резания от материала заготовки, зависимость подачи на оборот от материала заготовки.*

**Ключевые слова:** режимы резания, мобильные приложения, Гузев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В., достоверность аппроксимации

Одной из актуальных научно-технических задач является исследование возможностей мобильных приложений и способности упрощения выполнения задач с их помощью. Выполнение расчетов для решения технологических задач, таких как расчет режимов резания, прочностной расчет узла и т. д., может занимать большое количество времени. В наши дни мобильные приложения стали неотъемлемой частью жизни. Внедрение мобильных приложений в отрасль технологии машиностроения может позволить наиболее эффективно использовать время, отведенное на решение задачи, поскольку отпадает необходимость в глубоком изучении и выполнении расчетов. Также снижается вероятность допущения ошибки. Определив, достоверность информации, предоставляемой в приложении, можно сказать о качестве его использования на практике.

На данном этапе работы выполняется сравнение получаемых значений режимов резания для токарной обработки при задании параметров в приложении FSWizard Pro и при выполнении расчетов вручную, используя справочник «Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением» (далее — «Справочник») [1]. Рассчитаем режимы резания при изменении диаметра заготовки, используя в качестве материала заготовки сталь 45, материала режущей кромки — Р6М5. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

При расчете режимов резания в приложении FSWizard Pro значение диаметра заготовки не влияет на скорость резания, но при расчетах с помощью справочника видно, что скорость резания изменяется при различных значениях диаметра. Диаметр заготовки также не влияет на значение подачи на оборот при расчете в приложении FSWizard Pro, а при расчетах по справочнику — влияет [1]. Рассчитаем режимы резания при изменении параметра

глубины резания, диаметр заготовки — 50 мм, скорость резания — 65 м/с, материал заготовки — сталь 45, материал режущей кромки Р6М5. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 1

## Результаты экспериментов № 1 и № 2

Диаметр заготовки, мм	FSWizardPro		Справочник [1]	
	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
50	65	0,44	68	0,45
80	65	0,44	60	0,54
120	65	0,44	58	0,66

Таблица 2

## Результаты экспериментов № 3

Глубина резания, мм	Подача, мм/об	
	FSWizard Pro	Справочник [1]
2	0,43	0,495
3	0,43	0,440
5	0,43	0,385

При расчетах по справочнику была использована таблица для определения режимов резания для черновой обработки, поэтому не были рассчитаны значения подачи для глубины резания ниже 2 мм [1, 2].

Рассчитаем режимы резания при изменении обрабатываемого материала, диаметр заготовки — 50 мм. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Результаты экспериментов № 4 и № 5

Материал	Твердость, НВ	FSWizard Pro		Справочник	
		Скорость резания, м/с	Подача, мм/об	Скорость резания, м/с	Подача, мм/об
С90700 (CuSn10)	105	236	0,4846	93,75	0,396
Сталь 45	162	65	0,4392	78,30	0,297
X5M (T5)	235	27	0,3800	56,78	0,154
СЧ30	270	18	0,3286	53,55	0,110

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

Таблица 4

## Результаты достоверности аппроксимации

Номер опыта	Достоверность аппроксимации
1	0,68
2	0,38
3	0,95
4	0,54
5	0,07

Было проведено сравнение режимов резания, расчеты которых выполнены вручную и с помощью приложения FSWizard Pro. Также было выявлено численное соответствие этих значений: Зависимость скорости резания от диаметра заготовки — 0,68; зависимость подачи на оборот от диаметра заготовки — 0,38; зависимость подачи на оборот от глубины резания — 0,95; зависимость скорости резания от материала заготовки — 0,54; зависимость подачи на оборот от материала заготовки — 0,07.

## Литература

- [1] Гузеев В.И. (ред.), Батуев В.А., Сурков И.В. *Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: справочник*. Москва, Машиностроение, 2005, 368 с.
- [2] Грубый С.В. *Расчет режимов резания для операций механической обработки*. Вологда, Инфра-Инженерия, 2021, 200 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/192451> (дата обращения 22.05.2023).
- [3] Байбородова Л.В., Чернявская А.П. *Методология и методы научного исследования*. Москва, Юрайт, 2018, 222 с.
- [4] Дрещинский В.А. *Методология научных исследований*. Москва, Юрайт, 2019, 274 с.

## Mobile Applications for Solving Technological Problems

© Germanov D.A.  
Malyshev E.N.

daniil.germanov@yandex.ru  
malen@bmstu.ru

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*A comparison of cutting mode values calculated manually and using the FSWizard Pro application is presented. The purpose of the report is to determine the reliability of the information provided by the FSWizard Pro application. The numerical correspondence of such values as the dependence of cutting speed on the diameter of the workpiece, the dependence of feed per revolution on the diameter of the workpiece, the dependence of feed per revolution on the depth of cut, the dependence of cutting speed on the material of the workpiece, the dependence of feed per revolution on the material of the workpiece has been determined.*

**Keywords:** cutting modes, mobile applications, Guzeev V.I., Batuev V.A., Surkov I.V., approximation reliability

УДК 621.983

## Развитие конструкции исходных листовых заготовок переменной толщины для вытяжки корпусных деталей в отечественной промышленности

© Малышев Александр Николаевич  
Бысов Сергей Александрович

malyshev.an@bmstu.ru  
bysov.s@bmstu.ru  
SPIN-код: 2717-6210

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Выполнен обзор отечественного производственного и научно-исследовательского опыта и отечественной базы интеллектуальной собственности в рамках разработки, производства и применения заготовок переменной толщины для изготовления вытяжкой корпусных деталей.*

**Ключевые слова:** листовая штамповка, вытяжка, исходная заготовка, листовая заготовка переменной толщины

В современном листоштамповочном производстве операция «вытяжка» находит широкое применение для изготовления деталей для машиностроения, электротехники, автомобилестроения, приборостроения, часовой промышленности, медицины, легкой и пищевой промышленности, ракетно-космической техники и т. д. [1], где одним из активно развивающихся направлений является применение исходных листовых заготовок переменной толщины.

Обзор отечественной технической литературы и отечественных баз интеллектуальной собственности позволил определить ряд основных работ [2–14], направленных на применение исходных листовых заготовок переменной толщины для обеспечения требуемых характеристик и качества корпусных деталей, изготовленных «вытяжкой».

Известно исследование [2], в котором на основе метода численного моделирования вытяжки разработаны рекомендации по проектированию и изготовлению дисковых заготовок переменной толщины из листового металла (рис. 1) для уменьшения разнотолщинности деталей летательных аппаратов; рекомендованы к применению заготовки с изменением толщины по линейным, параболическим и логарифмическим законам; изготовлены и применены заготовки переменной толщины для днищ баков сферической и торовой форм для ракетно-космической техники, элементы подшипников скольжения вертолетов и самолетов; бронированные шлемы и облицовки кумулятивных зарядов.

В работе [3] разработана модель расчета предельного коэффициента вытяжки цилиндрических деталей из заготовок переменной толщины и предложены технологии получения дисковых заготовок переменной толщины и схемы проведения вытяжки (рис. 2); в [4] выполнена оценка предельной

степени вытяжки цилиндрических деталей из переменных по толщине дисковых заготовок; в [5] экспериментально определено влияние геометрических параметров дисковых заготовок переменной толщины на толщину стенки оболочковых деталей цилиндрической формы со сферическим дном; в [6] описано исследование металлофторопластовых втулок, изготовленных из дисковой заготовки переменной толщины; в [7] разработаны зависимости оценки коэффициента вытяжки при логарифмическом законе изменения толщины фланца, предложен графоаналитический метод расчета коэффициента вытяжки для произвольного закона распределения толщины фланца.

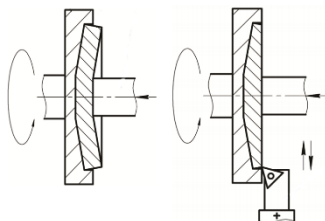


Рис. 1. Схема получения заготовки переменной толщины [2, 13]

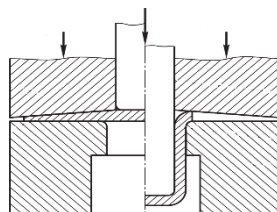


Рис. 2. Схема вытяжки цилиндрической детали из переменной по толщине заготовки [3, 14]

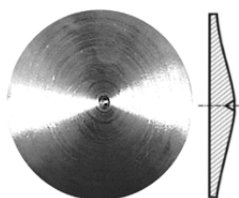


Рис. 3. Дисковая заготовка переменного периодического профиля [8]



Рис. 4. Исходная заготовка для вытяжки корпуса часов [9]

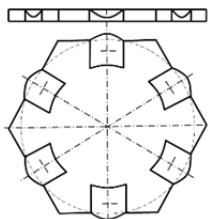


Рис. 5. Исходная заготовка с утонением толщины материала в виде цилиндрических желобов [11]

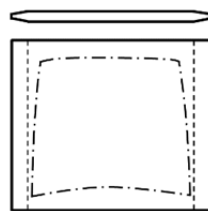


Рис. 6. Исходная заготовка переменной толщины в зонах технологического припуска [12]

Для изготовления заготовки сегментной облицовки кумулятивного заряда в [8] (рис. 3) разработаны рекомендации по ее проектированию и изготовлению с переменным по толщине периодическим профилем. В условиях производства «Часового завода «НИКА» (г. Москва) выполнена работа [9] (рис. 4) по разработке технологии вытяжки часовых корпусов из листовой заготовки с локальным утолщением в местах предполагаемого разрыва; испытаны образцы из латуни Л70 с целью отработки технологии изготовления

часового корпуса из золотых и серебряных заготовок без разрывов во внутренних углах и при минимальном увеличении массы. Известна работа [10] по увеличению жесткости «Корпуса электродвигателя» моторредуктора привода тросового стеклоподъемника посредством применения заготовки переменной толщины.

В патенте RU2056199C1 [11] (рис. 5) описана возможность применения для цилиндрических полуфабрикатов заготовок с утонением в виде цилиндрических желобов; в патенте SU1507494A1 [12] (рис. 6) предложено для кузовных деталей применять заготовки с уменьшенной по краям толщиной; в патенте RU2595307C1 [13] (рис. 1, е) разработано решение по использованию универсального оборудования для изготовления профилированных заготовок; в патенте RU2701437C1 [14] предложено использовать листовую профильную заготовку с постоянной толщиной в центральной части с ее уменьшением к кромке торца до толщины, превышающей ее расчетную толщину, с целью устранения разнотолщинности детали за счет разгрузки зоны передачи усилия в ее донной части.

Настоящее исследование показывает, что современное отечественное листоштамповочное производство имеет производственный и научно-исследовательский задел по обеспечению народного хозяйства качественной продукцией и совершенствованию известных и созданию новых российских прогрессивных технологий, что особенно важно в процессе реализации комплекса мероприятий по достижению и повышению технологического суверенитета [1].

## Литература

- [1] Мальшев А.Н. Идентификация операции вытяжки комбинированных и переменной толщины исходных листовых заготовок. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2022, т. 20, № 9, с. 398–403.
- [2] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Зарубина О.В., Тарасов В.А. Особенности проектирования и изготовления листовых заготовок переменной толщины для вытяжки деталей летательных аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2018, № 6, с. 1–12.
- [3] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Герасимов Н.В., Зарубина О.В., Тарасов В.А. Математическая модель расчета предельного коэффициента вытяжки цилиндрических деталей из листовых заготовок переменной толщины. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2018, № 4, с. 10–18.
- [4] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Тарасов В.А., Зарубина О.В. Оценка предельной степени вытяжки цилиндрических деталей из переменных по толщине дисковых заготовок. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2015, № 1, с. 3–6.
- [5] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Зарубина О.В., Ладов С.В., Никольская Я.М., Федоров С.В. Применение профилированных по толщине заготовок для управления толщиной стенки штампуемых свинцом оболочковых деталей. *Технология металлов*, 2016, № 11, с. 2–8.
- [6] Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Зарубина О.В. Вытяжка металлофторопластовых втулок из дисковых заготовок переменной толщины. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*, 2015, № 7, с. 16–22.
- [7] Левина А.В., Сторожиллов В.А., Фонарев Д.А. Графоаналитический метод предельного коэффициента вытяжки деталей из заготовок переменной толщины. *Политехнический молодежный журнал*, 2018, № 4, с. 1–9.

- [8] Круглов П.В., Болотина И.А. Технология изготовления дисковых заготовок переменной толщины для компактных летательных аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, № 9, с. 1–11.
- [9] Крук П.Е., Прохоров В.С., Попов И.П. *Разработка технологии изготовления часовых корпусов методом вытяжки из разнотолщинной заготовки* / Deform. URL: [https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/deform/deform\\_es14-ssasi.pdf](https://tesis.com.ru/infocenter/downloads/deform/deform_es14-ssasi.pdf) (дата обращения 21.10.2023).
- [10] Малышев А.Н., Бысов С.А., Кухарь В.Д., Коротков В.А., Вихорев В.В. Вытяжка листовых заготовок переменной толщины для изготовления корпусных деталей электротехнической промышленности. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением*, 2021, № 4, с. 30–36.
- [11] Патент Российской Федерации RU 2056199 C1, 20.03.1996. *Заготовка для вытяжки цилиндрического полуфабриката*. RU 2056199 C1. 1993. / Коротков В.А., Яковлев С.С.
- [12] Патент SU 1507494 A1 (СССР), 15.09.1989. *Листовая заготовка для вытяжки кузовных деталей*. SU 1507494 A1. 1989. / Жарков В.А.
- [13] Патент Российской Федерации RU 2595307 C1, 14.04.2015. *Способ изготовления листовых профилированных по толщине заготовок для глубокой вытяжки*. RU 2595307 C1. 2016. / Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Зарубина О.В., Васильева Т.В.
- [14] Патент Российской Федерации RU 2701437 C1, 29.06.2018. *Способ глубокой вытяжки цилиндрических деталей из листовых профилированных по толщине заготовок*. RU 2701437 C1. 2019. / Бабурин М.А., Баскаков В.Д., Зарубина О.В., Буланова В.С.

## Development of the Design of Initial Sheet Blanks with Variable Thickness for Drawing Body Parts in the Native Industry

© | Malyshev A.N.  
Bysov S.A.

malyshev.an@bmstu.ru  
bysov.s@bmstu.ru  
SPIN-код: 2717-6210

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*A review of native production and research experience and the native intellectual property base was carried out in the framework of the design, production and usage blanks with variable thickness for the production of drawing body parts.*

**Keywords:** *sheet stamping, drawing, initial blank, sheet blank with variable thickness*



***Секция 2. Технологии***  
**и машины**  
**сварочного производства**



УДК 621.791

## Выбор оптимальной технологии восстановления и упрочнения поврежденных поверхностей деталей машин, работающих в условиях гидроабразивного износа

© Орлик Антон Геннадьевич	a.g.orlik@yandex.ru
Орлик Геннадий Владимирович	G.V.Orlik@yandex.ru
Глебов Сергей Александрович	saglebov@bpmstu.ru
Петровичев Максим Александрович	petrovichev_ma@bpmstu.ru
Пономарев Олег Игоревич	o-o-p70@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены методики и технологии восстановления и упрочнения поверхностей деталей машин. Приведены основные преимущества и недостатки полуавтоматической наплавки износостойких покрытий различными методами, и делается заключение о целесообразности применения того или иного метода наплавки для восстановления деталей машин, работающих в условиях гидроабразивного износа.*

**Ключевые слова:** *восстановительная наплавка, износостойкие поверхности, гидроабразивный износ, восстановление поверхностей, полуавтоматическая наплавка*

Предприятиями промышленности и сельского хозяйства ежегодно расходуется сотни тысяч тонн металла на изготовление запасных частей и замену ими быстроизнашивающихся деталей: различного рода штампов, рабочих органов дробильных механизмов, деталей землеройных машин, валков прокатных станков, почвообрабатывающих и других машин. При этом затрачивается большое количество труда, увеличиваются простои агрегатов для замены изношенных деталей, снижается производительность машин и аппаратов. Наиболее перспективным методом повышения ресурса работы деталей машин, является наплавка износостойких материалов [1].

Наплавка и поверхностное модифицирование являются универсальными и экономичными методами повышения ресурса работы подвижных сопряжений машин. Детальный анализ свойств наплавочных материалов, их практическое тестирование позволит разработать технологию нанесения износостойких покрытий [2]. Эффективность оборудования или промышленного комплекса во многом зависит от технологических перерывов или аварийных остановок на плановый и аварийный ремонт. Представленные на рынке наплавочные материалы не могут в полной мере покрыть технологическую необходимость при различных видах износа оборудования. Отсюда и возникает необходимость создания такого наплавочного материала на основе наноструктурированных композитов и создания технологии нанесения этого покрытия [3].

Для восстановления деталей машин применяют три основных технологии и механизма создания износостойкой поверхности:

1. Использование таких присадочных материалов, которые обеспечат формирование мартенситной структуры в наплавленном металле. Следует учитывать, что мартенсит как структура закалки является наиболее твердым структурным образованием, однако склонна к отрыву слоя при ударных нагрузках.

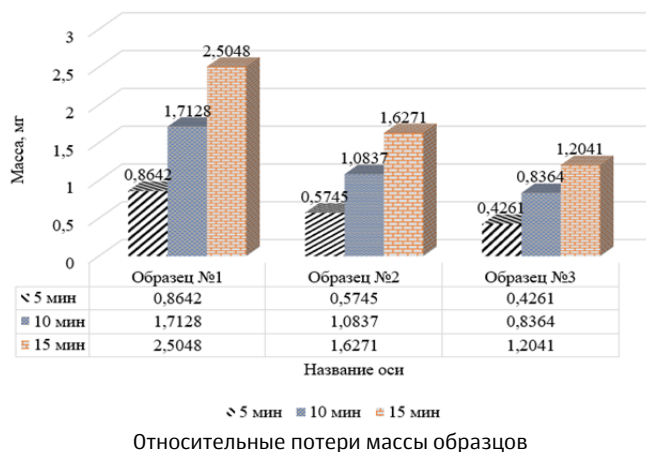
2. Наплавка композитов на железоникелевой основе с применением тугоплавких фаз. В данном способе применяют порошковые проволоки, в состав которых входят «твердые металлы» на основе сочетания карбида вольфрама (до 52 % от общего состава проволоки) и кобальтовой связи [4].

3. Получение покрытий на железной основе с формированием наполнителя непосредственно в наплавленном металле. В состав порошковых проволок, формирующих покрытие такого типа входят Cr, Mo и Nb [1, 5, 6].

Первая технологии имеет низкую себестоимость, однако технологические недостатки в виде хрупкости слоя и его «расслаивании» ограничивают применение при работе деталей в условиях ударно-динамических нагрузок, что значительно ограничивает сферу применения технологии до изделий, работающих в «спокойном» трении.

Применение наплавочных материалов, содержащих значительное количество WC, ограничивается себестоимостью процесса, так как вольфрам является редкоземельным материалом, что в разы повышает затраты на восстановление детали.

Технология получения износостойкого покрытия на железной основе с формированием армирующего наполнителя непосредственно в наплавленном металле предпочтительна, так как не обладает высокой себестоимостью, по сравнению с предыдущей технологией. А также имеет высокие показатели сцепления с поверхностью изношенного изделия за счет минимальных различий матрицы основного металла и наплавленного слоя.



Для определения наиболее оптимального метода восстановления деталей машин был произведен эксперимент на гидроабразивный износ по экспресс методу. По результатам износа составлен график (см. рисунок) относитель-

ных потерь, где образец № 1 выполнен по технологии создания мартенситной структуры, № 2 — содержит в составе проволоки WC, а № 3 выполнен по технологии формирования армирующего наполнителя непосредственно в наплавленном металле.

Таким образом, анализ полученных экспериментальных данных показал, что получение необходимого комплекса свойств при наплавке поверхностей деталей машин, работающих в условиях гидроабразивного и абразивного износа, обеспечивается при полуавтоматической наплавке в среде защитных газов (смеси защитных газов) по технологии, заключающейся в формировании армирующей структуры непосредственно в сварочной ванне.

## Литература

- [1] Коберник Н.В., Орлик А.Г. Получение износостойких антиабразивных покрытий. *Математическое моделирование сложных технических систем*. Москва, 2010, с. 34–38.
- [2] Коберник Н.В., Орлик А.Г., Чернышова Т.А., Чернышов Г.Г. Влияние структуры наплавленных покрытий на стойкость к абразивному износу. *Физика и химия обработки материалов*, 2011, № 5, 18 с.
- [3] Пономарев О.И., Орлик А.Г., Орлик Г.В. Получение износостойких антиабразивных покрытий. *Всероссийская научно-техническая конференция*: в 2 т. Т. 1. Калуга, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021, с. 29–31.
- [4] Branagan D.J. Formation of Nanoscale Composite Coating Via HVOF and Wire-Arc Spraying. *ITSC 2005*. Basel, Switzerland, Mai 2–4, 2005, pp. 539–544.
- [5] Branagan D.J. Dewitrified Nanocomposite Steel Powder. *Powder Metallurgy Alloys and Particulate Materials for Industrial Application*. St. Louis, MO, 2000, pp. 111–122.
- [6] Lima R.S. et al. Microstructural characteristics of cold-sprayed nanostructured WC-Co coatings. *Thin Solid Films*, 2002, vol. 416, pp. 129–135.

## Choosing the Optimal Technology for Restoring and Hardening Damaged Surfaces of Machine Parts Operating under Conditions of Waterjet Wear

© Orlik A.G.	a.g.orlik@yandex.ru
Orlik G.V.	G.V.Orlik@yandex.ru
Glebov S.A.	saglebov@bmstu.ru
Petrovichev M.A.	petrovichev_ma@bmstu.ru
Ponomarev O.I.	o-o-p70@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Methods and technologies of restoration and hardening of surfaces of machine parts are considered in the work. The main advantages and disadvantages of semi-automatic surfacing of wear-resistant coatings by various methods are given, and a conclusion is made about the expediency of using one or another surfacing method to restore machine parts operating under conditions of waterjet wear.*

**Keywords:** *restorative surfacing, wear-resistant surfaces, waterjet wear, surface restoration, semi-automatic surfacing*

УДК 621.791.36

## Дуговой разряд с полым катодом как перспективный технологический инструмент для ремонта лопаток газотурбинных двигателей

© Царьков Андрей Васильевич  
Чирков Владислав Алексеевич

andrey.tsarkov@mail.ru  
chirkov.vladislav.alekseevich@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены методы и технологии ремонта рабочих лопаток газотурбинных двигателей. Представлен металл и химический состав, из которого состоят лопатки турбин. Перечислены достоинства и недостатки методов восстановления. Отображен цикл работоспособности лопаток. Показан эскиз типичных дефектов. Отображена проблема свариваемости жаропрочных никелевых сплавов с высоким содержанием  $\gamma'$ -фазы. В данной работе исследуется возможность использования дугового разряда в вакууме для ремонта поверхности лопаток.*

**Ключевые слова:** дуговой разряд полым катодом, ремонт лопаток, восстановление лопаток посредством наплавки, пайка дефектов лопаток

Энергомашиностроение является важной отраслью экономики России, обеспечивая энергетическую безопасность страны. Однако политический и экономический кризис в 1990-х годах привели к катастрофическому спаду производства энергетического оборудования. В результате Россия столкнулась с зависимостью от импорта техники и технологий. Энергетическая стратегия России до 2035 г. направлена на развитие импортозамещающего производства, чтобы восстановить позиции на рынке энергомашиностроения и снизить зависимость от западных производителей. Газотурбинные двигатели, особенно лопатки турбины, являются сложными компонентами в производстве. Только несколько стран в мире, включая Россию, США, Англию и Францию, обладают технологиями для создания современных газотурбинных двигателей. Лопатки турбины работают в экстремальных условиях высоких температур и центробежных нагрузок, требуя специализированных сплавов с высокими жаропрочными характеристиками. Современное производство лопаток требует дорогостоящего оборудования и редких металлов, что делает их стоимость сравнимой с ценой автомобиля [1].

Редкие металлы, которые применяют при изготовлении лопаток для авиационного двигателя — это цирконий, молибден, ванадий, бериллий, рений. Средняя стоимость сплава без рения составляет где-то от 1 до 2 млн руб./т [2]. Стоимость рений содержащего сплава — 12 млн руб./т. В России одним из наиболее востребованных служит сплав ЖС32, применяемый для изготовления лопаток турбины ГТД.

Сплав ЖС32-ВИ представляет собой трехфазную систему, состоящую из  $\gamma$ -твердого раствора на основе никеля с ГЦК кристаллической решеткой,

дисперсионных выделений упрочняющей  $\gamma'$ -фазы на основе интерметаллидного соединения  $Ni_3Al$  с кристаллической решеткой типа L12 и монокарбида типа MC на основе Ta (Nb, W) C. Химический состав сплава ЖС32-ВИ, % (по массе), приведен ниже [3]:

Ni	Cr	Co	W	Al	Re	Ta	Nb	C	Mo	V	Ce
Основа ...	4,9	9,0	8,5	5,9	4,0	4,0	1,6	0,1	1,0	0,02	0,025

В зависимости от режима работы, лопатки газовых турбин нужно заменять или ремонтировать через 10-30 тыс. часов. Лопатки горячего тракта дорогие, поэтому возрос интерес к восстановлению их посредством наплавки. Ранее этим занимались независимые ремонтные компании, но стали появляться и собственные ремонтные центры производителей [4]. Основные методы ремонта — автоматизированная аргонно-дуговая наплавка, наплавка с помощью  $CO_2$ - и твердотельных лазеров, плазменная наплавка. Недавно начали применяться методы лазерного прямого осаждения металла и холодного напыления.



Рис. 1. Примеры типичных дефектов лопатки ГТД

Наиболее простым и распространенным методом ремонта рабочих лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) является аргонно-дуговая наплавка. Однако этот метод имеет недостатки, такие как образование зоны термического влияния и необходимость последующей термической и механической обработки. Исследования показали, что лазерная технология ремонта обладает преимуществами, однако применение лазерной технологии ограничено свариваемостью никелевых сплавов, что ограничивает ее широкое использование в ремонте лопаток ГТД [4].

Технологии Liburdi позволяют восстанавливать рабочие лопатки в 80 % случаев и придавать им новый гарантированный ресурс, равный первоначальному. Лопатки можно восстановить 3-4 раза, продлевая их жизнь с 25...30 тыс. ч до 75...120 тыс. ч. Восстановленные лопатки стоят компаниям на 35...50 % дешевле новых. В России эти технологии пока мало применяются, хотя они были созданы более 20 лет назад. Вместо этого в стране преобладает простой путь капитального ремонта турбин, при котором заменяются исчерпавшие моторесурс рабочие лопатки на новые [4].

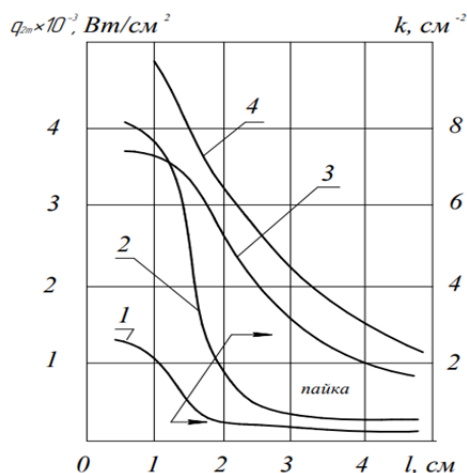
Проблема свариваемости жаропрочных никелевых сплавов с высоким содержанием  $\gamma'$ -фазы остается нерешенной. Это ограничивает применение сварки для ремонта рабочих и сопловых лопаток газотурбинных двигателей. Вместо сварки плавлением чаще используются ремонтные технологии, включающие механическую обработку и замену дефектных лопаток. В данной работе исследуется возможность использования дугового разряда в вакууме для ремонта поверхности лопаток [5]. Столб ДРПК в вакууме является эффективным инструментом для пайки, обладая высокой эффективностью и гибкостью как источник энергии. Процесс дуговой пайки в вакууме включает нагрев поверхности разделки и лопатки до температуры смачивания припоем, затем заполнение разделки порошковой смесью и окончание операции смачивания припоем. Контроль нагрева и охлаждения позволяет гибко управлять процессом и обеспечить качественную напайку.

Для определения необходимой энергии при пайке изделия необходимо учитывать распределение теплоты на его поверхности. Характер распределения мощности нагрева в особенности влияет на предотвращение перегрева или подплавления соединения. Поэтому при расчете распространения тепла необходимо учитывать радиальное распределение мощности нагрева, что требует экспериментального определения его характеристик на изделии. Результаты экспериментов показывают, что эффективный КПД ДРПК находится в пределах 0,75...0,84. Значения как минимум 0,75 соответствуют определенным параметрам режима ДРПК. Основным параметром при регулировании мощности в ДРПК является ток разряда. Однако, в отличие от других типов разрядов, эффективную мощность в центре пятна нагрева ДРПК можно контролировать путем изменения длины дугового промежутка (рис. 2).

В диапазоне параметров режима ДРПК для пайки в вакууме  $q_{2m}$  в пятне нагрева и  $q$ ,  $k$  изменяются в широких пределах:  $q = 100...1200$  Вт,  $q_{2m} = 300...3200$  Вт/см<sup>2</sup>;  $k = 1...12$  см<sup>-2</sup>, что дает возможность плавно управлять процессом нагрева малоразмерных паяных соединений деталей, выполненных из жаропрочных никелевых сплавов [5].

Для выбора оптимальных параметров процесса восстановления дуговой порошковой напайкой в вакууме требуются предварительные исследования. Математическое моделирование процесса может сократить время и материальные затраты на разработку технологического процесса.





**Рис. 2.** Зависимость  $q_{2m}$  и  $k$  в центре пятна нагрева ДРПК от длины дугового промежутка ( $G = 0,5$  мг/с,  $d_k = 0,3$  см):  
 $I = 20$  А, 1 —  $q_{2m}$  2 —  $k$ ;  $I = 50$  А, 3 —  $q_{2m}$  4 —  $k$

Тепловые расчеты показывают, что диапазон толщин деталей и длина паяного соединения могут быть увеличены с использованием равномерного распределения мощности в зоне нагрева и изменения ее формы с использованием сканирования по ортогональным координатам. Решение задач по расчету температурных полей источника на поверхности слоя даст возможность установить зависимость между эффективной мощностью источника и толщиной прогреваемого слоя.

## Литература

- [1] Российский рынок энергооборудования. Аналитический обзор РБК // Магазин исследований. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/issue/48653/> (дата обращения 12.09.2023).
- [2] Техническое задание на технологическое направление в рамках Постановления Правительства РФ № 1312 «Высокоэффективные газотурбинные установки большой мощности с улучшенными характеристиками по эксплуатационной надежности». URL: <https://gigabaza.ru/doc/145257-pall.html> (дата обращения 12.09.2023).
- [3] Фролов В.В. (ред.). Теоретические основы сварки. Москва, Высшая школа, 1970, 592 с.
- [4] Nerovny V.M., Khakhalev A.D. Hollow cathode arc discharge as an effective energy source for welding processes in vacuum. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2008, vol. 41, no. 3, art. 035201.
- [5] Неровный В.М. Измерение теплоэнергетических характеристик дугового разряда с полым катодом, используемого для пайки в вакууме. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, 2015, № 5-1, с. 68–71.

## Hollow Cathode Arc Discharge as a Promising Technological Tool for Repairing Gas Turbine Engine Blades

© | Tsarkov A.V.  
Chirkov V.A.

andrey.tsarkov@mail.ru  
chirkov.vladislav.alekseevich@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article discusses methods and technologies for repairing the working blades of gas turbine engines. The metal and chemical composition of the turbine blades are presented. The advantages and disadvantages of recovery methods are listed. The working cycle of the blades is displayed. A sketch of typical defects is shown. The problem of weldability of heat-resistant nickel alloys with a high content of  $\gamma$ -phase is displayed. In this paper, the possibility of using an arc discharge in vacuum to repair the surface of the blades is investigated.*

**Keywords:** *hollow cathode arc discharge, blade repair, blade restoration by surfacing, soldering of blade defects*

УДК 621.791

## Современные способы повышения износостойкости деталей

© Орлик Антон Геннадьевич	a.g.orlik@yandex.ru
Орлик Геннадий Владимирович	G.V.Orlik@yandex.ru
Глебов Сергей Александрович	saglebov@bmstu.ru
Петровичев Максим Александрович	petrovichev_ma@bmstu.ru
Пономарев Олег Игоревич	o-o-p70@mail.ru
Никулин Константин Дмитриевич	kostik.46rus15@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрено применение современных способов повышения износостойкости деталей. Приведены термодиффузионные методы, электрохимические и электрофизические, а также механические способы упрочнения поверхностей деталей.*

**Ключевые слова:** технологии, износостойкость, современные способы

Современная индустрия сталкивается с проблемой износа и повреждений деталей, которые используются в различных машинах и механизмах. Износ является естественным процессом, однако он может серьезно влиять на производительность и надежность оборудования. Для решения этой проблемы инженеры разрабатывают и применяют различные технологические способы увеличения износостойкости деталей.

Высокая износостойкость закладывается при проектировании и изготовлении за счет соответствующего выбора материала и способа упрочнения. Возможно ее повышение при восстановлении после износа до номинальных размеров за счет наплавки таких сплавов, как: сормайт, вокар, ВК-3, имеющих в своем составе железо, хром, кобальт, никель, вольфрам, молибден. Для их нанесения эффективнее применять плазменную наплавку порошков этих сплавов, которая позволяет получить тонкий слой с хорошей привариваемостью и минимальным перемешиванием в переходном слое основного и наплавляемого металлов. Для механической обработки твердых сплавов могут использоваться инструменты, изготовленные из сверхтвердого материала белмор [1].

Эффективным способом увеличения износостойкости деталей является применение новых металлургических технологий при их изготовлении. Одним из таких методов является легирование металла различными добавками, которые повышают его твердость и стойкость к трению. Кроме того, используются специальные технологические режимы обработки, такие как термическая обработка, направленные на улучшение микроструктуры материала и его механических свойств [2].

Широкое применение имеют термодиффузионные методы:

– цементация — насыщение поверхности углеродом, осуществляемая при выдержке детали в печи-камере при температуре выше точки аустенит-

ного превращения 8–12 ч в среде науглероживающей смеси — карбюризатора. Содержание углерода в поверхности — максимум 1,7 % для деталей, работающих без удара;

– термодиффузионное хромирование, в результате которого содержание хрома в поверхности составляет до 60 %, но убывает до 0 % на глубине доли миллиметра.

При этом твердость по Бринеллю до 900 единиц, увеличивается стойкость к азотной кислоте.

#### **Гальванические способы упрочнения:**

а) твердое никелирование — позволяет восстановить размеры деталей и повысить износостойкость. Толщина покрытий достигает 2 мм. После отжига покрытия при температуре 300...4000 °С в течение 1 ч микротвердость находится в пределах 750...900 Н. Процесс никелирования применяется для упрочнения коленчатых валов, поршневых пальцев, поршней и втулок гидравлических машин.

б) электролитическое фосфатирование — производят после окончательной механической обработки. В зависимости от назначения толщину пленки получают от 0,002 до 0,016 мм и более. Фосфатные пленки облегчают процессы приработки деталей и повышают противозадирные свойства.

в) эмалирование — процесс получения электролитическим путем плотных защитно-декоративных эмалевидных пленок толщиной 0,01...0,12 мм. Эмалевый слой стоек в органических растворителях и кислотах, минеральных маслах и мылах. Слой не растрескивается при ударных и сжимающих нагрузках и выдерживает нагрев до температуры 3000 °С. Твердые эмалированные покрытия получают на алюминии в электролитах, состоящих из растворов щавелевой, борной и лимонной кислот;

г) электролитическое лужение и свинцевание — для коррозионной защиты деталей, облегчения процессов пайки деталей и снижения сопротивления в контактах электро-передающих устройств. В зависимости от назначения детали толщина покрытий оловом составляет 0,5...2,5 мкм, а для свинцовых покрытий — 50...2000 мкм. Лужение производится в кислых и щелочных электролитах, а свинцевание — в борфтористоводородных, кремнефтористоводородных и щелочных электролитах.

**Химические способы нанесения покрытия.** Используются для повышения долговечности и надежности деталей гидравлических машин, аппаратов. Поверхность детали проходит предварительную обработку, достигается определенная чистота обработки, производится обезжиривание и протравливание. Затем деталь погружается в ванну с раствором, содержащим необходимый элемент, который оседает на поверхности детали. Получение заданных свойств достигается последующей химической обработкой [3].

#### **Механическое упрочнение поверхностей деталей.**

а) дробеструйная обработка — проводится на пневматических или центробежных дробометах. Пневматические дробометы используются для обработки внутренних поверхностей или деталей сложной формы (спираль-

ных пружин). Применение стальной дроби дает лучшие результаты, чем чугунной.

Сочетание предварительной упрочняющей термической или химико-термической обработки с обдувкой дробью увеличивает срок службы сварных швов в 3 раза, коленчатых валов — в 9 раз.

б) обкатка роликами и шариками — производится на токарных станках (цилиндрические поверхности) и строгальных (плоские поверхности). Форма поверхности ролика влияет на степень и качество наклепа. Уменьшение диаметра ролика и радиуса скругления контактной поверхности повышают глубину и степень наклепа. Использование шарика вместо ролика заменяет трение качения (рис. 1) на трение качения и вращения (рис. 2). Качество обработки улучшается, время обкатки сокращается [4].

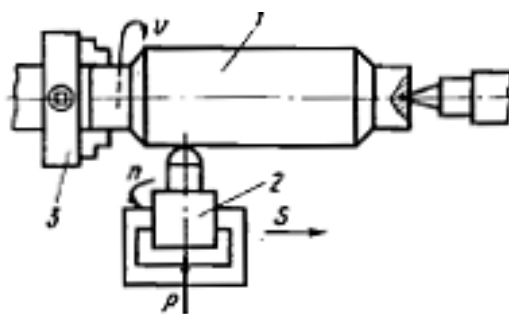


Рис. 1. Схема упрочнения трением вращения

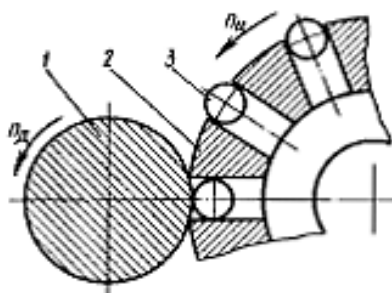


Рис. 2. Схема упрочнения наклепом шариками:  
1 — деталь, 2 — сепаратор упрочняющей головки, 3 — шарик

**Вибрационная обработка** (рис. 3). Кроме упрочнения создает определенный микрорельеф поверхности, который улучшает условия смазки в поверхностях трения. Повышается износостойкость. Упрочняющий инструмент может иметь вибрацию в одном, двух направлениях или совершать комбинированное движение. Способ используется для упрочнения и создания микрорельефа в поверхностях подшипников и цилиндрических втулок.

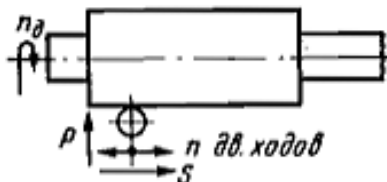


Рис. 3. Вибрационная обработка

Постоянное развитие и совершенствование технологий позволит создавать более надежные и долговечные механизмы, что в свою очередь приведет к более эффективному использованию ресурсов и снижению эксплуатационных затрат [5].

### Литература

- [1] Мамасолиева М.И. Методы повышения износостойкости деталей. *Молодой ученый*, 2017, № 3 (137), с. 121–122. URL: <https://moluch.ru/archive/137/38328/> (дата обращения 09.09.2023).
- [2] Суслов А.Г., Дальский А.М. *Научные основы технологии машиностроения*. Москва, Машиностроение, 2002, 684 с.
- [3] Бутенко В. И., Шаповалов Р. Г. *Структурное состояние сталей и сплавов*. Таганрог, Изд-во ТРТУ, 2004, 60 с.
- [4] Севостьянов В.А., Третьяков Д.В., Рожков Д.А. и др. Перспективные способы восстановления деталей машин. *Молодой ученый*, 2021, № 7 (349), с. 29–30. URL: <https://moluch.ru/archive/349/78559/> (дата обращения 09.09.2023).
- [5] Торьянников А.Ю., Барышников А.А. Определение износостойкости титанового образца в условиях абразивного износа, упрочненного электромеханической поверхностной закалкой с последующей ультразвуковой обработкой. *Молодой ученый*, 2022, № 19 (414), с. 114–117. URL: <https://moluch.ru/archive/414/91432/> (дата обращения 09.09.2023).

### Modern Ways to Increase the Wear Resistance of Parts

© Orlik A.G.  
Orlik G.V.  
Glebov S.A.  
Petrovichev M.A.  
Ponomarev O.I.  
Nikulin K.D.

a.g.orlik@yandex.ru  
G.V.Orlik@yandex.ru  
saglebov@bmstu.ru  
petrovichev\_ma@bmstu.ru  
o-o-p70@mail.ru  
kostik.46rus15@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article discusses the use of modern methods to increase the wear resistance of parts. Thermomdiffusion methods, electrochemical and electrophysical, as well as mechanical methods of hardening the surfaces of parts are given.*

**Keywords:** *technologies, wear resistance, modern methods*

УДК 621.791

## Разработка технологии снижения гидроабразивного износа

© Орлик Антон Геннадьевич	a.g.orlik@yandex.ru
Орлик Геннадий Владимирович	G.V.Orlik@yandex.ru
Глебов Сергей Александрович	saglebov@bmsstu.ru
Петровичев Максим Александрович	petrovichev_ma@bmsstu.ru
Возилкин Илья Сергеевич	ilya24442@yandex.ru
Пономарев Олег Игоревич	o-o-p70@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрена методика восстановления и защиты поверхностей деталей машин от гидроабразивного износа. Проанализированы преимущества и недостатки наплавки износостойких покрытий. Сделаны выводы о необходимости учета состава газовой смеси при проведении работ по восстановлению деталей машин, работающих в условиях гидроабразивного износа.*

**Ключевые слова:** гидроабразивное изнашивание, износостойкие поверхности, газовые смеси, восстановление поверхностей

В современном мире одним из факторов конкурентоспособности предприятия является способность развиваться в существующих условиях, применять новые технологии, эффективно использовать оборудование.

Для эффективной работы предприятия необходимо учитывать износ оборудования и разрабатывать комплекс мероприятий по его снижению. Для этого необходимо создание системы поддержания долговечности оборудования. Данная система должна включать в себя своевременное техническое обслуживание и ремонт. Износ оборудования может возникать вследствие многих причин: старения оборудования, условия эксплуатации, ухудшения защитных свойств внешних покрытий узлов, деталей, оборудования и т. д. [1]. В результате износа ухудшаются технические характеристики оборудования, растет вероятность возникновения поломок и аварий. Все это безусловно приводит к росту брака на производстве, риску возникновения аварий, увеличению затрат при производстве, а также расходов на техобслуживание и ремонт.

На сегодняшний день снижение износа, а также продление срока службы оборудования, деталей является актуальной задачей, которая стоит перед предприятием. Одним из проблемно ориентированным методом решения проблемы повышения износостойкости деталей является наплавка износостойких материалов. Такие детали широко используются в условиях воздействия твердых абразивных частиц при трении на металл.

Гидроабразивное изнашивание является разновидностью абразивного. Износ деталей происходит за счет совместного воздействия на материал детали твердых абразивных частиц и потока жидкости, несущего эти частицы [2].

Такие детали могут применяться в различных отраслях таких как сельское хозяйство, химическая, пищевая промышленность, нефтегазодобывающей отрасли.

Для повышения надежности и долговечности деталей метод наплавки является наиболее эффективным и экономически целесообразным.

При данном методе чаще используют порошковые проволоки с защитными покрытиями и газовые смеси на основе аргона с добавлением углекислого газа. Газовая смесь влияет на степень выгорания легирующих элементов. Структура и эксплуатационные характеристики наплавленных покрытий также зависят от применяемых пропорций газовых смесей [3].

Для проведения анализа сопротивляемости гидроабразивному износу наплавленных слоев применялись пластины Ст.3 толщиной 8 мм. Использовались следующие параметры режима:  $I = 150 \text{ А}$ ,  $U = 25 \text{ В}$ ,  $V_{\text{св}} = 16 \text{ м/ч}$ . Испытания проводились в водной среде на установке Kaercher с использованием в качестве абразива речной песок. Твердость песка по шкале Мооса составляет около 7 единиц. Потерю массы измеряли взвешиванием через каждые 5 минут. Время испытаний 15 минут.

Наплавку выполняли порошковой проволокой диаметром 1,6 мм. Проволока, используемая для нанесения покрытия, имеет следующий состав:  $\text{Fe}^+ < 5 \%$  С,  $< 2,0 \text{ Si}$ ,  $< 0,5 \%$  Мn,  $< 20 \%$  Cr,  $< 10,0$ . Твердость наплавленного металла до 71 HRC, обеспечивается при использовании защитной газовой смеси  $\text{Ar}^{+2} - 20 \%$   $\text{CO}_2$ .

На основании проведенных испытаний можно сказать, что при наплавке проволокой, твердость рабочего слоя по глубине наплавки практически не изменяется. При добавлении углекислого газа поверхностное натяжение расплавленного металла сварочной ванны увеличивается.

Углекислый газ оказывает на металл сварочной ванны окисляющее действие. Применение аргона без примеси углекислого газа дает не вполне удовлетворительную характеристику при сварке металлов. Добавление к аргону углекислого газа улучшает качественные характеристики.

Увеличение углекислого газа в смеси с аргонem приводит к увеличению брызг в процессе сварки. Использование смеси защитных газов аргона с углекислым газом в пропорциях 95 % аргона к 5 % углекислого газа позволяет уменьшить разбрызгивание металла. Чем больше размер брызг, тем активнее идет процесс выделения теплоты. Опытным путем установили, что брызги металла с диаметром более 0,8 мм содержат такое количество теплоты, что привариваются к рабочей плоскости. Впоследствии это приведет к необходимости осуществлять работы по зачистки или подрезки.

При использовании защитного газа с меньшим содержанием  $\text{CO}_2$  на поверхности металла разбрызгивание отсутствует.

В наплавленном металле формируются микроскопические иглы карбидных и карборидных кристаллов. Из этого следует, что устойчивость к гидроабразивному износу выше у наплавленного металла полученного в результате использования защитного газа с меньшим содержанием углекислого газа.



Это происходит в результате увеличения размера игл в наплавленном покрытии. Чем больше толщина игл, тем выше износостойкость наплавленного покрытия. Следовательно, при выборе технологии наплавки необходимо уделять внимание толщине иглы т.к. основное сопротивление разрушению оказывают именно они [4].

В ходе проведенного анализа мы пришли к выводу, что правильно подобранная смесь аргона и углекислого газа имеет следующие преимущества:

- происходит рост производительности при снижении энергозатрат;
- снижаются потери на разбрызгивание металла;
- уменьшаются трудозатраты на удаление брызг с поверхности деталей;
- сварочный шов получается ровным и прочным;
- улучшение условий труда за счет снижения вредного воздействия на здоровье сварщика.

## Литература

- [1] Branagan D.J. Formation of Nanoscale Composite Coating Via HVOF and Wire-Arc Spraying. *ITSC 2005*. Basel, Switzerland, Mai 2–4, 2005, pp. 539–544.
- [2] Branagan D.J. Dewitrified Nanocomposite Steel Powder. *Powder Metallurgy Alloys and Particulate Materials for Industrial Application*. St. Louis, MO, 2000, pp. 111–122.
- [3] Lima R.S. et al. Microstructural characteristics of cold-sprayed nanostructured WC-Co coatings. *Thin Solid Films*, 2002, vol. 416, pp. 129–135.
- [4] Коберник Н.В., Орлик А.Г. Получение износостойких антиобразивных покрытий. *Математическое моделирование сложных технических систем*. Москва, 2010, с. 34–38.

## Choosing the Optimal Technology for Restoring and Hardening Damaged Surfaces of Machine Parts Operating under Conditions of Waterjet Wear

© Orlik A.G.  
Orlik G.V.  
Glebov S.A.  
Petrovichev M.A.  
Vozilkin I.S.  
Ponomarev O.I.

a.g.orlik@yandex.ru  
G.V.Orlik@yandex.ru  
saglebov@bmsstu.ru  
petrovichev\_ma@bmsstu.ru  
ilya24442@yandex.ru  
o-o-p70@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article discusses the technique of restoring and protecting the surfaces of machine parts from waterjet wear. The advantages and disadvantages of surfacing wear-resistant coatings are analyzed. Conclusions are drawn about the need to take into account the composition of the gas mixture when carrying out work on the restoration of machine parts operating under conditions of waterjet wear.*

**Keywords:** *waterjet wear, wear-resistant surfaces, waterjet wear, surface restoration*

УДК 621.791

## Анализ геометрии инструмента для сварки трением с перемешиванием

© Бузырева Дарья Алексеевна  
Громов Алексей Аркадьевич  
Зыбин Игорь Николаевич  
Царьков Андрей Васильевич

dasha.buzyreva@bk.ru  
aleks\_gr\_1600@mail.ru  
igor.zybin@mail.ru  
adrey.tsarkov@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Сварка трением с перемешиванием является прогрессивной технологией соединения металлов. Сварка широко применяется для изготовления сварных конструкций из алюминиевых сплавов. Геометрическая форма пина и заплечика инструмента оказывает существенное влияние на процессы перемешивания металла и тепловыделения в зоне соединения металлов. Это сказывается на условиях формирования сварного соединения. Поэтому изучение влияния геометрии инструмента на формирование сварного соединения является актуальной задачей. Рассмотрены основные виды форм пина и заплечика инструмента для сварки трением с перемешиванием. Показана положительная роль влияния резьб, канавок и других элементов на поверхности пина на условия формирования сварного соединения. Представлены рекомендации по выбору геометрических размеров инструмента, позволяющие получать сварные соединения высокой прочности без дефектов.*

**Ключевые слова:** сварка трением с перемешиванием, геометрия инструмента, пин, заплечик

Сварка трением с перемешиванием (СТП) является перспективной технологией изготовления изделий из алюминиевого сплава. В настоящее время это технология является во многих случаях альтернативой аргонодуговой сварки. В отличие от аргонодуговой сварки при СТП соединение формируется в твердой фазе без расплавления соединяемых металлов. Деформации сварных соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием, минимальны. Прочность сварного соединения достигает 90...95 % от прочности основного металла. Сварка трением с перемешиванием имеет ряд достоинств: незначительная потребляемая мощность, отсутствие необходимости в газовой защите и специальной подготовке кромок соединения перед выполнением сварочных работ, минимальные деформации после сварки. Этот процесс является экологичным, так как при СТП не выделяются вредные газы.

Важную роль при СТП играет геометрия инструмента. Геометрия инструмента отвечает за процессы пластического перемешивания металла в зоне сварки и процессы тепловыделения. Геометрия инструмента дает возможность поддерживать определенную температуру при сварке, что способствует получению качественного сварного соединения без дефектов. Также геометрия инструмента при сварке трением с перемешиванием оказывает

значительное влияние на износостойкость самого инструмента, его прочность и устойчивость к вибрационным воздействиям.

На основании литературных данных [1–3], на рис. 1 представлена классификация видов форм пина инструмента.

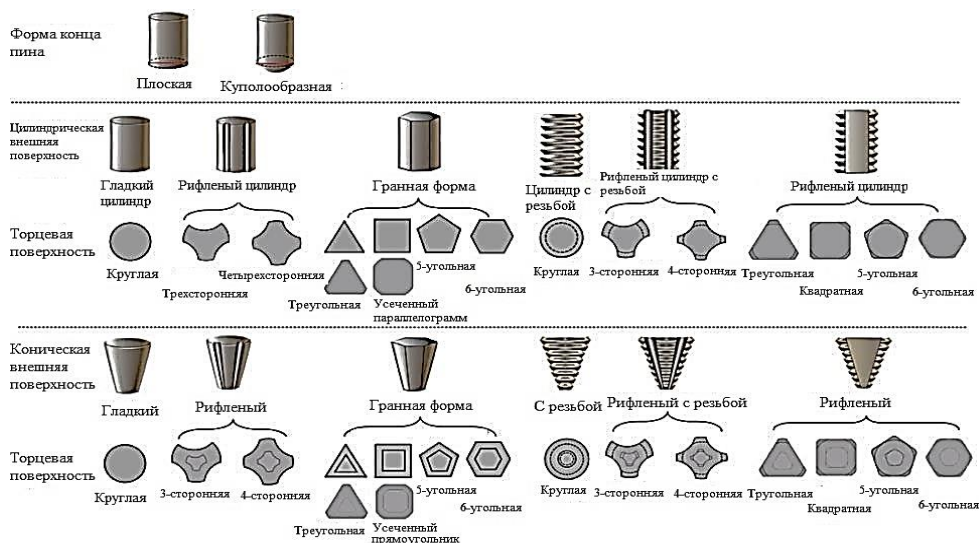


Рис. 1. Классификация видов форм пина инструмента для сварки трением с перемешиванием

Анализ представленных видов форм пина инструмента показал, что пин инструмента может быть цилиндрическим, коническим или иметь гранную форму. На его поверхности могут быть выполнены резьба, канавки и т. д.

Использование цилиндрической или конической поверхностей пина целесообразно для повышения долговечности инструмента. В свою очередь, применение пинов, имеющих резьбу или другие элементы, повышает качество сварного соединения. Например, в работе [2] говорится, что пин резьбой способствует удалению пор и разрушению оксидов металла в зоне сварки. Использование гранной формы позволяет повысить механические характеристики сварного соединения. Применение куполообразной формы конца пина позволяет уменьшить износ инструмента, улучшить качество корня шва [2], а также повысить срок его службы за счет устранения локальной концентрации напряжений.

Следует отметить, что существенное влияние на текучесть металла и на пиковую температуру оказывает и угол конуса пина. Так, увеличение угла конуса пина до  $10^{\circ} \dots 20^{\circ}$  позволяет расширить зону термического и термомеханического воздействия, и приводит к более равномерному распределению температуры по толщине деталей [4].

Длина пина обычно выбирается в зависимости от толщины свариваемых деталей. Выбор длины пина равной  $0,9 \dots 0,95$  от толщины материала позво-

ляет выполнять качественный сварной шов, имеющий высокие механические показатели [5].

Геометрия заплечика инструмента, применяемого при сварке трением с перемешиванием, оказывает существенное влияние на процессы перемешивания металла в верхней части соединения и тепловыделения в этой области. Следовательно, геометрия заплечика способствует образованию качественного сварного соединения.

На рис. 2 представлены основные виды форм заплечика инструмента для СТП.

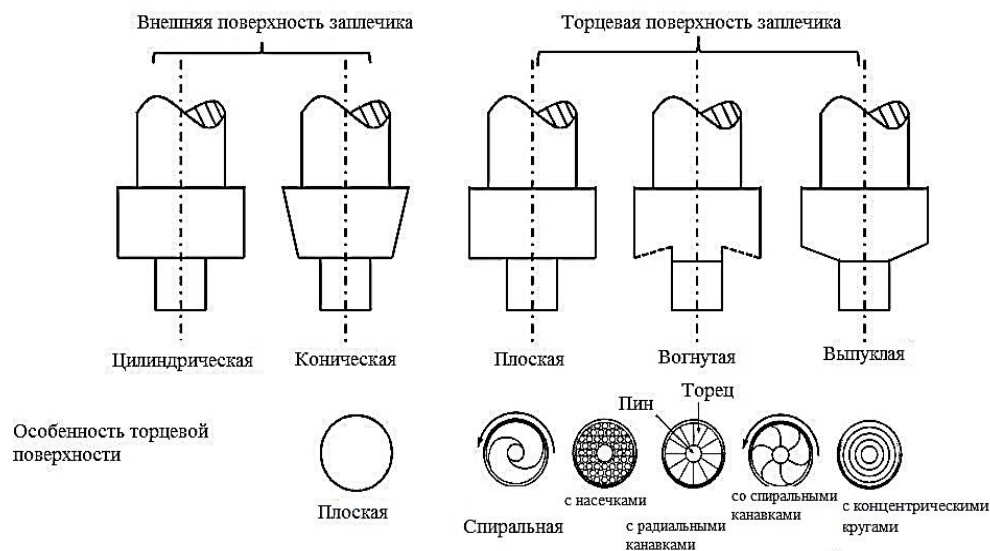


Рис. 2. Основные виды форм заплечика инструмента для сварки трением с перемешиванием

Наличие некоторых элементов на торцевой поверхности заплечика увеличивают трение и перемешивание материала, что способствует повышению качества сварки. В частности, если заплечик имеет спиральные канавки от края к центру инструмента, то процесс перемешивания материала облегчается [1]. При этом вовлекается больший объем металла в процесс его перемешивания, что улучшает условия формирования сварного соединения.

Диаметр заплечика оказывает значительное влияние на механические свойства сварного шва [6]. При малом диаметре заплечика тепло, выделяемое при сварке, может быть недостаточным, качество сварного шва сниженным, а прочностные характеристики получаемого соединения несколько уменьшены. При оптимальном диаметре заплечика может быть достигнута высокая прочность при испытании соединения на растяжение. При значении диаметра заплечика больше оптимального, происходит выделение избыточного количества теплоты, что может приводить к появлению дефектов в зоне соединения.

Исследования, выполненные в работах [7, 8] показали, что выбор диаметра заплечика инструмента напрямую связан с диаметром пина. В частности, в работе [7] при СТП стыкового соединения листов размерами 150×75 мм из алюминиевых сплавов AA2024-T6 и AA7075-T6 толщиной 5 мм инструментом с плоским заплечиком, цилиндрическим пином длиной 4,7 мм было получено оптимальное соотношение диаметра заплечика  $D$  к диаметру пина  $d$ , равное 3. В другой работе [8] при сварке стыкового соединения пластин размерами 55×60 мм из магниевого сплава AZ31 толщиной 2 мм инструментом с плоским заплечиком, коническим пином было получено, что при  $D/d < 3...3,3$  ухудшаются условия формирования сварного соединения, снижается прочность сварного соединения. При таком соотношении диаметров заплечика и пина выделяется количество тепла, недостаточное для качественного перемешивания металлов, что приводит к образованию дефектов в шве.

При более высоком соотношении  $D/d$  (более 3,0...3,3), выделение тепла становится избыточным, т.к. площадь контакта при трении становится больше. По этой причине в зоне сварного шва наблюдается снижение значения твердости. Таким образом, можно сделать вывод, что на основании литературных данных [7–10] оптимальное соотношение диаметра заплечика к диаметру пина составляет около 3, что обеспечивает получение сварного соединения без дефектов с наибольшей прочностью соединения.

**Заключение.** Проведенный анализ показал, что геометрия инструмента оказывает существенное влияние на условия формирования сварного соединения. Для получения сварного соединения с высокой прочностью соединения без дефектов целесообразно выбирать цилиндрическую или коническую формы пина, имеющие резьбовую поверхность, канавки и другие элементы, а также гранную форму поверхности пина. Диаметр заплечика должен выбираться с учетом диаметра пина инструмента, при этом оптимальное соотношение диаметра заплечика к диаметру пина, как правило, составляет около 3.

## Литература

- [1] Pabitra M., Ranit K., An overview on friction stir welding/processing tools. *Materials Today*, 2022, pp. 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.009>.
- [2] Zhang Y.N., Cao X., Larose S. Wanjara P., Review of tools for friction stir welding and processing. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 2012, vol. 51, no 3, pp. 250–261. <https://doi.org/10.1179/1879139512Y.0000000015>
- [3] Madhankumar P., Anbumalar V., A review on progress of different types of friction stir welding tool geometry design. *Australian Journal of Sciences*, 2014, pp. 364–371.
- [4] Jie C., Lei S., Chuansong W., Yuanning J., The effect of tool pin size and taper angle on the thermal process and plastic material flow in friction stir welding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2021, pp. 2847–2860. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-335152/v1>
- [5] Nectarios V., Nikolaos M., Amalia M., Constantine D., The impact of process parameters and pin to shoulder diameter ratio on the welding performance of polycarbonate in FSW. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2023, pp. 4593–4613. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12192-5>

- [6] Salina B., Dzullijah I., Shahrol A., Effect of tool shoulder diameters on surface quality of friction stir welded joints of aluminum alloy 6061. *Conference Series Materials Science and Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/932/1/012114>
- [7] Saravanan V., Rajakumar S., Nilotpal B., Amuthakkannan R., Effect of shoulder diameter to pin diameter ratio on microstructure and mechanical properties of dissimilar friction stir welded AA2024-T6 and AA7075-T6 aluminum alloy joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2016, pp. 3637–3645. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-8695-0>
- [8] Nurul Hidayah O., Mahadzir I., Luqman S., Effect of shoulder to pin ratio on magnesium alloy Friction Stir Welding. *Conference Series Materials Science and Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/238/1/012008>
- [9] Vijayavel P., Sundaram S., Effect of shoulder diameter to pin diameter (D/d) ratio on tensile strength and ductility of friction stir processed LM25AA-5% SiCp metal matrix composites, *Materials & Design*, 2014, vol. 57, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.008>
- [10] Vaidyanaathan R., Sivaraman N., Mahaboob P., A review on the effects of shoulder diameter to pin diameter (D/d) ratio on friction stir welded aluminum alloys. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 45, pp. 4792–4798. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.255>

## Analysis of Tool Geometry for Friction Stir Welding

© Buzyreva D.A.

Gromov A.A.

Zybin I.N.

Tsarkov A.V.

dasha.buzyreva@bk.ru

aleks\_gr\_1600@mail.ru

igor.zybin@mail.ru

adrey.tsarkov@mail.ru

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*Friction stir welding is a progressive technology for joining metals. Welding is widely used for the manufacture of welded structures from aluminum alloys. The geometric shape of the pin and tool shoulder has a significant impact on the processes of metal mixing and heat generation in the metal joining zone. This affects the conditions for forming the welded joint. Therefore, studying the influence of tool geometry on the formation of a welded joint is an urgent task. The main types of pin and tool shoulder shapes for friction stir welding are considered. The positive role of the influence of threads, grooves and other elements on the surface of the pin on the conditions for the formation of a welded joint is shown. Recommendations are presented for choosing the geometric dimensions of the tool, allowing to obtain high-strength welded joints without defects.*

**Keywords:** friction stir welding, tool geometry, pin, shoulder

УДК 621.791

## Особенности изготовления интегрированных панелей жесткости сваркой трением с перемешиванием

© | Машин Илья Сергеевич  
Зыбин Игорь Николаевич

gizivongiz@mail.ru  
igor.zybin@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*К современным способам сварки алюминиевых сплавов относится сварка трением с перемешиванием. Обеспечение жесткого закрепления деталей на столе станка при сварке трением с перемешиванием является актуальной задачей. Для получения качественного соединения важно произвести жесткое закрепление изделий. Показаны две возможные схемы закрепления деталей перед сваркой при изготовлении интегрированных панелей жесткости. Рассмотрены особенности каждой из представленных схем закрепления.*

**Ключевые слова:** сварка трением с перемешиванием, панель жесткости, стыковое соединение, замковое соединение

Сварка трением с перемешиванием (СТП) это инновационный способ соединения материалов. Этим способом свариваются такие материалы, как, медные и магниевые сплавы, стали, сплавы на титановой и никелевой основах, термопластичные полимеры [1]. Также СТП который находит широкое применение при сварке алюминиевых сплавов разной толщины.

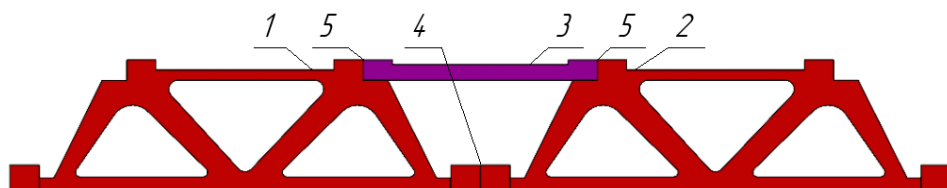
Сварка трением с перемешиванием применяется в области авиационной техники для изготовления корпусов самолетов, топливных баков, панелей жесткости, резервуаров [2]. Также она применяется в области ракетно-космической техники [3]. В автомобилестроении сварка трением с перемешиванием применяется при изготовлении элементов подвески [3]. В вагоностроении СТП используется при сварке вагонов-цистерн, а также при изготовлении интегрированных панелей жесткости, применяющихся при изготовлении полов и стен вагонов поезда, полов самолета.

Способ отличается от дуговых способов тем, что не имеет характерных для сварки плавлением дефектов и сварное соединение, полученное СТП, обладает высокой прочностью [4]. Прочность на растяжение и усталостная прочность сварного шва может составлять 90 % от прочности основного материала [5].

Важным аспектом при реализации этого способа является необходимость применения приспособлений, обеспечивающих жесткое закрепление деталей в процесс сварки. Приспособления играют ключевую роль в обеспечении точности и стабильности процесса сварки трением с перемешиванием. Рассмотрим особенности сварки трением с перемешиванием интегрированных панелей жесткости стен вагона поезда, длина которых может достигать 1800 мм.

При изготовлении интегрированных панелей жесткости для стен вагонов поезда возникает необходимость получения нескольких видов соединений:

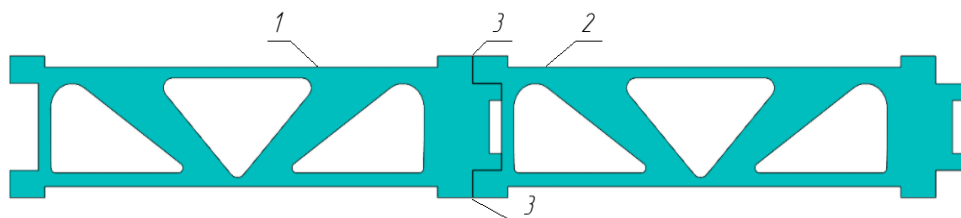
1. Соединение сваркой трением с перемешиванием двух симметричных интегрированных панелей жесткости. В процессе сварки выполняется стыковое соединение панелей и замковое соединение планки с панелями. Поперечное сечение соединения интегрированных панелей жесткости представлено на рис. 1.



**Рис. 1.** Поперечное сечение соединения панелей жесткости:

1 — интегрированные панели жесткости; 3 — планка; 4 — стыковое соединение СПП;  
5 — замковое соединение СПП

2. Соединение ассиметричных интегрированных панелей жесткости с получением замковых соединений. Данный вид соединения показан на рис. 2.



**Рис. 2.** Соединение двух ассиметричных панелей жесткости:

1 и 2 — ассиметричные интегрированные панели жесткости; 3 — замковое соединение СПП

Рассмотрим соединение двух симметричных панелей жесткости между собой. Данное соединение возможно выполнить двумя способами:

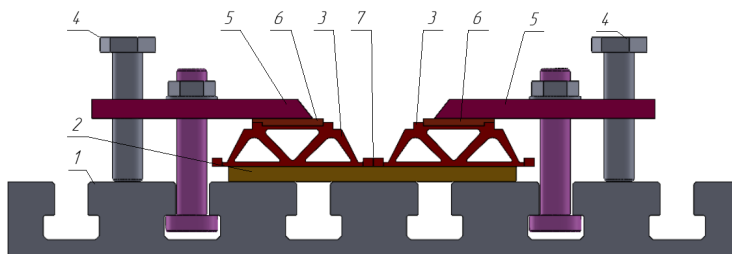
Сущность первого способа заключается в установке интегрированных панелей жесткости 3 на основание 2 и установки пластин 6 между прижимами 5 и изделием 3 (рис. 3). Далее с помощью прижимов панели закрепляются на столе станка. С помощью регулировочного болта обеспечивается регулировка прижимов по высоте панели.

Затем выполняется сварка с целью получения стыкового сварного соединения. После этого устанавливается планка 7 между панелями (рис. 4) и выполняется приварка этой планки к каждой из панелей с формированием замкового соединения.

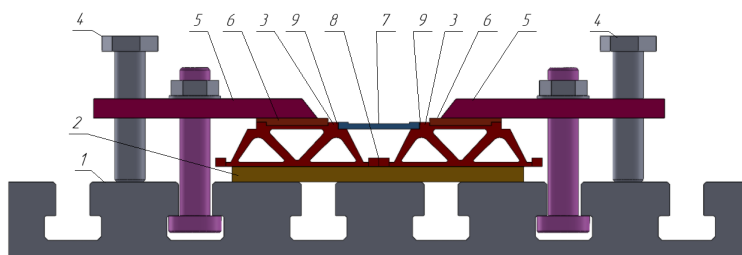
Отметим, что при получении стыкового сварного соединения возникают трудности подвода инструмента в зону соединения металлов вследствие ограниченности свободного пространства. Поэтому следует применять ин-



струмент для СТП большей длины и повышенной жесткости. Применение другой схемы представленной на рис. 5, обеспечивает свободный доступ инструмента к зоне сварки и обеспечивает визуальный контроль при сварке.

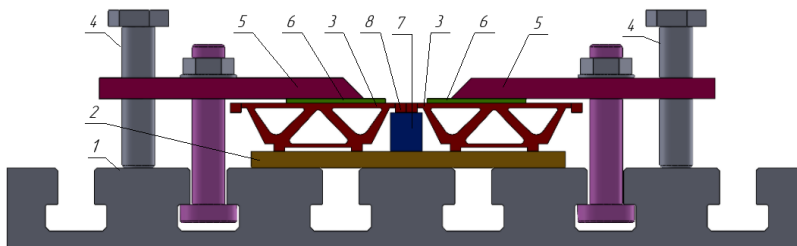


**Рис. 3.** Получение стыкового сварного соединения при СТП двух панелей:  
1 — стол; 2 — основание; 3 — панель жесткости; 4 — регулировочный болт; 5 — прижим;  
6 — пластина; 7 — стыковое соединение СТП



**Рис. 4.** Приварка планки к панелями с формированием замкового соединения:  
1 — стол; 2 — основание; 3 — панель жесткости; 4 — регулировочный болт; 5 — прижим;  
6 — пластина; 7 — планка; 8 — стыковое соединение СТП; 9 — замковое соединение СТП

Для обеспечения жесткости зоны соединения металлов в этом месте устанавливают опору 7 (рис. 5). После получения стыкового сварного соединения сварное изделие переворачивают и выполняют сварку планки к панелям, с получением замкового соединения (см. рис. 4).



**Рис. 5.** Получение стыкового сварного соединения при СТП двух панелей с применением опоры:  
1 — стол; 2 — основание; 3 — панель жесткости; 4 — регулировочный болт; 5 — прижим; 6 — пластина;  
7 — опора; 8 — стыковое соединение СТП

Перестановка сварного изделия требует дополнительное время, что будет увеличивать затраты на изготовление изделия.

Таким образом, при изготовлении интегрированных панелей жесткости целесообразно применять схему изготовления изделий без переустановки панелей, что сокращает затраты на изготовление изделия. При этом следует использовать инструмент повышенной жесткости вследствие ограниченного доступа в зону сварки при получении стыкового сварного соединения

## Литература

- [1] Бакшаев В.А., Васильев П.А., Васильев С.В. Сварка трением с перемешиванием. Контроль параметров и управление процессом. *Сварщик в России*, 2014, № 1, с. 24–27.
- [2] Wang G., Zhao Y., Hao Y. Friction stir welding of high-strength aerospace aluminum alloy and application in rocket tank manufacturing. *Journal of Materials Science and Technology*, 2018, vol. 34, pp. 73–91.
- [3] Brassington W.D.P., Colegrove P.A. Alternative friction stir welding technology for titanium–6Al–4V propellant tanks within the space industry. *Science and Technology of Welding and Joining*, 2017, vol. 22, pp. 300–318.
- [4] Ищенко А.Я., Подельников С.В., Покляцкий А.Г. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов. *Автоматическая сварка*, 2007, № 11, с. 32–38.
- [5] Silva A.C.F., Braga D.F.O., de Figueiredo M.A.V., Moreira P.M.G.P. Ultimate tensile strength optimization of different FSW aluminium alloy joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, vol. 79, pp. 805–814.

## Features of Manufacturing Integrated Stiffness Panels by Friction Welding with Mixing

© Machin I.S.  
Zybin I.N.

gizivongiz@mail.ru  
igor.zybin@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Currently, modern methods of welding aluminum alloys include friction welding with mixing. In the process of manufacturing a product by friction welding with mixing, the question arises of fixing them. Ensuring the rigid fastening of parts on the machine table during friction welding with mixing is an urgent task. To obtain a high-quality connection, it is important to make a rigid fastening of the products. Rigid fastening will ensure higher accuracy of the process and the process will be more stable, which in turn reduces the likelihood of defects. It is also important that the device is simple, economical and the process of fixing the products takes as little time as possible. Two possible schemes of fixing parts before welding in the manufacture of integrated stiffness panels are shown. The features of each of the presented fastening schemes are considered.*

**Keywords:** *friction welding with mixing, stiffness panel, butt joint, lock joint*

УДК 621.791

## Методы определения остаточных напряжений в сварных изделиях

© Громов Алексей Аркадьевич  
Бузырева Дарья Алексеевна  
Зыбин Игорь Николаевич

aleks\_gr\_1600@mail.ru  
dasha.buzyreva@bk.ru  
igor.zybin@mail.ru

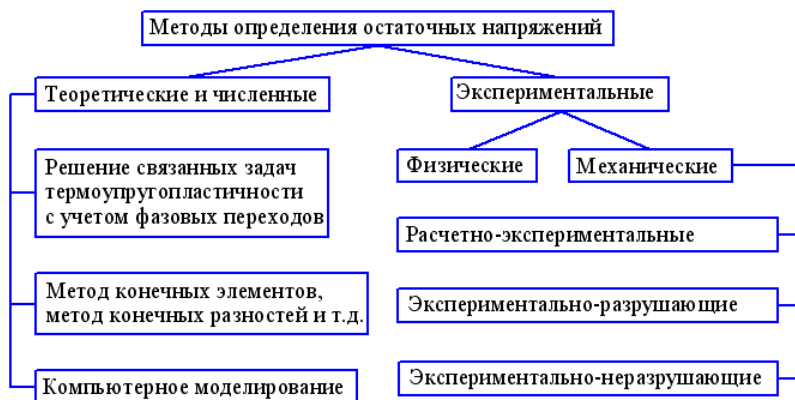
Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Остаточные напряжения могут оказывать существенное влияние на работоспособность и долговечность сварных изделий. Поэтому анализ методов определения остаточных напряжений в сварных изделиях является актуальной задачей. В работе рассмотрены особенности применения теоретических и численных методов определения остаточных напряжений. Указаны условия и задачи, которые необходимо решать при применении теоретических и численных методов. Рассмотрены особенности экспериментальных методов определения остаточных напряжений с указанием основных отечественных и зарубежных стандартов.*

**Ключевые слова:** напряжения, методы определения остаточных напряжений, деформации

Остаточные напряжения могут быть одной из причин разрушения сварной конструкции, что говорит об актуальности и важности их определения. При этом основная трудоемкость их определения заключается в том, что остаточные напряжения уравновешены по материалу сварной конструкции.

В настоящее время для определения остаточных напряжений в деталях и сварных конструкциях используются различные методы, которые по способу определения напряжений можно подразделить на теоретические и численные, и экспериментальные (см. рисунок) [1].



Классификация методов определения остаточных напряжений в сварных конструкциях

В теоретических методах обычно разрабатывается математическая модель, позволяющая описать структуру формирования остаточных напряжений. Часто такие модели разрабатываются в программных пакетах (например, Cosmos Works, Abaqus, Ansys, основанных на методе конечных элементов) общего назначения, не предназначенных непосредственно для решения специфических сварочных термомеханических задач. В этих случаях необходимо решать вопросы, связанные со сходимостью вычислительного процесса и моделированием напряженно-деформированного состояния. Решение этой задачи представляется достаточно сложным, поскольку необходим совместный учет нестационарных механических, тепловых, физико-механических и других процессов, протекающих в материалах (основном и присадочном) при сложных краевых условиях. Такие факторы, как зависимость физико-механических и теплофизических свойств от температуры, динамический характер нагрева и охлаждения, учет структурных и фазовых превращений, учет зон термического влияния значительно усложняют расчет деформаций (или перемещений) и напряжений. Большой эффективностью характеризуются специально разработанные для конкретных целей программные продукты.

Теоретические методы в основном базируются на методе фиктивных сил и решении обратной температурной задачи деформируемой среды.

К теоретическим методам определения остаточных напряжений относятся все методы решения задач термоупругопластичности. Для описания неизо-термического деформирования металла часто применяют уравнение теории течения с условием текучести по Мизесу без упрочнения, с изотропным или анизотропным упрочнением [2].

При постановке задачи, связанной с вычислениями остаточных напряжений, важную роль на начальном этапе играют принимаемые допущения и ограничения. В случае недостаточно обоснованных принятых допущений и ограничений, например, при задании зависимостей физико-механических и теплофизических характеристик от температуры, особенно при температурах, близких к точке плавления, теоретические расчеты могут давать лишь приближенную оценку распределения остаточных напряжений.

Наряду с разработками новых математических моделей и программных пакетов, направленных на создание и совершенствование аналитических и численных методов большое развитие и применение находят экспериментальные методы определения остаточных напряжений.

В зависимости от того какой измеряемый параметр или какая физическая характеристика принимается за основу расчета экспериментальные методы подразделяются на физические и механические (см. рисунок).

Физические методы основаны на определении изменения свойств материала под воздействием остаточных напряжений. Эти методы (например, поляризационно-оптический, электромагнитный, рентгеновский, ультразвуковой и т. д.) относятся к неразрушающим, что является их достоинством. Основные недостатки таких методов связаны с необходимостью проведения достаточно точных измерений, как правило, невозможностью установления

распределения остаточных напряжений по сечению деталей, при этом зачастую возникают затруднения в интерпретации полученных результатов [3].

Физические методы определения остаточных напряжений можно отнести к косвенным. Это связано с тем, что эти методы используют некоторые аппроксимирующие функции, полученные экспериментальным путем (иногда и теоретическим) и отображающие объективно существующую связь регистрируемых изменений параметров используемого поля с фактически произошедшими изменениями состояния материала, обычно выражаемого отдельными механическими характеристиками или иной совокупностью его характеристик. Эта связь определяется многими факторами и является следствием вторичных явлений преобразования внутренней энергии материала, сопровождающих процесс изменения его состояния. Следовательно, область правомерного применения физических методов ограничивается адекватностью применяемых аппроксимирующих функций исследуемым процессам.

Отметим также, что иногда разные физические методы определения остаточных напряжений на одних тех же деталях дают разные результаты. Это не свидетельствует о том, что один метод дает более точные результаты, а другой менее точные. Это говорит о взаимосвязях тех или иных параметров, характеризующих конкретный метод с напряжениями, которые к тому же могут быть разных родов. Например, сравнивая рентгеновский и акустический методы можно понять почему результаты измерения внутренних напряжений этими методами должны быть разными. В первом случае определяющим фактором является деформация на микроуровне, создающая напряжения 3-го рода, а во втором — совокупность напряжений 1-го и 2-го родов. А все три рода напряжений, при всей неразрывности связи их между собой, имеют не только существенно разные величины, но и разный характер и, могут иметь разные знаки. Более того, иногда рентгеновский метод, реагирующий на микродеформации, определяющие напряжения 3-го рода, тарируют на образцах по усилиям растяжения или сжатия, т. е. фактически по напряжениям 1-го рода, допуская грубую ошибку, о которой могут и не подозревать.

Механические методы подразделяются на расчетно-экспериментальные, экспериментально-разрушающие и экспериментально-неразрушающие. Эти методы основаны на принципе упругой разгрузки при полном или частичном освобождении от остаточных напряжений методом полного или частичного разрушения [4].

К расчетно-экспериментальным относятся методы, в которых на основании данных физико-механических и теплофизических свойств материалов, термокинетических диаграмм структурных изменений и фазовых превращений, а также внешних силовых и тепловых воздействий аналитически или численно вычисляются значения остаточных напряжений и строятся эпюры их распределения по сечению деталей различных форм и размеров.

К экспериментально-разрушающим относятся методы, в которых выполняется последовательное полное разрушение детали путем последовательного снятия слоев металла с поверхности детали (например, обточкой или расточ-

кой по методу Закса, Давиденкова и т. д.) или частичное разрушение детали путем высверливания отверстий (метод отверстий), нарезки канавок (метод канавок) или вырезки столбиков (метод столбиков). Методы отверстий, канавок или столбиков относятся к малоразрушающим, так как зачастую на поверхностях деталей могут быть допущены такие углубления, а на заготовках иногда их можно создать в пределах припуска на последующую обработку.

В настоящее время малоразрушающие методы определения остаточных напряжений получили наиболее интенсивное развитие. Их основные преимущества перед разрушающими состоят в том, что объект в процессе исследования не теряет целостности, воздействие носит локальный характер, разрушению часто подвергается часть объема металла, входящая в припуск под механическую обработку. Однако при этом малоразрушающие методы в подавляющем большинстве направлены на определение остаточных напряжений на поверхности или в приповерхностном слое детали.

В экспериментально-неразрушающих методах определение остаточных напряжений выполняется по перемещениям или деформациям, которые возникают в результате наведения в детали поля остаточных напряжений. Особенностью этих методов является то, что при определении остаточных напряжений деталь не разрушается и может быть пригодной к эксплуатации [5].

Рассматривая механические методы определения остаточных напряжений, как прямые, не следует забывать о том, что определяются этими методами не остаточные напряжения, а только перемещения или деформации, вызванные наличием этих напряжений. Таким образом, для определения остаточных напряжений необходимо производить пересчет этих перемещений или деформаций в остаточные напряжения с помощью разработанных или известных математических моделей и формул, которые в свою очередь создавались с учетом ряда условностей и допущений. О корректности принятых условностей и допущений и о той погрешности в вычислениях, которые они дают, сказать достаточно трудно.

Перед определением остаточных напряжений экспериментальным или теоретическим методом необходимо знать фактические механические характеристики материала, а также характеристики напряженно-деформированного состояния материала. Без знания этих характеристик не следует требовать получения абсолютных величин внутренних напряжений, — их не с чем сравнивать. В этих случаях будет более грамотным говорить о качественных изменениях поля напряжений. При постановке задачи следует тщательно подойти к заданию исходных данных, принятию краевых условий, допущений и ограничений [6].

В настоящее время существует ряд стандартов, связанных с определением остаточных напряжений, разработанных как в России, так и зарубежом. Все они основаны на различных методах определения остаточных напряжений.

Среди многообразия имеющихся стандартов по определению остаточных напряжений для их применения в области сварных изделий следует обратить внимание на следующие стандарты: ГОСТ Р 52891–2007 (основан на опреде-

лении остаточных напряжений методом лазерной интерферометрии), ГОСТ Р 57172–2016 (основан на определении остаточных напряжений методом инструментального индентирования. К международным стандартам относятся следующие стандарты:

ASTM E837-20 (основан на определении остаточных напряжений тензометрическим методом при сверлении отверстий), ASTM E2860-20 (основан на определении остаточных напряжений методом рентгеновской дифракции для подшипниковых сталей), ASTM E1426-14 (2019) (основан на определении рентгеновских упругих констант для их применения при определении остаточных напряжений с использованием метода дифракции рентгеновских лучей).

Таким образом, проведенный анализ методов определения остаточных напряжений в сварных изделиях показал, что в настоящее время наряду с экспериментальными методами широкое использование находят и теоретические. При этом следует применять специальные программные обеспечения, разработанные для решения специфических сварочных задач. Среди экспериментальных методов целесообразно использование механических. При этом для конкретных условий решения сварочных задач следует обратить внимание на имеющиеся отечественные и зарубежные стандарты, в частности, на стандарты, указанные в настоящей статье.

## Литература

- [1] Jiang Guo, Haiyang Fu, Bo Pan, Renke Kang. Recent progress of residual stress measurement methods: A review. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2021, vol. 34, iss. 2, pp. 54–78.
- [2] Сальманов И.Д., Барановский М.Ю., Тарасов В.А. Остаточные напряжения и деформации при сварке. *Строительство уникальных зданий и сооружений*, 2014, № 12, с. 64–75.
- [3] Withers P.J., Bhadeshia H.K.D.H. Residual stress. Part 1: Measurement techniques. *Materials Science and Technology*, 2001, vol. 17, pp. 355–365.
- [4] Bahadur A., Kumar B.R., Kumar A.S., Sarkar G.G., Rao S. Development and comparison of residual stress measurement on welds by various methods. *Materials Science and Technology*, 2004, Vol. 20, iss. 2, pp. 261–269.
- [5] Rossini N.S., Dassisti M., Benyounis K.Y., Olabi A.G. Methods of measuring residual stresses in components. *Materials & Design*, 2012, vol. 35, pp. 572–88.
- [6] Leggatt R.H. Residual stresses in welded structures. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 2008, vol. 85, pp. 144–151.

## Methods for Determining Residual Stresses in Welded Products

© | Gromov A.A.  
Buzyreva D.A.  
Zybin I.N.

aleks\_gr\_1600@mail.ru  
dasha.buzyreva@bk.ru  
igor.zybin@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Residual stresses can have a significant impact on the performance and durability of welded products. Therefore, the analysis of methods for determining residual stresses in welded products is a relevant and important task that must be solved when designing welded structures. Moreover, the main difficulty in determining them lies in the fact that the residual stresses are balanced across the material of the welded structure. The work also examines the features of the application of theoretical and numerical methods for determining residual stresses, and provides a classification of methods for determining residual stresses in welded products. The conditions and problems that need to be solved when applying theoretical and numerical methods are indicated. The features of experimental methods for determining residual stresses are considered, indicating the main domestic and foreign standards that exist and are currently used.*

**Keywords:** *stresses, methods for determining residual stresses, deformations*



***Секция 3. Физика***  
**конденсированного состояния**  
**и электронная техника**



УДК 621.317

## Влияние паразитных компонентов формируемых на резисторах при измерении временных параметров

© Чубурков Александр Евгеньевич  
Кузнецов Вадим Вадимович

chuburkov2015@mail.ru  
vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрено влияние паразитных емкостных формирований в теле резистора на точность и надежность при измерении временных параметров сигналов, таких как время включения, время выключения, задержка времени включения, задержка времени выключения, время нарастания, время спада и переходных процессов. Проведены расчеты, на основе которых построен график зависимости временных параметров от мощности резистора. Приведены варианты решения минимизации влияния емкости резистора, такие как использование металлопленочных резисторов и подходящих условий измерений. Автором доклада делается вывод, что при увеличении мощности резистора, увеличивается погрешность измерения временных параметров.*

**Ключевые слова:** *временные характеристики, емкость резистора, паразитные компоненты, измерение, достоверность*

В современной электронике одной из ключевых задач обеспечивающей выполнение критериев годности является измерение временных параметров. Точность и надежность таких измерений напрямую зависят от правильного выбора и использования компонентов, включенных в измерительные цепи [1]. Несмотря на прогресс в разработке новых технологий, резисторы до сих пор остаются одним из широко используемых элементов для создания различных схем, допустим для ограничения тока или деления напряжения [2].

Хотя резистор и является довольно популярным компонентом, они могут стать причиной возникновения нежелательных эффектов при измерении временных параметров. Любой компонент в электрической цепи обладает паразитными параметрами параметрами, которые не свойственны типу этого компонента, такими как шум, индуктивность и емкость [1]. В данной статье рассмотрено влияние паразитных емкостных формирований в теле резистора на точность и надежность при измерении временных параметров.

При измерении временных параметров сигналов, таких как время включения, время выключения, задержка времени включения, задержка времени выключения, время нарастания, время спада и переходных процессов, важной задачей является минимизация влияния паразитных компонентов на достоверность получаемых результатов [1].

Паразитная емкость возникает из-за наличия диэлектрика между проводниками резистора. Также возникает межвитковая емкость, формируемая в проводящем слое, разделенном изолирующей канавкой. Емкость резистора

влияет на форму сигналов и вызывает задержку в передаче сигнала, что приводит к ошибкам в измерениях временных параметров [3, 4].

Влияние паразитной емкости описывается следующей формулой [1]:

$$\tau = RC,$$

где  $R$  — сопротивление резистора;  $C$  — собственная емкость резистора.

Проведены исследования резисторов марки С2-23 с помощью измерителя LCR E7-12, показывающего характер изменения измеряемого параметра с размерностью времени от мощности исследуемого резистора. Для наглядности, эксперимент проведен на резисторах с сопротивлением 36 кОм. Исследовалось пять типов корпуса с разной рассеиваемой мощностью: 1 тип — 0,125 Вт, 2 тип — 0,25 Вт, 3 тип — 0,5 Вт, 4 тип — 1 Вт, 5 тип — 2 Вт. Результаты исследований представлены ниже.

Тип корпуса .....	1	2	3	4	5
$C$ , пФ .....	0,034	0,062	0,078	0,308	0,520

Проведен расчет постоянной времени исследуемых резисторов:

$$\tau_{0,125} = 36 \cdot 10^3 \dots 0,034 \cdot 10^{-12} = 1,224 \cdot 10^{-9} \text{ с};$$

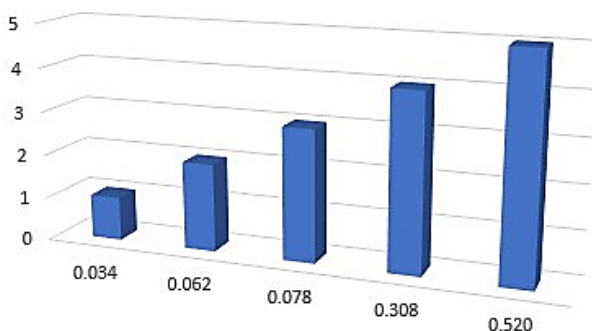
$$\tau_{0,25} = 36 \cdot 10^3 \dots 0,062 \cdot 10^{-12} = 2,232 \cdot 10^{-9} \text{ с};$$

$$\tau_{0,5} = 36 \cdot 10^3 \dots 0,078 \cdot 10^{-12} = 2,808 \cdot 10^{-9} \text{ с};$$

$$\tau_1 = 36 \cdot 10^3 \dots 0,308 \cdot 10^{-12} = 11,088 \cdot 10^{-9} \text{ с};$$

$$\tau_2 = 36 \cdot 10^3 \dots 0,520 \cdot 10^{-12} = 18,72 \cdot 10^{-9} \text{ с}.$$

Результаты расчета представим графически (см. рисунок).



Зависимость временных параметров от типа корпуса резистора

На основе полученных данных даны следующие рекомендации. Использовать специальные резисторы с минимальными паразитными эффектами, такие как металлопленочные резисторы с низкой индуктивностью и емкостью. Это может значительно снизить влияние резистора на измеряемые временные параметры. Учитывать паразитные эффекты при проектировании

схемы и предусмотреть соответствующие компенсационные меры. Например, можно использовать дополнительные компоненты, такие как конденсаторы и индуктивности. Минимизировать длину соединительных проводников. Она может вносить дополнительные паразитные эффекты. Использовать резисторы с низким температурным дрейфом, а также проводить измерения при стабильной температуре. Применять специальные методы измерения, такие как компенсационные методы или использование дополнительных измерительных схем для коррекции искажений [2].

Таким образом, поступательно исследуя вышеописанный процесс, автором доклада делается вывод, что временные параметры непосредственно зависят от типа корпуса резистора. Также приводятся варианты решения возникшей проблемы.

### Литература

- [1] Salman E. *Switching Noise and Timing Characteristics in Nanoscale Integrated Circuits*, 2011, pp. 135–140.
- [2] Пасынков В.В., Сорокин В.С. *Материалы электронной техники*. Санкт-Петербург, Лань, 2002, 481 с.
- [3] Уваров А.С. *PCAD-2002 и SPECCTRA. Проектирование печатных плат*. Москва, СОЛОН-Пресс, 2003, 524 с.
- [4] Муромцев Д. Ю., Тюрин И. В., О. А. Белоусов О. А. *Конструирование устройств электронных средств*. Ростов-на-Дону, Феникс, 2013, 540 с.

## Influence of Parasitic Components Formed on Resistors at Measurement of Time Parameters

© Chuburkov A.E.  
Kuznetsov V.V.

chuburkov2015@mail.ru  
vadim.kuznetsov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The influence of parasitic capacitive formations in the body of the resistor on accuracy and reliability at measurement of time parameters of signals, such as time of switching on, time of switching off, delay of time of switching on, delay of time of switching off, time of rising, time of falling and transients is considered. Calculations are made, on the basis of which the graph of dependence of time parameters on the resistor power is plotted. Solution options for minimizing the influence of resistor capacitance, such as the use of metal-film resistors and suitable measurement conditions, are given. The author of the report concludes that when the power of the resistor increases, the error of measurement of time parameters increases.*

**Keywords:** *time characteristics, resistor capacitance, parasitic components, measurement, reliability*

УДК 621.372.822

## Изготовление волноводов устройств сверхвысокочастотного излучения с полимерными углекомпозитными каркасами и металлическими проводящими оболочками

© Платошин Владимир Олегович  
Андреев Владимир Викторович

platoshinvo@student.bmstu.ru  
vladimir\_andreev@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрен один из перспективных и инновационных в настоящее время метод изготовления волноводов сверхвысокочастотных (СВЧ) устройств с полимерным углекомпозитным несущим каркасом и металлической проводящей оболочкой, а также рассмотрены особенности их изготовления и преимущества данной технологии. Рассмотрены области применения данного метода при производстве волноводов СВЧ устройств и основные характеристики таких волноводов. Рассмотрена зависимость толщины скин-слоя от частоты для разных материалов. В работе показано, что использование данной технологии обеспечивает ряд преимуществ, таких как снижение веса, повышение прочности и долговечности, а также возможность создания более сложных форм и конфигураций. Это открывает новые возможности для развития СВЧ-технологий и создания более эффективных и надежных устройств.*

**Ключевые слова:** волноводы, СВЧ-диапазон, композитные материалы, углепластик, полимерные материалы

В настоящее время существуют различные методы изготовления волноводов устройств СВЧ излучения с полимерными каркасами, а также методы формирования токопроводящего покрытия в таких волноводах [1–4]. В статье [2] демонстрируется, что любой материал, отвечающий ряду критериев, может быть успешно применен для создания СВЧ волноводов. Эти критерии включают высокую коррозионную стойкость, высокую жесткость и прочность, низкий коэффициент теплового расширения и др. Требования, предъявляемые к токопроводящему покрытию СВЧ волноводов заключаются в следующем: высокая проводимость, минимальные потери, отсутствие окислов и загрязнений, высокая точность геометрических размеров, низкая шероховатость и др. [1–4].

Следует отметить, что токи в волноводах текут лишь по скин-слою  $\delta$  — глубине, на которой плотность потока внутри проводника уменьшается в  $e$  раз ( $e = 2,71828...$  — основание натурального логарифма). При увеличении частоты электромагнитных волн, уменьшается глубина проникновения тока в поверхностный слой (рис.1). Данные на рис. 1 получены с использованием зависимостей, описанных в статье [1].

Практическая часть работы представляет собой рассмотрение способа разработки волновода с полимерным углекомпозитным каркасом и металли-

ческой проводящей оболочкой, а также описание процесса изготовления и используемых технологий.

Была разработана волноводная сборка, состоящая из алюминиевых волноводов из сплава АК-9 с проводящим покрытием из меди, серебра и цинка с шероховатостью  $R_z$  20, внутреннее сечение которой составляло  $23 \times 5$  мм. Данный волновод работает на частоте 10 ГГц (рис. 2, а).

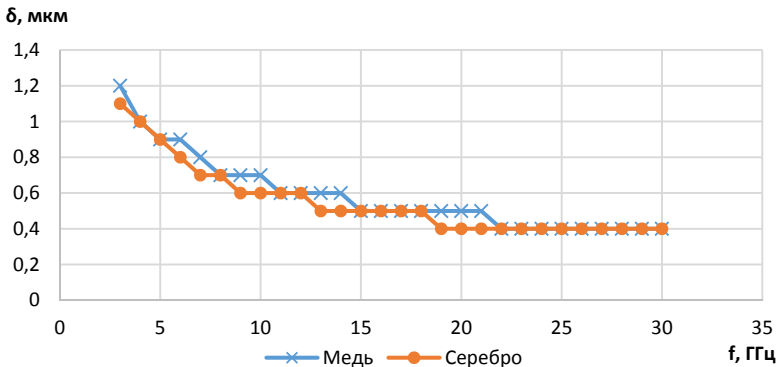


Рис. 1. Зависимость толщины скин-слоя от частоты для меди и серебра

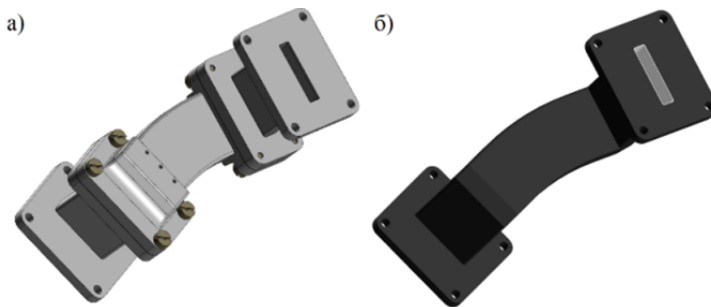


Рис. 2. Модели волноводов:

а — из алюминиевого сплава, б — с углекомпозитным каркасом и металлической проводящей оболочкой

Задачей данной работы являлась разработка более устойчивого к коррозии волновода, размеры, вес и характеристики которого не будут уступать алюминиевому волноводу. Для изготовления такого волновода необходимо разработать две формы. Внутренняя форма (рис. 3, а) в данной технологии изготавливается из алюминиевых сплавов, так как они хорошо подходят

для осаждения металлических пленок, легко удаляются в специальных растворителях и позволяют воспроизводить различные сложные формы и выступает в качестве основания для формирования токопроводящего

покрытия волновода и полимерного каркаса. Внешняя форма (рис. 3, б) необходима для проведения операций по формированию внешней поверхности каркаса и элементов для крепления методом вакуумного формирования [3]. В нашем случае она будет состоять из двух стальных частей и двух крышек.

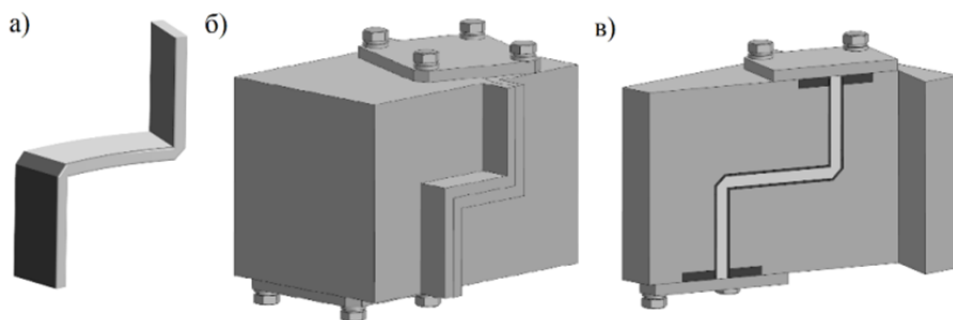


Рис. 3. Модели форм:

а — внутренняя форма, б — внешняя форма, в — внутренняя и внешняя форма в сборе

Предлагается использовать волновод с каркасом из углекомпонитной ткани марки УТ-900-3, внутренняя металлическая проводящая оболочка которого покрыта слоем цинка, меди и серебра на толщину, значительно превышающую толщину скин-слоя на частоте 10 ГГц. Каркас из углекомпонитной ткани удовлетворяет требованиям повышенной коррозионной стойкости и сохранения характеристик исходного волновода. Медь обладает хорошей электропроводностью и теплопроводностью, уступающей только серебру, серебро устойчиво к окислению в различных средах, цинк позволяет обеспечить эффективную антикоррозийную защиту.

В рассматриваемом случае на предварительно обработанную для соблюдения требуемой шероховатости [5] внутреннюю форму осаждают пленки гальваническим методом поэтапно: цинк толщиной 1...2 мкм, медь — 2...3 мкм, серебро — 23...30 мкм, медь — 100...150 мкм. Затем они просушиваются, обезжириваются, декапируются и покрываются слоем латуни толщиной 5...10 мкм, после чего снова просушиваются. Затем заготовку покрывают углекомпонитной тканью марки УТ-900-3 и помещают во внешнюю форму, в которой формируют фланцы, и закрывают форму (рис. 3, в). Далее осуществляют нагрев методом вакуумного формирования и после остывания извлекают заготовку из формы. После чего при нормальной температуре и давлении происходит отверждение в течении 24 часов и дополнительное постотверждение в духовом шкафу. На завершающем этапе полученную структуру помещают в горячий раствор щелочи до полного растворения внутренней формы. В избытке растворов щелочей алюминий растворяется с образованием комплексных солей. После этого осуществляется промывка и сушка готового волновода (рис. 2, б).



Таким образом, определена зависимость толщины скин-слоя в металле от частоты. Рассмотрены преимущества предлагаемого метода и описаны основные этапы для его реализации. Разработан волновод с каркасом из углекомпозитной ткани внутренняя металлическая проводящая оболочка которого покрыта слоем цинка, меди и серебра, а также оснастка для его изготовления.

## Литература

- [1] Чураков Д.В., Янковская Н.Ф., Раменская Е.В., Филиппов Ю.А. Волновод с полимерным корпусом. *Решетневские чтения*: в 2 ч. Ч. 1. Красноярск, Изд-во ФГБОУ ВО «СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева», 2015, с. 493–495.
- [2] Болгов В.В., Тайгин В.Б., Грудинин Г.Н. Сверхлегкие волноводы антенн из полимерных композиционных материалов с металлической проводящей оболочкой. *Решетневские чтения*: в 2 ч. Ч. 1. Красноярск, Изд-во ФГБОУ ВО «СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева», 2015, с. 76–78.
- [3] Михеев П.А. Анализ способов изготовления волноводных устройств из композитных материалов. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*: в 2 т. Т. 2. Красноярск: Изд-во ФГБОУ ВО «СибГУ имени академика М.Ф. Решетнева», 2018, с. 603–604.
- [3] Dugin N.A., Zaboronkova T. M., Krafft C., Belyaev G.R. Carbon-Based Composite Microwave Antennas. *Electronics*. 31.03.2020. Available at: <https://www.mdpi.com/2079-9292/9/4/590/html> (accessed October 02, 2023).
- [4] Хоменко И.И., Раводина Д.В., Михеев А.Е., Ереско Т.Т., Ереско С.П. Метод изготовления волновода с токопроводящим вакуумным покрытием. *Сибирский аэрокосмический журнал*, 2015, т. 16, № 3, с. 690–694.

## Manufacturing of waveguides for microwave radiation devices with polymer carbon-composite frames and metal conductive shells

© | Platoshin V.O.  
Andreev V.V.

| platoshinvo@student.bmstu.ru  
| vladimir\_andreev@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*This paper examines one of the currently promising and innovative methods for manufacturing waveguides for ultra-high frequency (microwave) devices with a polymer carbon composite load-bearing frame and a metal conductive shell, and also discusses the features of their manufacture and the advantages of this technology. The areas of application of this method in the production of waveguides for microwave devices and the main characteristics of such waveguides are considered. The dependence of the skin layer thickness on frequency for different materials is considered. The work shows that using this technology provides a number of advantages, such as weight reduction, increased strength and durability, and the ability to create more complex shapes and configurations. This opens up new opportunities for the development of microwave technologies and the creation of more efficient and reliable devices.*

**Keywords:** *waveguides, microwave range, composite materials, carbon fiber, polymer materials*

УДК 621.382

## Калибровка установки, предназначенной для измерения вольтамперной характеристики устройств, защищающих от электростатического разряда

© Ломакин Семен Андреевич  
Кузнецов Вадим Вадимович  
Андреев Владимир Викторович

lomakinsa@student.bmstu.ru

vadim.kuznetsov@bmstu.ru

vladimir\_andreev@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Приведена типовая схема системы импульса линии передач, используемой для измерения и построения вольтамперных характеристик (ВАХ) защитных устройств. Разработана установка на основе этой системы, для которой применены два основных метода ее калибровки: по напряжению и по току. На основе измерения ВАХ стабилитрона выведены калибровочные коэффициенты, которые учитываются при обработке экспериментальных данных, полученных с использованием разработанной установки.*

**Ключевые слова:** вольтамперная характеристика, полупроводниковый прибор, электростатический разряд, калибровка, метод импульса линии передачи

Одной из основных задач современной микроэлектроники является разработка высоконадежных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, способных работать при различных критических воздействиях, таких как электростатический разряд, сильные электрические поля, радиационные излучения и т. д. [1, 2]. Среди различных методов оценки влияния электростатического разряда (ЭСР или Electrostatic Discharge, ESD) на микроэлектронные устройства наиболее информативным и широко применяемым является модель импульса линии передач (Transmission Line Pulse, TLP). Система TLP [3] используется для анализа поведения защитных устройств на основе их вольтамперных характеристик, что позволяет определить, насколько устойчиво и эффективно работает устройство при воздействии различных уровней электростатического разряда.

Типовая система TLP, представленная на рис. 1, устроена следующим образом: коаксиальный кабель (RG-58 или RG-316) заряжается до напряжения от высоковольтного источника [4]. При замыкании ключа (к примеру, реле), кабель разряжается в цепь с тестируемым устройством (Device Under Test, DUT), создавая импульс по форме близкий к прямоугольному. Этот импульс проходит через П-образный LC-фильтр второго порядка и аттенюатор, после чего на тестируемом устройстве через датчики регистрируются осциллограммы напряжения и тока. Измерение амплитуды выходных сигналов позволяет установить точку, которая впоследствии отмечается

на ВАХ. Затем на источнике повышается напряжение, и данные операции повторяются до тех пор, пока не достигнет необратимый тепловой пробой защитного устройства.

Однако без дополнительной настройки и анализа системы TLP нельзя непосредственно определить значение тока, при котором происходит отказ. Разрядный импульс, прежде чем достигнет тестируемого устройства, проходит через аттенуатор и ряд других сопротивлений в цепи, которые сложно определить. Кроме того, для снятия формы напряжения и тока на осциллографе требуется добавить согласующее сопротивление в цепи измерения, а также дополнительные аттенуаторы для предохранения входов осциллографа от перегрузки. В результате уровень стрессового напряжения и тока на осциллограммах может отличаться от их истинных значений. Поэтому для построения реальной вольтамперной характеристики защитного устройства необходимо провести калибровку системы [5], то есть определить коэффициенты масштабирования, которые связывают измеренные величины с их реальными значениями.

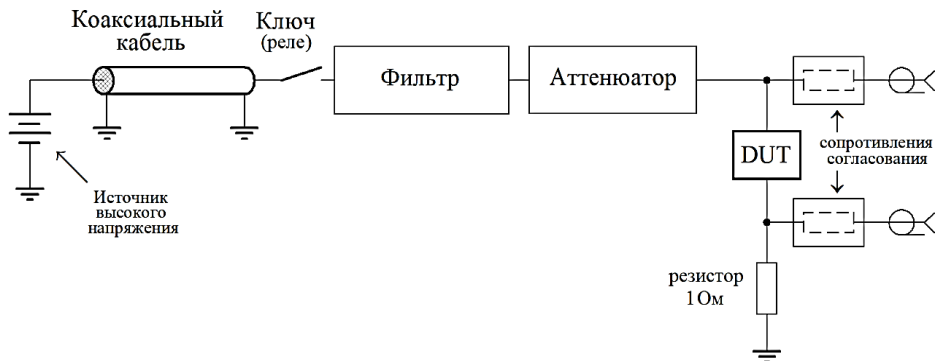


Рис. 1. Типовая схема построения системы TLP

Для калибровки по напряжению системы TLP применяется стабилитрон [6, 7], подключенный в обратном смещении в цепь вместо тестируемого устройства. В данном методе выбирается стабилитрон с известным напряжением стабилизации.

Была разработана установка TLP, на которой проводились измерения для ее последующей калибровки. Использовался кремниевый стабилитрон типа 2С168А с номинальным напряжением стабилизации 6,8 В. На рис. 2 изображен график, на котором отображены результаты измерения стабилитрона разработанной установкой. Из-за наличия некоторой погрешности в экспериментальных данных была проведена их частичная аппроксимация.

По полученному графику требуется определить точку, где происходит резкое возрастание тока, указывающее на начало нелинейных эффектов. Значение этой точки, которое составляет 254 мВ, и представляет собой напряжение стабилизации 6,8 В. Отсюда вычисляется коэффициент пропорциональности по напряжению, равный 0,027 В/мВ.

Далее проводится калибровка установки по току [7] с использованием резистора известного сопротивления. Аналогично, после эксперимента выстраивается вольтамперная характеристика по измеренным величинам напряжения и тока, а также рассчитывается сопротивление наклона прямой. Полученное значение сравнивается с известным сопротивлением измеряемого резистора. Эта разница сопротивлений является мерой величины погрешности системы ТЛР. Затем вычисляется разность токов, как разность отношений напряжения (6,8 В) на известное и вычисленное сопротивление. Данная величина сопоставляется с измеренным током в точке 254 мВ на ВАХ стабилитрона. Таким образом выводится коэффициент пропорциональности по току, который составляет 0,001 А/мА.

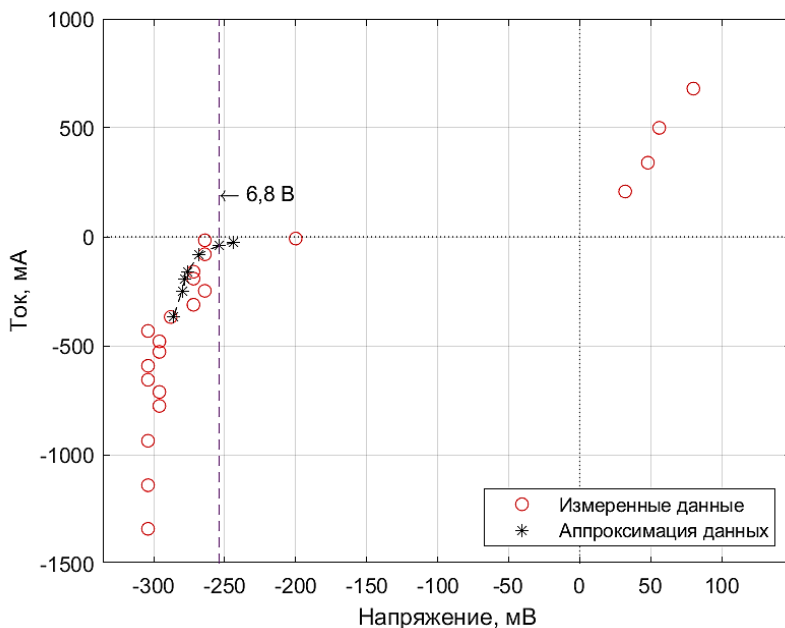


Рис. 2. Результаты измерения ВАХ стабилитрона без калибровки

Вычисленные коэффициенты соотносятся со значениями оставшихся точек из набора экспериментальных данных. На рис. 3 представлен график интерполированной и откалиброванной ВАХ стабилитрона.

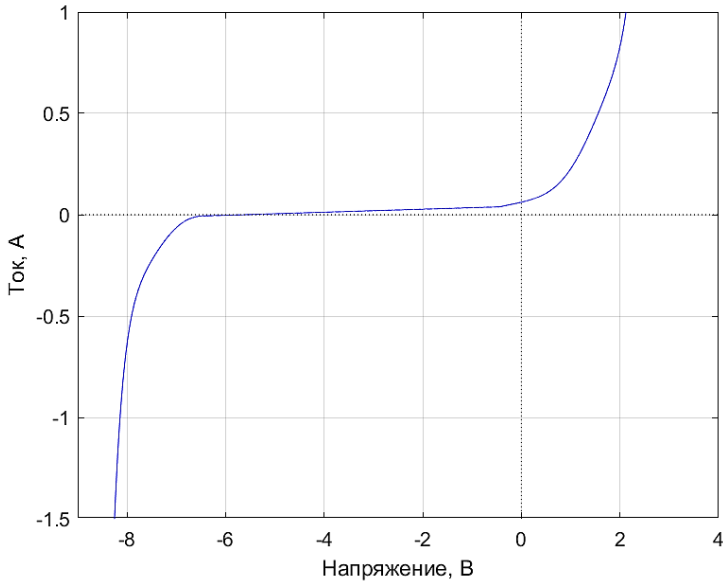


Рис. 3. Откалиброванная ВАХ стабилитрона

В результате проделанной работы была рассмотрена система TLP, по принципу которой была разработана установка, предназначенная для измерений ВАХ защитных устройств от воздействия ЭСР. С использованием двух методов калибровки были выведены поправочные коэффициенты, которые в дальнейшем будут применяться для обработки экспериментальных данных, полученных при тестировании устройств на данной TLP-установке.

## Литература

- [1] Kuznetsov V. HBM, MM, and CBM ESD Ratings Correlation Hypothesis. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2018, vol. 60, no. 1. pp. 107–114. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2017.2700492>
- [2] Andreev D.V., Maslovsky V.M., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modified Ramped Current Stress Technique for Monitoring Thin Dielectrics Reliability and Charge Degradation. *Phys. Status Solidi A*, 2022, vol. 219, iss. 9, art. 2100400(1-5). <https://doi.org/10.1002/pssa.202100400>
- [3] Voldman S.H. ESD Basics: From Semiconductor Manufacturing to Product Use. John Wiley & Sons, 2012, 226 p.
- [4] Максимов И.В., Кузнецов В.В., Андреев В.В. Исследование модернизированной схемы защиты от электростатического разряда КМОП ИМС серии 1564. *Технологии электромагнитной совместимости*, 2017, № 4 (63), с. 35–41.
- [5] Barth J.E., Verhaege K., Henry L.G., Richner J. TLP calibration, correlation, standards, and new techniques. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 2001, vol. 2, no. 2. pp. 99–108. <https://doi.org/10.1109/6104.930960>
- [6] Muhonen K., Grund E., Ashton R. High-Speed TLP and ESD Characterization of ICs. *2021 IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS)*, 2021, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/BCICTS50416.2021.9682498>

- [7] BS IEC 62615:2010. Electrostatic discharge sensitivity testing — Transmission line pulse (TLP). *Component level*, 2011, 24 p.

## Calibration of an Installation Designed to Measure the IV-curve of Devices that Protect against Electrostatic Discharge

© | Lomakin S.A.  
Kuznetsov V.V.  
Andreev V.V.

lomakinsa@student.bmstu.ru  
vadim.kuznetsov@bmstu.ru  
vladimir\_andreev@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The paper present a typical schematic of the TLP system used for measuring protecting devices IV-curves. A physical setup has been developed based on this schematic and two calibration methods were applied for this setup. The calibration coefficients were derived from the IV-curve of the Zener diode. This calibration data is used for the processing of experimental data obtained from the measurements.*

**Keywords:** *VI characteristic, semiconductor device, electrostatic discharge, calibration, transmission line pulse method*

УДК 519.6

## Некоторые сведения о численных методах параметрического синтеза робототехнических систем

© | Власовский Алексей Игоревич  
| Андреев Владимир Викторович

tfzmystery6@gmail.com  
vladimir\_andreev@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Выполнен обзор численных методов параметрического синтеза робототехнических установок. Предложен новый подход к вычислению и представлению манипулятивных параметров механизмов для улучшения качества работы электронной системы управления. Показаны особенности и преимущества предложенного подхода. Продемонстрированы экспериментальные диаграммы зависимостей между параметрами робототехнических установок.*

**Ключевые слова:** параметрический синтез, манипулятивность, численное моделирование, метод, механизмы параллельной структуры

Создание высокопроизводительных роботов, используемых в области механической обработки и измерений, является одним из направлений машиностроения. В основе проектирования таких механизмов лежит процесс параметрического синтеза [1].

Задача синтеза параметров для робототехнической установки осложняется по мере увеличения количества звеньев механизма и усложнения его кинематической структуры. Получение вторичных характеристик рабочей зоны синтезируемого робота аналитическими методами затруднено в силу усложнения математической модели кинематики установки. Детально процесс синтеза установки продемонстрирован в статье [2].

Усложнение кинематики робототехнических систем значительно влияет на работу электронной системы управления. Чем больше информации о манипулятивных характеристиках установки получает система управления, тем эффективнее составляет алгоритм работы и тем меньше нагрузка на силовые ключи, управляющие актуаторами [3].

Для упрощения процесса параметрического синтеза применяются численные методы анализа математической модели, однако зачастую такие методы предоставляют только конкретный набор величин звеньев, удовлетворяющих математической модели и заданным уравнениям связи для робототехнической установки. Понимание зависимостей между характеристиками манипулятивности механизма, величинами длин звеньев и наложенными уравнениями ограничений позволило бы качественно улучшить процесс параметрического синтеза и помогло бы упростить анализ математической модели установки.

Для решения данной задачи предлагаются методы численного моделирования, основанные на решении обратной задачи кинематики механизма [2, 4]. Описанные методы, в совокупности со способами отображения параметров

работа на диаграмме, позволяют определить множество дополнительных манипулятивных параметров: распределение коэффициента сервиса по рабочей зоне, интерполированные границы зон полного сервиса, оценку среднего коэффициента сервиса групп механизмов.

Рассмотрим применение предложенных методов на механизме параллельной структуры (рис. 1). Детальный анализ представленного механизма представлен в статьях [2, 4, 5].

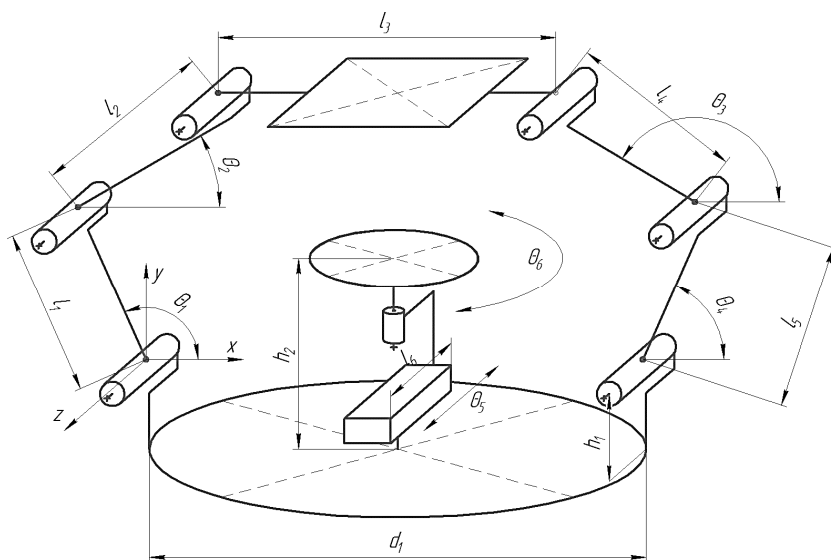


Рис. 1. Схема исследуемого механизма

При помощи предложенных методов получена диаграмма (рис. 2) распределения коэффициента сервиса по рабочей зоне пятизвенного механизма параллельной структуры [5–7]. Яркость точки на диаграмме пропорциональна коэффициенту сервиса: чем ярче точка, тем больше сервис.

С помощью полученных данных легко интерполировать границы рабочей зоны и границу зоны полного сервиса.

Предложенными методами можно получить оценку зависимости между средним коэффициентом сервиса и длинами звеньев исследуемой робототехнической установки (см. рис. 1). Длину звена 2 оставим постоянным, а звенья 1 и 3 будем изменять в некотором диапазоне с шагом 2 миллиметра. Полученная диаграмма (рис.3) демонстрирует среднее значение коэффициента сервиса для 2500 механизмов с различными длинами звеньев 1 и 3. Яркость точки в данном случае обратно пропорциональна коэффициенту сервиса.

Полученная диаграмма наглядно выявляет множество механизмов с высоким средним коэффициентом сервиса, а также выявляет наличие линий оптимального среднего коэффициента сервиса для механизмов со специфичным соотношением длин звеньев.



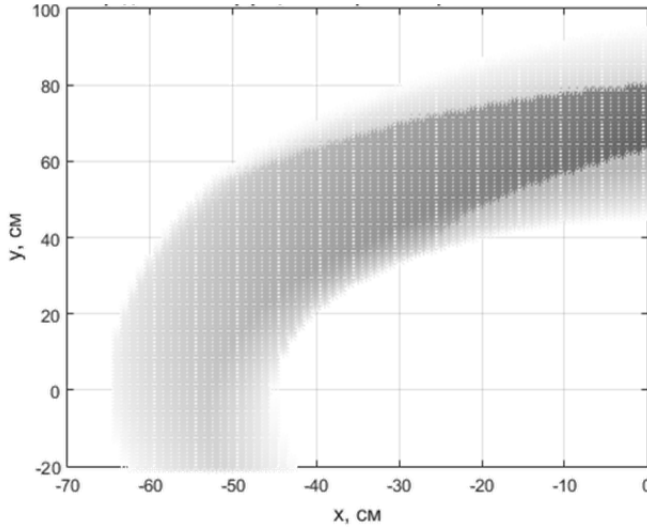


Рис. 2. Распределение коэффициента сервиса по рабочей зоне механизма

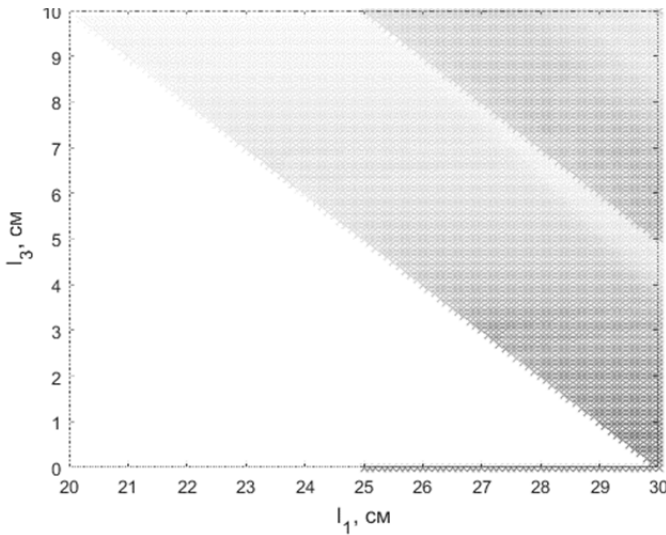


Рис. 3. Оценка коэффициента сервиса для группы из 2500 механизмов

Представленные методы численного моделирования параметров роботов, основанные на решении обратной задачи кинематики, дают возможность получать дополнительные манипулятивные характеристики механизмов, а также их зависимости от длин звеньев роботов и дополнительных ограничениях, наложенных на механизм. Полученные такими методами диаграммы качественно улучшают процесс параметрического синтеза роботов, позволяя получать дополнительные связи между кинематическими параметрами изучае-

мых механизмов. Представленные данные позволяют улучшить алгоритмы управления робототехническими системами и снизить нагрузку на электронные компоненты, управляющие актуаторами.

## Литература

- [1] Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. *Основы управления манипуляционными роботами*. Москва, Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2004, 114 с.
- [2] Пашенко В.Н., Власовский А.И., Мясоедов К., Вейсман П.И. Параметрический синтез механизмов совместного относительного манипулирования. *XXX Междунар. инновацион. конф. молодых ученых и студентов (МИКМУС – 2018): сб. тр.* Москва, ИМАШ РАН, 2019, с. 490–493.
- [3] Пашенко В.Н., Романов А.В., Орехов С.Ю. и др. Решение задачи прохождения механизма совместного относительного манипулирования с пятью степенями свободы по заданной траектории с учетом нагрузки, создаваемой рабочим органом механизма. *XXXIII Междунар. инновацион. конф. молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС – 2021): тр. конф.* Москва, ИМАШ РАН, 2021, с. 582–589.
- [4] Пашенко В.Н., Романов А.В., Власовский А.И., Мясоедов К. Определение зависимости манипулятивности шестизвенного механизма от его геометрических параметров методами численного моделирования. *Электронные информационные системы*, 2020, № 1 (24), с. 14–20.
- [5] Пашенко В.Н., Романов А.В., Власовский А.И., Сорокина А.В. Исследование распределения сервиса параллельного пятизвенного механизма по рабочей зоне методами численного моделирования. *Электронный журнал: наука, техника и образование*, 2022, № 1 (36), с. 5–12.
- [6] Pashchenko V.N., Sharapov I.V., Rashoyan G.V., Bykov A.I. Construction of a working area for the manipulation mechanism of simultaneous relative manipulation. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2017, vol. 46, no. 3, pp. 225–231.
- [7] Глазунов В.А., Чунихин А.Д. Развитие исследований механизмов параллельной структуры. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2014, № 3, с. 37–43.

## Some Information about Numerical Methods for Parametric Synthesis of Robotic Systems

© Vlasovsky A.I.  
Andreev V.V.

tfzmystery6@gmail.com  
vladimir\_andreev@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article provides an overview of numerical methods for parametric synthesis of robotic systems. A new approach to calculating and presenting manipulative parameters of mechanisms is proposed to improve the quality of operation of the electronic control system. The features and advantages of the proposed approach are shown. Experimental diagrams of dependencies between the parameters of robotic installations are demonstrated.*

**Keywords:** *parametric synthesis, manipulation, numerical modeling, method, parallel structure mechanisms*

УДК 621.3.049.774

## Программируемая логическая интегральная схема для многоканального устройства приема - передачи информации

© | Силаев Никита Игоревич  
| Андреев Дмитрий Владимирович

silae1999@inbox.ru  
dmitrii\_andreev@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрена причина замены ПЛИС SPARTAN-6FPQA на ПЛИС GW2A-LV18PG256C8/I7. Представлены основные преимущества и области применения двух наиболее распространенных семейств ПЛИС GW1NR и GW2A. Проведен анализ, в результате которого выявлена наиболее подходящая замена для ПЛИС SPARTAN-6FPQA в устройстве приема-передачи информации. Приведены критерии на основании которых происходил отбор ПЛИС.*

**Ключевые слова:** ПЛИС, устройство приема-передачи, SPARTAN-6, GW2A-LV18PG256C8/I7

В настоящее время актуальна проблема доступности различных товаров производства недружественных стран, в частности элементной базы для электронных приборов. Для решения данной проблемы нарастают темпы импортозамещения в различных областях, и часто необходима замена на ближайший доступный аналог.

**Целью** данной работы является подбор аналога для ПЛИС SPARTAN-6FPQA в устройстве приема-передачи информации.

В соответствии с заданной целью, необходимо решить **задачи**:

– обосновать, почему выбор аналогов идет в пользу китайского производителя;

– изучить применимые в устройстве семейства китайских ПЛИС;

– определить, максимально подходящую замену для SPARTAN-6 FPQA.

Хотя американские компании занимают значительную долю рынка ПЛИС, появление высокопроизводительных устройств китайского производства свидетельствует о прогрессе китайской электронной промышленности в области проектирования ПЛИС и разработки программного обеспечения. В настоящее время китайские компании активно разрабатывают ПЛИС с собственными правами на интеллектуальную собственность и предоставляют соответствующую экосистему инструментов проектирования и библиотек IP-блоков. Такая стратегия необходима для преодоления патентных барьеров Xilinx и Intel (Altera), контролирующих 90% мирового рынка ПЛИС [1].

Семейство FPGA **GW1NR** представляет собой продукты первого поколения в семье LittleBee. Устройства GW1NR представляют собой микросхемы «система в корпусе» с интегрированными в них микросхемами памяти на базе устройств GW1N, с низким энергопотреблением, мгновенным включе-

нием, низкой стоимостью, энергонезависимостью, высокой безопасностью, небольшими размерами, различными корпусами и гибкое использование, и могут широко использоваться для связи, производственного контроля, быта, видеонаблюдения и т. д. GOWINSEMI предоставляет новое поколение среды разработки оборудования FPGA, которая поддерживает синтез, размещение и маршрутизацию, генерацию и загрузку битового потока и т. д. [2].

Семейство FPGA **GW2A** представляет собой продукты первого поколения семьи Arora. Они предлагают ряд комплексных функций и богатые внутренние ресурсы, такие как высокопроизводительные ресурсы DSP, высокоскоростные интерфейсы LVDS и большие ресурсы памяти BSRAM. Эти встроенные ресурсы в сочетании с оптимизированной архитектурой FPGA и 55-нм техпроцессом делают серию продуктов FPGA GW2A подходящей для высокоскоростных и недорогих приложений. GOWINSEMI предоставляет новое поколение среды разработки оборудования FPGA, которая поддерживает синтез, размещение и маршрутизацию, генерацию и загрузку битового потока и т. д. [3].

В качестве альтернативы для американской ПЛИС SPARTAN-6 была выбрана интегральная схема из семейства GW2A, а именно GW2A-LV18PG256C8/I7. Выбор конкретной ПЛИС исходил из двух основных критериев:

– необходима 256 контактная ПЛИС для большей универсальности, а у моделей линейки GW1NR не так много ПЛИС у которых более 200 контактов;

– данная ПЛИС наиболее близка по семейству с заменяемой SPARTAN-6, а значит, ее будет проще перепрограммировать [4].

## Литература

- [1] *Обзор китайских производителей ПЛИС*. URL: <https://tellur-el.ru/blog/zamenu-amerikanskikh-i-evropeyskikh-elektronnykh-komponentov/obzor-kitayskikh-proizvoditeley-plis/> (дата обращения 07.11.2023).
- [2] *LittleBee Flash Based FPGAs*. Available at: <https://www.gowinsemi.com/en/product/detail/46/> (accessed November 8, 2023).
- [3] *Arora SRAM Based FPGAs*. Available at: <https://www.gowinsemi.com/en/product/detail/38/> (accessed November 8, 2023).
- [4] Ушенина И.В. *Проектирование цифровых устройств на ПЛИС*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 408 с.

## Programmable Logic Device for Multi-Channel Transceiver Device

© Silaev N.I.  
Andreev D.V.

silaev1999@inbox.ru  
dmitrii\_andreev@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The paper discusses the reason for replacing the SPARTAN-6FPQA FPGA with the GW2A-LV18PG256C8/I7 FPGA. The main advantages and applications of the 2 most common families of FPGAs GW1NR and GW2A are presented. An analysis was carried out, as a result of which the most suitable replacement for the SPARTAN-6FPQA FPGA in the information reception and transmission device was identified. The criteria on the basis of which the FPGAs were selected are given.*

**Keywords:** *FPGA, transceiver device, SPARTAN-6, GW2A-LV18PG256C8/I7*

УДК.621.373.1

## Применение генератора гетеродин в спутниковой аппаратуре

© Карпухина Мария Валерьевна  
Андреев Дмитрий Владимирович

karpukhinamv@student.bmstu.ru  
dmitrii\_andreev@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрен гетеродин, который служит для преобразования частоты, и состоит из основного генератора и смесителя. Показана применимость в спутниковой аппаратуре, особенно в конвекторах, которые используются для модификации сигналов в диапазонах Ku и C. Гетеродин обладает хорошими техническими характеристиками, такими как нормированный фазовый шум, и способностью принимать две части сигналов в диапазоне Ku. Производители указывают частоту гетеродина на корпусе аппаратуры, и важно знать эту частоту для правильного приема сигнала. В современных преобразователях для Ku-диапазона и C-диапазона усилитель обязателен перед выходом на разъем, что является важной особенностью конструкции конвертеров с гетеродинами, необходимых для спутниковой связи.*

**Ключевые слова:** гетеродин, преобразование частоты, основной генератор, смеситель, спутниковая аппаратура, конвектор, технические характеристики, нормированный фазовый шум, частота, маркировка, Universal, WideBand, FullBand, входные характеристики

Гетеродин представляет собой устройство, которое используется для преобразования частоты. Он состоит из двух основных компонентов, таких как: генератор и смеситель. Основной генератор служит для создания первичного сигнала низкой частоты, а смеситель смешивает его с другими сигналами, что приводит к получению высокочастотного сигнала. Гетеродин имеет широкое применение в спутниковой аппаратуре, а именно в конвекторах [1, 2].

Прибор состоит из гетеродина и предусилителя LNA. Конвектор используется в целях модификации сигналов в диапазонах Ku и C для трансформации в сигнал, обладающий промежуточной частотой L-диапазона. Изменение сигнала способствует дальнейшей передаче по коаксиальным кабелям [3]. Передача осуществляется с минимальными потерями качества сигнала. Преобразованный сигнал принимается с помощью конвектора, который монтируется на кронштейне антенны.

Благодаря таким техническим характеристикам, как нормированный фазовый шум, гетеродином лучше всего принимается спутниковый сигнал. Также он обладает способностью принимать две части сигналов в диапазоне Ku. В режиме управления происходит вертикальная и горизонтальная поляризация принимаемого сигнала [2, 3].

**Частота гетеродина спутникового конвертера.** Если частота гетеродина неизвестна, то прием сигнала невозможен. Частоту гетеродина указывают производители на корпусе аппаратуры.

Полный Ku-диапазон получится достичь с помощью преобразователя, который включает в себя два гетеродина. Большинство производителей изготавливают конвертеры с данной комплектацией. Маркировка Universal показывает частоту двух гетеродинов в аппаратуре, например, имеющие показатели 9750/10 600 МГц и тоном управления 22 кГц.

Также встречаются конвертеры с маркировками WideBand и FullBand. Они имеют показатели 9750/10 750 МГц и напряжение 13/18 В. Наиболее редким является конвертор Astra ABCDE, который состоит из одного гетеродина с частотой 9750 МГц.

В случае если частота гетеродина не указана, следует рассмотреть данные, о входных частотах конвертора, которые непосредственно связаны с частотностью гетеродина. Соотношения входных частот с частотностью гетеродина, встречающиеся чаще всего:

Диапазон входной частоты составляет 11,70...12,75 ГГц, следовательно, выходная частота гетеродина 10 750 МГц. Наиболее часто данные показатели могут встречаться в круговых конверторах Ku-диапазона.

При диапазоне входной частоты 10,7...11,8 ГГц, выходная частотность гетеродина 9750 МГц. Данные показатели применяются для поддержания работы линейных универсальных конвертеров Ku-диапазона.

Следует учесть, что в конвертерах C-диапазона значительно чаще встречаются гетеродины на 5150 МГц.

**Выбор и расчет частоты гетеродина.** В настоящее время в конверторах используют всего лишь два вида преобразований. В конверторе диапазона Ku из прямой частоты сигнала вычитается частота гетеродина, которая меньше, чем прямая частота. В диапазоне C частота гетеродина выше, чем частота прямого сигнала, следовательно, прямая частота вычитается из частоты гетеродина [4].

Для того, чтобы выбрать частоту гетеродина, необходимо знать надежность спутниковой аппаратуры. При расчете промежуточной частоты следует использовать значения локальных генераторов готовых конверторов [1, 3]. В случае, когда требуемый сигнал находится в диапазоне пропускной способности фильтра определенного конвертора, его используют без перенастройки.

Следует учесть, что при планировании промежуточной частоты, необходимо принять во внимание особенности прохождения сигнала. Через кабельную сеть происходит распределение промежуточной частоты, для которой характерно быстрое затухание сигнала, имеющего высокую частоту. Сигнал затухает как можно быстрее при более высоких частотах, поэтому необходимые частоты лучше разместить в нижней части промежуточной частоты для более эффективной передачи данных [1, 4].

На данный момент в преобразователях для диапазонов Ku и C, усилитель обязательно необходимо использовать перед выходом на разъем. Это является важной особенностью конструкции конвертеров с гетеродинами, которые применяются для спутниковой связи.

## Литература

- [1] Пушкарев В.П., Пелявин Д.Ю., Плаксиенко С.В. *Радиоавтоматика*. Томск, ТУСУР, 2018, 30 с.
- [2] Румянцев К.Е. *Прием и обработка сигналов*. Москва, Академия, 2004, с. 307–309.
- [3] Галочкин В.А. *Устройства приема и обработки сигналов*. Самара, ФГОБУ ВПО ПГУТИ, 2015, 254 с.
- [4] Амосов В.В. *Схемотехника и средства проектирования цифровых устройств*. Москва, ВНУ, 2007, 560 с.

## Application of Locator Generator in Satellite Equipment

© | Karpukhina M.V.  
Andreev D.V.

karpukhinamv@student.bmstu.ru  
dmitrii\_andreev@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The paper examines a local oscillator, which serves for frequency conversion and consists of a main oscillator and a mixer. It has been shown to be applicable in satellite equipment, especially in convectors that are used to modify signals in the Ku and C bands. The local oscillator has good technical characteristics, such as normalized phase noise, and the ability to receive two parts of signals in the Ku band. Manufacturers indicate the local oscillator frequency on the equipment housing, and it is important to know this frequency for proper signal reception. In modern Ku-band and C-band converters, an amplifier is required before the output to the connector, which is an important design feature of heterodyne converters required for satellite communications.*

**Keywords:** *local oscillator, frequency conversion, main oscillator, mixer, satellite equipment, convector, technical characteristics, normalized phase noise, frequency, marking, Universal, WideBand, FullBand, input characteristics*



УДК 621.3.049.774

## Разработка схемы защиты КМОП интегральных схем от электростатического разряда

© Крамар Максим Игоревич  
Андреев Владимир Викторович  
Кузнецов Вадим Вадимович

kramarmi@student.bmstu.ru  
vladimir\_andreev@bmstu.ru  
vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Разработана диодно-резистивная схема защиты интегральной микросхемы на комплиментарных транзисторах (КМОП ИС) аналогового ключа от воздействий электростатического разряда. Предложенная диодно-резистивная схема защиты полностью адаптирована под технологический процесс изготовления КМОП ИС. Разработана топология элементов схемы защиты. Показано, что введение диодно-резистивной схемы защиты КМОП ИС аналогового ключа существенно повышает ее стойкость к воздействию статического электричества.*

**Ключевые слова:** КМОП-микросхема, схема защиты, электростатический разряд, надежность

Повышение надежности интегральной микросхемы на комплиментарных транзисторах (КМОП ИС) во многом достигается улучшением качества подзатворного диэлектрика, а также использованием специальных схем, защищающих выводы микросхемы от воздействия электростатического разряда [1–6].

Целью данной работы являлась разработка конструкции и топологии элементов схемы защиты КМОП ИС аналогового ключа от воздействий электростатического разряда, а также проведение испытаний микросхем со схемой защиты на стойкость к статическому электричеству.

Объектом исследований были выбраны КМОП микросхемы одной серии и изготовленные в одной партии промышленным способом [2, 3]. Последующая проверка стойкости к статическому электричеству производилась на специализированном стенде имитирующую модель тела человека. Испытательное воздействие подавалось на выводы КМОП микросхем, чувствительным к воздействию электростатического разряда [3].

На рис. 1 представлена схема электрическая принципиальная КМОП микросхемы аналогового ключа. На данном рисунке изображен вариант до внедрения защитной схемы.

После исследования электрической принципиальной схемы было принято решение о введении в нее резистивно-диодной схемы защиты. На рис. 2 показана разработанная схема защиты для КМОП ИМС, выполненная на диодно-резистивных элементах полностью совместимых с технологией производства микросхемы.

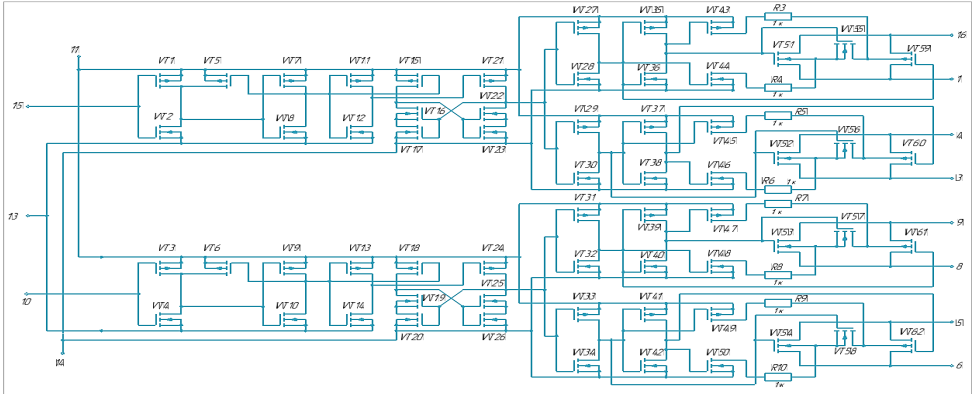


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная КМОП аналогового ключа

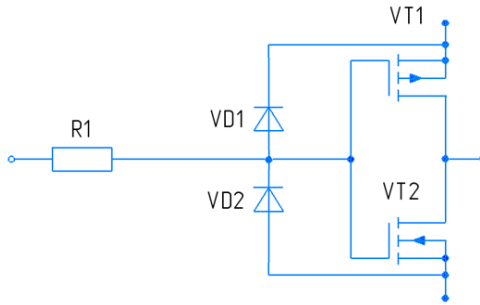


Рис. 2. Диодно-резистивная защита КМОП ИМС

Для ограничения разрядных импульсов с положительной полярностью используется диод VD1, а с отрицательной — VD2. Диоды подключены в прямом направлении и спроектированы для обработки импульсов с энергией, амплитуда которой превышает пиковое значение пробивного напряжения.

Диодная защита работает по принципу ограничения тока статического разряда [7]. Для этого на вход интегральной схемы устанавливаются диоды, которые предотвращают проникновение статического разряда на вход и защищают внутренние элементы от повреждения. Диоды в защите могут быть установлены в разных конфигурациях, например, входом микросхемы и линиями питания VDD или VSS. В обоих случаях диоды обеспечивают ограничение тока статического разряда до безопасного уровня, что позволяет защитить входы интегральной схемы от повреждения [8].

Совмещенная топология элемента защиты, выполненной на резистивно-диодных элементах представлена на рис. 3.

**Экспериментальные результаты и обсуждение.** Пластина 01 была проведена по стандартному технологическому маршруту до введения в конструкцию схемы защиты. Пластина 02 была проведена по стандартному технологическому маршруту, но с введением в конструкцию элементов защиты.

Далее пластины были разбракованы, собраны в корпуса и проведены замеры уровня электростатического пробоя по модели тела человека (НВМ-модель), начиная от 400 В, с шагом 50 В.

Результаты представлены в таблице.

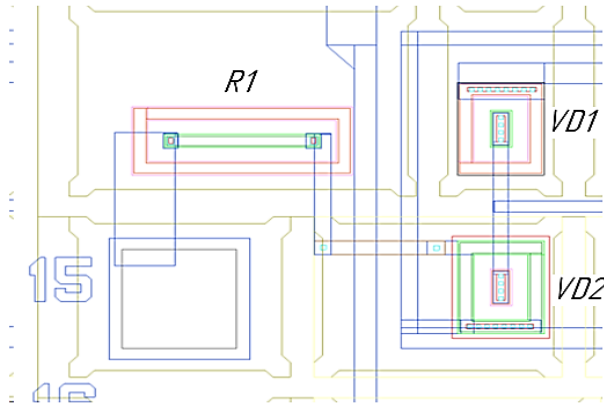


Рис. 3. Топология, совмещенной диодно-резистивной защиты аналогового ключа со схемой управления

**Результаты функционирования после пробоя на стенде**

Номер пластины	Функционирование КЭП (выборка — 30 кристаллов), % годных	Замер уровня стат. пробоя на пластине до осаждения защитного окисла, В								Примечание
		400	450	500	600	650	700	750	800	
01	33	+	+	-	-	-	-	-	-	Схемы без резистивно-диодной защиты
02	100	+	+	+	+	+	+	+	+	Схемы с резистивно-диодной защитой

В приведенной таблице минус указывает на то, что схема не выдержала статический заряд заданной величины, плюс указывает на полную работоспособность микросхемы. По результатам проведенного эксперимента, пластина 02 оказалась наиболее надежной к статическому пробую, а пластина 01 без схемы защиты самой не надежной. После введения в конструкцию диодно-резистивной защиты, стойкость к ЭСР повысилась в 2 раза.

**Заключение.** Разработана конструкция и топология элементов диодно-резистивной схемы защиты КМОП ИС аналогового ключа от воздействий электростатического разряда. Проведенные испытания показали, что введе-

ние разработанной схемы защиты КМОП ИС существенно повышает ее стойкость к воздействию статического электричества.

## Литература

- [1] Strong A., Wu E., Vollertsen R., Sune J., Rosa G., Rauch S., Sullivan T. Reliability Wearout Mechanisms in Advanced CMOS Technologies. *IEEE Press Series on Microelectronic Systems*. Wiley, 2009. <https://doi.org/10.1002/9780470455265>
- [2] Andreev D.V., Maslovsky V.M., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modified Ramped Current Stress Technique for Monitoring Thin Dielectrics Reliability and Charge Degradation. *Phys. Status Solidi A*, 2022, vol. 219, iss. 9, art. 2100400(1-5). <https://doi.org/10.1002/pssa.202100400>
- [3] Lombardo S., Stathis J.H., Linder P., Pey K.L., Palumbo F., Tung, C.H. Dielectric breakdown mechanisms in gate oxides. *J. Appl. Phys.*, 2005, vol. 98, art. 121301(1-36).
- [4] Андреев В.В., Барышев В.Г., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Шахнов В.А. Исследование зарядовой деградации МДП-структур в сильных электрических полях методом управляемой токовой нагрузки. *Микроэлектроника*, 2000, т. 29, № 2, с. 105–112.
- [5] Kuznetsov V. HBM, MM, and CBM ESD Ratings Correlation Hypothesis. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2018, vol. 60, no. 1, pp.107–114.
- [6] Максимов И.В., Кузнецов В.В., Андреев В.В. Исследование модернизированной схемы защиты от электростатического разряда КМОП ИМС серии 1564. *Технологии электромагнитной совместимости*, 2017, № 4 (63), с. 35–41.
- [7] Tseng J., Hwu J. Oxide-Trapped Charges Induced by Electrostatic Discharge Impulse Stress. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2007, vol. 54, no. 7, pp. 1666–1671.
- [8] Voldman S.H. A review of electrostatic discharge (ESD) in advanced semiconductor technology. *Microelectron. Reliab.*, 2004, vol. 44, no. 483, pp. 33–46.

## Development of a CMOS IC Protection Scheme against Electrostatic Discharge

© Kramar M.I.  
Andreev V.V.  
Kuznetsov V.V.

kramarmi@student.bmstu.ru  
vladimir\_andreev@bmstu.ru  
vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*A diode-resistive circuit has been developed to protect the CMOS IC of an analog key from the effects of an electrostatic discharge. The proposed diode-resistive protection circuit is fully adapted to the manufacturing process of CMOS IC. The topology of the elements of the protection circuit has been developed. It is shown that the introduction of a diode-resistive CMOS IC protection circuit of an analog key significantly increases its resistance to static electricity.*

**Keywords:** CMOS chip, protection circuit, electrostatic discharge, reliability

УДК 621.3.049.774

## Набор инструментов Python для моделирования систем электропривода (GEM)

© Петрухин Константин Андреевич  
Кузнецов Вадим Вадимович

petrukhinka@student.bmstu.ru  
vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Из-за сильной зависимости современного промышленного развития от моделируемых сред существует широкий спектр коммерческого программного обеспечения, позволяющего проводить численный анализ каждого аспекта электроприводов. MATLAB — Simulink, вероятно, является самой популярной программной средой для численного анализа в инженерии. Примеры, разработанные для работы в режиме реального времени. Например, для создания прототипов аппаратного обеспечения в цикле, можно найти в VEOS или HYPERSIM. Некоммерческие библиотеки моделирования, обеспечивают большую гибкость для синтеза универсальных имитационных моделей. Эти программные пакеты обычно не рассматриваются при разработке элементов управления и в лучшем случае дополняют библиотеку gym-electric-motor (GEM). Данный пакет особенно применим на ранней стадии проектирования системы управления, когда исследуются новые, инновационные подходы к управлению или быстрое прототипирование системы управления.

**Ключевые слова:** Python, алгоритм управления, система электропривода, библиотека gym-electric-motor (GEM)

Библиотека GEM моделирует систему электропривода с помощью четырех основных компонентов: источника напряжения, преобразователя мощности, электродвигателя и механической нагрузки [1]. Общая структура такой системы изображена на рис. 1.

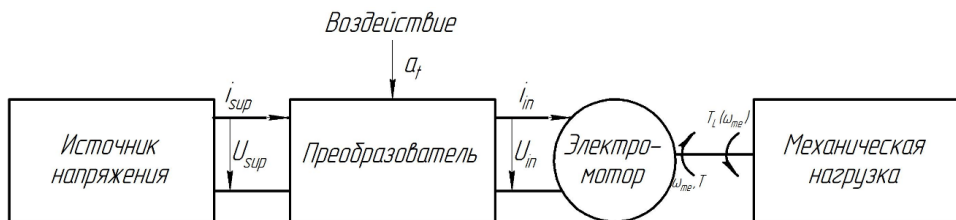


Рис. 1. Упрощенная структурная схема системы электропривода

Источник напряжения обеспечивает необходимую мощность, которая используется двигателем. Он моделируется с помощью фиксированного значения напряжения питания  $U_{sup}$ , которое позволяет контролировать ток питания преобразователя. Для подачи на двигатель электроэнергии нужной частоты и величины необходим силовой электронный преобразователь, который

обычно включает преобразование постоянного тока источника питания в переменный ток.

Типичные приводные преобразователи демонстрируют переключаемый режим: существует конечный набор различных напряжений, которые могут быть поданы на двигатель, в зависимости от того, какие переключатели разомкнуты, а какие замкнуты [2, 3]. Помимо этого физически точного представления, популярный подход к моделированию преобразователей с переключаемым режимом основан на динамическом усреднении приложенного напряжения  $U_{in}$ , что делает напряжение непрерывной переменной величиной. Оба этих подхода к моделированию реализованы и могут быть выбраны произвольно, что позволяет использовать алгоритмы управления, которые работают с конечным набором состояний переключения или с непрерывными входными напряжениями.

Электродвигатель является центральным элементом любой приводной системы. Это описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), которая представляет электрическое поведение двигателя. В частности, в области трехфазных приводов используются преобразования координат для просмотра этих ОДУ в более понятной системе координат, ориентированных на поле. В GEM доступны как физически точная трехфазная система, так и упрощенная двумерная система, ориентированная на поле, которая может использоваться в качестве системы входных и выходных переменных, что позволяет легко и быстро анализировать контроллер и диагностировать его в наиболее удобной системе координат. Наконец, крутящий момент  $T$ , создаваемый двигателем, прикладывается к механической нагрузке. Нагрузка характеризуется моментом инерции и крутящим моментом нагрузки  $T_L$ , который направлен против крутящего момента двигателя. Поведение крутящего момента нагрузки может быть параметризовано относительно угловой скорости  $\omega_{me}$  в виде постоянной, линейной и квадратичной зависимости.

Изменения скорости, возникающие в результате разницы между крутящим моментом двигателя и нагрузки, моделируются с помощью другого блока, который полностью описывает поведение механической системы. Аналогично, частота вращения двигателя может быть установлена на фиксированное значение, что может быть полезно для исследования алгоритмов управления работой генератора, или она может быть настроена на следование заданной траектории, что удобно при проверке сценариев с определенными требованиями к скорости, например, в тяговых приложениях [4].

Уже внедрено большое количество различных систем электродвигателей. К ним относятся приводы постоянного тока, а также синхронные и асинхронные трехфазные приводы. Соответствующие силовые преобразователи позволяют управлять двигателем либо непосредственно через приложенное напряжение, либо путем определения состояния переключения преобразователя. Специально для использования в приложениях для обучения усилению и для тестирования современных систем управления, управляемых эксперта-

ми, набор инструментов поставляется со встроенным эталонным генератором, который можно использовать для создания произвольных эталонных траекторий (например, для тока двигателя, скорости или крутящего момента).

Минимальный пример возможностей моделирования GEM представлен на рис. 2. На графике показано поведение при запуске асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, подключенного к идеализированной трехфазной электрической сети, отображающей угловую скорость  $\omega_{me}$ , крутящий момент  $T$ , напряжение  $U_{a,b,c}$  и ток  $i_{d,q}$ .

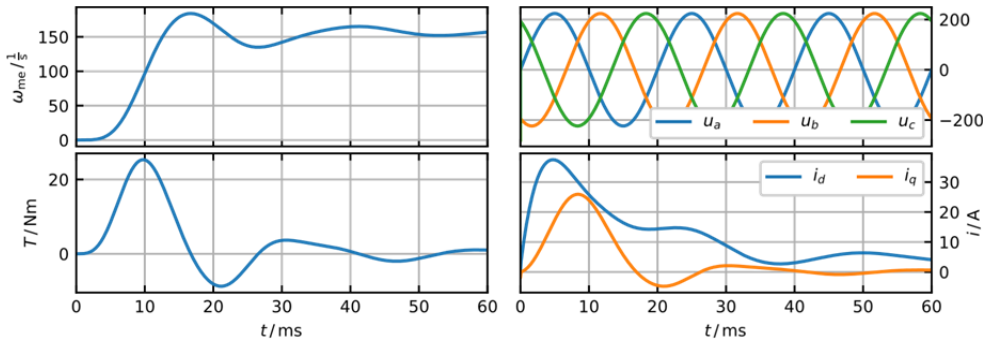


Рис. 2. Моделирование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, подключенного к сети с частотой 50 Гц

Для управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором (SCIM) необходим детектор магнитного потока, чтобы получить оценочное значение магнитного потока. Детектор потока реализован как оболочка физической системы в GEM toolbox. Это необходимо использовать при управлении SCIM.

Уже внедрено большое количество различных систем электродвигателей. К ним относятся приводы постоянного тока, а также синхронные и асинхронные трехфазные приводы. Соответствующие силовые преобразователи позволяют управлять двигателем либо непосредственно через приложенное напряжение, либо путем определения состояния переключения преобразователя. Специально для использования в приложениях для обучения усилению и для тестирования современных систем управления, управляемых экспертами, набор инструментов поставляется со встроенным эталонным генератором, который можно использовать для создания произвольных эталонных траекторий [1, 5, 6].

## Литература

- [1] Abadi M., Agarwal A., Barham P. et al. *TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems*. 2015. Available at: <https://www.tensorflow.org/> (accessed September 7, 2023).
- [2] ANSYS, Inc. *ANSYS Maxwell 2020 R1*. Available at: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-maxwell> (accessed September 7, 2023).

- [3] Brockman G., Cheung V., Pettersson L. et al. *OpenAI Gym*. Available at: <https://github.com/openai/gym> (accessed September 7, 2023).
- [4] Chollet F. et al. *Keras*. 2015. Available at: <https://keras.io> (accessed September 7, 2023).
- [4] Kumar P., Samyuktha P. Vector control drive of permanent magnet synchronous motor using resolver sensor. *International Journal of Computer Science Engineering (IJCSE)*, 2007.
- [6] Gracheva Y.I., Alimova N.A., Calculating methods and comparative analysis of losses of active and electric energy in low voltage devices. *International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*, 2019, pp. 361–367.

## Python Toolkit for Modeling Electric Drive Systems (GEM)

© Petrukhin K.A.  
Kuznetsov V.V.

petrukhinka@student.bmstu.ru  
vadim.kuznetsov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Due to the strong dependence of modern industrial development on simulated environments, there is a wide range of commercial software that allows numerical analysis of every aspect of electric drives. MATLAB — Simulink is probably the most popular software environment for numerical analysis in engineering. Examples designed to work in real time. for example, to prototype hardware in a loop, you can find it in VEOS or HYPERSIM. Non-commercial modeling libraries provide greater flexibility for the synthesis of universal simulation models. These software packages are usually not considered when developing controls and at best complement the gym-electric-motor (GEM) library. This package is especially applicable at the early stage of control system design, when new, innovative approaches to management or rapid prototyping of a control system are being investigated.*

**Keywords:** *Python, control algorithm, electric drive system, gym-electric-motor (GEM) library*



УДК 621.3.049.774.3

## Особенности формирования $p-n-p$ -транзисторов с двумя скрытыми слоями

© Двухшерстнова Яна Владимировна  
Андреев Владимир Викторович

yana\_melnikova\_2016@bk.ru  
vladimir\_andreev@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Предложена новая конструкция вертикального  $p-n-p$ -транзистора с двумя скрытыми слоями для биполярных интегральных микросхем. Технология получения этого транзистора адаптирована к технологии формирования  $n-p-n$ -транзистора. Показано, что использование разработанных транзисторов позволяет существенно улучшить характеристики аналоговых интегральных схем. Проведено совершенствование технологического процесса формирования, разработанного вертикального  $p-n-p$ -транзистора.*

**Ключевые слова:** горизонтальный  $p-n-p$ -транзистор, вертикальный  $p-n-p$  транзистор, пробивное напряжение, скрытый слой

Разработка современных интегральных микросхем (ИС) требует постоянного совершенствования входящих в нее элементов и структур. Такое совершенствование направлено в первую очередь на повышение надежности интегральных микросхем [1, 2] и на улучшение электрофизических параметров элементов ИС с целью расширения их функциональных возможностей [3]. Для изготовления аналоговых ИС в настоящее время относительно широко используется биполярная технология. Для реализации большинства схемотехнических решений в биполярных ИС требуется наличие комплементарной пары, состоящей из  $n-p-n$ - и  $p-n-p$ -транзисторов. При этом параметры  $p-n-p$ -транзистора, как правило, существенно уступают параметрам  $n-p-n$ -транзистора [3, 4]. Следовательно, задача, направленная на разработку новых конструкторских решений и совершенствование технологии изготовления  $p-n-p$ -транзисторов, имеет большое прикладное значение.

При конструировании аналоговых ИС допускается, что электрические параметры  $p-n-p$ -транзисторов могут быть хуже, чем у  $n-p-n$ -транзисторов. В таком случае оба транзистора изготавливаются одновременно. В этом случае не используют дополнительные технологические операции. Таким образом, можно создавать только горизонтальные  $p-n-p$ -транзисторы [3]. Топологический чертеж и структура горизонтального транзистора представлены на рис. 1.

Транзистор размещен в кармане  $n$ -типа, содержит скрытый слой  $n^+$ -типа и изолирован с боковых сторон диоксидом кремния подобно  $n-p-n$  транзистору. Базовой областью служит эпитаксиальный слой  $n$ -типа [3]. Эмиттерную и коллекторную области  $p$ -типа формируют одновременно с базовой областью  $n-p-n$ -транзистора, а базовую контактную область  $n^+$ -типа — одновременно с его

эмиттерной областью. Базовая область  $n$ -типа и коллекторная область  $p$ -типа охватывают эмиттер с боковых сторон. Но основные недостатки горизонтальных  $p$ - $n$ - $p$ -транзисторов — низкие коэффициент передачи тока и граничная частота. Кроме того, они занимают большую площадь, так как коллекторные и базовые области расположены у поверхности кристалла [4].

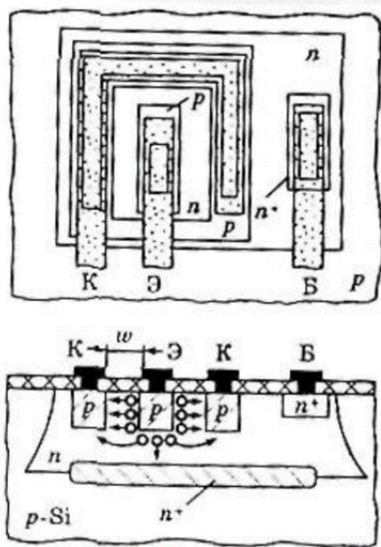


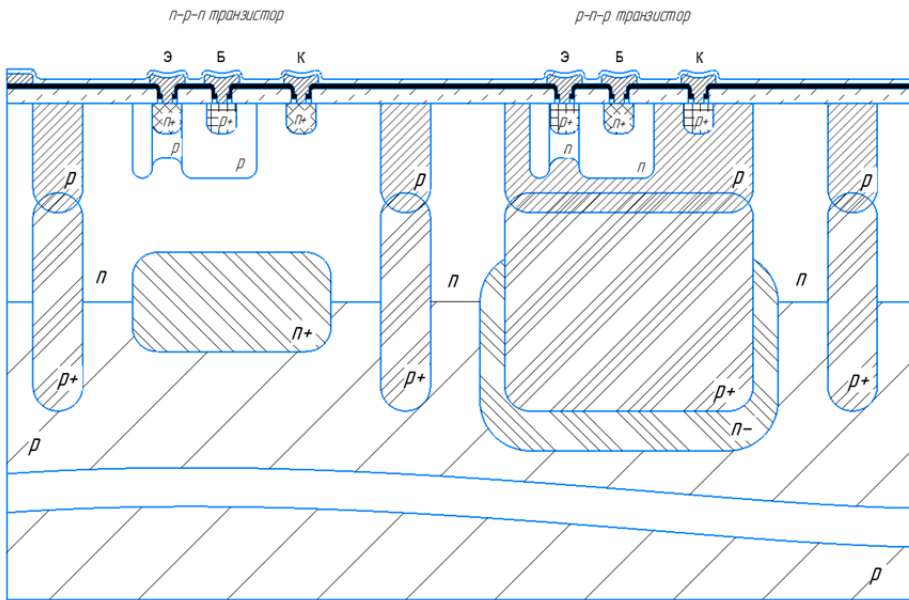
Рис. 1. Горизонтальный  $p$ - $n$ - $p$ -транзистор (топология и структура)

Наиболее эффективный путь улучшения параметров  $p$ - $n$ - $p$ -транзисторов — использование вертикальной структуры [3, 4]. Для ее формирования на одной пластине с  $n$ - $p$ - $n$ -транзисторами требуются дополнительные технологические операции.

При конструировании четырехканального широкополосного усилителя были необходимы  $p$ - $n$ - $p$ -транзисторы со специальными ВАХ.

Для этого был сформирован высоколегированный  $p^+$ -скрытый слой в эпитаксии  $n$ -типа, изолированный от подложки  $p$  — типа. Перед эпитаксиальным наращиванием на исходной подложке КДБ формировали  $n^+$ -скрытый слой из сурьмы для  $n$ - $p$ - $n$ -транзистора и глубокий  $n$ -скрытый слой, легированный фосфором чтобы в дальнейшем сформировать  $p^+$ -скрытый слой.

Затем делается эпитаксиальное наращивание. На подложке формируется  $p$ -область будущего  $p$ - $n$ - $p$ -транзистора, который при дальнейшей разгонке сомкнется со скрытым  $p^+$ -слоем, образуя коллектор  $p$ - $n$ - $p$ -транзистора. Так же этой областью формируется разделение карманов обратным смещенным  $p$ - $n$ -переходом. По стандартной технологии формируются  $p$ - $n$ - $p$ - и  $n$ - $p$ - $n$ -транзисторы. В дальнейшем методом ионного легирования формируются базы  $p$ - $n$ - $p$ - и  $n$ - $p$ - $n$ -транзисторов. Потом формируются эмиттеры [5]. Данная структура приведена на рис. 2.



**Рис.2.** Структура стандартного  $n-p-n$ -транзистора и разработанного вертикального  $p-n-p$ -транзистора с двумя скрытыми слоями

В итоге получается пара комплементарных  $p-n-p$ - и  $n-p-n$ -транзисторов.

При изготовлении микросхемы четырехканального широкополосного усилителя со ступенчатой регулировкой усиления общей для всех каналов, возникла необходимость повышения пробивного напряжения  $p-n$ -перехода коллектор — охрана разработанного вертикального  $p-n-p$ -транзистора. Малое пробивное напряжение коллектор — охрана не позволяло транзистору работать с большим напряжением питания. Данная проблема была решена путем уменьшения концентрации примеси в  $p^+$ -скрытом слое. Корректировка технологического процесса, связанная с уменьшением концентрации примеси, была выполнена таким образом, чтобы не ухудшить основные электрические характеристики микросхемы.

В докладе описаны горизонтальные и вертикальные  $p-n-p$  транзисторы. Предложена конструкция и технология изготовления вертикального  $p-n-p$  транзистора с двумя скрытыми слоями. Показано, что уменьшение концентрации примеси в  $p^+$  скрытом слое, позволяет увеличивать пробивные напряжения коллектор — охрана разработанного  $p-n-p$ -транзистора. После уменьшения концентрации примеси в  $p^+$ -скрытом слое приблизительно на 30 % пробивное напряжение коллектор — охрана увеличилось до 25 В, что обеспечило надежное функционирование разработанной ИС.

## Литература

- [1] Andreev D.V., Maslovsky V.M., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modified Ramped Current Stress Technique for Monitoring Thin Dielectrics Reliability and Charge Degradation. *Phys. Status Solidi A*, 2022, vol. 219, iss. 9, art. 2100400(1-5). <https://doi.org/10.1002/pssa.202100400>
- [2] Андреев В.В. Барышев В.Г., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А. Метод многоуровневой токовой нагрузки для исследования генерации и релаксации положительного заряда в МДП-структурах. *Микроэлектроника*, 2003, т. 32, № 2, с. 152–158.
- [3] Рабаи Ж.М., Чандракасан А., Николитч Б. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования. Москва, ИД. «Вильямс», 2007, 912 с.
- [4] Абрамов И.И., Дворников О.В. Тенденции и проблемы проектирования прецизионных аналоговых интерфейсов. *Нано- и микросистемная техника*, 2005, № 10, с. 23–35.
- [5] Ануфриев Л.П., Бордусов С.В., Гурский Л.И. Технология интегральной электроники. Минск, Интегралполиграф, 2009, 397 с.

## Features of the Formation of $p-n-p$ transistors with Two Hidden Layers

© Dvukhshestnova Ya.V.  
Andreev V.V.

yana\_melnikova\_2016@bk.ru  
vladimir\_andreev@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*A new design of a vertical  $p-n-p$  transistor with two hidden layers for bipolar integrated circuits is proposed. The technology of obtaining this transistor is adapted to the technology of forming an  $n-p-n$  transistor. It is shown that the use of the developed transistors can significantly improve the characteristics of analog ICS. The technological process of forming the developed vertical  $p-n-p$  transistor has been improved.*

**Keywords:** *horizontal  $p-n-p$  transistor, vertical  $p-n-p$  transistor, breakdown voltage, hidden layer*

УДК 621.3.049.774

## Снижение скорости изменения выходного напряжения микросхемы устройства выборки и хранения

© Наврузова Алина Александровна  
 Андреев Владимир Викторович

navruzova\_aa@student.bmstu.ru  
 vladimir\_andreev@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Представлены результаты работ по снижению значения параметра скорости изменения выходного напряжения в режиме хранения ( $V_{U0}$ ) микросхемы устройства выборки и хранения (УВХ). Данный параметр отвечает за способность УВХ сохранять необходимый уровень сигнала в режиме хранения. Для достижения поставленной цели были предложены изменения в структуре кристалла микросхемы. Оценено влияние внесенных изменений в сравнении с исходным вариантом конструкции на работоспособность УВХ.

**Ключевые слова:** устройство выборки и хранения, скорость изменения выходного напряжения, токи утечки, паразитный транзистор

В работе исследуется микросхема устройства выборки и хранения (УВХ) аналогового сигнала, структурная схема которого представлена на рис. 1.

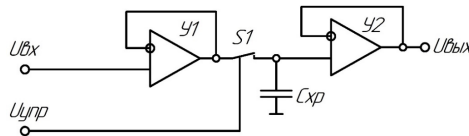


Рис. 1. Структурная схема микросхемы УВХ

В режиме выборки ключ  $S1$  замкнут, напряжение на выходе усилителя  $У2$  повторяет входное напряжение  $U_{вх}$ , конденсатор хранения заряжается. В режиме хранения ключ  $S1$  разомкнут, и на емкости хранения  $C_{хр}$  удерживается потенциал  $U_{хр}$ , равный  $U_{вх}$  в момент размыкания  $S1$  [1, 2]. Эквивалентная схема узла хранения сигнала представлена на рис. 2.

С течением времени значение на  $C_{хр}$  изменяется за счет суммарных токов утечки транзисторов, подключенных к  $C_{хр}$  (рис. 2). Данное свойство характеризуется значением параметра  $V_{U0}$  и имеет норму для исследуемой микросхемы УВХ не более 10 мВ/мс [3]. Из рис. 2 следует, что суммарный ток утечки

$$I_{ут} = |I_{ут1}| - |I_{ут2}| - |I_{ут3}| - |I_{ут4}|,$$

где  $I_{ут1}$  — ток утечки  $p-n-p$ -транзистора  $VT1$ ;  $I_{ут2}$  — ток утечки  $n-p-n$ -транзистора  $VT2$ ;  $I_{ут3}$  — ток утечки с затвора JFET-транзистора;  $I_{ут4}$  — ток утечки паразитного  $p-n-p$ -транзистора  $VT4$ .

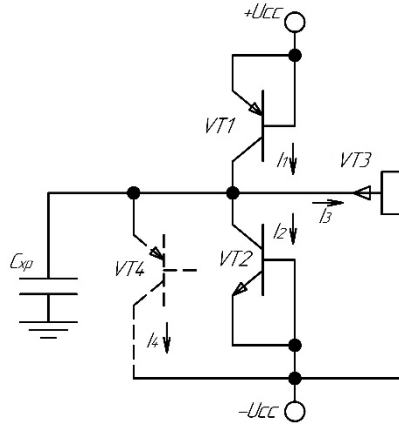


Рис. 2. Эквивалентная схема узла хранения в режиме хранения микросхемы УВХ

Транзистор *VT4* является паразитным *p-n-p*-транзистором с «плавающей» базой, коллектором которого является область разделения  $p^+$ , базой — скрытый слой  $n^-$ , а эмиттером — скрытый слой  $p^+$  (коллектор рабочего *p-n-p*-транзистора). Структура рабочего и паразитного транзистора показана на рис. 3.

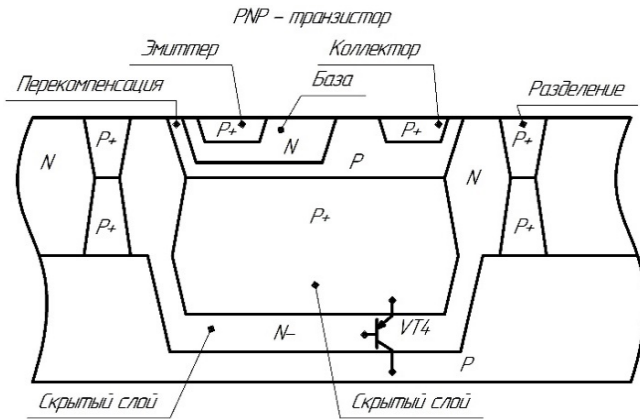


Рис. 3. Структура элементов

Экспериментально определены значения токов утечки при данной структуре и представлены ниже:

Параметр .....	$I_{ут1}$	$I_{ут2}$	$I_{ут3}$	$I_{ут4}$	$\Sigma I_{утi}$
Средние значения, нА .....	-0,3	-0,1	-0,2	-3,6	-3,6

При таких значениях токов утечки скорость изменения выходного напряжения  $V_{U0}$  составляет 7...8 мВ/мс. Видно, что определяющим значением  $V_{U0}$  является ток утечки  $I_{ут4}$  паразитного транзистора.

Утечка эмиттер-коллектор паразитного транзистора разряжает конденсатор хранения, в результате чего скорость изменения выходного напряжения увеличивается [4]. Для минимизации влияния паразитного транзистора необходимо подключить базу VT4 к положительному источнику питания  $+U_{cc}$ , обеспечив смещение эмиттер-базового перехода  $U_{BE} = 0$  [5].

Для создания омического контакта к эпитаксиальному карману (к базе VT4) в структуру необходимо ввести слой подлегирования  $n^+$ . Далее контакт подключается к шине питания  $+U_{cc}$ . Структура, полученная в результате, представлена на рис. 4.

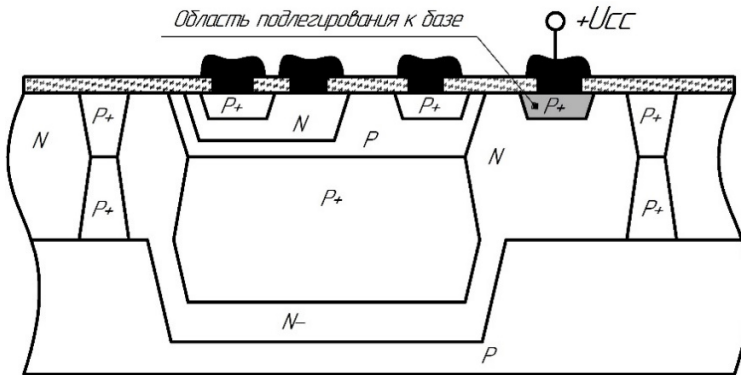


Рис. 4. Структура элементов

Результаты измерений скорости изменения выходного напряжения  $V_{U0}$  и суммарные значения токов утечки  $I_{UT}$  микросхем, изготовленных по новой технологии, представлены в таблице.

#### Результаты измерений

Номер образца	Скорость изменения выходного напряжения $V_{U0}$ , мВ/мс	Сумма токов утечки $I_{UT}$ , нА
1	0,9	0,29
2	1,2	0,33
3	1,7	0,38
4	1,5	0,36
5	1,6	0,37

Таким образом, изменив структуру  $p-n-p$ -транзистора, удалось уменьшить влияние паразитного транзистора, что на порядок снизило сумму утечек и скорость изменения выходного напряжения в режиме хранения. К недостаткам предложенного метода можно отнести увеличение занимаемой площади  $p-n-p$ -транзисторов.

## Литература

- [1] Cranincks J., Plas G. A 65fJ/Conversion-Step 0-to-50MS/s 0-to-0.7mW 9b Charge-Sharing SAR ADC in 90nm Digital CMOS. *IEEE International Solid-State Circuits Conference Digest of Technical Papers*, 2007, pp. 246–600.
- [2] Voldman S.H. *ESD Basics: From semiconductor manufacturing to product use*. John Wiley & Sons, 2012, 226 p.
- [3] Mahmoud S.A., Bamakhramah A., Al-Tunaiji S.A. Sample and hold circuits for low-frequency signals in analog-to digital converter. *Circuits Systems and Signal Processing (CSSP9478)*, 2013, vol. 32, no. 5, pp. 2029–2045.
- [4] Mahmoud S.A., Nazzal T.B. Sample and hold circuits for low-frequency signals in analog-to digital converter, 2015. <https://doi.org/10.1109/ICTRC.2015.7156415>
- [5] Andreev D.V., Maslovsky V.M., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modified Ramped Current Stress Technique for Monitoring Thin Dielectrics Reliability and Charge Degradation. *Phys. Status Solidi A*, 2022, vol. 219, iss. 9, art. 2100400(1-5). <https://doi.org/10.1002/pssa.202100400>

## Reduction of the Rate of Change of the Output Voltage of the Chip of the Sample and Hold Circuit

© Navruzova A.A.  
Andreev V.V.

navruzova\_aa@student.bmstu.ru  
vladimir\_andreev@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article presents the results of work on reducing the value of the parameter of the rate of change of the output voltage in the hold mode of the IC sample and hold circuit (S/H circuit). This parameter is responsible for the ability of the S/H circuit to maintain the required signal level in storage mode. To achieve this goal, changes in the chip crystal structure were proposed. The influence of the changes made in comparison with the original design on the efficiency of the S/H circuit is estimated.*

**Keywords:** *sample and hold circuit, rate of change of output voltage, leakage currents, parasitic transistor*



УДК 621.317

## Разработка источника опорного тока малой амплитуды с широким диапазоном питающего напряжения

© Гришин Григорий Константинович  
Борисов Егор Олегович  
Ботов Артемий Николаевич  
Андреев Дмитрий Владимирович

grishin\_gr@mail.ru  
borisoff.egor-borisoff@yandex.ru  
botov-2001@mail.ru  
dmitrii\_andreev@bmsu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Разработан источник опорного тока, используемый для улучшения параметров схемы перемножителя. Проведен анализ резисторов микросхемы в температурной области, получена его SPICE-модель, выполнено конечное моделирование схемы источника опорного тока.*

**Ключевые слова:** резистор, SPICE-модель, моделирование, источник опорного тока

**Введение.** В конструкции интегральных микросхем одним из основных блоков выступают источники опорного тока. Они минимизируют влияние внешних факторов на работу микросхемы. Важным требованием к источнику тока является его способность работать при широком диапазоне питания, особенно для устройств, работающих от переменного напряжения [1].

В данной работе будет рассмотрена разработка источника опорного тока малой амплитуды с широким диапазоном питающего напряжения.

**Измерение и моделирование.** В производстве микросхем 525ПС3 проблемой является получение стабилитрона с нужными параметрами. Решением может быть замена стабилитрона схемой источника тока, что также упрощает технологический процесс. Для моделирования схемы необходимо обновить SPICE-модель резистора, так как они оказывают большее влияние на температурную стабильность.

Для определения типовых характеристик диффузионных резисторов была отобрана выборка из 12 штук в соответствии с РМ II 070.071-81. Измерения сопротивления проводились в камере тепла-холода марки КТХЦ-80-06 в диапазоне температур от  $-60$  до  $125$  °C с использованием вольтметра универсального В7-78/1 [2].

На основе полученных данных построен график зависимости среднего значения сопротивления от температуры (рис. 1).

Для формирования SPICE-модели необходимо рассчитать систему уравнений:

$$\begin{cases} R = \left( R_{Sh} \frac{L}{W} \right) TF; \\ TF = 1 + TC_1(T - T_{NOM}) + TC_2(T - T_{NOM})^2. \end{cases} \quad (1)$$

По результатам измерений с использованием системы уравнений (1) была получена SPICE-модель резистора:

### SPICE-model

```
.MODEL Res1 R(RSH=827.9539312645187 TC1=0.00022124753223215921 TC2=-6.324682000291576e-07
```

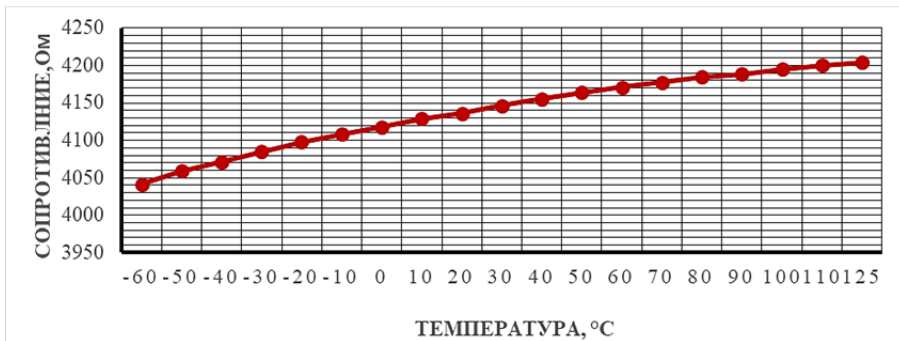


Рис. 1. График зависимости среднего значения сопротивления от температуры

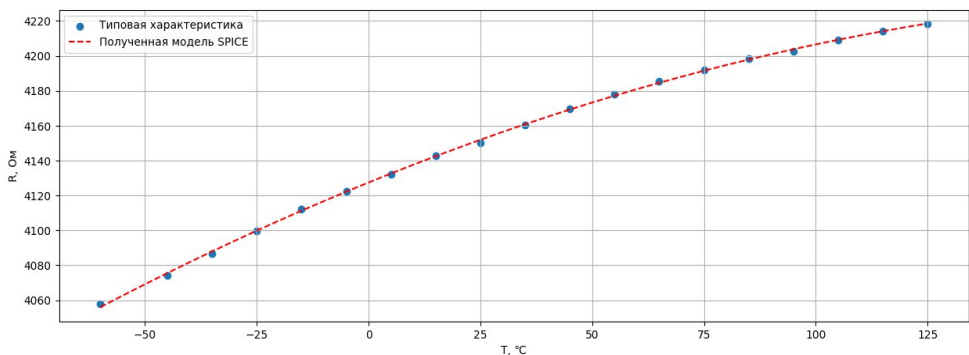


Рис. 2. График зависимости значения сопротивления модели резистора от температуры

На рис. 2 приведен график зависимости значения сопротивления от температуры с полученной SPICE-модели. Как можно заметить, полученные зависимости подобны, таким образом, модель является релевантной.

В связи с широким разбросом сопротивлений в зависимости от температуры необходимо провести моделирование схемы источника по ее основным параметрам [3]. Схема источника опорного тока приведена на рис. 3. Как видно из графиков, приведенных на рис. 4 схема моделируется стабильно, таким образом, источник можно интегрировать в схему, используя текущую технологию [4].

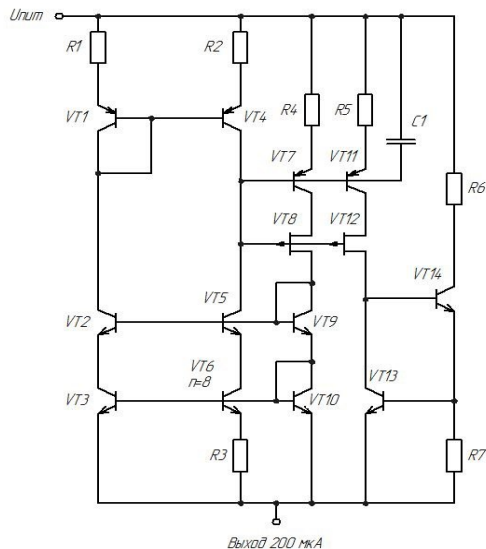
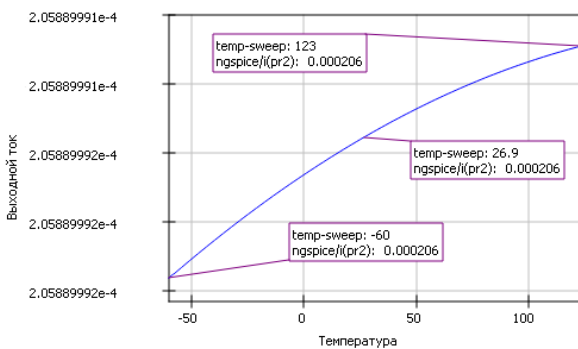
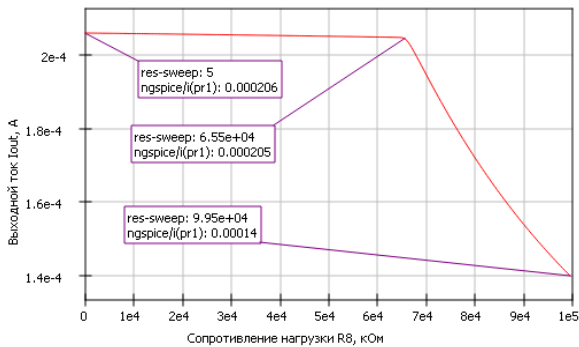


Рис. 3. Схема источника опорного тока



а



б

Рис. 4. Графики зависимости выходного тока от температуры (а) и выходного тока от сопротивления нагрузки (б)

**Вывод.** В ходе работы был разработан источник тока, обновлены текущие SPICE-модели резисторов и проведено моделирование схемы источника опорного тока, что позволит встроить ее в готовое изделие.

## Литература

- [1] Сухова В.Ф. *Интегральные микросхемы*. Нижний Новгород, ВГУВТ, 2014, 60 с.
- [2] Пасынков В.В., Чиркин Л.К. *Полупроводниковые приборы*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 480 с.
- [3] Петров М.Н., Гудков Г.В. *Моделирование компонентов и элементов интегральных схем*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 464 с.
- [4] Параскевов А.В. *Микроэлектроника и схемотехника*. Вологда, Инфра-Инженерия, 2023, 116 с.

## The Development of a Small Amplitude Reference Current Source with a Wide Range of Supply Voltage

© | Grishin G.K.  
Borisov E.O.  
Botov A.N.  
Andreev D.V.

grishin\_gr@mail.ru  
borisoff.egor-borisoff@yandex.ru  
botov-2001@mail.ru  
dmitrii\_andreev@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*A reference current source used to improve the parameters of the multiplier circuit has been developed in the work. The analysis of the resistors of the chip in the temperature region was carried out, its SPICE model was obtained, and the final simulation of the reference current source circuit was performed.*

**Keywords:** Resistor, TCR, SPICE model, simulation, reference current source

УДК 004.312

## Применение ПЛИС для обработки изображений с камер, использующих фильтр Байера

© Корнев Сергей Александрович  
Андреев Владимир Викторович

s.kornev.tov@gmail.com  
vladimir\_andreev@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрена обработка изображений с камер, использующих фильтр Байера, а также алгоритмы, применяемые для восстановления цветов на изображении. Представлена реализация блока дебайеризации использующего интерфейс AXI4-Stream. Данный блок использует алгоритм высококачественной линейной интерполяции с матрицей  $5 \times 5$  и позволяет получать высококачественные выходные RGB изображения. Достоинством алгоритма является малое потребление ресурсов ПЛИС из-за использования матриц с малым числом коэффициентов. Сделаны выводы, о том, что разработанный блок может применяться для высокоскоростной обработки изображений до  $1920 \times 1080$  пикселей при 60 кадрах в секунду (1080p60) на ПЛИС семейства Xilinx Artix 7.*

**Ключевые слова:** обработка изображений, дебайеризация, фильтр Байера, восстановление цветов, ПЛИС

Цифровые камеры широко используются для решения различных задач: системы компьютерного зрения, навигация и ориентация в пространстве, телевизионные камеры, системы видеонаблюдения и фотоаппараты — это лишь малая часть сфер применения цифровых камер. При этом для многих сфер необходима обработка потока изображений с камеры (видеопотока) в реальном времени с высокой скоростью [1–4].

Современные камеры позволяют создавать изображения с высоким разрешением, тем самым улучшая качество получаемых изображений, но также это ведет к увеличению вычислительных ресурсов требуемых для обработки таких изображений [2].

Микроконтроллеры плохо подходят для задач обработки изображений из-за стоимости устройств с подходящими характеристиками или же полной невозможности достичь требуемой производительности. Наиболее оптимальным вариантом является использование ПЛИС, так как они позволяют создать вычислительное устройство под конкретную задачу, а также имеют различные DSP блоки и RAM необходимые для высокоскоростной обработки сигналов.

В докладе приводится описание разработанного блока начальной обработки изображений с камеры с шаблоном Байера. Он может использоваться в составе систем видеообработки и может быть сконфигурирован для обработки изображений различного размера.

Пиксели изображения с цифровой камеры содержат информацию о трех цветах: красном (R), зеленом (G) и синем (B). Тем не менее камеры с трехцвет-

ными сенсорами довольно дорогие и не так широко распространены, как камеры, использующие сенсор с матрицей Байера. В такой камере пиксели покрыты фильтром по особому шаблону, где 50 % фильтров служат для выделения зеленого цвета, а для красного и синего цвета выделено по 25 % фильтров. Фильтры обычно сгруппированы по квадратам, где в первом ряду идут (слева направо) фильтры зеленого и красного, а во втором синего и зеленого.

Чтобы восстановить недостающие цвета для каждого из пикселей (дебайеризации) используются различные алгоритмы. Наиболее часто используются матричные алгоритмы на базе матрицы свертки, восстанавливающие недостающие цвета на основе соседних пикселей [5].

Один из самых простых алгоритмов использует «интерполяцию методом ближайшего соседа» с матрицей  $2 \times 2$ . Его преимуществом является наименьшая ресурсоемкость, но при этом при его использовании часто возникают различные ошибки в полученных цветах, особенно на границах участков с сильной разницей в цвете (к примеру, границы букв).

Чтобы улучшить качество получаемого изображения можно использовать больше соседних пикселей, т. е. использовать больший размер матрицы, к примеру,  $3 \times 3$  или  $5 \times 5$ . Недостатком такого подхода является большее использование ресурсов ПЛИС для хранения большего числа рядов изображения.

Для создания блока дебайеризации был выбран алгоритм высококачественной линейной интерполяции с матрицей  $5 \times 5$ , предложенный в [6]. Коэффициенты фильтров, используемых в алгоритме, представлены на рис. 1.

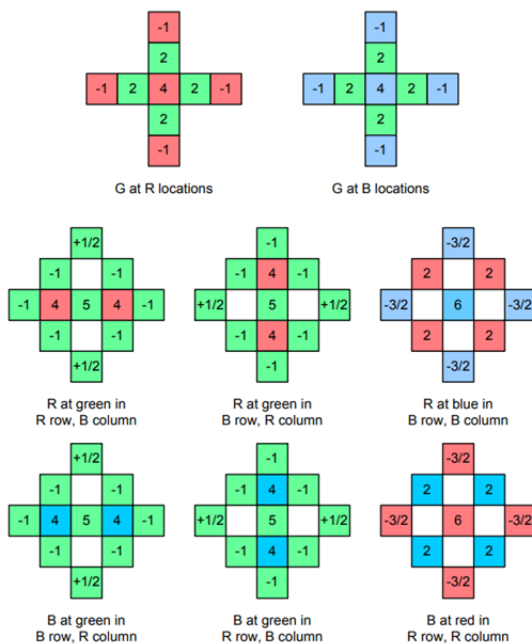


Рис. 1. Коэффициенты фильтров используемых для дебайеризации

Данный алгоритм позволяет получать высококачественные выходные RGB изображения, а его достоинством является малое потребление ресурсов ПЛИС из-за использования матриц с малым числом коэффициентов.

Дебайеризация является лишь одной из стадий обработки изображений с цифровой камеры. Чтобы взаимодействие с другими блоками обработки изображений было максимально простым, в предложенном блоке используются интерфейсы AXI4-Stream [7]. Это широко используемый для обработки потоковых данных интерфейс, большими преимуществами которого являются простота, а также наличие большого числа IP блоков с различными функциями необходимыми для обработки изображений. В AXI4-Stream для передачи данных используется схема с рукопожатием (сигналы TVALID и TREADY), которая также позволяет приемнику данных с помощью сигнала TREADY указывать передатчику, возможна ли обработка данных в данный момент или нет.

В заключение отметим, что разработанный блок способен получать и обрабатывать данные изображения каждый такт, а сигнал TREADY сбрасывается лишь при обрыве пакета с текущим кадром (к примеру, при переподключении камеры к ПЛИС или ее сбросе). Конвейерная архитектура блока дебайеризации и использование встроенных DSP блоков умножения, позволяет обрабатывать изображения разрешением до 1920×1080 пикселей при 60 кадрах в секунду (1080p60) на ПЛИС семейства Xilinx Artix 7. Блок легко может быть интегрирован в существующие системы видеобработки благодаря использованию интерфейса AXI4-Stream.

## Литература

- [1] Siddiqui F, Amiri S, Minhas UI, Deng T, Woods R, Rafferty K, Crookes D. FPGA-Based Processor Acceleration for Image Processing Applications. *Journal of Imaging*, 2019, vol. 5, is. 1, pp. 16. 2019; 5(1):16. <https://doi.org/10.3390/jimaging5010016>
- [2] Chen S., Xiaofeng D., Qijing W. Image Reconstruction Based On Bayer And Implementation On FPGA. *Proceedings of the 2015 2nd International Workshop on Materials Engineering and Computer Sciences*, 2015, pp. 849–853. <https://doi.org/10.2991/iwmeecs-15.2015.166>
- [3] Корнев С.А., Андреев В.В. Определение границ объектов из видеопотока в реальном времени на ПЛИС. *Студенческая научная весна: Всерос. студ. конф., посв. 170-летию В.Г. Шухова: сб. тез. докл.* Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, с. 242–244.
- [4] Корнев С.А., Андреев В.В. Проектирование конфигурируемого 32-разрядного RISC-V микропроцессора. *Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС)*, 2022, № 4, с. 122–129. <https://doi.org/10.31114/2078-7707-2022-4-122-129>
- [5] Zhang Z., Zhang H., Wu L., Yang Y., Li X., FPGA-based real-time Bayer demosaicking algorithm and its implementation. *Journal of Applied Optics*, 2022, vol. 43, iss. 2, pp. 240–247. <https://doi.org/10.5768/JAO202243.0202002>
- [6] Malvar H., Li-wei H., Cutler R., High-quality linear interpolation for demosaicing of Bayer-patterned color images. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 2004, vol. 3, art. 485. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2004.1326587>
- [7] AMD. AXI4-Stream Interface. 19.10.2022. Available at: <https://docs.xilinx.com/r/en-US/pg256-sdfec-integrated-block/AXI4-Stream-Interface> (accessed November 11, 2023).

## FPGA - Based image processing of Bayer - patterned images

© | Kornev S.A.  
Andreev D.V.

s.kornev.tov@gmail.com  
vladimir\_andreev@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The processing of images from cameras using the Bayer filter is considered, as well as algorithms used to restore color in the image. The implementation of the debayering block using AXI4-Stream interfaces is presented. This unit uses a high-quality linear interpolation algorithm with a 5x5 matrix and allows to obtain high quality RGB output images. The advantage of the algorithm is the low consumption of FPGA resources due to the use of matrices with a small number of coefficients. It is concluded that the developed unit can be used for high-speed image processing up to 1920×1080 pixels at 60 frames per second (1080p60) on FPGAs of the Xilinx Artix 7 family.*

**Keywords:** *image processing, debayering, Bayer filter, color reconstruction, FPGA*



УДК 681.527.73

## Процесс деградации оптронов

© Пиуновский Андрей Романович  
Адарчин Сергей Александрович

piunovskiyar@student.bmstu.ru  
adarchin@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Оптрон — это оптико-электронный компонент, предназначенный для обеспечения гальванической развязки между сигнальными цепями. Его высокий риск выхода из строя в большинстве случаев приводит к выходу из строя всего оборудования. В данной работе изучается процесс изнашивания этого компонента и уделяется особое внимание наиболее существенным изменениям параметров.*

**Ключевые слова:** *оптрон, коэффициент передачи тока, фотоприемник, светодиод, испытания, выносливость, процесс старения*

В большинстве промышленных и общедоступных электронных устройств источники питания являются важными подсистемами, сбой в работе которых приводят к незапланированному простоя всей системы. Чтобы повысить надежность этого оборудования, необходимо организовать эффективное профилактическое обслуживание, которое требует методичной диагностики возможных отказов.

Оптрон — это оптико-электронный компонент с высоким риском выхода из строя. Обычно он используется для передачи аналоговой информации через изолирующий барьер источника питания [1]. Эта изоляция обеспечивается оптическим соединением, между входом и выходом, что необходимо для безопасности человека (например, в медицинском оборудовании) или для предотвращения электромагнитных помех (например, между силовой электроникой и цепями управления).

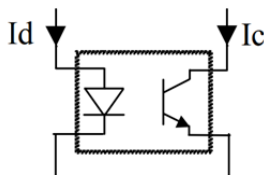


Рис. 1. Упрощенная схема оптрона

В большинстве случаев для излучения в инфракрасном диапазоне используется арсенид-галлиевый диод с кремниевым приемником. Такой разумный выбор позволяет повысить эффективность компонентов [2].

Основная характеристика оптрона — коэффициент передачи тока CTR показывает отношение изменения выходного коллекторного тока  $I_c$  и входно-

го тока светодиода  $I_d$  к входному току при различных температурах и при фиксированном напряжении коллектор — эмиттер  $V_{эк}$  (рис. 1) [3]:

$$CTR = \frac{I_c}{I_d}, \quad (1)$$

Изменение CTR в зависимости от времени измерения представлено на рис. 2. Мы замечаем, что деградация компонентов, подвергшихся воздействию только в области фотодатчика, незначительна даже по прошествии 1000 ч. Однако смещение CTR для компонентов, выделенных в области светодиода, просматриваются. Видно, что ухудшение CTR выше при небольших значениях тока и происходит быстрее в течение первых 100 ч, затем скорость ухудшения постепенно снижается в зависимости от времени выдержки [4].

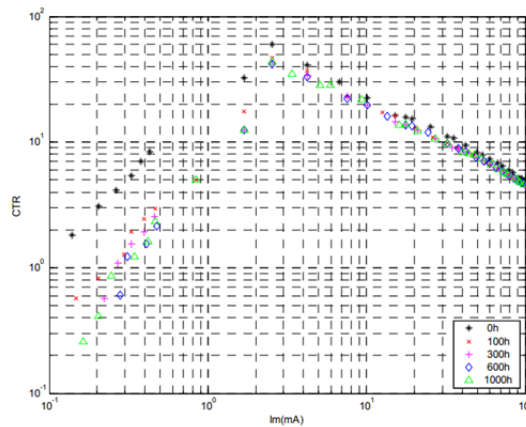
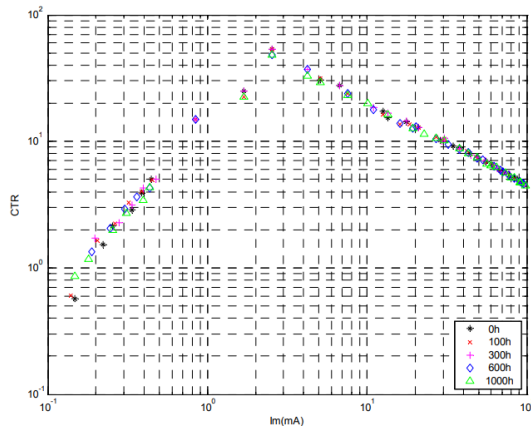
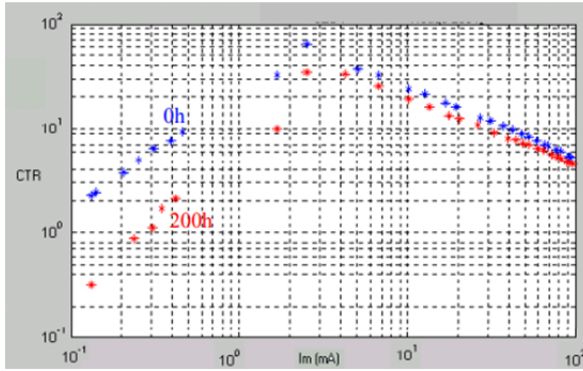
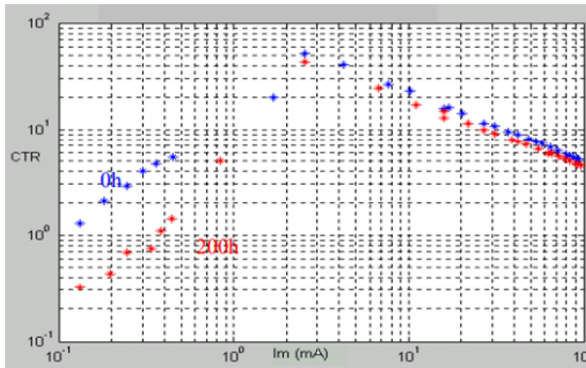


Рис. 2. Изменение CTR в зависимости от ускоренного износа (а) фотоприемника (б) светодиода



а



б

Рис. 3. Изменение CTR после испытаний на выносливость:  
 а — высокий ток светодиода; б — высокая температура

Наблюдение за временем отклика компонентов до и после испытаний на долговечность показывает, что ни высокая температура, ни большой ток не оказывают на это никакого влияния. Однако испытание на выносливость при высоком токе приводит к ухудшению CTR, что более важно, чем ухудшение из-за высокотемпературных стресс-тестов (см. рис. 3).

При испытании на выносливость оптрона при высоком токе приводит к ухудшению CTR, что более важно, чем ухудшение из-за высокотемпературных тестов. Можно сделать вывод, что входной ток светодиода является параметром старения, наиболее значимым в процессе износа оптронов.

На рис. 3 видно, что дрейф CTR зависит от тока измерения ( $I_m$ ) и времени. Чтобы подчеркнуть это изменение, определяем относительное снижение CTR  $D(t)$ , выраженное следующим образом:

$$D(t) = \frac{CTR(0) - CTR(t)}{CTR(0)}. \quad (2)$$

Заметно, что значение  $D(t)$  важно для низких значений  $I_m$ , измеряемых в настоящее время, и в начале процесса старения (рис. 4).

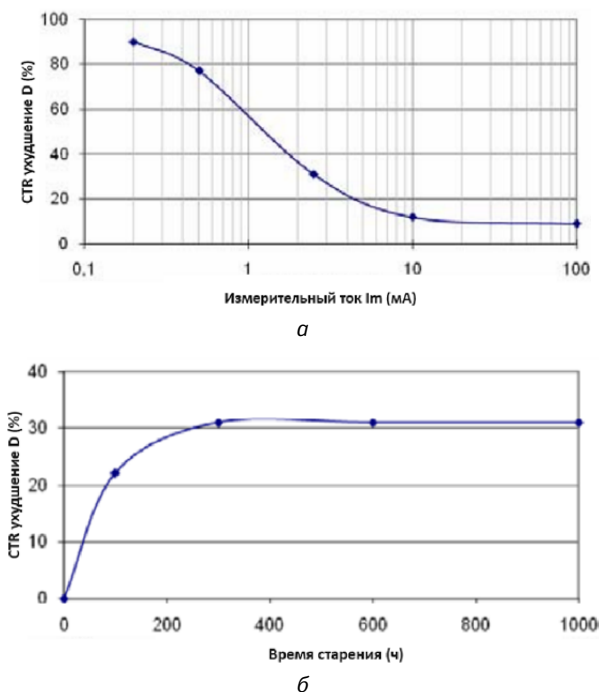


Рис. 4. Ухудшение CTR  $D(t)$  (а) в зависимости от тока измерения  $I_m$  (б) в зависимости от времени выдержки

В этой статье мы изучили процесс старения оптронов. Были описаны результаты этих испытаний. Во-первых, выяснилось, что светодиод является единственной частью оптрона, которая имеет значительный износ и приводит к снижению CTR. Во-вторых, время отклика оптрона остается неизменным по сравнению со временем старения. В-третьих, ток на светодиоде оказывает гораздо большее влияние на ухудшение CTR, чем температура.

## Литература

- [1] Бурков А.Т. *Электроника и преобразовательная техника. Т. 1: Электроника*. Москва, ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015, 480 с.
- [2] Азанова И.С., Вольхин И.Л., Луценко А.С. и др. *Фотоника и оптоинформатика. Волоконные брэгговские решетки*. Пермь, Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2023, 94 с.
- [3] Носов Ю.Р., Сидоров А.С. *Оптроны и их применение*. Москва, Радио и связь, 1981, 280 с.
- [4] Williams D.A. Optocouplers selection for high frequency power supplies. *Proceedings of IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 1995, vol. 2. <https://doi.org/10.1109/APEC.1995>

## Optocouplers Ageing Process

© | Piunovski A.R.  
| Adarchin S.A.

piunovskiyar@student.bmstu.ru  
adarchin@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The optocoupler is a coupling component used commonly in feedback control loop circuits for power supply equipment. Its high failure risk causes in most cases the breakdown of the whole equipment. In this work, the wearout process of this component is studied and a special attention to the most significant parameters variation is paid.*

**Keywords:** *optocoupler, current transfer ratio, photodetector, LED, testing, endurance test, aging process*

УДК 550.361, 621.1

## Определение усредненных расходных характеристик геотермальных скважин при оптимизации параметров геотермальной энергоустановки

© | Жинов Андрей Александрович<sup>1</sup>  
Романенко Александр Васильевич<sup>2</sup>

azhinov@bmstu.ru  
Romanenko\_AV@paoktz.ru

<sup>1</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>2</sup> ПАО «Калужский турбинный завод»

*Представлена методика определения усредненной расходной характеристики скважин конкретного геотермального месторождения. Полученная зависимость использована при определении оптимальных параметров циклов ПТУ ГеоТЭС. Определено оптимальное начальное давление пароводяной смеси из скважин. Использование полученной характеристики позволяет проводить анализ тепловой эффективности геотермальных энергоустановок при различных давлениях рабочего тела на входе в турбину и в конденсатор.*

**Ключевые слова:** геотермальная энергия, ГеоТЭС, паротурбинная установка, термическая эффективность

Геотермальная энергетика — один из наиболее перспективных способов развития возобновляемой энергетики в нашей стране, особенно на Камчатке и Дальнем Востоке [1–6]. Геотермальные электростанции (ГеоТЭС) используют горячую воду, пар и парожидкостную смесь геотермальных месторождений для организации циклов паротурбинных установок (ПТУ), использующих в качестве рабочего тела воду, или иные, обычно низкокипящие, теплоносители. Параметры рабочих тел ПТУ ГеоТЭС напрямую определяют эффективность таких установок.

Характеристики геотермальных месторождений, и даже отдельных скважин в них, строго индивидуальны и существенно изменяются со временем при их эксплуатации. Устойчивость режимов работы геотермальных скважин во многом определяется сложными метастабильными течениями пароводяного рабочего тела в них от забоя до устья [7]. Для повышения устойчивости работы скважин применяются различные методы, в том числе дросселирование потока на устье [8]. Это приводит к необходимости определения на этапе проектирования, а затем поддержания при эксплуатации, оптимальных параметров пароводяной смеси на входе в энергоустановку, как с точки зрения обеспечения устойчивости работы скважин, так и с точки зрения получения максимальной эффективности установки.

Характеристики реальных скважин геотермальных месторождений не описываются единой числовой зависимостью. Вместе с тем, расходные характеристики скважин обычно имеют общую качественную закономерность:

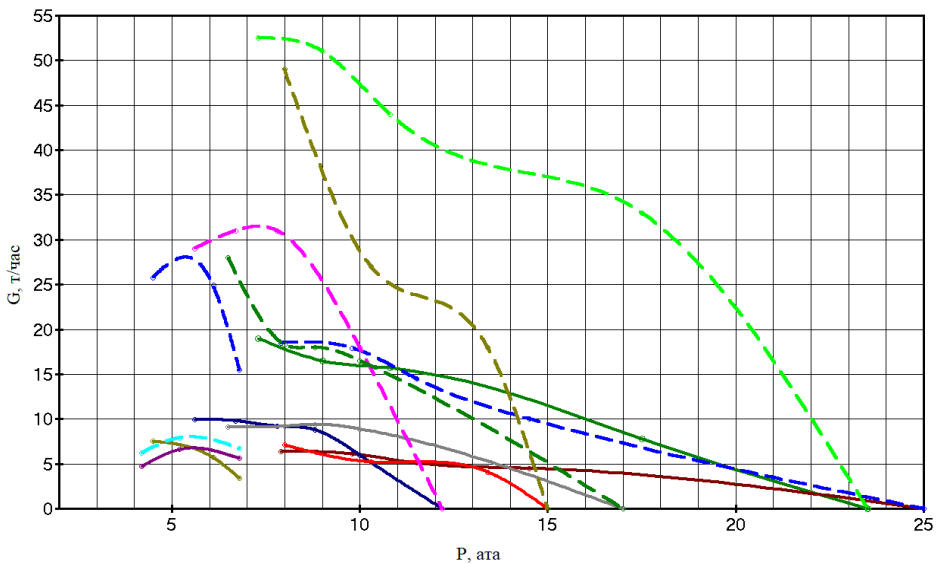
с ростом давления в устье скважины уменьшается расход пароводяной смеси и выход паровой фазы, при этом, темп снижения расхода пара с ростом давления больший, чем темп уменьшения расхода пароводяной смеси. Расход пара в смеси определяется зависимостью

$$G_{\text{п}} = G_{\text{см}} \frac{h - h''}{r},$$

где  $h$  — энтальпия пароводяной смеси;  $h''$ ,  $r$  — энтальпия насыщенного пара и скрытая теплота парообразования.

С ростом давления уменьшается расход смеси  $G_{\text{см}}$ , одновременно с этим, из-за быстрого роста  $h''$ , уменьшается значение дроби  $(h - h'')/r$ , при этом  $h$  и  $r$  изменяются сравнительно слабо.

На рис. 1 и 2 приведены экспериментально полученные характеристики некоторых скважин Мутновского геотермального месторождения (Камчатка), иллюстрирующие указанные тенденции. Анализируя эти характеристики можно отметить, что с понижением давления в устье скважины можно ожидать возникновения режима звукового истечения паровой фракции из скважины, при этом уменьшение давления в устье уже не приведет к росту расхода. С ростом давления в устье скважины неизбежно должно произойти «запирание» скважины, когда расход резко сокращается.



**Рис. 1.** Расходные характеристики в устьях скважин Мутновского месторождения (сплошные линии — зависимости расхода пара от давления, пунктирные линии — зависимости расхода пароводяной смеси от давления)

Геотермальная пароводяная смесь, отбираемая с определенной глубины скважины, имеет энтальпию, которая слабо зависит от давления в устье скважины, что следует из экспериментальных данных, полученных для нескольких характерных скважин Мутновского месторождения, представленных на рис. 2.

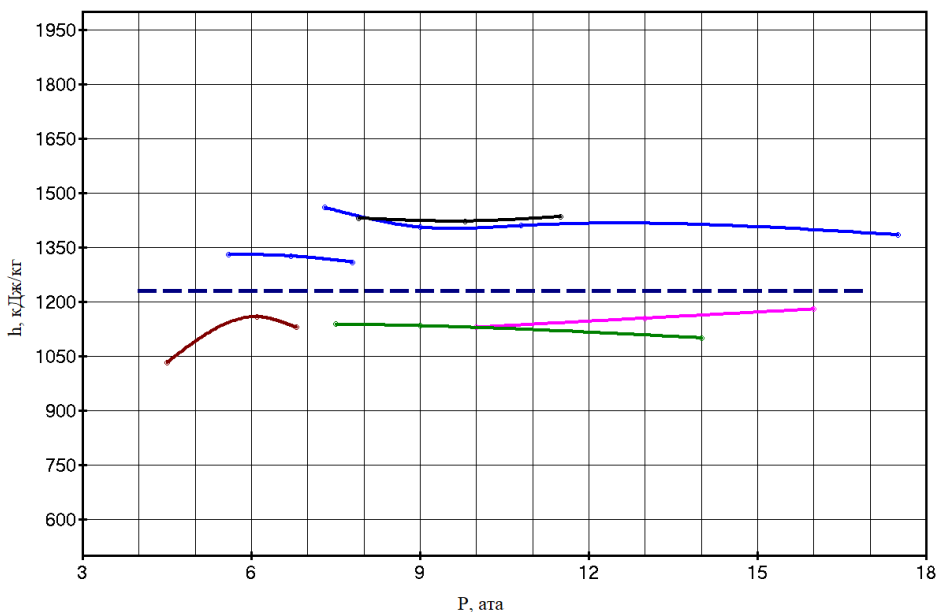


Рис. 2. Энтальпия пароводяной смеси в устьях скважин Мутновского месторождения (пунктир — осредненное значение)

Изменение энтальпии пароводяной смеси для каждой скважины не превышает  $\pm 10\%$  среднего значения. Невозможно предсказать тенденции изменения энтальпии с изменением давления для конкретной скважины: имеются случаи и возрастания, и уменьшения ее с ростом давления в устье.

Для возможности проведения оптимизации выполнен расчет среднемассовой энтальпии пароводяной смеси для девяти характерных скважин Мутновского месторождения. Расчет сделан с учетом массовых расходов и энтальпии отдельных скважин по уравнению

$$\bar{h} = \frac{\sum_1^9 (G_i h_i)}{\sum_1^9 G_i}, \text{ кДж/кг.}$$

В результате расчетов получено среднее значение энтальпии пароводяной смеси в устье скважин  $\bar{h} = 1230$  кДж/кг.



По данным, представленным на рис. 1, были построены усредненные расходные характеристики рассмотренных скважин Мутновского месторождения в относительных координатах. Затем получена общая для рассмотренной группы скважин усредненная характеристика в относительных координатах

тах  $\bar{P} = \frac{P}{P_{\max}}$  и  $\bar{G} = \frac{G}{G_{\max}}$ , которая хорошо аппроксимируется уравнением

$$\bar{P} = -0,4167\bar{G}^3 - 0,0625\bar{G}^2 - 0,1208\bar{G}.$$

Полученная зависимость использована при определении оптимальных параметров циклов ПТУ ГеоТЭС Мутновского геотермального месторождения. Например, для схемы без промежуточного ввода пара в турбину, в случае использования конденсатора, охлаждаемого водой, определено оптимальное начальное давление пароводяной смеси из скважин равное 6,7 атм, при энтальпии смеси 1230 кДж/кг.

Следует также отметить, что на выбор оптимального начального давления цикла ПТУ ГеоТЭС существенно влияет давление в конденсаторе ПТУ, определяемого его типом и конструкцией, а также условиями его эксплуатации [9, 10].

## Литература

- [1] Богуславский Э.И. *Освоение тепловой энергии недр*. Санкт-Петербург, Научно-технические технологии, 2020, 435 с. URL: <https://publishing.intelgr.com/archive/osvoenie-teplovooy-energii-nedr.pdf> (дата обращения 19.09.2023).
- [2] Алхасов А.Б. Повышение эффективности использования геотермального тепла, *Теплоэнергетика*, 2003, № 3, с. 52–54.
- [3] Томаров Г.В., Никольский А.И., Семенов В.Н. и др. Тенденции и перспективы развития геотермальной энергетики. *Теплоэнергетика*, 2012, № 11, с. 26–35.
- [4] Бритвин О.В., Поваров О.А. Мутновский геотермальный энергетический комплекс на Камчатке. *Теплоэнергетика*, 2001, № 2, с. 4–10.
- [5] Манушин Э.А., Бирюков В.В. Паротурбинная установка геотермальной электростанции бинарного цикла для геотермальных месторождений камчатского края. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2011, № 09, 45 с.
- [6] Поваров О.А. Изучение возможности извлечения тепловой энергии магматического очага Авачинского вулкана с помощью бурения глубоких скважин. *Проект научного бурения на Мутновском вулкане — исследование связи магматической и гидротермальных систем*. Петропавловск-Камчатский, Камчатский печатный двор, 2006, с. 79–82.
- [7] Шулюпин А.Н., Чермошнцева А.А. Обоснование особенностей режима работы пароводяной геотермальной скважины в рамках новой теории

- устойчивости. *GEOENERGY: матер. III Междунар. науч.-практ. конф.* Грозный, ГГНТУ, 2017, с. 21–29.
- [8] Shulyupin A.N., Chernov I.I. Some methods for reducing of steam deficit at geothermal power plants exploitation: Experience of Kamchatka (Russia). *Geothermal Energy*, 2015, vol. 23. Art. 3. <https://doi.org/10.1186/s40517-015-0042-4>
- [9] Федоров В.А., Мильман О.О., Ананьев П.А. и др. Результаты экспериментально-расчетных исследований воздушного потока в циркулассах воздушных конденсаторов паротурбинных установок. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение*, 2015, № 5, с. 87–105.
- [10] Жинов А.А., Шевелев Д.В. Исследование влияния ветра на производительность вентиляторов воздушно-конденсационной установки геотермальной электрической станции. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение*, 2015, № 1, с. 108–118.

## Determinatoon of Averager Characteristics of Geothermal Wells when Optimizing the Parameters of a Geothermal Power Plant

© | Zhinov A.A.<sup>1</sup>  
Romanenko A.V.<sup>2</sup>

azhinov@bmstu.ru  
Romanenko\_AV@paoktz.ru

<sup>1</sup> Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

<sup>2</sup> PJSC Kaluga Turbine Plant

*A method for determining the average flow characteristics of wells in a specific geothermal field is presented. The obtained dependence was used to determine the optimal parameters of the geothermal power plant cycles. The optimal initial pressure of the steam-water mixture from the wells was determined. The use of the obtained characteristic makes it possible to analyze the thermal efficiency of geothermal power plants at different pressures of the working fluid at the inlet to the turbine and condenser.*

**Keywords:** *geothermal energy, geothermal power plant, steam turbine plant, thermal efficiency*

УДК 621.3.049.774

## Моделирование фильтра с конечной импульсной характеристикой с использованием MATLAB

© Обидина Анастасия Станиславовна  
Кузнецов Вадим Вадимович

oas18ki123@student.bmstu.ru  
vadim.kuznetsov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Представлено создание FIR-фильтра с помощью пакета функций `fir` и его применение для обработки сигналов. Показано, как задать параметры фильтра (частота среза, порядок фильтра) и применить его к входному сигналу с помощью функции `filter`. Сделаны выводы, что FIR-фильтры являются эффективным инструментом для фильтрации сигналов с конечной импульсной характеристикой, так как они обладают линейной фазой и легко настраиваемыми параметрами. Эта техника может быть применена для обработки звуковых сигналов, изображений и других типов данных, где требуется фильтрация сигнала.*

**Ключевые слова:** цифровые фильтры, цифровая обработка сигналов, КИХ-фильтры, моделирование в MATLAB

Цифровые фильтры — это алгоритмы, используемые для обработки сигналов в цифровой форме. Они широко используются в различных областях, таких как обработка аудио, изображений и сигналов в системах связи.

Существует множество различных типов цифровых фильтров, каждый из которых предназначен для выполнения определенной функции. Например, фильтры нижних частот используются для удаления высокочастотных шумов из сигнала, а фильтры верхних частот — для удаления низкочастотных компонентов [1].

Одним из наиболее важных параметров цифрового фильтра является его частота среза. Эта характеристика определяет, какие частоты будут пропускаться через фильтр, а какие — отсеиваться.

В целом, цифровые фильтры являются важным инструментом для обработки и анализа данных в цифровой форме и имеют широкое применение в различных отраслях науки и техники [2].

Цифровые фильтры предназначены для решения двух основных задач:

1. Разделение двух и более распространяющихся совместно сигналов.
2. Восстановление сигналов, которые были каким-либо образом искажены.

Цифровые фильтры занимают одной из наиболее важных мест в цифровой обработке сигналов. Для решения первой задачи от фильтра требуется обеспечить такое разделение полезного сигнала и помехи, после которого их можно анализировать их независимо друг от друга. Задача восстановления решается в тех случаях, когда сигнал подвергается различного рода искажениям.

У фильтров есть три основных характеристики: импульсная, переходная и частотная. Каждая из них полностью определяет свойства линейного филь-

тра, т. е. содержит исчерпывающую информацию о его фильтрующих свойствах [3].

Самый простой способ реализации цифрового фильтра — свертка входного сигнала с импульсной характеристикой. Когда отсчеты импульсной характеристики используются в качестве весовых коэффициентов цифрового фильтра, то их называют ядром фильтра.

Другая форма построения цифровых фильтров — рекурсивные фильтры. Они представляют собой более широкий класс фильтров, кроме отсчетов входного сигнала учитывают также отсчеты выходного сигнала, полученные на предыдущих итерациях.

Импульсная характеристика рекурсивного фильтра может быть представленным в виде суммы синусоидальных сигналов с убывающей по экспоненциальному закону амплитудой. Это означает, что рекурсивный фильтр имеет импульсную характеристику бесконечной длины. Также рекурсивные фильтры называются фильтрами с бесконечной импульсной характеристикой или БИХ-фильтрами, а нерекурсивные фильтры, основанные на использовании операции свертки, называют фильтром конечной импульсной характеристикой или КИХ-фильтрами [4].

Переходная характеристика определяется как реакция на «единичный скачок» (единичную ступенчатую функцию). Так как «единичный скачок» представляет собой интеграл от единичного импульса, то переходная характеристика связана с импульсной интегральной зависимостью. Это означает, что переходную характеристику можно получить двумя способами:

1. Дать на вход фильтра сигнал в виде «единичного скачка» и зафиксировать его выходную реакцию.

2. Проинтегрировать импульсную характеристику.

Частотная характеристика цифрового фильтра связана с его импульсной характеристикой дискретным преобразованием Фурье (ДПФ).

Для графического отображения зависимости амплитуды от частоты может быть использован как линейный масштаб. В этом случае имеем дело с амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ), так и логарифмический масштаб (ЛАЧХ) [5, 6]. Линейный масштаб удобен для отображения амплитудной характеристики в полосе пропускания и переходной зоне. Логарифмический масштаб в децибелах необходим для исследования частотной характеристики в зоны подавления фильтр.

КИХ-фильтры широко используются благодаря мощным алгоритмам проектирования, которые существуют для разработки таких фильтров. Эти фильтры также по своей сути стабильны при реализации в нерекурсивной форме. Рассмотрим функции и объекты из DSP System Toolbox, которые можно использовать для разработки КИХ-фильтров нижних частот.

Для начала используем две функции, которые возвращают вектор коэффициентов КИХ-фильтра: `firseqrip` и `firgr`. Используйте `firseqrip`, когда порядок фильтрации (эквивалентно длине фильтра) известен и фиксирован.

```

N = 100; % порядок КИХ-фильтра
Fp = 20e3; % 20 кГц — частота края полосы пропускания
Fs = 96e3; % 96 кГц — частота дискретизации
Rp = 0.00057565; % Соответствует пульсации размаха 0,01 дБ
Rst = 1e-4; % Соответствует затуханию в полосе задержания 80 дБ
eqnum = firceqrip(N,Fp/(Fs/2),[Rp Rst],'passedge'); % eqnum = vec of coeffs
fvtool(eqnum,Fs=Fs)

```

На предыдущем шаге порядок фильтрации задается произвольно равным 100. Как правило, больший порядок приводит к лучшему приближению идеального фильтра при высоких затратах на реализацию. Удвоим порядок фильтрации, чтобы уменьшить ширину перехода фильтра вдвое (при сохранении всех остальных параметров неизменными):

```

N2 = 200; % Меняем порядок фильтра со 100 на 200
eqNum200 = firceqrip(N2,Fp/(Fs/2),[Rp Rst],'passedge');
fvt = fvtool(eqnum,1,eqNum200,1,Fs=Fs);
legend(fvt,"FIR filter, order = "+[N N2])

```

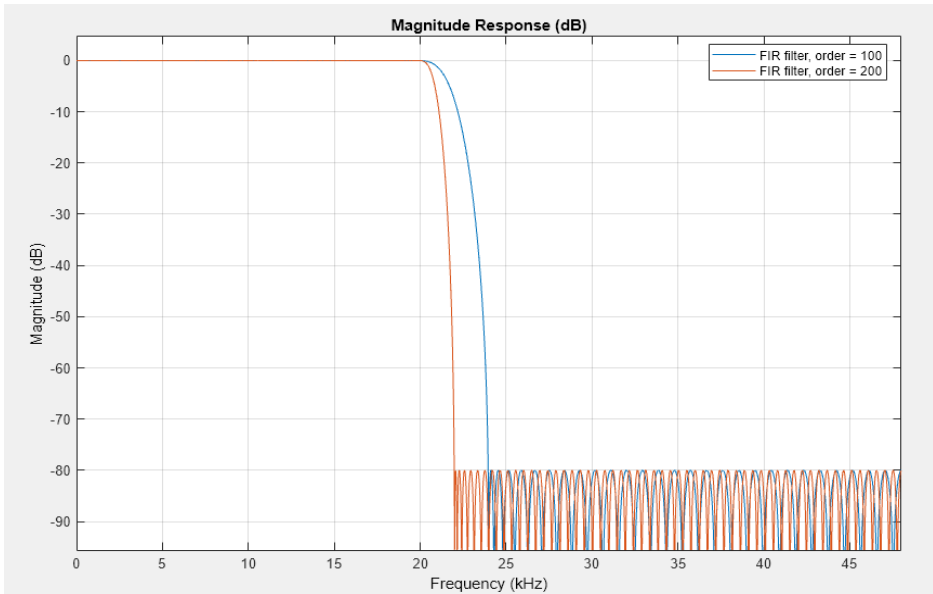


Рис. 1. Изменение крутизны в зависимости от порядка фильтра

После получения коэффициентов фильтра можно реализовать фильтр с помощью `dsp.FIRFilter` системного объекта:

```

lowpassFIR = dsp.FIRFilter(Numerator=eqnum);
fvtool(lowpassFIR,Fs=Fs)

```

Чтобы выполнить фактическую фильтрацию, используем `dsp.FIRFilter` объект напрямую, как функцию. Этот код фильтрует белый шум по Гауссу и показывает результирующий отфильтрованный сигнал в анализаторе спектра в течение 10 с:

```
Scope =  
spectrumAnalyzer(SampleRate=Fs,AveragingMethod='exponential',ForgettingFactor=0.5);  
show(scope);  
tic  
while toc < 10  
    x = randn(256,1);  
    y = lowpassFIR(x);  
    scope(y);  
end
```

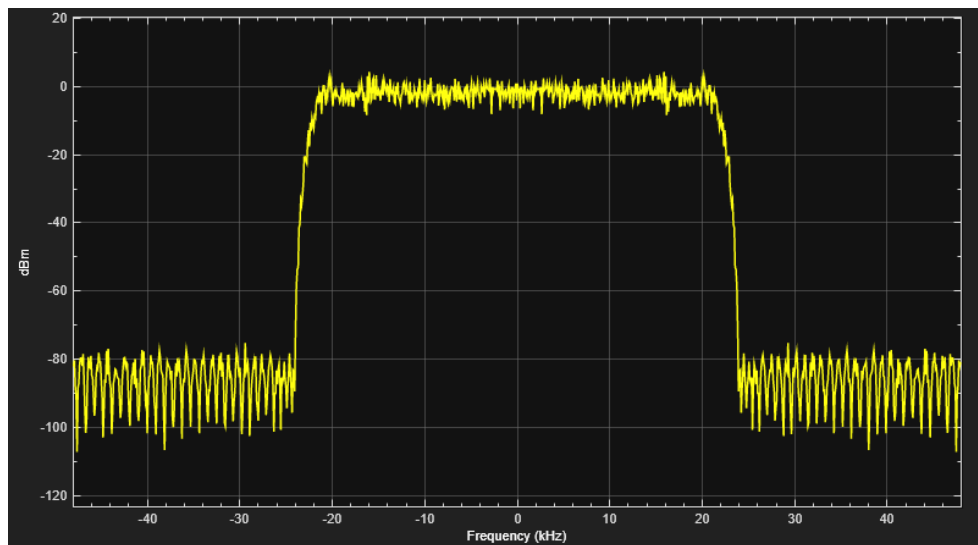


Рис. 2. Конечное АЧХ проектируемого фильтра

КИХ-фильтры работают путем свертки входного сигнала с импульсной характеристикой фильтра. Они отличаются от других типов фильтров, таких как ИИР-фильтры (Infinite Impulse Response), тем, что они не используют рекурсию для своей работы.

## Литература

- [1] Оппенгейм А., Шафер Р. *Цифровая обработка сигналов*. Москва, Техносфера, 2006, 856 с.
- [2] Лайонс Р. *Цифровая обработка сигналов*. Москва, Биномпресс, 2006, 656 с.
- [3] Айфичер Э., Джервис Б. *Цифровая обработка сигналов. Практический подход*. Москва, Вильямс, 2004, 992 с.
- [4] Лэм Г. *Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация*. Москва, Мир, 1982, 592 с.
- [5] Дьяконов В., Абраменкова И. *MATLAB. Обработка сигналов и изображений: спец. справочник*. Санкт-Петербург, Питер, 2002, 608 с.
- [6] Васильев В.П. Муру Э.Л., Смольский С.М. *Основы теории и расчета цифровых фильтров*. Москва, Издат. центр «Академия», 2007, 272 с.

## Modeling a Finite Impulse Response Filter Using MATLAB

© | Obidina A.S.  
Kuznetsov V.V.

oas18ki123@student.bmstu.ru  
vadim.kuznetsov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The creation of an FIR filter using the fir function package and its application to signal processing is presented. Shows how to set filter parameters (cutoff frequency, filter order) and apply it to the input signal using the filter function. It is concluded that FIR filters are an effective tool for filtering signals with a finite impulse response, since they have a linear phase and easily tunable parameters. This technique can be applied to processing audio signals, images and other types of data where signal filtering is required.*

**Keywords:** digital filters, digital signal processing, FIR filters, modeling in MATLAB





## ***Секция 4. Тепловые двигатели и гидромашины***



УДК 621.4

## Особенности конструкции турбины энергоустановки на органическом цикле Ренкина

© Киселев Данил Алексеевич  
Жинов Андрей Александрович

kiselyovda@student.bmstu.ru  
azhinov@bmstu.ru  
SPIN-код: 1078-4808

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В последнее время проблема утилизации низкопотенциального и бросового тепла и проектирование эффективных энергоустановок для этого стоит особенно остро. В работе рассматриваются особенности конструкции турбин для установок на органическом цикле Ренкина (ОЦР). Предложена и проработана конструкция турбины, использующей в качестве рабочего тела фреон R113. Турбина выполнена с полным подводом пара, тремя консольно закрепленными осевыми ступенями, двухкорпусной конструкцией статора и контактными уплотнениями.*

**Ключевые слова:** органический цикл Ренкина, ОЦР, конструкция ОЦР-турбины

Утилизация бросового тепла — это один из возможных методов повышения общей энергоэффективности установки. Примерами источников бросового тепла является: геотермика, энергия солнца, бросовое тепло промышленных предприятий (химической, стекольной, металлургической, коксовой промышленности), выхлоп различных двигателей [1]. Выхлопные газы различных технологических и энергетических установок содержат огромное количество энергии, которая может быть полезно использована [2, 3].

Особенность теплоутилизационных установок — возможность применения нетрадиционных рабочих тел — фреонов, кремнеорганических жидкостей, хладонов старого и нового поколения, углеводородов с особыми свойствами в органическом цикле Ренкина (ОЦР) [3–5]. В последние годы теплоутилизационными установками на ОЦР занимаются многие ведущие производители энергетического оборудования, что говорит о актуальности проблемы. Проектированием и производством турбин для ОЦР, например, занимаются такие известные компании, как Siemens, Turbogен, General Electric, Capstone Turbo, Tri-O-Gen, большое количество публикаций на эту тему делают ведущие технические университеты, такие как Университет Ларсенранта (Финляндия), МГТУ им. Н.Э. Баумана, СПбГУ, Самарский государственный Университет и другие.

В основном такте турбины представляют из себя трех-четырёхступенчатые осевые или центробежные турбины с частотой вращения 50/60 Гц или высокооборотные турбины с редуктором. В конструкциях ОЦР турбин Siemens, например, применяют одновальную конструкцию с повышенным числом оборотов ротора. Небольшие модульные установки с ОЦР,

мощностью около 700 кВт и КПД около 20 % полностью размещаются на общей базовой раме.

В конструкциях ОЦР турбин компании Turbogem, применяют осевые турбины с 2–6 ступенями. Относительный внутренний КПД таких турбин достигает 90 %, что обеспечивается качественно спроектированной проточной частью.

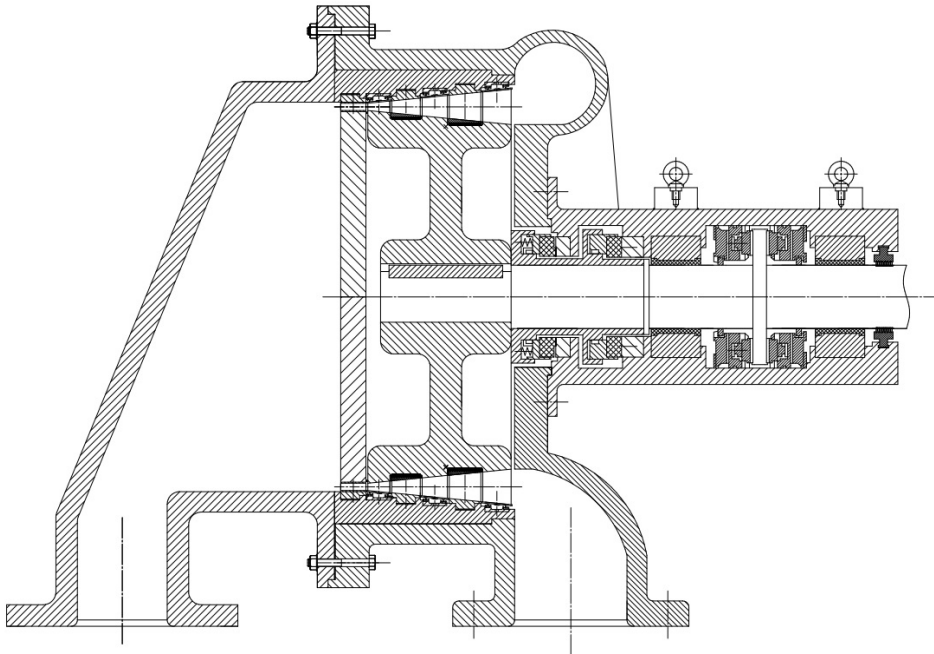
Рабочие тела и параметры установок на ОЦР обладают особыми свойствами. Отрицательный наклон правой пограничной кривой обеспечивает работу турбины полностью в области перегретого пара, что способствует стабильной и долговечной работе лопаток. Но данная особенность рабочих тел вынуждает добавлять за турбиной специальный рекуператор, который возвращает часть тепла обратно в цикл. Органические тела склонны к разложению и утрате своих свойств под действием высокой температуры. Небольшой удельный объем рабочих тел ОЦР, усложняет проектирование проточной части, так как возникает проблема очень коротких лопаток, вплоть до 6...10 мм. Некоторые органические рабочие тела вредны для окружающей среды, и необходимо полностью изолировать рабочий контур от окружающей среды. Для исключения утечек применяют контактные уплотнения. Турбины для ОЦР, как правило, работают в перегретом паре при невысоких температурах и относительно небольших перепадах давления от входа к выхлопу, что определяет невысокие требования к конструкционным материалам. Степень расширения пара в таких турбинах, как правило, тоже небольшая, а значит, лопатки во всей проточной части не длинные, и нет необходимости делать их из дорогостоящих сталей. Таким образом, перечисленные и другие особенности рабочего тела необходимо учитывать при проектировании элементов установки, использующий ОЦР.

Полученные в предварительных термодинамических расчетах параметры пара на ОЦР-турбину теплоутилизационной установки газоперекачивающего агрегата, позволили проработать ее конструкцию с учетом особых условий эксплуатации и особых свойств рабочего тела — фреона R113. Продольный разрез спроектированной турбины представлен на рисунке.

Турбина трехступенчатая, все рабочие венцы ступеней расположены на одном диске, который крепится к валу с натягом, крутящий момент передается через шпонку. Диск с рабочими лопатками выполнен заодно — это так называемый блэдис.

Вал турбины выполнен консольным, это позволило избавиться от переднего концевое уплотнения. Два опорных подшипника не дают ротору турбины смещаться в радиальном направлении, а располагающийся между ними упорный подшипник скольжения удерживает ротор турбины от осевого перемещения. Концевое уплотнение турбины выполнено в виде двухступенчатого контактного уплотнения, аналогичного по конструкции хорошо проработанному уплотнению, применяемому в нагнетателях природного газа газоперекачивающих агрегатов. Такая конструкция полностью исключает протечку рабочего тела. В качестве запорной жидкости выступает масло.

Масляный контур подшипникового узла изолирован от окружающей среды двухступенчатым лабиринтным уплотнением с возможностью удаления излишков масла, проникших сквозь первую ступень уплотнения. Корпус подшипникового узла крепится непосредственно к корпусу турбины.



Продольный разрез ОЦР-турбины

Подвод пара в турбине осуществляется через входной патрубок через камеру ко всем соплам первой ступени одновременно. Регулирование турбины дроссельное и осуществляется отдельно установленным клапаном. Выхлоп турбины выполнен в виде кольцевой улитки.

Корпус турбины выполнен двойным — внутренний тонкий корпус имеет горизонтальный разъем, что позволяет собрать проточную часть, состоящую из сопловых и рабочих решеток. Далее собранная «кассета» внутреннего корпуса с ротором по оси заводится в наружный толстый корпус, не имеющий горизонтального разъема, что дополнительно обеспечивает герметичность.

Таким образом, спроектированная турбина теплоутилизационной энергоустановки на ОЦР отвечает основным требованиям к особым условиям эксплуатации и обеспечит эффективную работу установки.

## Литература

- [1] Соколов А.Д., Музычук С.Ю., Музычук Р.И. Тепловые отходы и их влияние на энергоэффективность российской экономики: территориальный и отраслевой аспекты. *Экономический анализ: теория и практика*, 2016, № 6, с. 42–54.

- [2] Zhinov A.A., Shevelev D.V., Karyshev A.K., Anan'ev P.A. The numerical research of the gas flow in the exhaust duct of the gas turbine with a waste heat boiler. *Ain Shams Engineering Journal*, 2018, vol. 9, iss. 4, pp. 1325–1334, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.08.007>
- [3] Жинов А.А., Железнов А.П. Возможность использования различных низкокипящих рабочих тел для утилизации тепла газоперекачивающего агрегата, *Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: всерос. науч.-техн. конф.: матер.* В 2 т. Т. 1. Калуга, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019, с. 114–117.
- [4] Шубаров Н.С. Сравнение органического и парового циклов Ренкина. *Молодой ученый*, 2017, № 21 (155), с. 160–163.
- [5] Крупин Д.Ф., Суворов Д.М. Общие вопросы использования установки на базе органического цикла Ренкина. *Общество, наука, инновации (НПК2016): сб. ст.* Киров, Вятский гос. ун-т, 2016, с. 1662–1665.

## Design Features of the Turbine on the Organic Rankine Cycle Power Plant

© Kiselev D.A.  
Zhinov A.A.

kiselyovda@student.bmstu.ru  
azhinov@bmstu.ru  
SPIN-code: 1078-4808

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Recently, the problem of utilization of low-potential and waste heat and the design of efficient power plants for this is particularly acute. The paper discusses the design features of turbines for installations on the organic Rankine cycle (ORC). The design of a turbine using freon R113 as a working fluid is proposed and elaborated. The turbine is made with a full steam supply, three cantilevered axial stages, a two-body stator design and a contact seal.*

**Keywords:** *organic Rankine cycle, ORC, ORC turbine design*

УДК 621.564

## Сравнение методов получения теплофизических свойств веществ, используемых в качестве рабочих тел

© Ганков Максим Сергеевич  
Ильичев Владимир Юрьевич

maks.gankov@mail.ru  
patrol8@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Описан основной метод, используемый для получения уравнений состояния веществ, используемых в качестве рабочих тел энергетических установок. Актуальность данной темы связана с возрастающей ролью альтернативных веществ, используемых в установках, предназначенных для утилизации тепла, а также появлением программных продуктов, использующих данные уравнения состояния для определения их параметров по известным другим термодинамическим параметрам. Проведено сравнение значений, полученных при помощи зависимостей REFPROP и CoolProp с экспериментальными данными.*

**Ключевые слова:** уравнение энергии Гельмгольца, органическое рабочее тело, уравнение состояния, REFPROP, CoolProp

Для проведения тепловых расчетов необходимо знать значения параметров данного рабочего тела в точках процесса. Для этого используют таблицы свойств [1],  $h$ - $s$ -диаграммы, а с появлением компьютерной техники стало возможным применение уравнений состояния, по которым можно определить необходимые свойства вещества по другим известным параметрам, что значительно облегчает время проведения расчетов. Так, например, для воды и водяного пара значения теплофизических величин может быть определено по программе WaterSteamPro [2], которая сертифицирована по формулировкам Международной ассоциации по свойствам воды и водяного пара 1997 г. (IAPWS-IF97) [3].

В настоящий момент времени уравнения состояния для веществ выводят с использованием уравнения энергии Гельмгольца, которое рассматривают как функцию от плотности  $\rho$  и абсолютной температуры  $T$  [4]:

$$a(\rho, T) = a^0(\rho, T) + a^r(\rho, T),$$

где  $a^0(\rho, T)$  — идеально-газовая часть, которая представляет собой энергию Гельмгольца идеального газа;  $a^r(\rho, T)$  — эмпирическая избыточная часть, которая не связана с теоретической информацией, но согласуется с термодинамическим поведением жидкой фазы.

Преимуществом использования такого уравнения является то, что значения остальных параметров рабочего тела могут быть определены как его

производные. Однако для практического применения наиболее удобным в использовании является его безразмерный вид:

$$\frac{a(p, T)}{RT} = \alpha(\delta, \tau) = \alpha^0(\delta, \tau) + \alpha^r(\delta, \tau),$$

где  $\delta = \frac{p}{p_c}$  — безразмерная плотность;  $\tau = \frac{T_c}{T}$  — безразмерная температура;

$R = 8,314$  кДж/(кг · К) — универсальная газовая постоянная;  $p_c$  и  $T_c$  — критические плотность и температура рассматриваемого рабочего вещества соответственно.

При проектировании энергетических установок, работающих по органическому циклу Ренкина (ОЦР) [5] одной из важных задач является выбор рабочего тела, которое удовлетворяет параметрам источника тепла. Зачастую для его выбора необходимо произвести тепловые расчеты цикла, которые позволят определить располагаемый теплоперепад и расход, что позволит произвести их сравнение для конкретно поставленных условий и выбрать наиболее подходящее. Определять состояния в точках процесса можно при помощи уравнений состояний, используемых в программах REFPROP [6] и CoolProp [7]. Их особенностью является то, что они обладают значительной базой веществ, наиболее часто используемых в промышленности, а также простотой вызова функций по определению необходимых термодинамических свойств. При этом REFPROP разрабатывается Национальным институтом стандартов и технологий (США) и является платным продуктом, в то время как CoolProp является свободно распространяемым [8], но при этом обе программы ссылаются на одинаковую теоретическую базу. Но стоит отметить, что зависимости, используемые ими, не являются сертифицированными, что на первый взгляд не позволяет вести расчеты с их помощью. При этом в ГОСТ ИСО 17584–2015 [9] говорится о том, что REFPROP имеет высокую сходимость с экспериментальными данными по рабочим веществам, которые охватывает данный стандарт.

Для сравнения данных, по зависимостям используемыми CoolProp и REFPROP были получены значения энтальпии  $h$ , кДж/кг, энтропии  $S$ , кДж/(кг · К), удельного объема  $v$ , м<sup>3</sup>/кг, которые были вычислены по значениям давления  $p$ , кПа, и температуры  $t$ , °С, для верхней пограничной кривой. В качестве данных для сравнения использовались экспериментальные данные по фреонам R123. Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Аналогичное сравнение производилось для рабочего тела R152a. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Анализируя полученные данные, было установлено, что данные, полученные по зависимостям REFPROP и CoolProp, хорошо согласуются с экспериментальными данными, представленными в [9].



Таблица 1

## Сравнение данных по R123

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	Экспериментальные данные		Данные REFPROP		Данные CoolProp	
		$h, \text{кДж/кг}$	$S, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$h, \text{кДж/кг}$	$S, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$h, \text{кДж/кг}$	$S, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$
70	377,2	423,20	1,6743	423,205	1,67428	423,205	1,67428
80	489,1	428,89	1,6781	428,892	1,67815	428,892	1,67815
90	624,2	434,43	1,6822	434,427	1,68218	434,427	1,68218
100	785,5	439,77	1,6862	439,772	1,68624	439,772	1,68624
110	976,0	443,88	1,6902	444,876	1,69017	444,876	1,69017

Таблица 2

## Сравнение данных по R152a

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	Экспериментальные данные		Данные REFPROP		Данные CoolProp	
		$h, \text{кДж/кг}$	$S, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$h, \text{кДж/кг}$	$S, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$	$h, \text{кДж/кг}$	$S, \text{кДж/(кг} \cdot \text{К)}$
70	1886	542,37	2,0351	542,371	2,03514	542,3705	2,03514
80	2324	543,43	2,0198	543,431	2,01984	543,431	2,01984
90	2878	542,06	2,0000	542,063	2,00001	542,062	2,00001
100	3505	536,28	1,9707	536,281	1,97065	536,281	1,97065
110	4243	517,31	1,9096	517,311	1,90958	517,311	1,90958

Таким образом, можно сделать вывод о том, что уравнения состояния, основанные на уравнении энергии Гельмгольца, имеют хорошую сходимость с экспериментальными значениями. Но стоит отметить, что полученные таким образом зависимости требуют верификации, которая достигается путем сравнения с значениями, полученными в результате проведения опытов.

## Литература

- [1] *Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара*. Москва, Издат. дом МЭИ, 1999, 158 с.
- [2] *WaterSteamPro*. Available at: <http://www.wsp.ru/ru/> (accessed October 11, 2023).
- [3] Основные формулировки термодинамических свойств IAPWS. *Международная ассоциация по свойствам воды и водяного пара*. URL: <http://www.iapws.org> (дата обращения 10.10.2023).
- [4] Lemmon E.W., Span R. Short Fundamental Equations of State for 20 Industrial Fluids. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 2006, vol. 51 (3), pp. 785–850.
- [5] Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Разработка программы для исследования термодинамического цикла Ренкина. *Научное обозрение. Технические науки*, 2020, № 2, с. 32–36.
- [6] *NIST REFPROP*. Available at: <https://www.nist.gov/srd/refprop> (accessed October 15, 2023).

- [7] *CoolProp*. Available at: <http://www.coolprop.org> (accessed October 15, 2023).
- [8] Ганков М.С., Ильичев В.Ю. Обзор свободно распространяемых программ для параметрического моделирования элементов энергетических установок. *Наукоемкие технологии в приборо-и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: регион. науч.-техн. конф.: матер.* Калуга, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022, с. 138–140.
- [9] ГОСТ ИСО 17584–2015. *Свойства хладагентов*. Москва, Стандартинформ, 2015, 73 с.

## Comparison of Methods for Obtaining Thermophysical Properties of Substances of Substances used as Working Flued

© | Gankov M.S.  
Ilichev V.Yu.

maks.gankov@mail.ru  
patrol8@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*This paper describes the main method used to obtain the equations of state of substances used as working fluids of power plants. The relevance of this topic is related to the increasing role of alternative substances used in installations designed for heat recovery, as well as the emergence of software products that use these equations of state to determine their parameters by known other thermodynamic parameters. In this paper, the values obtained using the REFPROP and CoolProp dependencies are compared with experimental data.*

**Keywords:** *Helmholtz energy equation, organic working fluid, equation of state, REFPROP, CoolProp*

УДК 621.311.22

## Исследование способов увеличения мощности действующих электростанций на базе ПТУ

© | Афонин Кирилл Романович  
Юрик Елена Алексеевна

afonin160@mail.ru  
eayurik@bmsu.ru  
SPIN-код: 7520-2944

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены основные способы расширения тепловых электростанций с целью увеличения их мощности. Данные методы способствуют продлению сроков эксплуатации старого оборудования, повышая его коэффициент полезного действия. Проведено сравнение расширения существующей электростанции путем пристройки и надстройки блока тепловой электростанции. Получено, что для энергоблока мощностью 30 МВт с турбиной Т-30-2,9 при повышении его мощности способом надстройки мощность может быть увеличена на 50 %, а относительный КПД на 37 %. При повышении его мощности способом пристройки мощность может быть увеличена в 2 раза, а относительный КПД на 10 %.*

**Ключевые слова:** расширение электростанции, пристройка, надстройка, модернизация турбины, увеличение мощности, электростанция, ПТУ

Под расширением действующей электростанции понимается частичная замена элементов оборудования энергетической установки с параллельным увеличением ее мощности и надежности при повышении ее энергетических показателей [1]. Известны следующие способы решения указанной задачи на базе паротурбинных установок: **модернизация и расширение** [2].

**Модернизация** подразумевает собой замену конкретных узлов турбины на усиленные с последующим увеличением мощности [3, 4]. В результате такой модернизации продлевается срок службы устаревшего оборудования. Прирост мощности при этом составляет от 10 до 25 % при увеличении экономичности примерно на 2...3 %.

Помимо модернизации турбоагрегатов осуществляется модернизация энергетических котлов теплоэлектростанций, которая подразумевает установку современных горелочных устройств, запорной арматуры и автоматики. В рамках модернизации возможно изменение мощности горелок [5].

Вторым способом повышения мощности электростанции является ее **расширение** [6]. Возможны два способа расширения — **пристройка** и **надстройка** (см. рисунок).

**Пристройка** осуществляется путем внедрения в эксплуатацию новой отдельной турбоустановки с улучшенными показателями (паровой котел высокого давления — ПКВД и турбина высокого давления — ТВД) по сравнению с уже эксплуатируемой частью электростанции (паровой котел низкого дав-

ления — ПКНД и турбина низкого давления — ТНД). При этом средний по станции удельный расход топлива снижается.

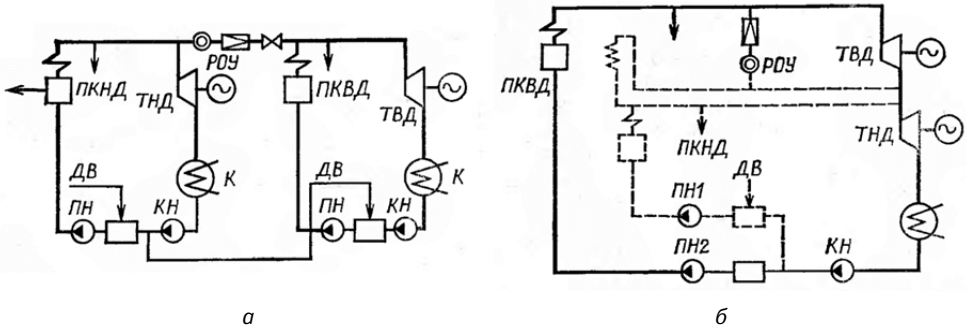


Схема пристройки (а) и надстройки (б) действующих электростанций установками высоких параметров

**Надстройка** осуществляется путем установки новой предвключенной турбины с противодавлением более высоких параметров (ТВД), позволяющей отработавшему в этой турбине пару продолжить свое расширение в уже существующей турбине (ТНД), рассчитанной на сравнительно меньшие параметры пара [6]. В таком варианте расширения станции предвключенные турбины обеспечиваются паром из новых паровых котлов повышенных параметров (ПКВД), имеющих более высокий КПД, чем у ранее установленных (ПКНД).

Надстройка помогает существенно увеличить общий КПД электростанции, так как предвключенная турбина повышает полезную работу, но при этом не приводит к росту энергетических потерь в конденсаторе.

Для сравнения пристройки и надстройки, как способов расширения мощности электростанции, была выбрана турбина Т-30-2,9. Основные сведения о турбине представлены ниже:

Номинальная мощность, МВт .....	30
Давление на входе Р, МПа .....	2,9
Температура на входе, °С .....	410
Расход свежего пара, т/ч .....	220

Исследование показало, что в случае пристройки с той же мощностью, что и базовая часть, но с большим КПД, относительный прирост КПД всей станции составит 10 %.

В случае с надстройкой параметры рабочего тела на входе в предвключенную турбину были увеличены следующим образом: температура на 35 % и давление в 2,5 раза. По результатам расчета получено, что надстройка позволяет повысить начальную мощность до 150 %, а относительное повышение КПД составит 37 % [7].

В ходе исследования было выявлено, что надстройка является более эффективным методом расширения рассмотренного энергоблока за счет того, что надстройка помогает существенно увеличить общий КПД установки, так как предвключенная турбина повышает полезную мощность энергоблока, но при этом не приводит к росту энергетических потерь в конденсаторе.

## Литература

- [1] Безлепкин В.П. Парогазовые и паротурбинные установки электростанций. Санкт-Петербург, СПб ГТУ, 1997.
- [2] Хлебакин Ю.М. Совершенствование тепловых схем и конструкций ТЭЦ большой мощности. *Промышленная энергетика*, 2009, № 3, с. 42–44.
- [3] Гуторов В.Ф. и др. Совершенствование эксплуатации энергоблоков. *Эффективное оборудование и новые технологии в российскую тепловую энергетику: сб. докл.* Москва, АООТ «ВТИ», 2001, с. 131–141.
- [4] Яковлев Б.В., Гринчук А.С. Повышение технико-экономического уровня морально и физически стареющих ТЭЦ. *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*, 2008б № 4, с. 44–48.
- [5] Ведрученко В.Р., Крайнев В.В., Рудюк С.С., Кокшаров М.В. Анализ циклов, выбор схемы и вида топлива при реконструкции ТЭС и производственных котельных. *Омский научный вестник*, 2006, № 3 (36), с. 153–157.
- [6] Воронин А.П., Романов А.А., Земцов А.С. Пути технического перевооружения электроэнергетики. *Теплоэнергетика*, 2003, № 9, с. 2–6.
- [7] Рыжкин В.Я. *Тепловые электрические станции*. Москва, Энергоатомиздат, 1987, с. 47–49.

## Research on Ways to Increase the Capacity of Existing Power Plants Based on Steam Turbine Plant

© Afonin K.R.  
Yurik E.A.

afonin160@mail.ru  
eayurik@bmstu.ru  
SPIN-code: 7520-2944

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article discusses the main ways to expand thermal power plants in order to increase their capacity. These methods help extend the life of old equipment, increasing its efficiency. A comparison was made of the expansion of an existing power plant by extension and superstructure of a thermal power plant unit. It was found that for a 30 MW power unit with a T-30-2.9 turbine, by increasing its power using the superstructure method, the power can be increased by 50% and the relative efficiency by 37%. By increasing its power by adding an extension, the power can be increased by 2 times, and the relative efficiency by 10%.*

**Keywords:** *expansion of the power plant, extension, superstructure, modernization of the turbine, increase in power, power plant, steam turbine plant*

УДК 621.671

## Анализ методик расчета и проектирования центробежных насосов

© Макаров Павел Владимирович  
Шевелев Денис Владимирович

vynewww2001@gmail.com  
Denis.V.Shevelev@gmail.com  
SPIN-код: 2076-0373

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Отмечена важность проектирования центробежных насосов под заданную форму напорной характеристики. Представлен краткий обзор методик, посвященных проектированию центробежных насосов под заданную напорную характеристику. Рассмотрены метод подобия и метод проектирования, основанный на теории лопаточных машин. Указаны их достоинства и недостатки. Отмечено, что применение указанных методов по отдельности не является лучшим вариантом для проектирования. Отмечено, что использование CFD технологий в перспективе позволит дополнить существующие методики проектирования насосов под заданную заказчиком напорную характеристику.*

**Ключевые слова:** центробежный насос, метод подобия, теория лопаточных машин, напорная характеристика

Разработка современных эффективных и надежных энергоустановок нового поколения является важной научно-технической и практической задачей. Насосные агрегаты современных энергетических установок являются высоконагруженными узлами, основной задачей которых является повышение давления и подача жидкости в определенной части тепловой схемы энергетической установки. В техническом задании на проектирование насосного агрегата, как правило, ставятся требуемые параметры работы насоса в рабочей точке, однако, в ряде случаев, требуется обеспечение работы насоса в нескольких режимах, то есть по заданной характеристике.

Известны различные методики проектирования насосов: основанные на основе теории подобия, на общей теории турбомашин, CFD методики и др.

В [1] описывается применение метода теории подобия, который дает возможность получить уравнения связывающие характеристики двух насосов. При помощи этих уравнений можно пересчитать результаты испытаний модельного насоса и получить рабочие характеристики проектируемого насоса. На практике, для сравнения насосов используют два критерия: удельная частота вращения  $n_{уд}$  и коэффициент быстроходности  $n_s$ . Коэффициент быстроходности, описание которого приведено в [2], возымел ведущую роль в насосостроении, и определяет КПД, форму проточной части, соотношение геометрических размеров и форму напорной характеристики. Кроме того, при расчете насоса используются такие безразмерные коэффициенты как коэффициент напора, коэффициент полезной мощности, коэффициент окружной

скорости и коэффициент входной скорости. Проектирование насосов с помощью теории подобия относительно несложно, однако дает хорошие результаты при близких параметрах проектируемого насоса и модельного [3].

Кроме метода подобия, возможно проектирование насоса на основных положениях теории лопаточных турбомашин [4]. В этом случае на основании анализа исходных данных сначала определяют конструктивную схему насоса (тип, число ступеней и потоков), а затем выполняют расчет кинематической картины течения рабочего тела в характерных сечениях проточной части, основные геометрические размеры рабочего колеса. Профиль лопаток рабочего колеса строят по методу конформного отображения линий тока на боковую поверхность цилиндра или конуса.

Расчет и проектирование насоса, с точки зрения научного подхода, невозможно без детального знания особенностей течения в его проточной части. Существенными являются такие параметры, как число и форма лопаток, режим течения, отрывные явления в потоке и другие явления. Некорректный учет всего комплекса явлений в проточной части насоса может не позволить получить номинальные параметры его работы не только по всей характеристике, но и в расчетной точке.

Необходимая доработка насоса может привести к излишним материальным и временным затратам. Поэтому выбор старых методик с приближительными поправочными коэффициентами не всегда является оптимальным вариантом, так как невозможно учесть при этом все многообразие протекающих гидродинамических процессов.

В настоящее время все большее распространение получают CFD пакеты для проектирования насосов. Например, Fluent, ANSYS CFX, STAR-CD и др. Их возможности позволяют оценить рабочие параметры и характеристики насосов еще до его изготовления с последующим внесением необходимых изменений. Например, во FlowER возможно при помощи численного метода смоделировать пространственные нестационарные вязкие течения в многоступенчатых турбомашинах. Пакет Fluent позволяет смоделировать поток для установившегося по времени пространственного движения вязкой несжимаемой жидкости без учета теплообмена [5].

Выводы: исходя из теории проектирования центробежных насосов, для практического решения вопроса используют различные методы, однако, каждый из них обладает преимуществами и недостатками. Метод подобия по сравнению с другими является наиболее простым и наглядным, но не универсален, так как ограничен возможностью применения только с насосами аналогичного типа. Расчетный метод характеризуется применимостью для большинства типов насосов, однако расчет потерь при этом возможен лишь приближенно с помощью эмпирических коэффициентов. Самым выгодным методом в плане затрат временных ресурсов и материальных ресурсов является определение или уточнение параметров проектируемых насосов при помощи CFD-пакетов.

## Литература

- [1] Михайлов А.К., Малюшенко В.В. *Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование*. Москва, Машиностроение, 1977, 288 с.
- [2] Степанов Л.И. *Центробежные и осевые насосы. Теория, конструирование и применение*. Москва, ГНТИ машиностроительной литературы, 1960, 461 с.
- [3] Топаж Г.И. *Лопастные гидромашины и гидродинамические передачи. Основы рабочего процесса и расчета гидротурбин*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехн. ун-та, 2011, 154 с.
- [4] Шерстюк А.Н. *Насосы, вентиляторы и компрессоры*. Москва, Высшая школа, 1972. 344 с.
- [5] Харчук С.И., Болдырев А.В., Жижигн С.М. Расчет напорной характеристики центробежного насоса численным методом. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*, 2009, т. 12, № 2 (31), с. 51–58.

## Analysis of Methods of Calculation and Design of Centrifugal Pumps

© Makarov P.V.  
Shevelev D.V.

vynewww2001@gmail.com  
Denis.V.Shevelev@gmail.com  
SPIN-code: 2076-0373

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The importance of designing centrifugal pumps for a given form of pressure characteristics is noted. A brief overview of the techniques devoted to the design of centrifugal pumps for a given pressure characteristic is presented. The similarity method and the design method based on the theory of shovel machines are considered. Their advantages and disadvantages are indicated. It is noted that the application of these methods separately is not the best option for design. It is noted that the use of CFD technologies in the future will complement the existing methods of designing pumps for the pressure characteristic specified by the customer.*

**Keywords:** *centrifugal pump, similarity method, theory of shovel machines, pressure characteristic*



УДК 621.156

## Основные направления совершенствования систем маслоохлаждения паротурбинных установок

© Киселев Егор Максимович  
Шитохина Ольга Григорьевна.

kiselevem@student.bmstu.ru  
shitohina@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Описано назначение систем маслоохлаждения паротурбинной установки. Проведен обзор публикаций, содержащих решения по модернизации систем маслоохлаждения паротурбинных установок. Сформулированы основные направления модернизации систем маслоохлаждения, заключающиеся в оптимизации оборудования для охлаждения масла. Рассмотренные методы позволят провести модернизацию систем маслоохлаждения при минимальных затратах, и уменьшить убытки от внеплановых остановок электростанций, связанных с отказом маслосистемы.*

**Ключевые слова:** паротурбинная установка, система маслоснабжения, система охлаждения, пути совершенствования

Паротурбинная установка (ПТУ) это основной силовой технологический узел электрической станции, в котором внутренняя энергия пара преобразуются в механическую энергию вращения ротора. Неотъемлемым элементом паротурбинных установок является система маслоснабжения, во многом определяющая ее надежность и безаварийную работу. Поэтому задачи, связанные с продлением срока службы, повышением эффективности и надежности работы систем маслоснабжения паротурбинных установок, являются весьма актуальными [1].

Система маслоснабжения паротурбинных установок представляет собой совокупность устройств, предназначенных для подачи масла к различным элементам паротурбинной установки и поддержания заданных параметров масла. В системах маслоснабжения паротурбинных установок важную роль играет система маслоохлаждения, обеспечивающая контроль и поддержание температуры (охлаждения или подогрева) рабочей жидкости в системах маслоснабжения [1].

Совершенствование систем маслоохлаждения является достаточно сложной задачей, требующее учитывать большое количество разноплановых факторов, влияющих на эффективность и надежность систем маслоснабжения, а так же на его связь с подсистемами паротурбинной установки. В работах [2–9] проведены теоретические и экспериментальные исследования систем маслоснабжения. На основе анализа наиболее значимых публикаций [4, 6] и патентов [7, 8] можно сформулировать следующие направления модернизации систем маслоохлаждения паротурбинных установок: выбор современных материалов для элементов конструкции, применение высокоэффективных поверхностей теплообмена, оптимизация компоновки трубных пучков теплообменников, уплотнение зазоров в масляной полости аппаратов, повы-

шение надежности узла крепления трубок с трубными досками, защита трубных досок от коррозии, создание воздухоохлаждаемых аппаратов.

При выборе материала для элементов конструкции маслоохладителей в системах маслоснабжения необходимо учитывать ряд факторов [4, 6, 7]: коррозионную активность охлаждающей воды и связанную с ней коррозионную стойкость теплообменных трубок, совместимость в одном аппарате разных материалов, а также технологические особенности сборки аппаратов с трубками из выбранного материала. При этом важно учитывать увеличение стоимости системы маслоснабжения.

Увеличение габаритов маслоохладителей для паротурбинных установок требует применения новых поверхностей, интенсифицирующих процесс теплообмена, в частности, профилированных и оребренных трубок. Известны конструкции маслоохладителей с трубками, имеющими винтовое накатное оребрение, продольное приварное оребрение, винтовое проволочное петельное соединение [6, 7].

Оптимизация компоновки трубных пучков теплообменных аппаратов, в том числе маслоохладителей, является одним из наиболее перспективных путей совершенствования. Она должна проводиться на основе комплексного расчета тепловых, гидродинамических и надежностных характеристик каждого конкретного аппарата.

Одним из важнейших элементов, определяющих надежность работы маслоохладителя, является узел крепления трубок в трубных досках. Механическая вальцовка трубок в гладких отверстиях трубных досок не обеспечивает надежную герметичность такого соединения. В ходе модернизации стоит учитывать следующие факторы: воздействие тепловых циклов различной направленности, собственной и наведенной вибрации трубок в пучке и аппаратах в целом, коррозионного воздействия охлаждающей воды, естественного старения материала трубок и трубных досок и др. Повышение надежности и герметичности соединения трубок с трубными досками могут быть достигнуты в результате применения новой технологии, представляющая собой вальцевание трубок [6].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в настоящее время исследования систем маслоснабжения ПТУ ведутся в области оптимизации систем маслоохлаждения. Рассмотренные методы позволят провести модернизацию систем маслоснабжения при минимальных затратах, и уменьшить убытки от внеплановых остановок электростанций, связанных с отказом маслосистемы.

## Литература

- [1] Аронсон К.Э., Блинков С.Н., Брезгин В.И. *Теплообменники энергетических установок*. Екатеринбург, УрФУ, 2015, 407 с.
- [2] Макаров И.В., Сизов А.Н., Чубаров Ф.Л. Влияние содержания воздуха в рабочей жидкости системы регулирования турбопривода на его характеристики. *Наука, техника и образование: электронный журнал*, 2020, № 1 (28), с. 6–12.

- [3] Ильдияров Е.Н., Сизов А.Н., Чубаров Ф.Л. Исследование электрогидравлического контура регулирования частоты вращения ротора паровой турбины на базе следящего электро-механического привода. *Современные наукоемкие технологии*, 2018, № 4, с. 44–48.
- [4] Аронсон К.Э., Бродов Ю.М., Рябчиков А.Ю. и др. Опыт разработки модернизированных маслоохладителей системы маслоснабжения турбин мощностью 800 МВт. *Теплоэнергетика*, 2009, № 8, с. 13–19.
- [5] Бродов Ю.М., Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э., Желонкин Н.В. Новые маслоохладители для турбин большой мощности ЗАО УТЗ. *Теплоэнергетика*, 2014, № 12, с. 42.  
<https://doi.org/10.1134/S0040363614120017>
- [6] Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Рябчиков А.Ю. и др. Модернизация маслоохладителей паротурбинных установок. *Теплоэнергетика*, 1999, № 12, с. 24–27.
- [7] Патент № 2237170 С2 Российская Федерация, МПК F01D 25/20. *Система маслоснабжения паровой турбины*: № 2002130657/06: заявл. 18.11.2002: опубл. 27.09.2004 / Ю.Г. Косенюк; заявитель ОАО «Калужский турбинный завод».
- [8] Авторское свидетельство № 1099114 А1 СССР, МПК F01D 25/18. *Система маслоснабжения подшипника паровой турбины*: № 3551761: заявл. 07.12.1982: опубл. 23.06.1984 / О.Ф. Фомченко, И.И. Пичугин, В.Б. Пономарев; заявитель Производственное объединение турбостроения «Ленинградский металлургический завод».
- [9] Патент № 2090760 С1 Российская Федерация, МПК F01D 17/00. *Система маслоснабжения паротурбинной установки*: № 3179836/06: заявл. 28.08.1987: опубл. 20.09.1997 / В.В. Благовещенский; заявитель Акционерное общество открытого типа «Калужский турбинный завод».

## The Main Directions of Improvement of Oil Supply Systems of Steam Turbine Installations

© | Kiselev E.M.  
Shatokhina O.G.

kiselevem@student.bmstu.ru  
shitohina@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article describes the purpose of oil cooling systems of a steam turbine installation. A review of publications containing solutions for the modernization of oil-cooling systems of steam turbine installations is carried out. The main directions of modernization of oil cooling systems are formulated, consisting in optimization of equipment for oil cooling. The methods considered will allow the modernization of oil cooling systems at minimal cost, and reduce losses from unplanned shutdowns of power plants associated with the failure of the oil system.*

**Keywords:** *steam turbine unit, oil supply system, cooling system, ways of improvement*

УДК 621-65

## Подходы к проектированию многосекционных шестеренных насосов

© Новоселов Марк Константинович  
Савин Владимир Юрьевич

markn\_kaluga@mail.ru  
savin.study@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Шестеренные насосы в настоящее время широко используются в энергомашиностроении. Подходы к проектированию стандартных насосов с внешним зацеплением отработаны. В сложных технических системах выгодно использовать многосекционные насосы. Рассмотрены подходы к разработке и оптимизации конструкции многосекционного шестеренчатого насоса. Представлены такие улучшения, как лопаточная решетка на входе, установка плавающих втулок с целью повышения КПД, коррегирование профиля зуба. Сделаны выводы, что данные улучшения существенно повысят КПД, надежность и коэффициент объемного наполнения.*

**Ключевые слова:** шестеренный насос, лопаточная решетка, коэффициент объемного наполнения, плавающая втулка, коррегирование

Шестеренчатые насосы находят широкое применение в энергомашиностроении. Такие насосы относятся к категории объемных насосов прямого вытеснения. Эти агрегаты стали основными гидравлическими узлами высокого давления, которые обеспечивают нужный уровень давления масла в гидравлической системе.

Подходы к проектированию стандартных насосов с внешним зацеплением отработаны. В то же время, в сложных технических системах выгодно использовать многосекционные насосы. Это дает нам компактность насосных узлов, повышает общий КПД насосного агрегата и снижает его металлоемкость.

В системе смазки газотурбинного двигателя необходима установка нескольких гидравлических машин: для осуществления непрерывной подачи масла к подшипникам, зубчатым колесам, контактным уплотнениям и к другим узлам трения с заданными величинами температуры и давления на всех режимах работ двигателя в ожидаемых условиях эксплуатации.

В данном случае, нам выгодно объединить все гидравлические машины в один блок. Привод такого агрегата, как правило, осуществляется от коробки привода агрегатов, которая в свою очередь приводится от ротора компрессора. При этом актуальной задачей является сокращение количества приводных агрегатов, установленных на коробке. В связи с этим, оптимизация конструкции многосекционного насоса является передовой задачей.

Рассмотрим подходы, которые можно использовать при разработке и оптимизации конструкции многосекционного шестеренного насоса.

При определенных режимах работы масляного насоса, а также под действием центробежных сил масло отбрасывается на периферию межзубовых

впадин, при этом нижняя зона впадин может оказаться незаполненной маслом («мертвый объем»). При этом значительно снижается коэффициент объемного наполнения насоса. Чтобы избежать этого явления и повысить объемный коэффициент полезного действия, следует использовать лопаточную решетку для принудительного заполнения маслом межзубовых впадин шестерен. Кроме того, данный прием позволяет существенно повысить кавитационные свойства гидромашины. Выбор формы и углов установки лопаток является актуальной задачей при разработке устройства такого типа. В целом, здесь, можно использовать упрощенную методику профилирования цилиндрических лопастей центробежных насосов [1].

Устанавливать такие лопаточные устройства целесообразно только на нагнетающих секциях шестеренного насоса.

Следующим подходом, который можно использовать для оптимизации конструкции насоса и повышение объемного КПД, является установка плавающих втулок. Плавающие втулки исполняют роль опорных подшипников скольжения для валов. Вместе с тем, втулки служат упорными подшипниками для торцов шестерен. Целесообразно устанавливать только на нагнетающих секциях. Таким образом, нагнетающую секцию целесообразно располагать с краю от приводного механизма, тогда одна из опор вала шестерни будет плавающей [2]. Благодаря плавающей втулке осуществляется компенсация зазоров по торцам шестерен. Давлением жидкости втулки прижимаются к торцевым поверхностям шестерен, тем самым уменьшают зазор, повышая степень герметичности в насосе.

Для уменьшения габаритов насоса, число зубьев желательно выбирать при всех прочих равных условиях возможно малым, а модуль — большим [3]. Однако при уменьшении числа зубьев уменьшается прочность зубьев, из-за подрезания их ножек, а также увеличивается неравномерность подачи. Для устранения этого производят коррекцию (корригирование) зацепления путем увеличения угла зацепления, а также при малом числе зубьев, повышают толщины у его основания, что приводит к повышению прочности. При такой коррекции профиля зуба следует учитывать величину положительного смещения, которая должна быть выбрана больше величины, установленной условиями устранения подрезания профиля. Увеличение профильного смещения приведет к увеличению угла зацепления и к увеличению радиусов кривизны профилей зубьев, что увеличит их контактную прочность [4].

Таким образом, рассмотрены подходы к проектированию многосекционных насосов, такие как, установка лопаточной решетки, применение плавающей втулки, применение коррегирования. Тем самым данные подходы улучшают КПД, надежность и повышают коэффициент объемного наполнения.

## Литература

- [1] Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Деговцов А.В. *Проектирование машин и оборудования для эксплуатации нефтяных и газовых скважин*. Москва, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014, с. 55–60.

- [2] Кабаков М.Г., Прокофьев В.Н. *Атлас конструкций гидромашин и гидropерeдач*. Москва, Машиностроение, 1990, с. 10–14.
- [3] Родионов Л.В., Свербилов В.Я. *Проектирование объемного насоса*. Самара, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т), 2011, с. 8–12.
- [4] Юдин Е.М. *Шестеренные насосы*. Москва, Машиностроение, 1964, с. 30–47.

## Approaches to the Design of Multi-Section Gear Pumps

© | Novoselov M.K.  
Savin V.Yu.

markn\_kaluga@mail.ru  
savin.study@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Gear pumps are currently widely used in power engineering. Approaches to the design of standard pumps with external gearing have been worked out. In complex technical systems, it is advantageous to use multi-section pumps. Approaches to the development and optimization of the design of a multi-section gear pump are considered. Improvements such as the blade grille at the entrance, the installation of floating bushings to increase efficiency, and the correction of the tooth profile are presented. It is concluded that these improvements will significantly increase the efficiency, reliability and volume filling coefficient.*

**Keywords:** *gear pump, blade grating, volumetric filling coefficient, floating sleeve, correction*

УДК 621.438

## Исследование эффективности рабочего процесса соплового аппарата центростремительной турбины методами численного эксперимента

© Шевелев Денис Владимирович<sup>1</sup>

denis.v.shevelev@bmstu.ru

SPIN-код: 2076-0373

Ганков Максим Сергеевич<sup>1</sup>

gankovms@student.bmstu.ru

Сказочкин Александр Викторович<sup>2</sup>

avskaz@rambler.ru

Картуесова Анна Юрьевна<sup>3</sup>

turbocon@kaluga.ru

<sup>1</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана<sup>2</sup> ООО «Термокон»<sup>3</sup> ЗАО НПВП «Турбокон»

*Рассмотрены методы построения профилей сопловых аппаратов центростремительных турбин. Применительно к центростремительной турбине, работающей на органическом теплоносителе R245fa, спроектирован сопловой аппарат методом конформного преобразования плоской лопаточной решетки. Методами численного эксперимента определены коэффициенты характеризующие потери в лопаточной решетке соплового аппарата. Выполнено сравнение полученных результатов с показателями эффективности плоских лопаточных решеток. Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о применимости CFD пакета Siemens FLOEFD для оптимизационных расчетов соплового аппарата центростремительной турбины.*

**Ключевые слова:** центростремительная турбина, сопловой аппарат, CFD, профильные потери

В конструкции энергетических установок малой мощности нашли широкое применение центростремительные турбины (ЦСТ). Это относится как к газотурбинным установкам, мощностью, прежде всего, до 100...200 кВт [1], так и к паротурбинным утилизационным установкам, реализующим органический цикл Ренкина (ОРЦ) [2].

Это обусловлено рядом достоинств центростремительных турбин по сравнению с осевыми, к важнейшим из которых следует отнести возможность эффективно сработать большой теплоперепад в одной ступени и более высокий КПД при малых расходах рабочего тела.

Достижение высокого уровня КПД ЦСТ достигается прежде всего уменьшением основных видов потерь — газодинамических потерь в сопловом аппарате (СА) турбины, потерь в рабочем колесе и потерь с выходной скоростью. Важным отличием центростремительных турбин от осевых является больший удельный вес потерь в сопловом аппарате турбины, из-за сравнительно низкой средней скорости потока в рабочем колесе [3]. Отсюда следует важность и актуальность задачи проектирования СА с низким уровнем потерь.

Известны различные способы построения СА ЦСТ. В работах [4, 5] рекомендуются простые клиновидные лопатки, возможно непосредственное

построение круговой решетки по заданному распределению скорости на окружности решетки [6], использование радиальных лопаточных решеток предложенных в [7] или осуществлять выбор профиля по атласу лопаток ЦСТ составленному ЦНИИМФ. Среди прочих методов, возможно использование плоских лопаточных решеток, характеристики которых описаны в [8] с последующим их конформным преобразованием по методике, изложенной в [9].

В качестве объекта исследования выступал сопловой аппарат ЦСТ использующей в качестве рабочего тела хладагент пентафторпропан R245fa с начальными параметрами  $p_0^* = 1,68$  МПа,  $T_0^* = 393$  К. В ходе проектного расчета были определены геометрические характеристики кольцевой радиальной лопаточной решетки  $d_0 = 0,211$  м,  $d_1 = 0,16$  м и выбрана плоская лопаточная решетка С-9012В. Конформное преобразование лопаточной решетки осуществлялось по методике приведенной в [9]. На рис. 1 представлен исходный лопаточный профиль СА и профиль после конформного преобразования на кольцевую радиальную решетку.

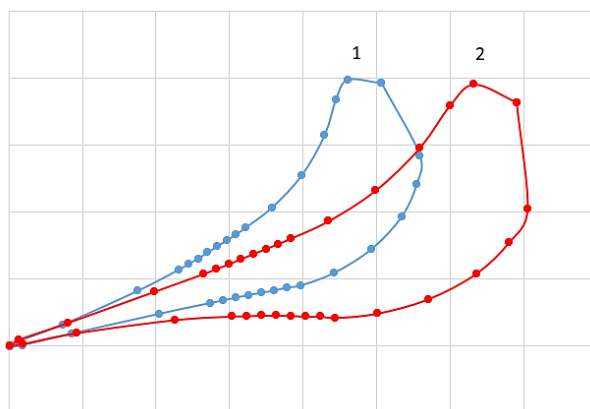


Рис. 1. Координатные точки исходного профиля С-9012В (1) и после конформного преобразования на кольцевую решетку (2)

Число лопаток кольцевой радиальной решетки  $z = 22$  выбиралось исходя из относительного шага исходной решетки  $\bar{t} = 0,675$  и обеспечения относительного расширения межлопаточного канала  $\bar{f} = 1,0$ . Внешний вид кольцевой радиальной решетки представлен на рис. 2.

Моделирование течения рабочего тела осуществлялось в программном пакете Siemens FloEFD [10]. В основе расчета лежит численное решение уравнений Навье — Стокса для сжимаемой жидкости.

Расчетная модель была принята двумерной, что позволяет корректно определить профильные потери лопаточной решетки, включающие в себя потери на трение и отрыв потока, кромочные и волновые потери. В качестве граничного условия входа были приняты начальные термодинамические па-



раметры рабочего тела — полное давление и температура, граничное условие выхода — статическое давление за решеткой, принималось в виде ряда значений от 1,147 до 0,347 МПа.

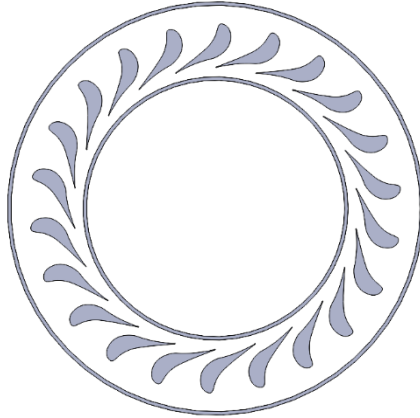


Рис. 2. Кольцевая радиальная решетка СА ЦСТ

Результатом расчета стало определение всех термодинамических и кинематических параметров потока в расчетной области.

Основной целью исследования являлось нахождение осредненного по расходу значения скорости потока на выходе из расчетной области  $c_1$ . Величина данной скорости сравнивалась со скоростью изоэнтропного истечения газа определяемой как

$$c_{1r} = \sqrt{2H_c} = \sqrt{2(h_0^* - h_{1r})}. \quad (1)$$

Эффективность работы лопаточной решетки оценивалась определением, по результатам численного моделирования, безразмерных коэффициентов:

– скорости

$$\varphi = \frac{c_1}{c_{1r}}; \quad (2)$$

– потери кинетической энергии обусловленной влиянием профильным потерь

$$\zeta = 1 - \varphi^2. \quad (3)$$

Результаты численного моделирования течения газа в СА ЦСТ приведены в таблице.

Верификация результатов численного моделирования осуществлялась сравнением полученных данных с результатами продувки исходной плоской решетки [8] представленных на рис. 3.

## Результаты численного моделирования течения газа в СА ЦСТ

$p_2$ , МПа	$M_{1r}$	$H_c$ , Дж/кг	$c_{1r}$ , м/с	$c_1$	$\varphi$	$\zeta$
1,147	0,906	6984	118	113	0,956	0,0860
0,947	1,09	10617	146	139	0,954	0,0901
0,747	1,28	15189	175	168	0,964	0,0709
0,547	1,48	21267	206	201	0,975	0,0502
0,347	1,73	30193	246	234	0,952	0,0933

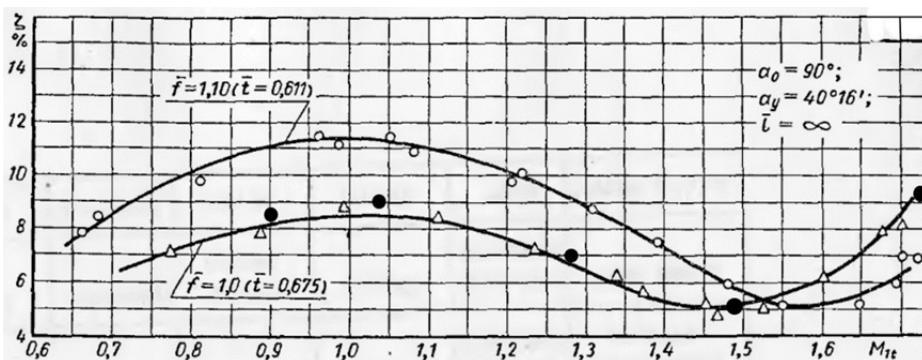


Рис. 3. Зависимость коэффициента потерь кинетической энергии от числа  $M_{1r}$  по результатам численного  $\bullet$  и натурального  $\Delta$  экспериментов

Полученные данные свидетельствуют о хорошей сходимости результатов численного и натурального экспериментов по исследованию эффективности сопловых лопаточных решеток. Следовательно, программный пакет Siemens FLOEFD может быть использован при оптимизационных расчетах радиальных сопловых аппаратов центробежных турбин.

## Литература

- [1] Газотурбинные двигатели. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Москва, Машиностроение, 2008.
- [2] Карабарин Д.И., Михайленко С.А. Особенности проектирования установок органического цикла Ренкина. Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии, 2019, № 12 (6), с. 733–745.
- [3] Митрохин В.Т. Выбор параметров и расчет центробежной турбины на стационарных и переходных режимах. Москва, Машиностроение, 1974, 228 с.
- [4] Курзон А.Г. (ред.). Газотурбинные установки, вопросы теории и практики. Ленинград, Судпромгиз, 1959, 868 с.
- [5] Judson C.A., Kelett E., Design and development of small radial-flow turbochargers. Gas and Oil Power, 1957, no. 634.
- [6] О построении решеток по заданному распределению скорости. Труды Казанского авиационного института, 1958, № 33–34.

- [7] Зарянкин А.Е., Шерстюк А.Н. *Радиально-осевые турбины малой мощности*. Москва, Машгиз, 1963, 248 с.
- [8] Дейч М.Е., Филиппов Г.А., Лазарев Л.Я. *Атлас профилей решеток осевых турбин*. Москва, Машиностроение, 1965, 96 с.
- [9] Митрохин В.Т. *Выбор параметров и расчет центробежной турбины на стационарных и переходных режимах*. Москва, Машиностроение, 1974, 228 с.
- [10] *Siemens FLOEFD*. Available at: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/fluids-thermal-simulation/floefd/> (accessed October 24, 2023).

## Investigation of the Efficiency of the Working Process of the Nozzle Units of a Centripetal Turbine by Numerical Experiment Methods

© | Shevelev D.V.<sup>1</sup>

Gankov M.S.<sup>1</sup>

Skazochkin A.V.<sup>2</sup>

Kartuyesova A.Yu.<sup>3</sup>

denis.v.shevelev@bmstu.ru

SPIN-code: 2076-0373

gankovms@student.bmstu.ru

avskaz@rambler.ru

turbocon@kaluga.ru

<sup>1</sup> Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

<sup>2</sup> LCC "Thermocon"

<sup>3</sup> SPIE "Turbocon"

*Methods of constructing nozzle units of centripetal turbines are considered. In relation to a centripetal turbine running on an organic coolant R245fa, a nozzle apparatus is designed by the method of conformal transformation of a flat blade grid. The coefficients characterizing the losses in the blade grating of the nozzle apparatus were determined by numerical experiment methods. The results obtained are compared with the performance indicators of flat blade gratings. The analysis of the obtained results allowed us to conclude that the CFD package Siemens FLOEFD is applicable for optimization calculations of the nozzle apparatus of a centripetal turbine.*

**Keywords:** centripetal turbine, nozzle units, CFD, profile losses

УДК 621.438

## Современные тенденции развития газоперекачивающих агрегатов для магистральных газопроводов ПАО «Газпром»

© Родионов Николай Георгиевич  
Каширин Дмитрий Сергеевич

ngr-energo@yandex.ru  
kashirindmitry@mail.ru  
SPIN-код: 2678-5228

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрено современное состояние парка газоперекачивающих агрегатов (ГПА) в составе газотранспортной сети ПАО «Газпром». Около 50 % ГПА имеют сверхнормативный износ, выработанный моторесурс превышает 100 000 часов. Происходит тенденция по замене изношенного, устаревшего оборудования и дальнейшему развитию ГПА, которая связана с резким уменьшением типоразмеров, унификацией применяемых комплектующих газотурбинных двигателей (ГТД) и нагнетателей природного газа (НПГ), а также с повышением их КПД и единичной мощности. Отмечается, что дальнейшее развитие ГТД, выполняемых по простым термодинамическим циклам и тепловым схемам, имеет принципиально ограниченный верхний предел по экономичности. Стратегическое направление совершенствования ГТД для ГПА, с целью увеличения КПД и мощности находится в сфере глубокой утилизации теплоты, получаемой при сжигании топлива в камере сгорания ГТД. Для реализации усложненных термодинамических циклов ГТД разработаны различные технические решения.*

**Ключевые слова:** газотурбинный двигатель, природный газ, газовый компрессор, магистральный газопровод

ПАО «Газпром» обладает самой крупной в мире сетью трубопроводов для транспорта природного газа, поставляемого в Россию и во многие страны мира. Общая протяженность газотранспортной системы только на территории России составляет 170,7 тыс. км. В составе Российских магистральных газопроводов (МГ) эксплуатируются более 270 компрессорных станций (КС), общей установленной мощностью более 50 млн кВт и около 4000 ГПА [1]. На МГ устанавливаются КС, на которых работают ГПА. ГПА включает главные конструктивные элементы — привод и нагнетатель природного газа (НПГ). В качестве привода используются либо синхронные электродвигатели с частотным регулированием, либо ГТД. Наибольшее применение на МГ нашли ГТД для привода ГПА, так как они в большей мере отвечают эксплуатационным требованиям, могут работать в широком диапазоне изменения режимов, независимо от внешних источников энергии — топливом служит перекачиваемый природный газ. Более 85 % от общей мощности всех приводов ГПА обеспечивается ГТД [2].

В эксплуатации на КС используется парк разнообразных ГТД и НПГ, — более 60 моделей приводов и около 100 типов НПГ [3]. В настоящее время

отечественные предприятия практически полностью обеспечивают потребности ПАО «Газпром» ГТД и НПП для создания современных ГПА в линейке мощностей 2...32 МВт. Наиболее развитые и передовые предприятия в России, выпускающие ГПА — ОАО «Авиадвигатель», АО «РЭПХ», АО «ОДК Газовые турбины», ОАО «КМПО». Они создают многие виды продукции вполне конкурентоспособной по качественным показателям аналогичным зарубежным образцам, в части, надежности, КПД, уровня мощности, моторесурса, экологичности и др.

Существующий парк ГПА создавался для работы КС на МГ в течение длительного времени — более полувека. К настоящему времени расчетный ресурс около 50 % ГПА выработан, и составляет более 100 000 ч, происходит физическое старение эксплуатируемого парка ГПА [4]. На этом фоне ПАО «Газпром» решает сложные задачи по дальнейшему развитию и совершенствованию энерговооруженности ГПА на КС, по наращиванию единичной мощности ГТД и НПП, повышению их КПД, развитию газотранспортной сети.

С повышением мощности и КПД агрегатов сокращаются удельные величины капитальных вложений и эксплуатационных затрат. Поэтому наблюдаются тенденции роста единичной мощности ГТД и НПП, максимально возможного повышения их экономичности, существенного уменьшения количества типоразмеров комплектующего оборудования, их унификации. Такого рода разработки производятся в настоящее время на предприятиях-изготовителях ГПА на основе стратегии, разработанной ПАО «Газпром». КПД ГТД существенно зависит от уровня температуры газа перед газовой турбиной, которая может достигать для ГПА порядка 1200...1300 °С и более. Это требует применения сложных систем воздушного охлаждения турбинных лопаток, эффективных термобарьерных покрытий и т. д. Дальнейшее увеличение температуры газа перед турбиной сопряжено со значительными технико-экономическими затруднениями. Возникает некий барьер на пути дальнейшего развития ГТД, выполненных по простым термодинамическим циклам, который трудно преодолеть, в принципе.

Поэтому стратегические направления дальнейшего совершенствования ГТД связаны с усложнением термодинамических циклов двигателей, в основе которых лежат принципы глубокой утилизации теплоты газов, получаемой при сжигании топлива в камере сгорания ГТД. Одним из них является использование схем парогазовых установок, широко применяемых в современной теплоэнергетике, например, описанных в [5]. Разработаны и используются в практике энергетических установок сложные схемы с впрыском пара в проточную часть турбины, с паровым охлаждением турбинных лопаток, промежуточным охлаждением воздуха между каскадами компрессора, регенерацией теплоты уходящих газов, применением органических теплоносителей для углубленной утилизации низкопотенциальной теплоты и др.

Указанные направления дальнейшего совершенствования ГПА для МГ в ПАО «Газпром» должны стать приоритетными, так как они дают возможность сделать резкий скачок в части увеличения КПД и мощности энерго-

установок при сопоставимых расходах топлива в ГТД. Причем эти направления связаны с использованием парка ГТД, НПГ, паротурбинных установок, котлов-утилизаторов, теплообменных аппаратов и другой техники, созданной и отработанной в настоящее время.

## Литература

- [1] Бердник А.Н. *Компрессорные станции магистральных газопроводов*. Хабаровск, Изд-во ТОГУ, 2019, 142 с.
- [2] Комаров О.В., Недошивина Т.А., Ревзин Б.С. *Авиационные и судовые конвертированные газотурбинные двигатели наземного применения*. Екатеринбург, Изд-во УФУ, 2019, 196 с.
- [3] Сальников С.Ю., Семушкин А.В., Щуровский В.А. Оценка эксплуатационных показателей газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. *Газотурбинные технологии*, 2020, № 4, с. 40–43.
- [4] «Газпром энергохолдинг индустриальные активы» на пути к импортнезависимости ГТУ. *Газотурбинные технологии*, 2022, № 4, с. 8–14.
- [5] Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. *Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций*. Москва, Изд-во МЭИ, 2002, 584 с.

## Current Trends in the Development of Gas Pumping Units for Main Gas Pipelines of PJSC Gazprom

© Rodionov N.G.  
Kashirin D.S.

ngr-energo@yandex.ru  
kashirindmitry@mail.ru  
SPIN-code: 2678-5228

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The current state of the gas pumping units (GPA) fleet as part of the gas transportation network of PJSC Gazprom was considered. About 50% of GPUs have excessive wear, the generated motor resource exceeds 100,000 hours. There is a tendency to replace worn-out, outdated equipment and further develop GPUs, which is associated with a sharp decrease in standard sizes, the unification of the used components of gas turbine engines (GTD) and natural gas superchargers (NPG), as well as an increase in their efficiency and unit capacity. It is noted that the further development of gas turbine engines performed according to simple thermodynamic cycles and thermal schemes has a fundamentally limited upper limit for efficiency. The strategic direction of improving the gas turbine engine for GPU, in order to increase efficiency and power, is in the field of deep utilization of heat obtained when burning fuel in the gas turbine engine combustion chamber. Various technical solutions have been developed to implement complicated thermodynamic cycles of gas turbine engine.*

**Keywords:** *gas turbine engine, natural gas, gas compressor, main gas pipeline*

УДК 536.24

## Исследование влияния густоты расчетной сетки при численном моделировании коэффициента теплоотдачи с поверхности цилиндра при его поперечном обтекании

© Шевелев Денис Владимирович

denis.v.shevelev@bmstu.ru

SPIN-код: 2076-0373

Жинов Андрей Александрович

azhinov@bmstu.ru

SPIN-код: 1078-4808

Юрик Елена Алексеевна

eayurik@bmstu.ru

SPIN-код: 7520-2944

*Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Исследовано влияние густоты расчетной сетки на результаты численного моделирования обтекания круглого цилиндра воздушным потоком при сопряженном теплообмене, в рамках средней величины коэффициента теплоотдачи с поверхности цилиндра, путем сравнения с расчетными данными, полученными при решении критериального уравнения конвективного теплообмена. Определена погрешность нахождения коэффициента теплоотдачи методами численного эксперимента. Полученные результаты могут быть полезны при численном моделировании воздухоохлаждаемых теплообменных аппаратов с поперечным обтеканием трубных пучков.*

**Ключевые слова:** конвективный теплообмен, коэффициент теплоотдачи, моделирование, CFD, расчетная сетка, верификация

Численный эксперимент позволяет оценить верность выполненных проектно-конструкторских расчетов теплоэнергетического оборудования, уменьшить требуемый объем натурного моделирования, ускоряет и удешевляет процесс разработки [1]. Моделирование гидравлических, газодинамических и тепловых процессов возможно в различных CFD пакетах компьютерных программ, таких как ANSYS, Siemens FLOEFD [2], FlowVision [3], OpenFOAM [4] и других.

В основу CFD-моделирования процессов в любом из таких пакетов положено совместное решение дифференциальных уравнений сохранения: сплошности (неразрывности), импульса, энергии, уравнений состояния и теплообмена [5].

Численное решение сопряженной задачи газодинамики и теплообмена — одна из ключевых задач, решаемых при проектировании современного теплообменного оборудования, например, рекуперативных теплообменников в которых происходит теплообмен при поперечном обтекании труб. При этом количество обтекаемых труб в аппарате может достигать десятков и сотен. Численное моделирование в таком случае требует значительных вычислительных ресурсов из-за очень большого числа ячеек в расчетной области и малых шагов по времени при расчете. Поэтому существует задача поиска

наименьшего уровня детализации расчетной области, при которой возможно получение корректных результатов численного моделирования сопряженного теплообмена.

В данной работе за предмет исследования был взят «классический» пример — обтекание бесконечного круглого цилиндра плоскопараллельным потоком жидкости. Данная задача детально изучена и для нее имеются надежные экспериментальные данные по процессам теплоотдачи, обобщенные в виде критериальных уравнений. Так, для обтекания круглого цилиндра диаметром  $d$  плоскопараллельным потоком жидкости, для расчета среднего по поверхности коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{d}, \quad (1)$$

рекомендуется критериальное уравнение вида [6]:

$$\text{Nu} = C \text{Re}_d^m \text{Pr}^{1/3}, \quad (2)$$

где  $\text{Nu}$  — число Нуссельта;  $\text{Re}$  — число Рейнольдса;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности жидкости;  $C$  и  $m$  — коэффициенты, значения которых приведены в [6].

Теплофизические параметры, входящие в (1) и (2) определяются по средней температуре жидкости, полученной по температуре жидкости вдали от стенки  $t_{\text{ж}}$  и по температуре стенки  $t_{\text{ст}}$ :

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_{\text{ж}} + t_{\text{ст}}}{2}. \quad (3)$$

Для данного исследования, были выбраны параметры, характерные для воздухоохлаждаемых теплообменных аппаратов, таких как воздушные конденсаторы, маслоохладители или градирни [7]. Воздушный поток имеет температуру  $t_{\text{ж}} = 292 \text{ К}$  ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и обтекает поверхность цилиндрической трубы диаметром 40 мм с температурой наружной стенки  $t_{\text{ст}} = 333 \text{ К}$  ( $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Для постановки и верификации результатов численного эксперимента, было выбрано характерное, для работы теплообменных аппаратов, число Рейнольдса  $\text{Re} = 2 \cdot 10^4$ .

Результаты решения критериального уравнения (2) с последующим определением коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  по уравнению (1) приведены в табл. 1. Теплофизические свойства воздуха при  $t_{\text{cp}} = 313 \text{ К}$  ( $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ) определялись согласно [8].

Численное моделирование процессов теплоотдачи проводилось в CFD пакете Siemens FLOEFD. Решалась внешняя двумерная задача с автоматическим выбором размеров расчетной области. Рассматривались случаи детализации расчетной сетки уровнем от 1 до 7, согласно настройкам автоматического построителя сетки FLOEFD.



Таблица 1

$Re_d$	$c$ , м/с	$Nu$	$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
$2 \cdot 10^4$	7,53	77,5	53,5

Конфигурация всех исследованных вариантов расчетной сетки в окрестностях обтекаемого цилиндра приведена на рис. 1.

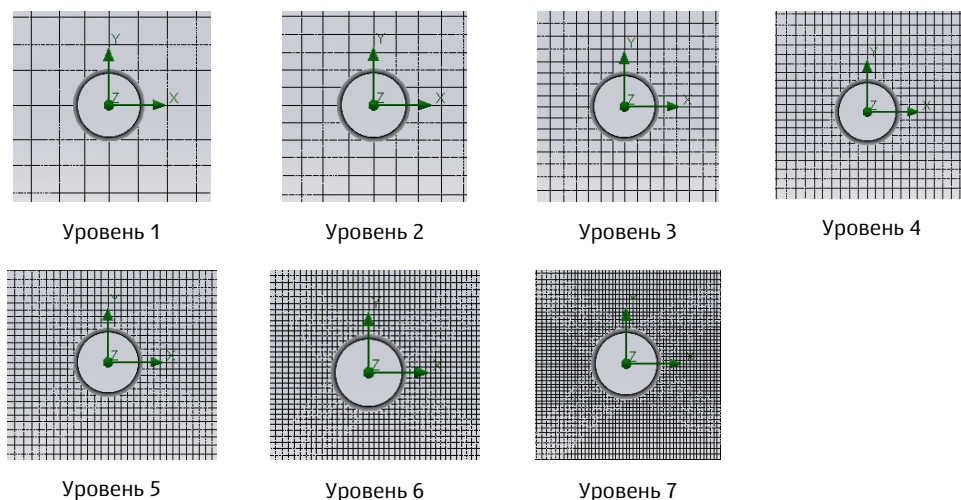


Рис. 1. Конфигурация вариантов расчетной сетки

Количественные характеристики рассмотренных вариантов расчетной сетки приведены в табл. 2.

Таблица 2

№	1	2	3	4	5	6	7
Количество ячеек	336	620	1266	2128	3436	5820	9474
Ячеек на поверхности цилиндра	12	16	24	32	44	60	84

Критерий остановки процесса численного моделирования — достижение сходимости среднего по поверхности цилиндра коэффициента теплоотдачи в 3 % от среднего значения от итерации к итерации.

Результатом моделирования стало определение всех термодинамических и кинематических параметров потока в расчетной области, что позволило определить средний по поверхности цилиндра коэффициент теплоотдачи [9].

Значения коэффициента теплоотдачи на режиме обтекания  $Re = 20\,000$ , полученные в ходе численного моделирования, приведены в табл. 3.

Таблица 3

№	1	2	3	4	5	6	7
$\alpha, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	29,1	38,2	49,3	51,5	52,3	52,2	53,4

Погрешность результатов численного моделирования по сравнению с величиной коэффициента теплоотдачи, полученного из решения критериального уравнения (2) приведена на рис. 2.

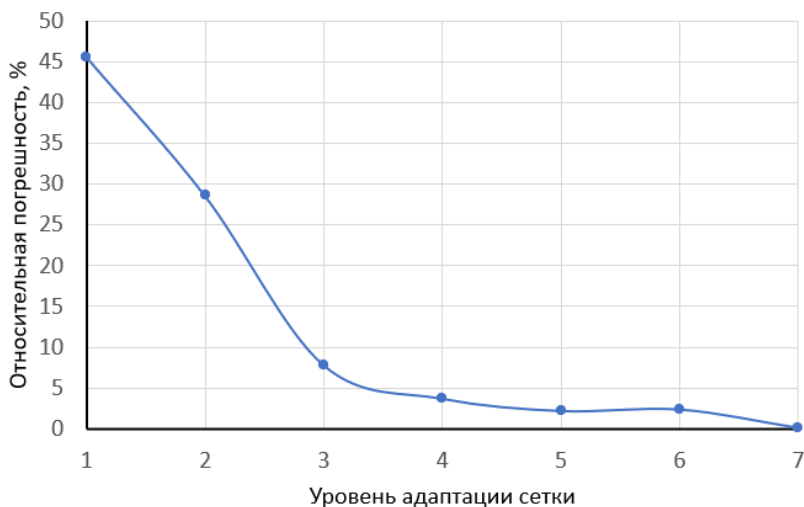


Рис. 2. Относительная погрешность коэффициента теплоотдачи, полученного по результатам численного моделирования

Как следует из полученных результатов, представленных на рис. 2 и в табл. 3, начиная с четвертого уровня адаптации расчетной сетки, результат численного моделирования соответствует расчетным данным, полученным по критериальному уравнению (2) с погрешностью менее 5%.

При рассмотренном числе Рейнольдса, погрешность нахождения коэффициента теплоотдачи при обтекании круглого цилиндра методами численного эксперимента, в практически важном диапазоне скоростей воздушного потока (от 2 до 20 м/с), достигается при числе расчетных ячеек на поверхности образующей цилиндра — более 45, при этом относительная погрешность определения коэффициента теплоотдачи не превышает 3%.

Полученные результаты могут быть полезны при численном моделировании воздухоохлаждаемых теплообменных аппаратов с поперечным обтеканием трубных пучков.

## Литература

- [1] *Computational Simulation and Application*. Edited by Jianping Zhu. Croatia, InTech Press, 2011.
- [2] *Siemens FLOEFD*. Available at: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/fluids-thermal-simulation/floefd/> (accessed October 24, 2023).
- [3] *FlowVision CFD*. Available at: <https://flowvision.ru/ru/> (accessed October 24, 2023).
- [4] *OpenFOAM*. Available at: <https://www.openfoam.com/> (accessed October 24, 2023).
- [5] Дейч М.Е. *Техническая газодинамика*. Москва, Ленинград, Госэнергоиздат, 1961.
- [6] Holman J.P. *Heat Transfer*. New York, McGraw-Hill, 1997.
- [7] Мильман О.О., Федоров В.А. *Воздушно-конденсационные установки*. Москва, Изд-во МЭИ, 2002, 208 с.
- [8] Аметистов Е.В., Григорьев В.А., Емцев Б.Т. и др. *Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник*. Москва, Энергоиздат, 1982, 512 с.
- [9] Бурцев С.А. Анализ различных факторов на значение коэффициента восстановления температуры на поверхности тел при обтекании потоком воздуха. *Наука и образование*, 2004, № 11. <https://doi.org/10.7463/1104.0551021>

## Research of the Influence of Density of Computational Mesh in Numerical Modeling of the Heat Transfer Coefficient from the Surface of a Cylinder During Transverse Flow Around It

© Shevelev D.V.

denis.v.shevelev@bmstu.ru

SPIN-code: 2076-0373

Zhinov A.A.

azhinov@bmstu.ru

SPIN-code: 1078-4808

Yurik E.A.

eayurik@bmstu.ru

SPIN-code: 7520-2944

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The influence of the density of the computational mesh on the results of numerical simulation of an air flow around a cylinder during conjugate heat transfer, within the framework of the average value of the heat transfer coefficient from the surface of the cylinder, has been studied by comparison with the calculated data obtained by solving the criterion equation of convective heat transfer. The error in finding the heat transfer coefficient using numerical experimental methods is determined. The results obtained can be useful in numerical modeling of air-cooled heat exchangers with transverse flow around tube bundles.*

**Keywords:** *convective heat transfer, heat transfer coefficient, modeling, CFD, computational grid, verification*

УДК 621.672

## Особенности построения меридионального сечения рабочего колеса центробежного насоса для перекачивания гидроабразивных смесей

© Ващенко Анастасия Витальевна  
Савин Владимир Юрьевич

sveridova.alenka@yandex.ru  
savin.study@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены особенности расчета колеса и построения меридионального сечения рабочего колеса центробежного насоса, перекачивающего гидроабразивную смесь. Представлены результаты расчета и профилирования. Даны рекомендации по подбору радиусов скругления меридионального сечения.*

**Ключевые слова:** меридиональное сечение, гидроабразивная смесь

Построение меридионального сечения — важнейший этап профилирования рабочего колеса. Рабочие колеса насосов для перекачивания гидроабразивных смесей имеют некоторые существенные, озвученные ниже, особенности. Но, в целом, существует практика построения меридионального сечения колеса насоса для гидроабразивных смесей на основе методики построения рабочего колеса для перекачивания воды. При этом имеются особенности использования данной методики и некоторые простые правила, позволяющие в первом приближении адаптировать данную методику для рабочих колес, перекачивающих гидроабразивные смеси.

Проанализированы особенности построения меридионального сечения колеса для воды и гидроабразивных смесей на конкретных примерах.

Методика, изложенная в работе [1] не в полной мере может использоваться для построения меридионального сечения колеса указанного типа. Особенности построения рассмотрим на двух примерах. Для чистой воды и для гидроабразивной смеси.

Исходными данными является подача  $Q = 3000$  м<sup>3</sup>/ч, напор  $H = 72$  м и максимальный размер частиц для случая перекачивания гидроабразивной смеси.

Для начала необходимо рассчитать возможную частоту вращения ротора насоса  $n$ :

$$n\sqrt{Q} = c \left( \frac{\Delta h_p}{10} \right)^{3/4} \quad (1)$$

где  $C$  — кавитационный запас;  $\Delta h_p$  — коэффициент подпора, выбирается в пределах 1,15...1,30.

Кавитационный запас выбирается исходя из необходимых кавитационных качеств, режима работы. С данным случае выбираем  $C = 2500$ , исходя из рекомендаций по высоким кавитационным свойствам насоса [2]:

$$n = \frac{C}{\sqrt{Q}} \left( \frac{\Delta h_p}{10} \right)^{3/4} = \frac{2500}{\sqrt{0,83}} \left( \frac{1,3}{10} \right)^{3/4} = 594 \text{ об/мин.}$$

Выбрана частота вращения до  $n = 600$  об/мин.

По полученным данным рассчитан коэффициент быстроходности насоса:

$$n_s = \frac{3,65n\sqrt{Q}}{H^{3/4}} = \frac{3,65 \cdot 600 \cdot \sqrt{0,83}}{72^{3/4}} = 81.$$

Произведен расчет габаритных размеров рабочего колеса и диаметров входного и выходного патрубков насоса:

Все размеры рабочего колеса (наружный диаметр колеса  $D_2$ , диаметр горловины  $D_r$ , приведенный диаметр  $D_0$ , диаметр втулки  $d_{вт}$  и входной кромки  $D_{вх}$ , ширина проточной части  $b_2$ ) пропорциональны величине:

$$D_H = \frac{\sqrt{2gH}}{n} \quad (2)$$

или

$$D_Q = \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \quad (3)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения;  $D_H = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 72}}{600} = 0,063 \text{ м}$ ;

$$D_Q = \sqrt[3]{\frac{0,83}{600}} = 0,112 \text{ м}.$$

Коэффициент пропорциональности диаметра рабочего колеса насоса на выходе

$$\frac{D_2}{D_H} = 19,2 \left( \frac{n_s}{100} \right)^{1/6}. \quad (4)$$

Тогда

$$D_2 = 19,2 \left( \frac{n_s}{100} \right)^{1/6} \cdot D_H = 1,166 \text{ м}.$$

Коэффициент пропорциональности ширины канала меридионального сечения рабочего колеса на диаметре  $D_2$ :

$$\frac{b_2}{D_Q} = k_b; \quad (5)$$

для  $n_s < 120$ ;  $k_b = 0,78 \cdot (n_s/100)^{1/2}$

$$k_b = 0,78 \left( \frac{80}{100} \right)^{1/2} = 0,698 \Rightarrow b_2 = 0,698 \cdot 0,112 = 78 \text{ мм.}$$

Приведенный диаметр рабочего колеса на входе:

$$D_0 = \sqrt{D_r^2 - d_{вт}^2} = K_0 D_Q, \quad (6)$$

где  $D_r$  — диаметр горловины рабочего колеса, м;  $d_{вт}$  — диаметр втулки на валу, м;  $K_0 = D_0/D_Q$  — коэффициент приведенного диаметра, выбирается по кавитационному запасу. Для данного случая  $K_0 = 3,3$ . Тогда из (6):

$$D_0 = 3,3 \cdot 0,112 = 0,370 \text{ м.}$$

Диаметр втулки рассчитывается следующим образом:

$$d_{вт} = \alpha \sqrt[3]{N/n}, \quad (7)$$

где  $N$  — мощность, кВт;  $\alpha$  — безразмерный коэффициент (для консольных насосов  $\alpha = 120 \dots 130$ ,

$$d_{вт} = 125 \cdot \sqrt[3]{586,3/600} = 125 \text{ мм.}$$

Из (6) получим:

$$D_r = \sqrt{D_0^2 + d_{вт}^2} = 0,391 \text{ м.}$$

Размер патрубка насоса на входе

$$D_{вх} = (1,1 \dots 1,15) \cdot K_0 \sqrt[3]{Q/n} = 0,126 \text{ м.}$$

По полученным размерам спроектировано сечение колеса с помощью программы «Профилирование лопастей рабочих колес центробежного насоса» (рис. 1) для автоматизированного профилирования лопастей рабочих колес центробежных насосов разработанная С.С. Панаиотти на кафедре «Гидромашин, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» [3].

Площадь нормального сечения между дисками колеса должна изменяться плавно от входа до выхода. На участке поворота меридионального сечения (из осевого направления в радиальное) проходную площадь меридионального сечения следует увеличить примерно на 20...30 % по отношению к прямолинейному закону изменения площади. Местное расширение площади на повороте меридионального сечения компенсирует стеснение площади лопатками колеса, которые обычно начинаются в этой зоне, и уменьшает неравномерность распределения скорости жидкости. Это расширение следует выполнить за счет увеличения кривизны  $R_C$  переднего диска колеса [1].

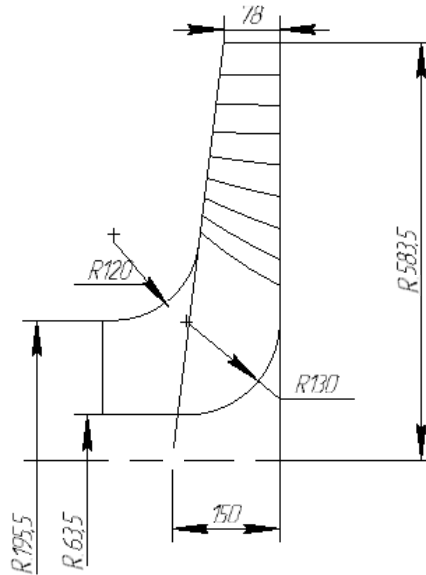


Рис. 1. Профилирование рабочего колеса насоса для перекачивания воды

Далее проведен расчет меридионального сечения для гидроабразивной смеси.

Большую часть абразива занимает гравий. Размеры твердых включений может колебаться от 20...50 мм. Для данного расчета принят максимальный размер твердых включений.

При выборе частоты вращения абразивного насоса необходимо учитывать ряд особенностей: в условиях изнашивания возможны случаи неравномерного износа лопастей, а также заклинивания твердых включений, что вызывает значительный дисбаланс. Увеличение числа оборотов вызовет увеличение неуравновешенной силы от дисбаланса; повышение числа оборотов при сохранении параметров приведет к уменьшению размеров насоса, в том числе проходных сечений и толщин, что снизит эксплуатационные качества [4].

По рекомендациям отечественных и зарубежных практик для насоса с производительностью  $Q = 3000 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,83 \text{ м}^3/\text{с}$  подходит число оборотов около 500 об/мин [5]. При значительном отличии расчетного числа оборотов по вышеуказанным формулам, число оборотов необходимо корректировать. Для данного случая выбрано число оборотов 600, получившееся при расчете насоса для воды.

При выборе геометрических параметров необходимо иметь в виду, что землесосы должны пропускать крупные твердые включения. Поэтому размер каналов всей проточной части машины должны быть выбраны таким образом, чтобы их сечения, а также ширина и высота были достаточными для пропуска включений большого (заданного) размера [4].

В связи с тем что рабочие колеса насосов для абразивных гидросмесей характеризуются высокими значениями коэффициента ширины их невозможно выполнить сужающимися к выходу, поэтому в некоторых методах проектирования предлагается их проектировать с параллельными стенками [6].

Рассчитаны геометрические размеры рабочего колеса для насоса, перекачивающего гидроабразивные смеси.

$$D_Q = \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} = \sqrt[3]{\frac{0,83}{600}} = 0,112 \text{ м},$$

$K_0$  — для гидроабразивных насосов выбирается в интервале 3,8...4,0.

Из (6) получим:

$$D_0 = 0,112 \cdot 4 = 0,448 \text{ м};$$

$$D_H = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 72}}{600} = 0,063 \text{ м};$$

$$\frac{D_2}{D_H} = 19,2 \left( \frac{n_s}{100} \right)^{1/6} = 18,5 \Rightarrow D_2 = 1,165 \text{ м}.$$

Для насосов, перекачивающих гидроабразивную смесь  $n_s = 75...90$

$$k_b = 1,5...2,2,$$

тогда

$$b_2 = k_b D_Q = 1,5 \cdot 0,112 = 168 \text{ мм};$$

$$d_{\text{вт}} = \alpha \sqrt[3]{\frac{N}{n}} = 125 \cdot \sqrt[3]{\frac{586,3}{600}} = 125 \text{ мм};$$

$$D_T = \sqrt{D_0^2 + d_{\text{вт}}^2} = 0,465 \text{ м};$$

$$D_{\text{вх}} = (1,1...1,15) K_0 \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} = 0,493 \text{ м}.$$

С помощью программы [3] построен профиль рабочего колеса для перекачивания гидроабразивной смеси (рис. 2).

Параллельные стенки приводят к перерасширению каналов, что вызывает на входе и выходе рабочего колеса противотоки (вихри), которые приводят к гидравлическому торможению колеса, а также к увеличению износа рабочего колеса и корпуса в зоне вихрей [7].

Для уменьшения влияния перерасширения предлагается в зависимости от средней объемной концентрации твердых частиц сужать меридиональное сечение на выходе, обеспечивая как отсутствие заклинивания, так и повышение гидравлических качеств рабочего колеса.



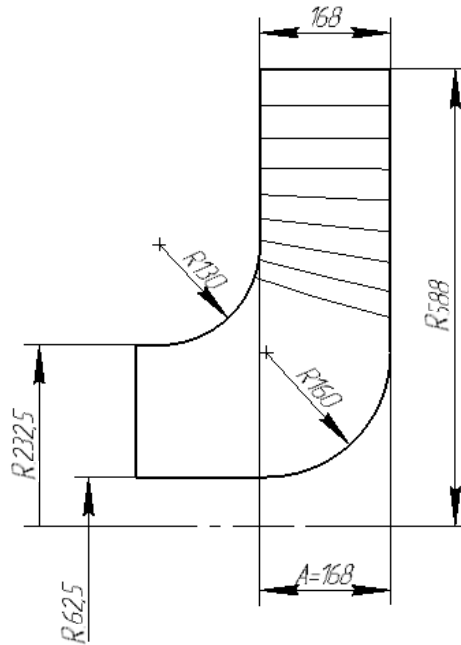


Рис. 2. Профилирование рабочего колеса с параллельными стенками для перекачивания гидроабразивной смеси

Стандартная методика профилирования рабочих колес предусматривает построение линий тока исходя из постоянства меридиональных скоростей вдоль нормалей [1]. Предлагается при профилировании рабочих колес для перекачивания гидроабразивных смесей учесть изменение меридиональных скоростей вдоль нормалей и привязать выбор радиусов скругления меридионального сечения к неравномерности указанных скоростей.

Необходимо также проанализировать влияние указанных радиусов скругления меридионального сечения на углы атаки абразивных частиц при взаимодействии их в первую очередь с задним диском. При этом необходимо отметить, что угол атаки частицы является определяющим параметром, влияющим на износ элементов рабочего колеса.

## Литература

- [1] Мелашенко В.И., Зуев А.В., Савельев А.И. *Профилирование лопастей рабочих колес центробежных насосов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004, 50 с.
- [2] Башта С.С., Руднев Т.М., Некрасов Б.Б. *Гидравлика, гидромашины и гидроприводы*. Москва, Машиностроение, 1982, 423 с.
- [3] Панаиотти С.С. и др. *Автоматизированное профилирование лопастей центробежных рабочих колес: руководство пользователя*. Калуга, 2008, 66 с.

- [4] Жарницкий Е.П. *Экспериментальные исследования по совершенствованию грунтовых насосов, применяемых при разработке песчано-гравийных грунтов*. Дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00. Москва, 1972, 155 с.
- [5] Смойловская Л.А. *Экспериментальное исследование проточных каналов грунтовых насосов с учетом их износа*. Дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00. Москва, 1965, 201 с.
- [6] Животовский Л.С., Смойловская Л.А. *Лопастные насосы для абразивных гидросмесей*. Москва, Машиностроение, 1978, 223 с.
- [7] Грянко Л.П., Папира А.Н. *Лопастные насосы*. Санкт-Петербург, Машиностроение, 1975, с. 66–70.

## Features of the Construction of the Meridional Section of the Impeller of a Centrifugal Pump for Pumping WATERJET Mixtures

© | Vashchenko A.V.  
Savin V.Yu.

sveridova.alenka@yandex.ru  
savin.study@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The features of calculating the wheel and constructing the meridional section of the impeller of a centrifugal pump pumping a waterjet mixture are considered. The results of calculations and profiling are presented. Recommendations are given for selecting the radii of rounding of the meridional section.*

**Keywords:** meridional section, waterjet mixture

***Секция 5. Методы теории  
автоматического управления;  
автоматизация и управление  
технологическими процессами  
и производствами***



УДК 004.896

## Построение предиктивной модели сухой вентиляторной градирни методами нейросетевого моделирования

© Решетников Георгий Александрович<sup>1</sup>

Порываев Олег Павлович<sup>1</sup>

Милосердов Владислав Олегович<sup>1,2</sup>

generalreshetnikov@gmail.com

olegporываev@inbox.ru

miloserdovvo@bmstu.ru

SPIN-код: 1394-4940

<sup>1</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>2</sup> ЗАО НПВП «Турбоконт»

*Рассмотрено применение нейросетевых методов моделирования теплоэнергетических установок на примере сухой вентиляторной градирни, предназначенной для обеспечения охлаждающей водой конденсаторов турбоустановок. Цифровая модель системы строится на основании исторических архивных данных в форме временных рядов и позволяет предсказывать поведение и состояние системы. Применение данных решений позволяет как проанализировать эксплуатационные характеристики в настоящий момент времени, так и спрогнозировать их изменения с учетом переменных внешних факторов.*

**Ключевые слова:** сухая вентиляторная градирня, нейросетевая модель, системы управления

Применение нейросетевых методов в моделировании теплоэнергетических установок с временными рядами позволяет предсказывать поведение и состояние системы с учетом истории. Помимо авторегрессионных данных, такие модели учитывают измеряемые характеристики установок, включая характеристики состояния и внешние факторы. Например, предсказание аномалий в работе ветроустановок можно выполнить с использованием сетей долгой краткосрочной памятью (Long short-term memory, LSTM) и двунаправленных автоэнкодеров с точностью до 96,79 %. Аналогично, для прогнозирования опасных выбросов окиси азота при работе газотурбинной установки можно применить многослойную нелинейную сеть прямого распространения или многослойного персептрона (Multilayer perceptron, MLP). Для мониторинга и предсказания отказов сложных систем, таких как морские ветроустановки, предложена двунаправленная LSTM сеть с точностью не менее 80 % [1].

Математическая модель описывает зависимость между исходными данными и искомыми величинами. Нейронные сети предоставляют аппарат для решения широкого круга обратных задач математического моделирования, а также используются для настройки систем управления и формирования контроллеров для различных энергоустановок.

Процедура генерации модели в такой форме подразумевает использование методов адаптации на основе обратного распространения ошибки для сетей прямого распространения и метода обратного распространения ошибки

по времени для сетей рекуррентного типа в рамках модели обучения на основе градиента функции потерь. В классе нейросетевых моделей в настоящий момент создается широкий спектр математических моделей сложных систем и объектов.

Таким образом, в современных прогнозирующих, диагностических системах и при разработке новых конструктивных решений широко используют математические модели объектов и систем в целом на основе нейронных сетей. Эти модели обладают высоким качеством аппроксимации объектов и явлений, но требуют значительные экспериментальные данные для адаптации параметров и значительных вычислительных ресурсов на этапе обучения [2]. Следует отметить, что этап использования таких моделей, как правило, не требует большой вычислительной среды или использует существенно меньшие, чем на этапе обучения, мощности.

В качестве объекта моделирования рассматривается сухая вентиляторная градирня тепловой электростанции, обеспечивающая теплоотведение в конденсаторе турбины представленная на рис. 1. Отвод тепла осуществляется на водо-воздушных теплообменниках атмосферным воздухом, нагнетаемым вентиляторами. Изменение отводимого теплового потока, для обеспечения требуемой температуры в контуре осуществляется за счет изменения частоты вращения вентиляторов и как следствие, изменению расхода воздуха через теплообменные поверхности. Температура наружного воздуха и изменение нагрузки энергоблока являются основными возмущающими факторами, воздействия которых не должны сказаться на устойчивости системы.

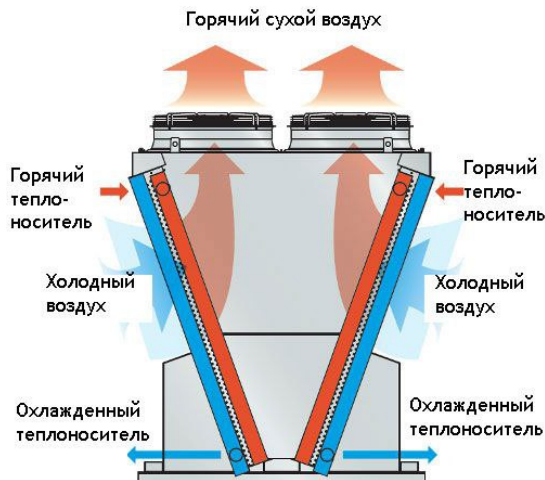


Рис. 1. Принципиальная схема сухой вентиляторной градирни

Управление температурным контуром регулирования осложняется тем, что система обладает достаточной инерционностью, а также «оборачивае-

мость» замкнутого контура способствует возникновению автоколебаний при некачественной работе системы регулирования.

В данном исследовании основным этапом эксперимента является получение данных, их обработка и выделение основных параметров.

Для обучения нейросетевой модели использовался следующий подход: полученные данные были разделены на два набора — обучающий (80 %) и тестовый (20 %). Обучающий набор данных представляет собой часть доступных данных, используемых для тренировки нейросети в процессе обучения. Он содержит множество примеров, где каждый пример состоит из входных данных и соответствующего эталонного (правильного) выхода, который модель должна научиться предсказывать [3].

Тестовый набор данных предназначен для оценки производительности нейросети после завершения обучения. Соответствующее разделение данных демонстрирует насколько хорошо модель обобщает полученные знания на новых, ранее не использованных данных.

Такой подход к обучению и оценке модели является распространенной практикой в области машинного обучения и позволяет удостовериться в ее способности применять полученные знания на новых, реальных данных.

Для более точной оценки обучения нейросетевой модели были применены несколько параметров для обучения.

Для начала обучения моделей был проведен эксперимент для оценки зависимости точности модели от количества нейронов, используемых для обучения [4]. В результате были подобраны оптимальные значения, а именно 128 и 512. Так же были выбраны функции активации *sigmoid* и *relu*.

Результаты работы нейронной сети и результаты предсказания представлены на рис. 2.

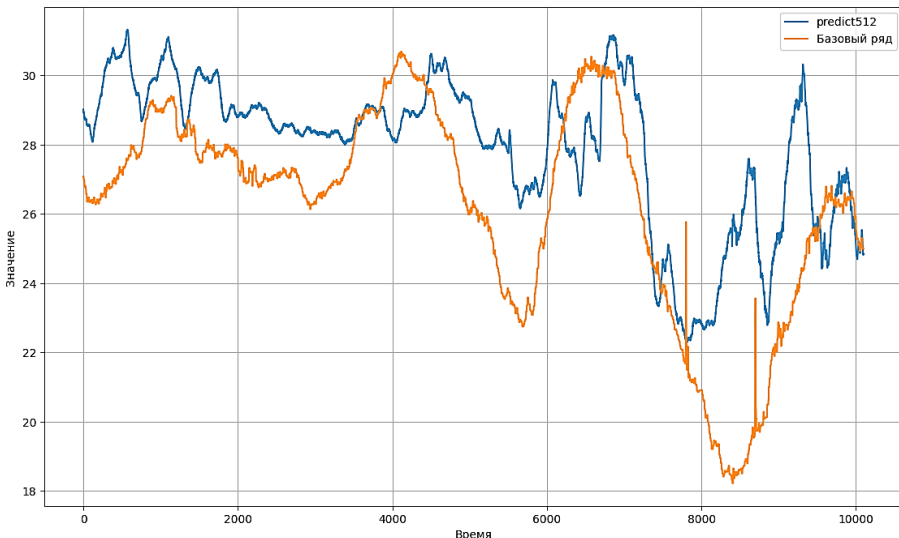


Рис. 2. Предсказание температуры воздуха на выходе экспериментального стенда

Для данной модели была выбрана функция активации `relu` и 512 нейронов.

Модель прогнозирования реализована с использованием архитектуры MLP и предоставляет следующие результаты:

- среднее значение абсолютной ошибки для модели предсказания температуры на выходе составляет 2.1;
- значение ошибки предсказания представлено на рис. 3.

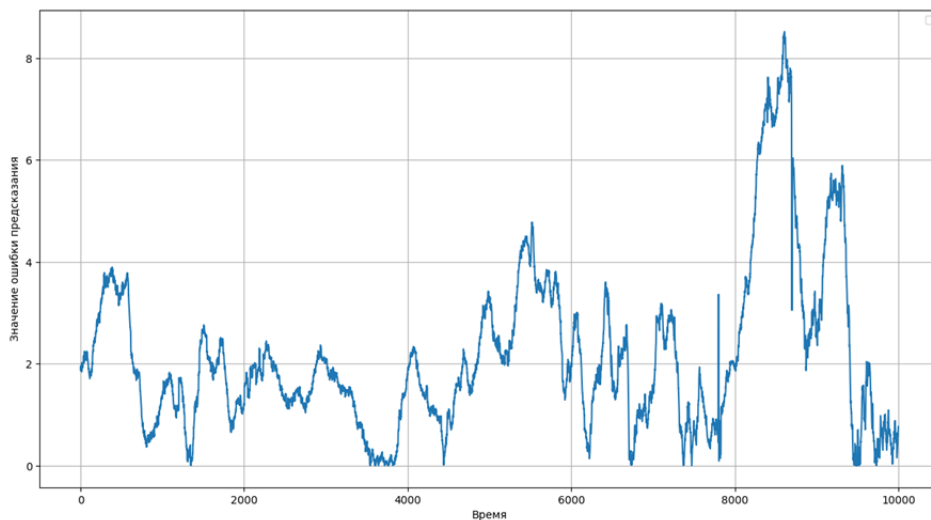


Рис. 3. Значение ошибки предсказания

Среднее значение абсолютной процентной ошибки для модели предсказания температуры на выходе составляет 7 %.

Модель успешно обучается и способна предсказывать значения на основе предоставленных данных.

Таким образом, несмотря на наличие легкого переобучения, потенциал для улучшений является хорошим приближением для начального исследования и может иметь практическое применение.

## Литература

- [1] Li S., Zhang M., Piggott M.D. *End-to-end Wind Turbine Wake Modelling with Deep Graph Representation Learning*. <https://arxiv.org/pdf/2211.13649v3.pdf>
- [2] Davi Guimarães da Silva, Anderson Alvarenga de Moura Meneses. *Comparing Long Short-Term Memory (LSTM) and Bidirectional LSTM Deep Neural Networks for power consumption prediction*. <http://arxiv.org/pdf/2305.16546v1>
- [3] Советов Б.Я., Яковлев С.Я. *Моделирование систем*. Москва, Высшая школа, 2001, 343 с
- [4] Hao Chen. *Knowledge distillation with error-correcting transfer learning for wind power prediction*. <http://arxiv.org/pdf/2204.00649v1>



## Construction of a Predictive Model of a Dry Fan Cooling Tower Using Neural Network Modeling Methods

© Reshetnikov G.A.<sup>1</sup>

Poryvaev O.P.<sup>1</sup>

Miloserdov V.O.<sup>1,2</sup>

generalreshetnikov@gmail.com

olegporyvaev@inbox.ru

miloserdovvo@bmstu.ru

SPIN-код: 1394-4940

<sup>1</sup> Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

<sup>2</sup> NPVP Turbocon CJSC

*This article discusses the use of neural network methods in modeling thermal power plants with time series. The results of a study are presented in which a neural network is used to predict the behavior and state of a system given history. such as the operation of wind turbines and nitrogen oxide emissions from gas turbine plants. It is emphasized that the neural network model has a high quality of approximation of objects and phenomena, but requires experimental data for training. The model generation procedure is described, including adaptation methods based on backpropagation. The main attention is paid to the control of the temperature circuit in a thermal power plant, complicated by the inertia and self-oscillations of the control system. The research includes obtaining data, processing it, and dividing it into training and test sets to evaluate the performance of the neural network model. Experiments are carried out with different training parameters, optimizing the number of neurons and activation functions. Their model successfully predicts temperature with low mean absolute and absolute percentage errors. The importance of neural network methods in modeling complex heat and power systems and their potential in controlling and forecasting energy processes is emphasized.*

**Keywords:** dry fan cooling tower, neural network model, control systems

УДК 621.6

## Разработка системы контроля и диагностики оптимального состояния среды газораспределительной станции

© Мартынов Никита Андреевич  
Финошин Александр Викторович.

nikita-martynov1002@mail.ru  
finoshin@bmsstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана-

*Создание и поддержание оптимального состояния газораспределительной станции (ГРС) является ключевой задачей, которая направлена на обеспечение безопасности и эффективности использования природного газа. Для достижения этой цели необходимо уделить внимание системе контроля и диагностики ГРС. Система контроля и диагностики ГРС объединяет данные от различных датчиков, включающих в себя информацию о температуре, давлении, скорости газа и загазованности помещения. Эти данные позволяют предотвращать возникновение нештатных ситуаций и обеспечивать безопасную работу станции. Для достижения этих целей необходимо наладить систему, интегрировать данные из различных поколений датчиков, автоматизировать работу станции и обеспечить масштабируемость системы для применения на разных производствах. Целью работы является создание системы диагностики и контроля, которая сможет принимать, обрабатывать данные с датчиков/приборов и реагировать на результаты обработки.*

**Ключевые слова:** система контроля и диагностики, наладка системы, ГРС (газораспределительная станция) датчики на ГРС, автоматизация работы станции

ГРС (Газораспределительная станция) — это комплекс установок для распределения газа по веткам магистральных газопроводов и изменения его давления. ГРС обеспечивает подогрев, редуцирование, изменение расхода природного газа, а также его очистку от жидких и твердых примесей.

Корректная работа ГРС определяется и контролируется на основе различных датчиков. Рассмотрим работу системы диагностики и контроля на основе датчиков температуры и давления газа, скорости его прохождения в разный промежуток времени по трубе (рис. 1) и датчика контроля загазованности в помещении (рис. 2, 3).

Данные с этих датчиков можно объединить в одну систему, которая упростит контроль над ними — «Система контроля и диагностики оптимального состояния среды газораспределительной станции». Данная система определяет режим работы станции и позволяет предотвратить нештатные ситуации. Система предназначена как для контроля одной газораспределительной станцией, так и целой сети в области или заданном районе. Служит для предотвращения разных ситуаций, выходящих за установленные нормы.

Некорректная работа: запоздание отправки данных, неточность обработки информации, аварийное отключение, пропускание газа в окружающую среду могут привести к различным последствиям, начиная некорректным подсчетом данных, заканчивая остановкой работы станции.

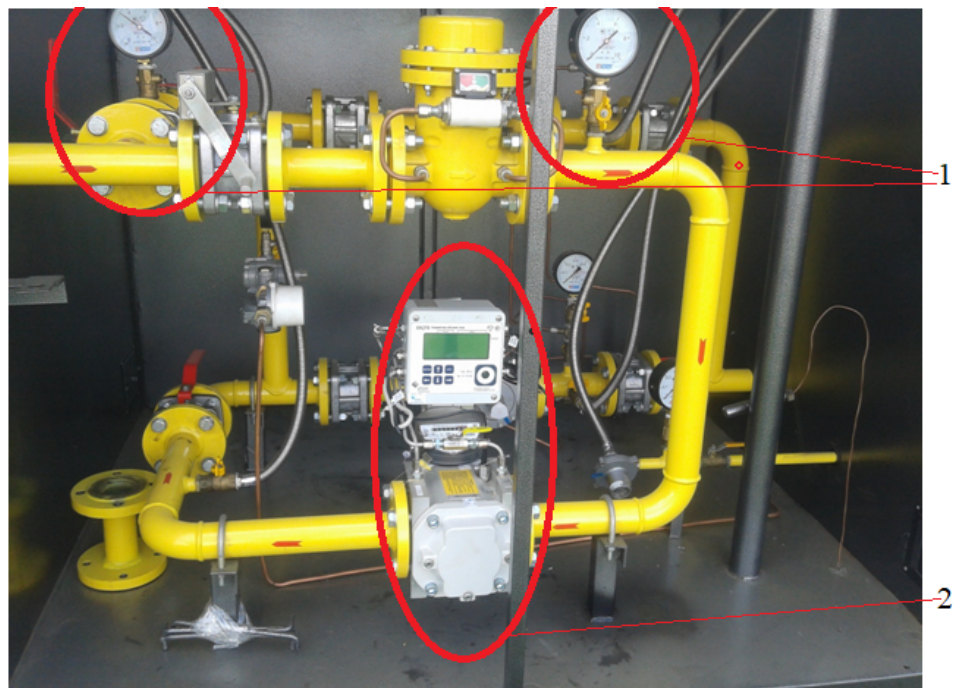


Рис. 1. Датчики пропускной способности, температуры и давления газа в трубе:  
1 — датчики давления, 2 — датчик пропускной способности трубы



Рис. 2. Прибор контроля загазованности



Рис. 3. – Датчик прибора контроля загазованности

Целью поддержания системы является: наладка системы, разработка тестовых данных для проверки системы, дальнейшее тестирование, сбор сведений об уязвимостях и критических значениях.

В данной работе рассмотрены конкретные подзадачи:

1. Наладка системы, путем проведения тестов, с помощью заранее проведенных данных.

2. Интеграция полученных данных с датчиков и дальнейшая обработка этих данных. При этом возникают сложности: при реализации объединения всех датчиков в одну систему для сбора данных могут возникнуть трудности вследствие различного поколения данных приборов на разных станциях. Также возможно затруднение при отправке данных с одной газораспределительной станции в общую систему диагностики, так как станция может не иметь подключения к интернету.

3. Автоматизация работы станции. Благодаря современным возможностям, существует минимизация действий человека в системе контроля и диагностики, что может улучшить безопасность использования оборудования и дальнейшей эксплуатации, так как существует много факторов, когда человек не имеет возможности повлиять на систему, а решение нужно принимать моментально.

4. Масштабирование. Данная система может быть полезна на производствах, связанных с использованием природного газа. Также возможна доработка под иные типы приборов/датчиков, работающих с разными видами газа, выполняющих функции, предусмотренные в исходной системе.

К настоящему моменту был проведен сбор информации на предприятии о проблемах данной системы в ее работе. Выявлены недостатки интерфейса, сложности интеграции и взаимодействия отдельных компонентов, реакции системы на различные нештатные ситуации.

## Development of a System for Monitoring and Diagnosing the Optimal State of the Gas Distribution Station Environment

© | Martynov N.A.  
Finoshin A.V.

nikita-martynov1002@mail.ru  
finoshin@bmstu.ru

*Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The creation and maintenance of an optimal state of a gas distribution station (GDS) is a key task aimed at ensuring the safety and efficiency of natural gas use. To achieve this goal, it is necessary to pay attention to the system of monitoring and diagnostics of GDS. The GDS monitoring and diagnostics system combines data from various sensors, including information about temperature, pressure, gas velocity and gas contamination of the room. These data make it possible to prevent the occurrence of emergency situations and ensure the safe operation of the station. To achieve these goals, it is necessary to set up a system, integrate data from different generations of sensors, automate the operation of the station and ensure the scalability of the system for use in different industries. The aim of the work is to create a diagnostic and control system that will be able to receive, process data from sensors / devices and respond to the results of processing.*

**Keywords:** *monitoring and diagnostics, system setup, GDS, sensors, station automation*

УДК 53.087

## Исследование возможности использования датчиков движения и освещенности для повышения эффективности автоматизированных систем управления наружным освещением

© Бунина Виктория Вячеславовна  
Минин Илья Кириллович

viktori-bun@mail.ru  
ilyha-minin02@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Исследована возможность использования датчиков движения и освещенности для улучшения эффективности автоматизированных систем управления наружным освещением. Рассмотрены принципы работы таких датчиков, их преимущества и недостатки, а также возможные сферы применения. Особое внимание уделено анализу результатов экспериментов, демонстрирующих улучшение энергоэффективности и снижение затрат при использовании датчиков движения и освещенности в системах управления наружным освещением. Работа представляет интерес для специалистов в области автоматизации и энергосбережения. Также проведен анализ эффективности использования этих датчиков в различных условиях, что позволяет сделать выводы о их оптимальном применении. В результате исследования получены данные, подтверждающие значительное улучшение энергоэффективности систем управления наружным освещением при использовании датчиков движения и освещенности. Результаты исследования могут быть полезны для разработки новых технологий в области энергосбережения и повышения эффективности систем освещения. В целом данная работа представляет собой важный вклад в изучение возможностей применения датчиков движения и освещенности для оптимизации систем управления наружным освещением и повышения их энергоэффективности.*

**Ключевые слова:** датчики движения, датчики освещенности, наружное освещение, энергоэффективность

Автоматизация в современном мире играет все более важную роль в повседневной жизни людей. Одним из направлений автоматизации является управление наружным освещением. Помимо средств автоматических систем управления для контроля уровня освещенности возможно подключение специальных приспособлений, которые обеспечивают срабатывание осветительных приборов при создании заданных условий. Такими устройствами являются датчики движения и освещенности, которые могут значительно повысить эффективность систем управления и сократить расходы на электроэнергию. В этой связи исследование возможности использования датчиков движения и освещенности для повышения эффективности автоматизированных систем управления наружным освещением представляет большой интерес [1–10].

В данной статье мы рассмотрим преимущества и недостатки использования датчиков движения и освещенности для повышения эффективности автоматизированных систем управления наружным освещением.

Одной из главных проблем неэффективного использования наружного освещения является его избыточность. Часто светильники включаются даже в тех случаях, когда это не требуется, например, днем или когда на улице достаточно светло. Это приводит к значительному расходу электроэнергии и, как следствие, к ненужным затратам. Кроме того, неэффективное использование наружного освещения может привести к экологическим проблемам. Например, избыточное освещение может привести к нарушению биоритмов животных и растительности, что может негативно сказаться на экосистеме в целом.

Для решения проблемы неэффективного использования наружного освещения можно использовать датчики движения и освещенности. Датчики движения позволяют определять наличие людей или транспорта в зоне действия светильника, а датчики освещенности — уровень освещенности в данной зоне. Используя эти данные, автоматизированные системы управления наружным освещением могут включаться только в тех случаях, когда это действительно необходимо. Например, светильники могут включаться только в темное время суток, когда на улице недостаточно света, или только при наличии людей или транспорта в зоне действия светильника.

Это позволит существенно сократить расходы на электроэнергию и повысить эффективность управления освещением. Кроме того, использование датчиков движения и освещенности позволяет снизить негативное влияние на окружающую среду, так как светильники будут включаться только в тех случаях, когда это действительно необходимо.

Однако использование датчиков движения и освещенности имеет и некоторые недостатки. Например, если датчик движения не работает правильно, светильник может включаться и выключаться слишком часто или не включаться вовсе. Кроме того, датчики освещенности могут не всегда корректно определять уровень освещенности, что может привести к неправильному включению или выключению светильников. Кроме того, датчики требуют регулярного технического обслуживания и замены элементов питания.

Датчики освещенности, или как их еще называют, фотореле, нашли широкое применение в области управления наружным освещением. Например, там, где желательно, чтобы свет горел постоянно. Принцип их работы основан на том, что светочувствительный элемент изменяет свою проводимость в зависимости от степени освещенности. В качестве такого элемента используют (рис. 1):

- фоторезисторы (чаще и дешевле всего);
- фотодиоды;
- фототранзисторы.

Все три типа светочувствительных элементов объединяет то, что их проводимость возрастает вместе с освещенностью. Простым языком, они проводят ток тогда, когда на них попадает свет. Отличием является лишь чувствительность. Сигнал с датчика освещения приходит на усилитель, который, в свою очередь, управляет силовым коммутационным прибором — электромагнитным реле или симистором. В дешевых малогабаритных устройствах в качестве усилителя используется один транзистор, а в дорогих — микросхемы.



Рис. 1. Светочувствительные элементы, фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы



Рис. 2. Типы фотореле:

а — со встроенным датчиком; б — с внешним (выносным) датчиком; в — встроенное в светильник

По типу монтажа микросхемы могут быть (рис. 2):

- для установки на DIN-рейку электрощита;
- для монтажа на стену, например с кронштейном.

Для успешного внедрения системы управления наружным освещением с использованием датчиков движения и освещенности необходимо учитывать следующие рекомендации:

1. Правильно выбирать датчики движения и освещенности. Необходимо учитывать условия эксплуатации, например, температуру окружающей среды, влажность и т. д.

2. Правильно настраивать систему управления. Необходимо установить правильные пороговые значения для датчиков движения и освещенности, чтобы светильники включались только в тех случаях, когда это действительно необходимо.



3. Проверять работу системы регулярно. Необходимо регулярно проверять работу датчиков движения и освещенности, чтобы убедиться в их правильной работе.

4. Обучать персонал. Необходимо обучать персонал, который будет работать с системой управления наружным освещением, правильной эксплуатации и настройке системы.

Датчики для автоматического управления освещением можно классифицировать по типу срабатывания:

– *датчики освещенности*. Включают свет, когда на улице темнеет. Преимуществом является то, что не будет ложных срабатываний в светлое время суток, а недостаток один — бесполезный расход электроэнергии при освещении, когда рядом нет людей;

– *акустические датчики*. Реагируют на звуки и шумы поблизости, например, на шаги и голос;

– *датчики движения или присутствия*. Срабатывают, когда кто-то проходит рядом или появляется в поле зрения другим. Что и является преимуществом — свет включается только тогда, когда есть движение в поле зрения датчика, но это же и недостаток — нужно предусмотреть возможность его отключения днем (и не забывать включать его ночью).

Комбинированные устройства срабатывают по двум вышеперечисленным факторам. Например, комбинированный датчик движения включает освещение при наличии движения в его зоне контроля только при недостаточной освещенности, а при достаточном уровне освещенности включение света происходить не будет, таким образом устраняется главный недостаток датчика движения.

Из приведенного выше обзора можно сделать следующие выводы.

1. Для решения проблемы с автоматическим включением и отключением света нужно определиться должен ли быть свет включен постоянно в темное время суток или должен включаться и выключаться в темноте при появлении человека или другого объекта.

2. В целом использование датчиков движения и освещенности для повышения эффективности автоматизированных систем управления наружным освещением имеет большой потенциал. Однако для достижения максимальной эффективности необходимо учитывать все возможные недостатки и проводить регулярное техническое обслуживание системы.

## Литература

- [1] Bhardwaj R.K., Choudhary S., Sharma S.K. Energy efficient street light control system using motion sensor and LDR. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2014, vol. 3, no. 5, pp. 191–195.
- [2] Mahajan S.M., Ghatol A.A. Smart street light system with energy saving function based on the sensor network. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2013, vol. 4, no. 6, pp. 192–196.

- [3] Al-Gailani M.A., Tahir M.M., Rahim N.A. Smart street lighting control and monitoring system for energy and cost savings. *IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC)*, 2017, pp. 1–6.
- [4] Kaur P., Kaur R. Design and implementation of automatic street light control system using sensors and solar panel. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 2017, vol. 3, no. 5, pp. 114–117.
- [5] Kumaravel M.S., Babu R.V. Design and implementation of smart street light control system using LDR and PIR sensor. *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, 2016, pp. 2169–2173.
- [6] Suresh Kumar R., Vishnu Kumar S. Automatic street light control system using LDR and PIR sensor. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 2013, vol. 2, no. 3, pp. 1106–1111.
- [7] El-Seoud A.A., Mohamed A.A. Development of a smart street lighting system using energy saving mechanisms. *International Conference on Innovations in Electrical Engineering and Computational Technologies (ICIEECT)*, 2018, pp. 1–6.
- [8] Kusumakar S., Kusumakar S. Smart street light system to reduce the energy consumption based on the sensor network. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 2018, vol. 4, no. 5, pp. 86–89.
- [9] Rajasekaran S., Prabhu S. Smart street lighting system with a real-time monitoring mechanism. *International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, 2017, pp. 1287–1291.
- [10] Tseng H.-C., Lin C.-H. A novel design of an intelligent streetlight control system based on the wireless sensor network. *International Conference on Networking and Digital Society (ICNDS)*, 2010, pp. 94–97.

## Investigation of the Possibility of Using Motion and Light Sensors to Improve the Efficiency of Automated Outdoor Lighting Control Systems

© | Bunina V.V.  
Minin I.K.

viktori-bun@mail.ru  
ilyha-minin02@mail.ru

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*his paper investigates the possibility of using motion and illumination sensors to improve the efficiency of automated outdoor lighting control systems. The authors consider the principles of operation of such sensors, their advantages and disadvantages, as well as possible areas of application. Particular attention is paid to analysing the results of experiments demonstrating the improvement of energy efficiency and cost reduction when using motion and illumination sensors in outdoor lighting control systems. The paper is of interest for specialists in the field of automation and energy saving. Also, the paper analyses the efficiency of these sensors in different conditions, which allows drawing conclusions about their optimal application. As a result of the study, data was obtained confirming a significant improvement in the energy efficiency of outdoor lighting control systems when motion and illumination sensors are used. The results obtained can be useful for the development of new technologies in the field of energy saving and improving the efficiency of lighting systems. Overall, this paper represents an important contribution to the study of the application of motion and illumination sensors to optimise outdoor lighting control systems and improve their energy efficiency.*

**Keywords:** motion sensors, light sensors, outdoor lighting, energy efficiency

УДК 004.924

## Разработка системы управления светодиодной матрицей

© Безлюдов Михаил Дмитриевич  
Финошин Александр Викторович

bezlyudovmd@student.bmstu.ru  
finoshin@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрен процесс разработки алгоритма управления светодиодной матрицей размерностью 7 на 32 светодиода. Выполнен сравнительный анализ двух основных методов вывода целостной картины: принцип статической индикации и принцип динамической индикации. На основании выбранного метода вывода целостной картины разрабатывается алгоритм вывода информации на светодиодную матрицу. Для улучшения работоспособности алгоритма проводится его тестирование и оптимизация с помощью экспериментального стенда. При этом в деталях описывается то, какие проблемы возникали в процессе разработки и каким образом они были решены. Целью работы является разработка системы управления светодиодной матрицей, которая способна работать как со статическим изображением, так и с короткой анимацией продолжительностью в несколько кадров.*

**Ключевые слова:** система управления, светодиодная матрица, принцип динамической индикации, принцип статической индикации

Рассмотрим экспериментальный стенд предприятия АО «Гайфун», предназначенный для проведения практических занятий. Данный стенд имеет следующие основные компоненты:

- светодиодная матрица размерностью 7 на 64 светодиода;
- управляемый микроконтроллер ATmega238P;
- 8-миразрядный сдвиговый регистр 74НС595.

Светодиодная матрица — совокупность светодиодов с одинаковыми или различными цветами, собранная на одной плате и светящаяся под действием тока.

Цель работы — реализовать систему управления светодиодной матрицей. Данная система должна быть способна отображать как статические изображения, так и простейшую анимацию — череду изображений разрешением 7 на 64 светодиода, меняющих друг друга.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) провести анализ подходящих методов отображения информации на светодиодной матрице;
- 2) выбрать и обосновать метод отображения информации на светодиодной матрице;
- 3) разработать алгоритм, реализующий выбранный метод;
- 4) на основании полученного алгоритма реализовать систему управления светодиодной матрицей;
- 5) при необходимости осуществить оптимизацию и отладку полученной системы управления.

Рассмотрим пути решения поставленной задачи. Для этого проведем сравнительный анализ методов отображения целостной картины: метод статической индикации и метод динамической индикации.

Метод статической индикации [3] заключается в постоянном использовании всех сегментов индикатора. Изображение индикатора не изменится до тех пор, пока не будут изменены данные в соответствующих регистрах. При своей относительной простоте реализации в программной части данный метод имеет серьезный недостаток в своей схемотехнической части, т.к. для реализации данного метода в полном объеме требуется большое число регистров (один разряд дисплея — одна микросхема) и резисторов (по одному на каждый сегмент индикатора). Одним из последствий применения данного метода может быть нагрев и дальнейший выход светодиодной матрицы из строя.

Метод динамической индикации [4] основан на поочередном включении каждого из сегментов индикатора с определенной частотой. Ввиду инертности человеческого зрения создается иллюзия целостности отображаемой картины. Данный метод является более привлекательным, поскольку при своей сложности в программной реализации данный метод снижает нагрузку на сегменты индикатора и разряды дисплея. При этом данный метод имеет ограничение на частоту переключений сегментов индикатора: чем меньше времени работает каждый разряд, тем сильнее снижается видимая яркость индикаторов.

В результате проведенного сравнительного анализа был выбран метод динамической индикации, поскольку данный метод был более оптимален для реализации на вышеописанном экспериментальном стенде без нагрузки на его основные элементы.

Для реализации системы управления светодиодной матрицей на озвученном выше стенде в качестве основного инструмента была выбрана среда разработки AVR Studio, основным язык программирования — C.

В соответствии с выбранным методом и инструментом реализации был разработан алгоритм вывода информации на светодиодной матрице. Данный алгоритм принимает на вход массив данных размерностью 7 на 32 символа, построчно считывает из него информацию, записывая ее в сдвиговый регистр, и выводит полученную информацию на матрицу. На запись и построчный вывод информации была поставлена задержка в 10 мс.

При разработке алгоритма, реализующего выбранный метод, было выявлено несколько проблем. Во-первых, данный алгоритм довольно медленно записывал информацию, а во-вторых, получаемая картина не была цельной — был замечен ее построчный вывод.

Данные проблемы были решены следующим образом: на запись и построчный вывод поступающей информации были задействованы две разные задержки. При этом, время каждой из задержек было экспериментальным путем скорректировано — с одной задержки на оба процесса в 10 мс до 5 мкс на ввод данных и 2 мс на вывод информации. В итоге данный алгоритм стал за-

писывать информацию гораздо быстрее, а получаемая картинка стала выглядеть цельной и достаточно яркой.

Реализованный алгоритм был протестирован на экспериментальном стенде при помощи тестового набора данных (рис. 1). На основе наблюдений был сделан вывод о работоспособности реализованного алгоритма и необходимости перехода к следующему шагу.

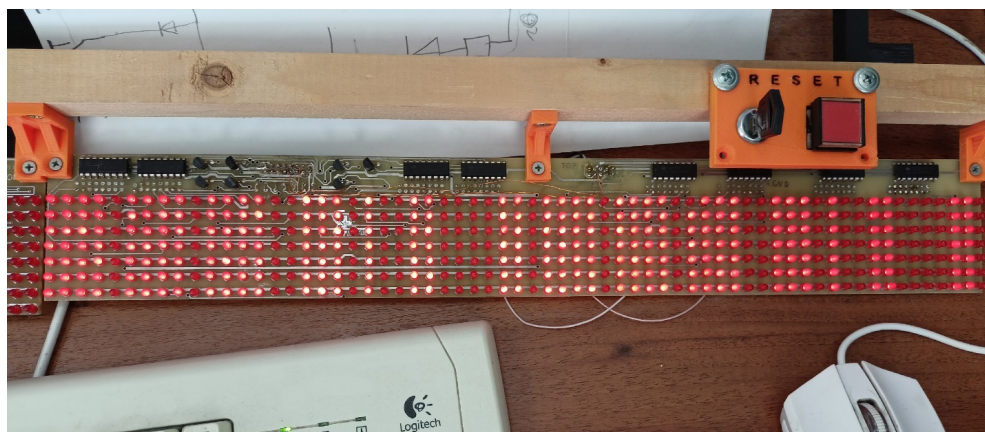


Рис. 1. Результат работы алгоритма вывода информации с тестовым набором данных

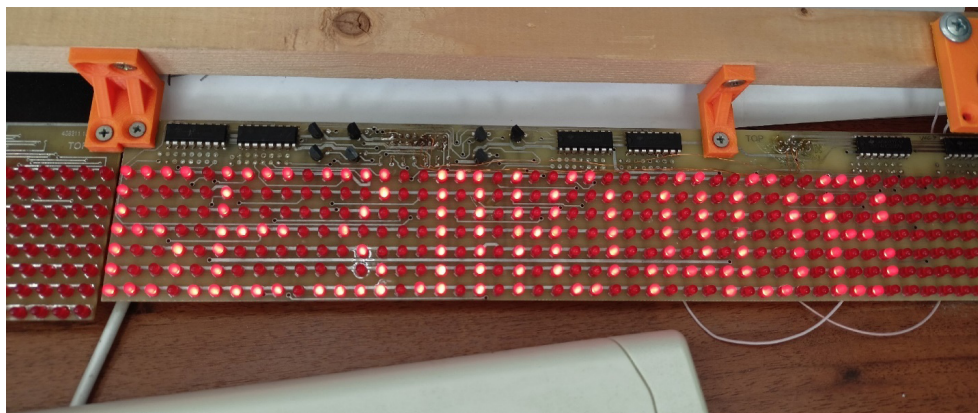
После устранения обнаруженных неполадок и тестовых запусков на экспериментальном стенде было принято решение реализовать на его основе систему управления светодиодной матрицей. Первая версия системы была реализована быстро, но при тестировании возникли серьезные неполадки в ее работе: система управления справлялась со статическим изображением в виде фамилии, но выдавало артефакты при подаче серии изображений.

Полученные результаты говорили о том, что память микроконтроллера полностью заполнялась одним набором данных и действиями с ним и не успевала очищаться для следующего набора. Ввиду этого факта была установлена необходимость в оптимизации и отладке кода. В соответствии с этой задачей были предприняты следующие действия:

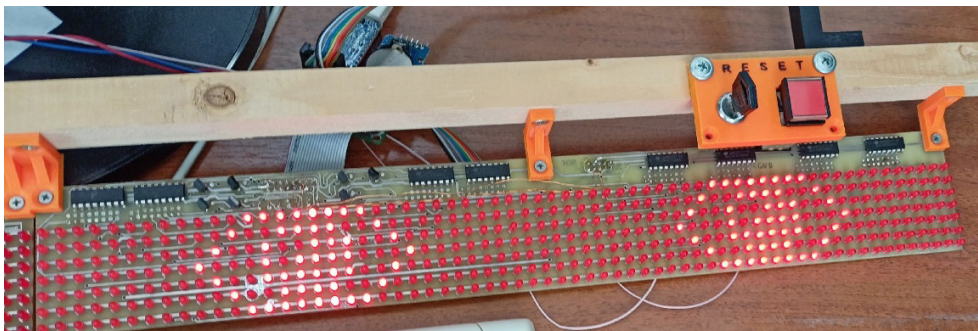
- сдвиг регистра, ввод данных в регистр и вывод данных на светодиодную матрицу были выделены в отдельную функцию;
- в функции ввода данных в регистр была упрощена работа с каждой из двух половин светодиодной матрицы;
- в функции вывода был добавлен цикл, автоматизирующий смену изображений друг за другом, что делает возможным реализацию простейшей анимации.

Оптимизированный алгоритм был вновь протестирован на работоспособность при помощи тестового набора данных. Данная система справилась как со статическим изображением, так и с простейшей анимацией, состоящей

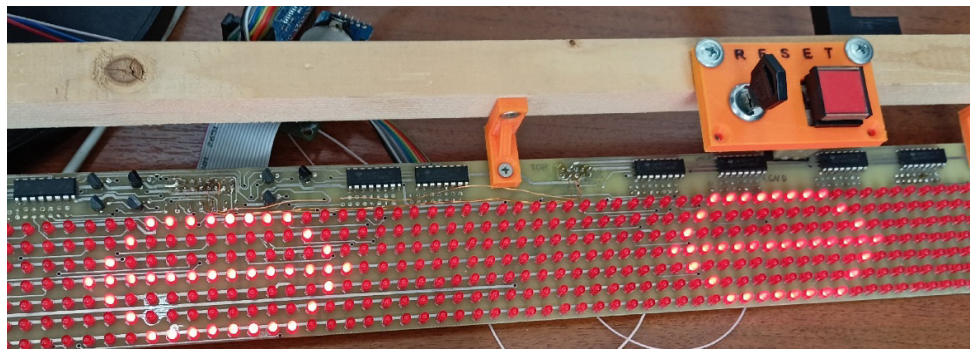
из двух кадров (рис. 2–4). На основе этого факта был сделан вывод об успешном выполнении поставленной задачи.



**Рис. 2.** Результат работы системы управления светодиодной матрицей при подаче статичного изображения



**Рис. 3.** Результат работы системы управления светодиодной матрицей при подаче простейшей анимации (кадр 1)



**Рис. 4.** Результат работы системы управления светодиодной матрицей при подаче простейшей анимации (кадр 2)

В результате осуществленной работы была разработана и реализована система управления светодиодной матрицей, которая способна отображать как статичное изображение, так и простейшую анимацию. В процессе реализации были выявлены и решены следующие проблемы:

- проблема времени задержек на записи информации в сдвиговый регистр;
- проблема вывода записанной информации на светодиодную матрицу;
- проблема артефактов при показе простейшей анимации.

## Литературы

- [1] Деменков Н.П., Микрин Е.А. *Управление в технических системах*. Москва, МГТУ им. Баумана, 2017, 452 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/106397> (дата обращения 12.09.2023).
- [2] Первозванский А.А. *Курс теории автоматического управления*. Санкт-Петербург, Лань, 2015, 624 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/68> (дата обращения 12.09.2023).
- [3] *Динамическая индикация*. Сообщество EasyElectronics.ru. URL: [http://we.easyelectronics.ru/Shematech/dinamicheskaya-indikaciya\\_2.html](http://we.easyelectronics.ru/Shematech/dinamicheskaya-indikaciya_2.html) (дата обращения 12.09.2023).
- [4] *Динамическая индикация*. Яндекс.Дзен. URL: <https://dzen.ru/a/XQCD-yVLnwCviqCo> (дата обращения 12.09.2023).

## Development of the Led Matrix Control System

© | Bezlyudov M.D.  
Finoshin A.V.

bezlyudovmd@student.bmstu.ru  
finoshin@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article considers the process of development of algorithm of control of LED matrix with dimension 7 on 32 LEDs. The comparative analysis of two main methods of inference of a holistic picture is carried out: the principle of static indication and the principle of dynamic indication. On the basis of the chosen method of output of the holistic picture, an algorithm of information output on the LED matrix is developed. To improve the algorithm performance, it is tested and optimized using an experimental stand. The details describe the problems encountered in the development process and how they were resolved. The aim of the work is to develop a control system for the LED matrix, which is able to work both with a static image and with a short animation lasting several frames.*

**Keywords:** *control system, LED matrix, dynamic indication principle, static indication principle*

УДК 681.51

## Разработка электронного журнала куратора для автоматизации образовательного процесса

© Минин Илья Кириллович  
Бунина Виктория Вячеславовна

ilyha-minin02@mail.ru  
viktori-bun@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Исследованы возможности и принципы внедрения электронного журнала куратора в образовательный процесс. Рассматриваются перспективы автоматизации и упрощения работы кураторов через использование электронного журнала. Основная цель исследования — обеспечить более эффективное взаимодействие между студентами и кураторами, а также улучшить процесс управления и мониторинга академической информации. Статья анализирует функциональные возможности электронного журнала, включая автоматизированное отслеживание оценок и посещаемости студентов, предоставление рекомендаций для их развития, а также аналитику успехов и прогресса студентов. Особое внимание уделено преимуществам электронной формы хранения данных в сравнении с бумажными документами, такими как легкий доступ, защита от потери информации и экономия времени и ресурсов.*

**Ключевые слова:** электронный журнал, база данных, обмен информацией

В современном образовательном процессе эффективное взаимодействие между студентами и их кураторами имеет важное значение для достижения успеха и развития студентов. Один из ключевых инструментов, способствующих этому, является электронный журнал куратора, который эффективно объединяет возможности автоматизации и удобства обмена информацией.

Электронный журнал куратора предоставляет ряд преимуществ по сравнению с традиционными бумажными журналами:

1. Надежность и точность данных: Бумажные журналы часто подвержены утрате, повреждению или случайному потере информации. В электронном журнале куратора, все данные хранятся в цифровом формате, что обеспечивает их сохранность и доступность в любое время [1].

2. Легкость доступа и обмена информацией: Электронный журнал куратора позволяет кураторам и студентам получать актуальную информацию в режиме реального времени. Они могут легко отслеживать прогресс студентов, выставленные оценки, а также получать необходимую поддержку и рекомендации.

3. Эффективное взаимодействие: С помощью электронного журнала куратора, кураторы могут эффективно взаимодействовать с каждым студентом. Они могут проводить индивидуальные консультации, делиться ресурсами и материалами, а также отслеживать активность студентов в режиме онлайн [2].

4. Автоматизация процессов: Электронный журнал куратора позволяет автоматизировать некоторые административные задачи, такие как выставле-



ние оценок, формирование отчетов и статистики успеваемости. Это освобождает время кураторов, чтобы они могли больше сконцентрироваться на активной поддержке студентов.

Для реализации электронного журнала куратора одной из наиболее подходящих технологий является база данных PostgreSQL. Это открытая и надежная система управления базами данных, поддерживающая широкий спектр возможностей, включая расширяемость, масштабируемость и безопасность данных. Она идеально подходит для хранения и организации информации в электронном журнале куратора [3, 4].

Для обеспечения удобства развертывания и масштабирования системы, можно использовать контейнеризацию с помощью Docker. Docker позволяет упаковать приложение и его зависимости в контейнер, что упрощает развертывание и перенос системы между различными средами.

Одной из главных задач разработки электронного журнала куратора является проектирование базы данных. Одним из решений можно выбрать такие таблицы для базы: студенты, кураторы, оценки, поддержка, посещаемость, успеваемость, учебные предметы [5].

Таблица "Students" (Студенты):

ID: уникальный идентификатор студента (целое число)

Name: имя студента (строка, максимум 100 символов)

Surname: фамилия студента (строка, максимум 100 символов)

GroupName: название группы, в которой состоит студент (строка, максимум 100 символов)

Tutor\_ID: идентификатор куратора студента (целое число, внешний ключ, ссылается на таблицу "Tutors")

Таблица "Tutors" (Кураторы):

ID: уникальный идентификатор куратора (целое число)

Name: имя куратора (строка, максимум 100 символов)

Surname: фамилия куратора (строка, максимум 100 символов)

Таблица "Grades" (Оценки):

ID: уникальный идентификатор оценки (целое число)

Student\_ID: идентификатор студента, которому присвоена оценка (целое число, внешний ключ, ссылается на таблицу "Students")

Subject\_ID: идентификатор учебного предмета, по которому присвоена оценка (целое число, внешний ключ, ссылается на таблицу "Subjects")

Grade: текстовое представление оценки (строка, максимум 10 символов)

Таблица "Support" (Поддержка):

ID: уникальный идентификатор запроса на поддержку (целое число)

Student\_ID: идентификатор студента, который подал запрос на поддержку (целое число, внешний ключ, ссылается на таблицу "Students")

Tutor\_ID: идентификатор куратора, ответственного за запрос (целое число, внешний ключ, ссылается на таблицу "Tutors")

Subject: тема запроса на поддержку (строка, максимум 100 символов)

Description: описание запроса на поддержку (текстовое поле)

Таблица "Attendance" (Посещаемость):

ID: уникальный идентификатор посещаемости (целое число)

Student\_ID: идентификатор студента, за которого отмечается посещаемость (целое число, внешний ключ, ссылается на таблицу "Students")

Subject\_ID: идентификатор учебного предмета, на который отмечается посещаемость (целое число, внешний ключ, ссылается на таблицу "Subjects")

Date: дата занятия (дата)

AttendanceStatus: статус посещаемости (строка, максимум 10 символов)

Таблица "Performance" (Успеваемость):

ID: уникальный идентификатор успеваемости (целое число)

Student\_ID: идентификатор студента, чья успеваемость отслеживается (целое число, внешний ключ, ссылается на таблицу "Students")

Subject\_ID: идентификатор учебного предмета, по которому отслеживается успеваемость (целое число, внешний ключ, ссылается на таблицу "Subjects")

Grade: текстовое представление успеваемости (строка, максимум 10 символов)

Таблица "Subjects" (Учебные предметы):

ID: уникальный идентификатор учебного предмета (целое число)

Name: название учебного предмета (строка, максимум 100 символов)

Это описание полей каждой таблицы в базе данных для электронного журнала куратора.

Одной из главных задач при проектировании базы данных для электронного журнала куратора является установление связей между таблицами. Особенно важно иметь связи "один ко многим" для эффективной организации данных и обеспечения целостности информации.

В нашем решении имеются следующие связи "один ко многим":

Связь "один ко многим" между таблицами "Tutors" (Кураторы) и "Students" (Студенты):

Каждый куратор может иметь несколько студентов под своим руководством. Для установления этой связи в таблице "Students" присутствует поле "Tutor\_ID" (идентификатор куратора), которое ссылается на поле "ID" в таблице "Tutors".

Связь "один ко многим" между таблицами "Students" (Студенты) и "Grades" (Оценки):

Каждый студент может иметь несколько оценок по разным учебным предметам. Для установления этой связи в таблице "Grades" присутствует поле "Student\_ID" (идентификатор студента), которое ссылается на поле "ID" в таблице "Students".

Также в таблице "Grades" есть поле "Subject\_ID" (идентификатор учебного предмета), которое ссылается на поле "ID" в таблице "Subjects".

Связь "один ко многим" между таблицами "Students" (Студенты) и "Support" (Поддержка):

Каждый студент может отправлять несколько запросов на поддержку, а каждый запрос может быть обработан одним куратором.

Для установления этой связи, в таблице "Support" присутствуют поля "Student\_ID" (идентификатор студента) и "Tutor\_ID" (идентификатор куратора), которые ссылаются на соответствующие поля "ID" в таблицах "Students" и "Tutors".

Связь "один ко многим" между таблицами "Students" (Студенты) и "Attendance" (Посещаемость):

Каждый студент может иметь несколько записей о посещаемости на разных учебных предметах.

Для установления этой связи, в таблице "Attendance" присутствуют поля "Student\_ID" (идентификатор студента) и "Subject\_ID" (идентификатор учебного предмета), которые ссылаются на соответствующие поля "ID" в таблицах "Students" и "Subjects".

Связь "один ко многим" между таблицами "Students" (Студенты) и "Performance" (Успеваемость):

Каждый студент может иметь несколько записей об успеваемости по разным учебным предметам.

Для установления этой связи, в таблице "Performance" присутствуют поля "Student\_ID" (идентификатор студента) и "Subject\_ID" (идентификатор учебного предмета), которые ссылаются на соответствующие поля "ID" в таблицах "Students" и "Subjects".

Эти связи "один ко многим" позволяют нам эффективно организовать данные, связывая информацию о студентах, кураторах, оценках, поддержке, посещаемости и успеваемости, и обеспечивать целостность данных в базе данных электронного журнала куратора.

В качестве окончательного решения можно привести схему базы данных (см. рисунок).

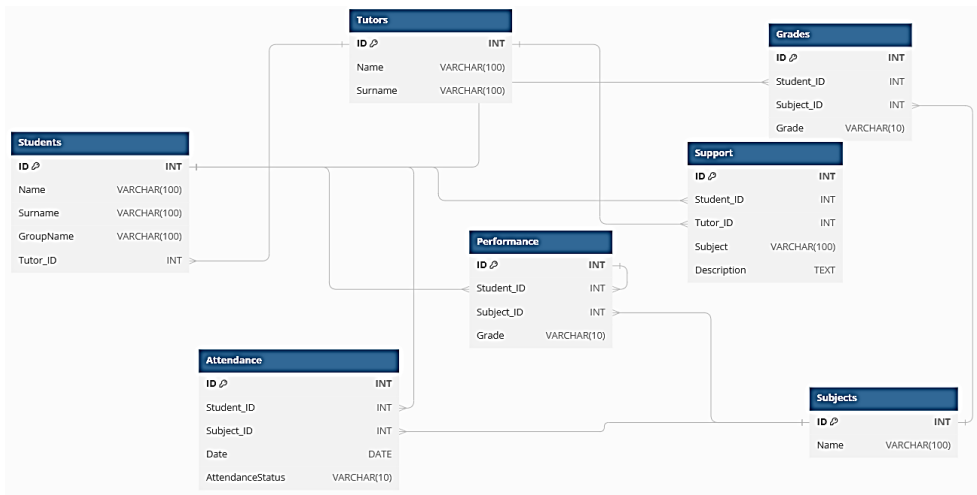


Схема базы данных электронного журнала куратора

Внедрение электронного журнала куратора принесет автоматизацию в образовательный процесс и избавит от необходимости заполнения бумажной документации. Этот инновационный инструмент позволит эффективно отслеживать академические данные, включая оценки, посещаемость и успеваемость студентов. Кураторы смогут более точно анализировать прогресс своих подопечных и предоставлять индивидуальную поддержку по мере необходимости. В результате процесс управления учебным процессом станет более удобным, прозрачным и эффективным для всех вовлеченных сторон.

## Литература

- [1] Илющечкин В.М. *Основы использования и проектирования баз данных*. Москва, Юрайт, 2015, 516 с.
- [2] Голицына О.Л., Максимов Н.В., Попов И.И. *Базы данных*. Москва, Форум, 2015, 400 с.
- [3] Илющечкин В.М. *Основы использования и проектирования баз данных*. Москва, Юрайт, 2013, 224 с.
- [4] Карпова И.П. *Базы данных*. Москва, Питер, 2013, 240 с.
- [5] Исаев Г.Н. *Информационные системы в экономике*. Москва, Омега-Л, 2015, 464 с.

## Development of an Electronic Supervisor's Logbook to Automate the Educational Process

© Minin I.K.  
Bunina V.V.

ilyha-minin02@mail.ru  
viktori-bun@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*In this article the possibilities and principles of implementation of the electronic journal of the curator in the educational process are investigated. The prospects of automation and simplification of work of supervisors through the use of electronic journal are considered. The main purpose of the study is to provide more effective interaction between students and supervisors, as well as to improve the process of managing and monitoring academic information. The article analyses the functionality of the e-journal, including automated tracking of students' grades and attendance, providing recommendations for their development, and analysing student success and progress. Particular attention is paid to the advantages of electronic data storage over paper records, such as easy access, protection against information loss and saving time and resources, as well as access to student data for faster and more convenient communication with students.*

**Keywords:** *electronic journal, database, information sharing*

УДК 519.87

## Анализ методов коллаборативной фильтрации в рекомендательных системах

© Корлякова Мария Олеговна  
Литовченко Данила Михайлович

mkorlyakova@ya.ru  
romgan97@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рекомендательные системы стали неотъемлемой частью современного информационного пространства, обеспечивая пользователей персонализированными рекомендациями. Одним из ключевых методов, используемых в рекомендательных системах, является коллаборативная фильтрация. Этот метод основан на анализе поведения пользователей и позволяет предсказывать интересы и предпочтения пользователей на основе их истории взаимодействий с контентом. Представлен сравнительный анализ методов коллаборативной фильтрации для решения задачи рекомендаций на примере набора данных MovieLens.*

**Ключевые слова:** рекомендательные системы, коллаборативная фильтрация, Item-based User-based методы

**Введение.** В сфере образования и академической подготовки рекомендательные системы приобретают все большее значение. Они помогают студентам и обучающимся находить наиболее подходящие учебные материалы, курсы и ресурсы для оптимизации своего учебного процесса. Это делает актуальным встраивание рекомендательных систем в средства автоматизации учебных процессов. Например, в научных журналах, один из важнейших аспектов рекомендаций это их актуальность. Актуальность важно учитывать для статей и постов на форумах. Свежие записи должны чаще попадать в топ. Для этого используются корректирующие коэффициенты (damping factors). Ниже представлены формулы для расчета рейтинга статей [1].

Адаптивные рекомендации будут помогать пользователю изучать материал, гибко подстраиваясь под него, предлагая именно тот контент, который ему нужен сейчас для обучения. Такая система будет полезна пользователям при персонализации рекомендаций уроков, которые могут помочь им изучить конкретную тему или предложить что-то новое [2]. Среди всех методов можно выделить технику коллаборативной фильтрации, как наименее затратный способ выработки рекомендаций для образовательных процессов. Рассмотрим подробнее методы коллаборативной фильтрации и оценим сложность алгоритмов на наборах данных из открытых репозиториях.

### **Рассмотрим основные понятия рекомендательных систем.**

Объекты:

*Пользователи (Users):* Люди или аккаунты, которые используют рекомендательную систему. Каждый пользователь имеет историю взаимодействий с элементами контента.

*Элементы контента (Items):* Объекты, которые могут быть рекомендованы пользователям (фильмы, книги, товары, музыка и т. д.).

Результаты работы алгоритма:

*Рейтинги и предсказания:* Результатом работы коллаборативной фильтрации являются предсказания того, как пользователь оценит или взаимодействует с элементами контента, которые он еще не видел и не оценивал. Данные предсказания выражаются в виде числовых рейтингов.

*Рекомендации:* Алгоритмы коллаборативной фильтрации создают списки рекомендаций для каждого пользователя. Данные рекомендации представляют собой элементы контента, которые являются наиболее подходящими для конкретного пользователя.

В качестве примера рассмотрим использование алгоритмов коллаборативной фильтрации для набора данных MovieLens (small).

Наборы данных описывают рейтинги и действия по пометке произвольным текстом от MovieLens, службы рекомендаций фильмов. Он содержит 100000 рейтингов и 3600 приложения для пометки 9000 фильмов. Данные были собраны 600 пользователями в период с 9 января 1995 г. по 31 марта 2015 г. Набор данных был создан в сентябре 2018 г. [4]. Пример данных этого датасета приведен в табл. 1.

Таблица 1

#### Исходные данные

	Идентификатор пользователя	Идентификатор фильма	Рейтинг	Отметка времени
0	1	1	4.0	964982703
1	1	2	4.0	964981247
2	1	3	4.0	964982224
3	1	4	5.0	964983815
...	...	...	...	...
995	7	798	2.5	1111552650
996	7	799	4.0	1106636101
997	7	800	3.5	1107474020
998	7	801	2.0	1113353083
...	...	...	...	...
100834	610	168252	5.0	1493846352
100835	610	170875	3.0	1493846415

Размеры исходной таблицы составляют (100836, 4), количество пользователей (610), количество фильмов (9724).

**Основные принципы коллаборативной фильтрации.** Коллаборативная фильтрация основана на идее, что пользователи, которые проявляют похожие интересы в прошлом, будут иметь похожие интересы и в будущем.

Существует два основных типа коллаборативной фильтрации: user-based и item-based [1, 4].

**User-Based метод.** В данном методе коллаборативной фильтрации рассматриваются пользователи, которые имеют похожие оценки для одних и тех же элементов контента. На основе этой информации можно предсказать оценку пользователя для элементов, которые он еще не оценил [1].

Сложность алгоритма:  $O(N^2n)$ .

Метрика близости представляет собой косинусное расстояние между векторами пользователей. Для формирования матрицы «похожести» представленной в табл. 3.

$$S_u^{\cos}(u_k, u_a) = \frac{u_k \cdot u_a}{\|u_k\| \cdot \|u_a\|} = \frac{\sum x_{k,m} \cdot x_{a,m}}{\sqrt{\sum x_{k,m}^2 \cdot \sum x_{a,m}^2}}. \quad (1.1)$$

Для предсказания в user-based CF необходимо использовать:

$$\hat{x}_{k,m} = \bar{x}_k + \frac{\sum_{u_a} sim_u(u_k, u_a) \cdot (x_{a,m} - \bar{x}_{u_a})}{\sum_{u_a} |sim_u(u_k, u_a)|}. \quad (1.2)$$

**Item-Based метод.** Данный метод сосредотачивается на анализе схожести между элементами контента. Если пользователь положительно оценил один элемент, система может рекомендовать другие элементы, которые похожи на тот, который был положительно оценен [4].

Сложность алгоритма:  $O(n^2N)$ .

Метрика близости представляет собой косинусное расстояние между векторами контента. Для формирования матрицы «похожести» представленной в табл. 4.

$$S_i^{\cos}(u_k, u_a) = \frac{i_m \cdot i_b}{\|i_m\| \cdot \|i_b\|} = \frac{\sum x_{a,m} \cdot x_{a,b}}{\sqrt{\sum x_{a,m}^2 \cdot \sum x_{a,b}^2}}. \quad (2.1)$$

Для предсказания в item-based CF необходимо использовать:

$$\hat{x}_{k,m} = \frac{\sum_{i_b} sim_i(i_m, i_b) \cdot (x_{k,b})}{\sum_{i_b} |sim_i(i_m, i_b)|}. \quad (2.2)$$

Для всех методов характерна проблема “холодного старта”, которая проявляется в некорректных рекомендациях контента, в связи с отсутствием достаточного количества данных.

Рассмотрим применение описанных подходов к данным MovieLens. В табл. 2 приведены результат объединения данных о пользователях и фильмах табл. 1.

Таблица 2

## User-Item матрица

	Фильм1	Фильм2	Фильм3	Фильм4	Фильм5
Пользователь1	4	4	4	0	5
Пользователь2	4	0	0	0	0
Пользователь3	0	0	0	0	0
...	...	...	...	...	...
Пользователь6	0	5	4	4	1
Размеры User-Item матрицы составляют (610, 9724).					

Таблица 3

## Матрица «похожести» для пользователей

	Пользователь1	Пользователь2	Пользователь3	Пользователь4
Пользователь1	0	0.9672	0.9361	0.8499
Пользователь2	0.9672	0	1	0.9956
Пользователь3	0.9361	1	0	1
Пользователь4	0.8499	0.9956	1	0
Размеры матрицы «похожести» для пользователей составляют (610, 610).				

Таблица 4

## Матрица «похожести» для контента

	Фильм1	Фильм2	Фильм3	Фильм4
Фильм1	0	0.8376	0.7513	0.6868
Фильм2	0.8376	0	0.8518	0.8042
Фильм3	0.7513	0.8518	0	0.6672
Фильм4	0.6868	0.8042	0.6672	0
Размеры матрицы «похожести» для контента составляют (9724, 9724).				

На основе матрицы User-Item (см. табл. 2) рассчитываем две новые матрицы с коэффициентами сходства (близости) для пользователей и для контента.

**Оценка качества системы.** Для оценки качества предсказаний используют следующие метрики:

RMSE (Root Mean Square Error, корень из среднеквадратичная ошибка): (добавить специфичные метрики)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \hat{x}_i)^2}. \quad (3.1)$$



MAE (Mean Absolute Error, среднее абсолютное отклонение):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |x_i - \hat{x}_i|. \quad (3.2)$$

MSE (Mean Squared Error, среднеквадратичная ошибка):

$$MSE = \frac{1}{N} \sum (x_i - \hat{x}_i)^2. \quad (3.3)$$

Проведен эксперимент по оценке рекомендаций в наборе данных MovieLens для оценки подходов User-based и Item-based. Результаты эксперимента приведены в табл. 5.

Таблица 5

### Метрики для оценки качества предсказаний

Название	Формула	Описание	Метод	Результат
MAE (Mean Absolute Error)	$MAE = \frac{1}{N} \sum  x_i - \hat{x}_i $	Среднее абсолютное отклонение	User-based	0.078
			Item-based	0.057
MSE (Mean Squared Error)	$MSE = \frac{1}{N} \sum (x_i - \hat{x}_i)^2$	Среднеквадратичная ошибка	User-based	0.055
			Item-based	0.049
RMSE (Root Mean Squared Error)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \hat{x}_i)^2}$	Корень из среднеквадратичной ошибки	User-based	0.234
			Item-based	0.222

**Вывод.** На основе проделанной работы можно сделать следующие выводы.

1. Преимущества и недостатки различных подходов представлены в табл. 6.

Таблица 6

### Преимущества и недостатки различных подходов

	User-based	Item-based
Преимущества	Хорошо работает в случае, когда данные о пользователях более стабильны и меняются редко. Может быть эффективным, если уровень шума в данных низок	Не страдает от «холодного старта» для новых пользователей, так как использует данные о самих элементах Способен работать с разреженными данными, так как вычисления выполняются на основе элементов, а не пользователей. Хорошо масштабируется на большие каталоги товаров и данные с большим числом пользователей

Окончание табл. 6

	User-based	Item-based
Недостатки	<p>Чувствителен к «холодному старту» для новых пользователей, где нет исторических данных.</p> <p>Может быть неэффективным в случае разреженных данных или наличия шума в данных.</p> <p>Требует больше ресурсов для расчетов, так как вычисления выполняются на основе пользователей</p>	<p>Может потребовать больших вычислительных ресурсов для вычисления сходства между элементами в больших каталогах.</p> <p>Не учитывает индивидуальные предпочтения пользователей, что может привести к менее персонализированным рекомендациям</p>
Примеры использования	<p>Рекомендации в социальных сетях, где данные о пользователях более стабильны.</p> <p>Рекомендации в музыкальных плейлистах для пользователей, имеющих похожие музыкальные вкусы.</p> <p>Рекомендации в онлайн-магазинах с небольшими каталогами товаров</p>	<p>Рекомендации в онлайн-магазинах с большими каталогами товаров.</p> <p>Фильтрация контента в платформах видео-стриминга на основе анализа сходства между фильмами или шоу.</p> <p>Рекомендации в новостных порталах, где элементами могут быть статьи или новости</p>

2. На основании метрик (RMSE, MSE, MAE) можно сделать вывод, что Item-based метод коллаборативной фильтрации представляет собой более эффективный и точный подход к рекомендациям в данном контексте. Он способствует улучшению качества рекомендаций и обеспечивает более удовлетворительный пользовательский опыт, чем User-based метод.

## Литература

- [1] Коточигов К. *Анатомия рекомендательных систем*. Ч. 1. 21.08.2018. URL: <https://habr.com/ru/companies/lanit/articles/420499/> (дата обращения 25.10.2023).
- [2] Волжина Е. *Рекомендательные системы в онлайн-образовании. Адаптивное обучение*, 29.03.2017. URL: <https://habr.com/ru/companies/stepic/articles/325206/> (дата обращения 28.10.2023).
- [3] Мехротра Р. *Bulent Siyah. Набор данных MovieLens 20M*. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/grouplens/movielens-20m-dataset/data> (дата обращения 24.10.2023).
- [4] Коточигов К. *Анатомия рекомендательных систем*. Ч. 2. 30.08.2018. URL: <https://habr.com/ru/companies/lanit/articles/421401/> (дата обращения 25.10.2023).

## Analysis of Collaborative Filtering Methods in Recommendation Systems

© | Korlyakova M.O.  
Litovchenko D.M.

mkorlyakova@ya.ru  
romgan97@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Recommendation systems have become an integral part of the modern information space, providing users with personalized recommendations. One of the key methods used in recommendation systems is collaborative filtering. This method is based on the analysis of user behavior and allows you to predict the interests and preferences of users based on their history of interactions with content. This article presents a study of various methods of collaborative filtering, an analysis of their advantages and disadvantages.*

**Keywords:** *recommendation systems, collaborative filtering, Item-based User-based methods*

УДК 004.522

## Анализ качества распознавания речи фреймворка Vosk

© Безлюдов Михаил Дмитриевич  
Корлякова Мария Олеговна

bezlyudovmd@student.bmstu.ru  
mkorlyakova@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрена одна из наиболее актуальных задач распознавания образов — задача распознавания речи. Рассматривается ее состояние на данный момент: основные сферы применения автоматических систем распознавания речи, основные этапы решения данной задачи и основной ряд проблем, возникающих при ее решении. Также, проводится сравнительный анализ особенностей нескольких основных open-source проектов (фреймворков), реализовывающих решение задач класса STT: Yandex Speechkit, Deepravlov, Animore и Vosk. На основании этого анализа для дальнейшей работы был выбран последний фреймворк из данного списка. Целью работы является разработка и тестирование системы, которая способна реализовать распознавание речи в текст, а также оценка основных метрик качества ее работы на основании общепринятых параметров оценки задач данного класса.*

**Ключевые слова:** распознавание речи в текст, транскрибация, анализ фреймворков, анализ метрик

Задача распознавания речи (англ. Speech-to-text — STT) — это многоступенчатая задача распознавания образов, при которой речевой сигнал преобразуется в цифровую информацию (например, в текстовые данные).

На данный момент автоматическое распознавание речи имеет большую актуальность, поскольку речевое управление активно используется в быту (голосовой помощник Алиса от Яндекс [1] может осуществлять голосовое управление бытовыми приборами, а также поиск нужной информации), бизнесе (облачный сервис Speech Analytics [2] предоставляет подробную аналитику телефонных разговоров), медицине (компанией Mdinc [3] был разработан голосовой помощник для пациентов с ограниченными возможностями) и так далее. Системы распознавания речи позволяют упростить выполнения ежедневных задач и повысить эффективность работы. Таким образом, существует необходимость анализировать эффективность систем класса STT в аспекте безошибочности и быстродействия. Рассмотрим основные особенности систем автоматического распознавания речи.

Задача распознавания речи решается в следующие несколько этапов:

1. Запись речевого сигнала с помощью микрофона или подача на вход алгоритма аудиофайла.
2. Аналого-цифровое преобразование сигнала, при котором звуковые волны преобразуются в цифровой формат (пропускается при подаче аудиофайла на вход).
3. Обработка полученного цифрового сигнала, включающая усиление сигнала и уменьшение помех (шума).

4. Разбиение сигнала на отдельные сегменты, которые затем преобразуются в векторы признаков.

5. Применение алгоритмов машинного обучения для распознавания речи и преобразования ее в текст.

6. Постобработка и форматирование текста согласно требованиям.

На сегодняшний день при реализации STT возникает ряд характерных проблем. Ниже перечислены некоторые из них [4]:

1. Неоднородность распознаваемой речи: в нашем мире существует множество дикторов с уникальной манерой речи, акцентами, особенностями произношения тех или иных звуков, что может повлиять на точность получаемого результата.

2. Ограниченный словарь: некоторые системы распознавания речи могут иметь ограниченный словарь, что затрудняет распознавание речи в условиях, когда требуется распознавание текста, содержащего сложные термины или специализированную лексику.

3. Вычислительная сложность: задача распознавания речи требует немало вычислительных ресурсов (в особенности, если требуется разобрать речь со специализированной лексикой), что может замедлить ее решение в реальном времени.

4. Необходимость большого количества данных: для более точной работы требуется большое количество данных, что может повлиять на скорость и точность выполнения алгоритма распознавания.

На данный момент существует множество open-source проектов и фреймворков, дающие возможность реализовать свою собственную систему распознавания речи в текст. Проанализируем качество реализации решения задачи STT в нескольких известных фреймвоках: Vosk [5], Yandex Speechkit [6], Deeppravlov [7], Animore [8].

В табл. 1 приведены основные особенности платформ, упомянутых выше.

На основании сравнительного анализа в качестве основного была выбрана библиотека для распознавания речи Vosk, поскольку:

1) работа может проводиться без подключения к серверу;

2) более 20 доступных к распознаванию языков и диалектов, в том числе и русский;

3) разнообразие моделей для обучения: есть более простые модели для каждого языка, которые занимают всего 50 Мб, но есть и гораздо более точные большие модели для более точного распознавания;

4) поддержка потоковой обработки звука, что делает возможным реализацию мгновенной реакции на подаваемый звуковой сигнал.

5) простота в установке фреймворка.

Также для оценки качества распознавания необходимо определиться с параметрами оценки. Для оценки результатов распознавания речи существует ряд общепринятых метрик для подобных задач. Наиболее распространенные метрики для оценки точности распознавания речи — это [9, 10]:

1. Word Error Rate (WER) — доля (процент) неправильно распознанных слов

$$WER = \frac{S + D + I}{T} = \frac{S + D + I}{S + D + H},$$

где  $S$  — наименьшее число операций замены слов,  $D$  — наименьшее число операций удаления слов,  $I$  — наименьшее число операций вставки слов.

Таблица 1

### Основные особенности STT платформ

Название платформы	Vosk	Yandex Speechkit	Дееппав-лов	Aniemore
Число распознаваемых языков	20	13	5	1
Возможность работы без подключения к интернету	Да	Нет (требуется подключение к облаку Yandex Cloud)	Да	Да
Поддерживаемые форматы аудио	mp3, wav, ogg	mp3, ogg	mp3, wav, ogg	ogg
Поддерживаемые языки программирования	Python, C#, JavaScript	Python	Python	Python
Минимальные требования к объему внутренней памяти	50 Мб	1 Мб	5 Гб	40 Гб

Метрика WER вычисляется на основании сравнения «стоимости» преобразования одной строки (эталонной) во вторую (гипотеза, результат транскрибации). Чем ниже показатель метрики, тем точность распознавания выше.

2. Character Error Rate (CER) — доля (процент) неправильно распознанных символов. Метод вычисления и оценки метрики идентичен методу вычисления и оценки метрики WER.

3. Время записи сообщения.

4. Среднее и стандартное отклонение по времени  $m(t)$  и  $\sigma(t)$  — статистическая характеристика распределения величины времени  $t$ , показывающая среднюю степень разброса значений величины выборки от среднего.

Для реализации тестового алгоритма, реализующего задачу распознавания речи в качестве основного инструмента была выбрана среда разработки Jupyter Notebook, основной язык программирования — Python.

В соответствии с выбранным методом и инструментом реализации был разработан алгоритм реализации STT задачи на основе фреймворка VOSK. Данный алгоритм получает на вход аудиосообщение определенной длины (аудиофайл или сообщение, сказанное в микрофон), и на основе модели VOSK для распознавания речи на русском языке производится транскрибация с выводом текста в json-файл, а из него — в консоль.

Оценим качество работы данного алгоритма с помощью вышеозвученных метрик, принимая во внимание то, откуда был получен аудиосигнал. WER и CER метрики распознанной речи в зависимости от источника сигнала приведена в табл. 2.

Таблица 2

**WER и CER метрики распознанной речи**

Источник сигнала	Микрофон	Аудиофайл
WER метрика, %	0,28	0,45
CER метрика, %	0,04	0,12

Метрики времени распознавания аудиосигнала, их среднее  $m(t)$  и стандартное отклонение  $\sigma(t)$  в зависимости от источника приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Временные метрики, их среднеквадратичное и стандартное отклонение при распознании речи**

	Микрофон	Аудиофайл
$m(t)$	0.00443392821098763	0.0050016503120880905
$\sigma(t)$	0.009230717632723838	0.0104556387453536

На основании полученных метрик можно сделать следующий вывод: STT система на базе фреймворка VOSK получилась эффективной. Реализованный алгоритм дает пользователю довольно точный результат за сравнительно малый промежуток времени. При этом, задача распознавания речи решалась лучше, если аудиосообщение подавалось через микрофон.

В заключении следует отметить, что модель распознавания речи STT может быть адаптирована к специализированной терминологии и встроена в заказные программные продукты, где обеспечит высокое качество распознавания речи в текст.

**Литература**

- [1] *Голосовой помощник Алиса приобрела новые навыки для умного дома*. Новости Интернета вещей [iot.ru](https://iot.ru/gadzhet/). URL: <https://iot.ru/gadzhet/golosovoy-pomoshchnik-alisa-priobrela-novyie-navyki-dlya-umnogo-doma> (дата обращения 09.11.2023).
- [2] *Speech Analytics — сервис контроля качества звонков с распознаванием речи*. Youtube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=eXjbu-aDR2U> (дата обращения 09.11.2023).
- [3] *Распознавание речи в медицине: зачем нам это нужно речи*. TechInsider. URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/1122303-raspoznavanie-rechi-v-medicine-zachem-nam-eto-nuzhno/> (дата обращения 9.11.2023).

- [4] *Проблемы распознавания речи*. CYBERLENINKA. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-raspoznavaniya-rechi> (дата обращения 09.11.2023)
- [5] *Библиотека для распознавания речи «Воск». Преимущества библиотеки*. Alphacephei.com. URL: <https://alphacephei.com/vosk/index.ru> (дата обращения 06.11.2023).
- [6] *Yandex Speechkit 1.3.3*. Python Package Index. Available at: <https://pypi.org/project/yandex-speechkit/> (accessed November 6, 2023).
- [7] *DeepPavlov*. Github. Available at: <https://github.com/deppavlov/DeepPavlov> (accessed November 6, 2023).
- [8] *Animore*. Github. Available at: <https://github.com/aniemore/Animore> (accessed November 6, 2023).
- [9] *Оценка качества работы систем Speech to Text*. NewTechAudit.ru. URL: <https://newtechaudit.ru/oczenka-kachestva-raboty-sistem-speech-to-text/> (дата обращения 07.11.2023).
- [10] *Разница между стандартным отклонением и средним отклонением*. Финансовая энциклопедия. URL: <https://nesrakonk.ru/what-difference-between-standard-deviation-and-average-deviation/> (дата обращения 09.11.2023).

## Vosk Framework Speech Recognition Quality Analysis

© | Bezlyudov M.D.  
Korlyakova M.O.

bezlyudovmd@student.bmstu.ru  
mkorlyakova@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article considers one of the most urgent problems of pattern recognition — speech recognition. The article considers its current state: the main fields of application of automatic speech recognition systems, the main stages of solving this problem and the main set of problems arising in its solution. Also, a comparative analysis of the features of several major open-source projects (frameworks) that implement the solution of STT class problems: Yandex Speechkit, Deeppavlov, Animore and Vosk. Based on this analysis, the last framework from the list was selected for further work. The aim of the work is to develop and test a system that is able to implement speech recognition in text, as well as to evaluate the basic metrics of the quality of its work on the basis of the generally accepted parameters of the evaluation of problems of this class.*

**Keywords:** *Speech recognition in text, transcription, framework analysis, metric analysis*



***Секция 6. Экология  
и безопасность***



УДК 574

## Возможности технологических решений по снижению воздействия теплоэлектростанций

© | Заверткин Евгений Александрович  
Анфилов Константин Львович

zavertkin8910@gmail.com  
anfilov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены технологические системы, специализирующиеся на комплексной очистке газов, образующихся при работе ТЭС. Данный труд отражает анализ возможности современного оборудования снизить выбросы техногенного характера и необходимость дальнейшего улучшения агрегатов, относительно тех аспектов очистки, касательно, которых в настоящее время существует проблема в представленных способах.*

**Ключевые слова:** теплоэлектростанция, очистка, газозводушная смесь, топливо, выбросы, уголь, газ

Одной из основных тенденций развития современной энергетики является повышение экологической безопасности как проектируемых тепловых электрических станций, так и находящихся в эксплуатации [1, 2]. Причем для электростанций, работающих на твердом топливе, это имеет наиболее важное значение, поскольку они занимают в этой проблеме основное место, поскольку количество выбросов вредных веществ, производимых ТЭС на твердом топливе, не сравнимо с количеством выбросов станции, работающей на газообразном или жидком топливе. Другой причиной того, что особое внимание разработчиков уделяется именно станциям, работающим на твердом топливе, является тот факт, что газообразное топливо и тем более жидкое топливо, для большинства стран, значительно дороже твердого. Общепринятое мнение часто сводится к практическому недопущению использования ТЭС, в связи с большим количеством выбросов твердых веществ, диоксида серы, оксидов азота, углеводородов, альдегидов, оксидов и диоксидов углерода. В связи с чем необходимо строительство специальных площадок для хранения ЗШК. Однако при правильном подходе к вопросу проектирования и эксплуатации теплоэлектростанций существует возможность создания конкурентноспособных по экологическим параметрам предприятий. Это станет возможным при более грамотном использовании современных подходов к модернизации технологических процессов, что наглядно видно на конкретных примерах [3, 4].

Энергоблок 460 МВт с котлом ЦКС производства компании Фостер — Уиллер, рассчитанный на сверхкритические параметры острого пара (265 бар/560 °С). В котле предусмотрена система ввода сухого известняка в зону горения, таким образом нейтрализуется диоксид серы, благодаря последнему достигается снижение предельной минимальной концентрации на выходе

из котла, полученное значение проходит по новым европейским нормативам выбросов вредных веществ в атмосферу. Благодаря тому, что максимальная температура в области горения не превышает  $859^{\circ}\text{C}$ , концентрация  $\text{NO}_x$  соответствует экологическим нормам и применение специального оборудования по ее снижению не является необходимым.

Наиболее эффективный вариант производственного использования данной технологии — это ТЭС Пуэртолано. Энергоблок мощностью 335 МВт содержит в своем составе ГТУ мощностью 200 МВт и ПТУ 135 МВт. В качестве топлива для актуального устройства применяется уголь, нефтяного кокс и известняк. Данная смесь направляется в систему, где все компоненты преобразуются в конечное топливо. В качестве транспортирующего агента используется азот воздуха, полученный на воздухоразделительной установке. В газификаторе образуется пар двух давлений, неочищенный синтетический газ и шлак. После прохождения процесса фильтрации и промывки водой, газ направляется на этап сероочистки, где из него удаляют до 99,8 % серы. Газовоздушный поток, очищенный от примесей подается в газовую турбину. Из турбины газ попадает в котел-утилизатор, в котором образуется пар необходимый для паровой турбины.

Разработки технологий Carbon Capture and Storage (CCS) — связывания и захоронения  $\text{CO}_2$  — задали три вектора развития технологических циклов энергоблоков данного типа с классификацией по типу удаления CCS: предтопочное, кислородное сжигание и послетопочное.

Суть метода заключается в том, что путем физико-химических реакций из угля получают синтез-газ с последующим получением на его основе водорода. Дальнейшее применение водорода в качестве топлива не приводит к образованию парниковых газов за исключением водяного пара. Связывание  $\text{CO}_2$  в данном случае производится за пределами зоны горения, на стадии подготовки топлива.

В результате проведенной работы можно сделать вывод, что деятельность по совершенствованию технологии «чистой» работы тепловых электростанций, независимо от типа топлива актуальна на данный момент и в полной мере не решена в силу различных обстоятельств. Однако существующие технологии позволяют очищать выбрасываемые газовоздушные смеси до значений, попадающих в рамки разрешенных норм [5, 6].

Дополнительно к вышеперечисленному можно добавить, что существует потенциал для рентабельного применения отходов ТЭС. Причем это касается как твердой, так и газообразной фазы. Так в настоящее время зола активно применяется в качестве микроудобрений для сельскохозяйственных угодий. В строительной промышленности активно используется ЗШК, как добавка в цементных растворах и композитных материалах. Для получения кислот применяется продукт конденсации паров, образовавшихся в результате сжигания топлива.

Рассмотренные методы удаления примесей из выбросов показывают высокие результаты и активно применяются по всему миру.

## Литература

- [1] Берзан В.П., Робу С.Г., Шит М.Л. Аспекты проблемы стимулирования внедрения тепловых насосов. *Проблемы региональной энергетики*, 2011, № 1, с. 91–94.
- [2] Батухтин А.Г., Иванов С.А., Кобылкин М.В., Миткус А.В. Повышение эффективности современных систем теплоснабжения. *Вестник Забайкальского государственного университета*, 2013, № 09, с. 112–120.
- [3] Ефимов Н.Н., Малышев П.А. Перспективы использования тепловых насосов в энергообеспечении промышленных и коммунальных предприятий. *Теплоэнергетика*, 2009, № 11, с. 30–33.
- [4] Батухтин А.Г. Использование тепловых насосов для повышения тепловой мощности и эффективности существующих систем централизованного теплоснабжения. *Научно-технические ведомости СПбГТУ*, 2010, № 2, с. 28–33.
- [5] Филиппов С.П., Дильман М.Д., Ионов М.С. Эффективность использования тепловых насосов для теплоснабжения малоэтажной застройки. *Теплоэнергетика*, 2011, № 11, с. 12–19.
- [6] Чемяков В.В., Харченко В.В. Система теплоснабжения автономного жилого дома на основе теплового насоса и ветроэлектрической установки. *Теплоэнергетика*, 2013, № 3, с. 58.

## Possibilities of Technological Solutions to Reduce the Impact of Thermal Power Plants

© Zavertkin E.A.  
Anfilov K.L.

zavertkin8910@gmail.com  
anfilov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*In the current work, technological systems specializing in complex purification of gases generated during the operation of thermal power plants are considered. This work reflects an analysis of the possibility of modern equipment to reduce man-made emissions and the need for further improvement of the units, regarding those aspects of cleaning, concerning which there is currently a problem in the presented methods.*

**Keywords:** *thermal power plant, purification, gas-air mixture, fuel, emissions, coal, gas*

УДК 676.06:2

## Анализ переработки макулатуры в Калужской области за последние 5 лет

© Готвальд Елена Дмитриевна  
Никулина Светлана Николаевна

lena.gotvald@icloud.com  
Voinsveta579@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрена проблема переработки макулатуры в Калужской области. Проанализировано влияние бумажной продукции на окружающую среду. Охарактеризована деятельность по сбору и переработке макулатуры в Калужской области. Приведены результаты эко-марафона по переработке макулатуры за последние 5 лет. Сделан вывод о том, почему вторичное производство макулатуры наиболее благоприятно для окружающей среды и предприятий по сравнению с первичным.*

**Ключевые слова:** переработка макулатуры, бумажная продукция, производство, Калужская область

Проблема переработки макулатуры, несмотря на активное распространение электронных хранилищ, не утратила своей актуальности.

Первичное производство бумажной продукции ведет к уменьшению площади лесов, что крайне негативно сказывается на экологии: сокращается биоразнообразие деревьев; интенсивно изменяются климатические условия и т. д.

В сложившейся ситуации необходимо увеличение объемов перерабатываемой макулатуры и создание производственных линий для максимально безотходной переработки макулатуры [1].

Целью доклада является анализ переработки макулатуры в Калужской области за последние 5 лет.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- 1) рассмотреть влияние переработки макулатуры на окружающую среду;
- 2) ознакомиться с переработкой макулатуры в Калужской области;
- 3) охарактеризовать сбор макулатуры на переработку в Калужской области.

Макулатура относится к пятому классу опасности, т. е. она является безвредным материалом для человека и окружающей среды. Попав в почву, бумажная продукция за год становится компостом. Вред природе наносят краски, клеящие и ламинирующие вещества, входящие в состав полиграфической продукции.

Переработка макулатуры положительно влияет на экономику целлюлозно-бумажных комбинатов.

Процесс переработки макулатуры — это совокупность технологических операций для придания вторичным волокнам определенных бумагообразующих свойств при максимальном удалении примесей.

На комбинатах и заводах применяются средства, позволяющие многократно перерабатывать макулатуру. Однако каждая последующая переработ-

ка макулатурного сырья снижает длину волокон, в итоге они становятся непригодными для производства качественной бумажной продукции. Именно поэтому пока невозможно полностью отказаться от первичного производства бумаги, хотя средства переработки макулатуры и их вторичного использования постоянно развиваются [2].

Рынок вторсырья в Калуге достаточно развит, сбор бумаги и картона в регионе осуществляет около десятка организаций. В их числе — мелкие фирмы, крупные сырьевые компании, бумажные фабрики и т. д.

«Полотняно-заводская бумажная мануфактура» — одно из старейших промышленных предприятий России. На Полотняно-заводской бумажной мануфактуре в Дзержинском районе Калужской области из макулатуры изготавливают экопакеты, не загрязняющие окружающую среду в отличие от пластика и подлежащие обратной переработке в бумагу. Здесь запущен полный цикл — работают три автоматизированные линии. Цепочка выпуска включает в себя: сбор макулатуры, ее переработку, выпуск бумажных пакетов [3].

Основной проблемой переработки бумаги и ее производных заключается в отсутствии правил и культуры населения отдельного сбора ТКО [4].

Согласно статистике, по количеству собираемой макулатуры Калуга ничуть не уступает другим городам, а местные власти регулярно проводят стимулирующие акции по сдаче сырья для жителей города и области [5].

Данная деятельность ежегодно осуществляется в рамках эко-марафона «Переработка», ее результаты представлены в таблице.

**Результаты эко-марафона «Переработка» за 2019–2023 гг. [5]**

Период	Макулатура, собранная на переработку, кг
Осень 2019 г.	49 107
Осень 2020 г.	19 659
Осень 2021 г.	33 772
Осень 2022 г.	33 015
Осень 2023 г.	26 902
Σ	162 455

В заключение стоит отметить, что в настоящее время переработка макулатуры позволяет решить проблему утилизации большей части бумажной продукции, что оказывает положительное влияние на состояние окружающей среды. Благодаря переработке бумажной продукции существенно сокращается вырубка деревьев. Изготовление бумаги из вторсырья экономит водные ресурсы, а также является менее энергозатратным и менее вредным процессом по сравнению с первичным производством.

## Литература

- [1] Пузырев С.С., Тюрин Е.Т., Волков В.А., Ковалева О.П. *Переработка вторичного волокнистого сырья*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехн. ун-та, 2019, 467 с.

- [2] Ковалева О.П. *Технология переработки макулатуры*. Санкт-Петербург, СПбГЛТУ, 2021, 72 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/166696> (дата обращения 14.10.2023).
- [3] *Макулатура Калуга: пункты приема вторсырья в городе*. URL: [vtoorthodi.ru](http://vtoorthodi.ru) (дата обращения 14.10.2023).
- [4] *Проекты партии — Экопакеты из макулатуры в Дзержинском районе Калужской области*. URL: [er.ru](http://er.ru) (дата обращения 14.10.2023).
- [5] *Калужская область. Сдай бумагу*. URL: [sdai-bumagu.com](http://sdai-bumagu.com) (дата обращения 14.10.2023).

## Analysis of Waste Paper Recycling in Kaluga Region for the Last 5 Years

© | Gotvald E.D.  
Nikulina S.N.

lena.gotvald@icloud.com  
Voinsveta579@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The problem of waste paper recycling in Kaluga region is considered. The impact of paper products on the environment is analyzed. The activity on collection and recycling of waste paper in Kaluga region is characterized. The results of the eco-marathon on waste paper recycling for the last 5 years are given. It is concluded why the secondary production of waste paper is more favorable for the environment and enterprises compared to the primary production.*

**Keywords:** *waste paper recycling, paper products, production, Kaluga region*



УДК 504.03

## Экологические проблемы города Калуга

© Шульга Светлана Сергеевна  
Никулина Светлана Николаевна

svet.tik01@mail.ru  
Voinsveta579@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены экологические проблемы городов. Представлено состояние окружающей среды города Калуга, его экологические проблемы и мероприятия, проведенные для их решения. Сделаны выводы, что к наиболее острым проблемам экологии городской среды относятся: загрязнение атмосферного воздуха, проблема чистой воды, охрана растительного покрова и почв, управление отходами.*

**Ключевые слова:** экология города, Калуга, загрязнение атмосферного воздуха и воды, мусор

Жизнь в городах имеет ряд преимуществ: здесь развито производство, много учебных заведений, театров, музеев, досуговых центров, налаженная система здравоохранения и многое другое, что обеспечивает людям комфорт и облегчает повседневную жизнь.

Однако у горожан возникает много проблем. Наиболее острой из них является загрязнение окружающей среды. Неблагоприятная экологическая обстановка оказывает негативное влияние на здоровье горожан. В городах люди более подвержены аллергическим, эндокринным, онкологическим и другим заболеваниям, чаще встречаются врожденные болезни.

В настоящее время около 75 % населения России являются горожанами, в мире — 56 %, это 4,2 миллиарда человек [1].

Цель предстоящей работы — анализ экологических проблем города на примере города Калуга.

Для достижения поставленной цели существуют следующие задачи:

- 1) изучить экологические проблемы городов;
- 2) рассмотреть состояние окружающей среды города Калуга.

Говоря о том, какие экологические проблемы характерны для городов, в первую очередь отметим степень загрязненности атмосферы. В одной только Калуге работают с десяток серьезных заводов и промышленных предприятий. Среди них Машиностроительный завод, Электромеханический завод, Завод машиностроения, Завод автомобильного электрооборудования, Турбинный завод, Радиоламповый завод. И все они работают почти круглосуточно, производя весьма востребованную продукцию. А вот смог от них стоит такой, что зимой иногда в Калуге выпадает так называемый «черный снег». Это природное явление, когда осадки загрязняются еще в небе.

Наиболее пагубное воздействие на атмосферу оказывают не только предприятия, но и огромное количество автомобилей. Калужская область имеет одну из самых больших дорожных сетей в стране. Также и сказывается бли-

зость с Москвой, через которую проходят миллионы легковых и грузовых машин.

Мониторинг состояния атмосферного воздуха в г. Калуга осуществлялся предприятиями в контрольных точках, расположенных на территории санитарно-защитных и жилых зон. В атмосферном воздухе определялись концентрации диоксида азота, оксида углерода, взвешенных веществ, а также специфических веществ, выбрасываемых в атмосферу предприятиями города, приземные концентрации которых превышали максимально-разовые предельно допустимые концентрации для атмосферного воздуха населенных мест [2].

Дефицит воды также можно отнести к разряду острых экологических проблем крупных городов. Потребление воды на человека здесь в десять раз выше, чем у жителя сельской местности. Соответственно, объем сточных вод в городах значительно выше. В результате водоносные горизонты в городах быстро истощаются, близлежащие водохранилища быстро загрязняются, и воду для жителей приходится доставлять из удаленных источников [3].

В Калуге главная водная артерия — река Ока. Но ее вода заражена из-за многочисленных промышленных предприятий. И употреблять ее можно только после серьезной очистки. И этим правительство как раз занимается в рамках программы «Возрождения Волги». В более плачевном состоянии находятся малые водные объекты, такие как реки Терепец и Яченка. В них мало воды, а соответственно, на них больше влияют сточные воды.

ГП «Калугаоблводоканал» является одним из крупнейших водопользователей в части использования поверхностных водных объектов для сброса сточных вод. Однако существующее техническое состояние очистных сооружений канализаций, а также их перезагрузка по поступающим загрязнениям, не позволяют поддерживать содержание загрязняющих веществ в очищенных сточных водах на уровне требований природоохранного законодательства. Сооружения были построены в 70-е годы прошлого века, их реконструкция не проводилась.

Водные запасы Калуги страдают не только от промышленных предприятий, но и от мусорных полигонов. Министерством природных ресурсов и экологии РФ мероприятия по объекту «Рекультивация полигона ТБО г. Калуга с отводом ручья с территории полигона ТБО» были включены в федеральный проект «Чистая страна» на 2020–2021 годы. Кроме того, на территории региона ведется работа по постепенному внедрению системы раздельного сбора: в 2020 г. было установлено более 650 контейнеров для сбора сухой фракции (ПЭТ-бутылки, макулатура, стеклотара и т. д.). В настоящее время на территории Калужской области установлено уже 1253 контейнеров [2]. Ежегодно в Калужской области образуется свыше 400 тыс. т отходов, при этом существующая на сегодняшний день инфраструктура не позволяет существенно снизить объем подлежащих захоронению отходов. Таким образом, особо остро ощущается проблема захоронения отходов [4].

Также следует отметить, что проводятся работы, по улучшению состояния окружающей среды. За последние 10 лет в Калужском регионе расчище-

но более 35 км русел рек и отремонтированы 29 гидротехнических сооружений. В 2023 г. важная работа продолжается: проводится расчистка Яченского водохранилища. Также Калужская область имеет хорошие результаты в восстановлении лесов — за год в регионе высадили 7 млн молодых деревьев. Запуск станции водоочистки в Дзержинском районе, установка новых контейнеров для сбора отходов в Калуге, рекультивация полигона ТБО в Жиздере, реконструкция очистных сооружений в Юхнове — все эти события направлены на улучшение экологической ситуации в городе и его областях.

Все экологические проблемы города являются следствием хозяйственной и иной деятельности людей. К наиболее острым проблемам экологии городской среды относятся: загрязнение атмосферного воздуха, проблема «чистой воды», охрана растительного покрова и почв, управление отходами.

Следует говорить скорее не об окончательном и абсолютном решении экологической проблемы, а о перспективах сдвига частных проблем с целью оптимизации взаимоотношений человека с природной средой в существующих исторических условиях.

## Литература

- [1] *Городское население*. URL: Ru.m.wikipedia.org (дата обращения 29.10.2023)
- [2] *Доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей среды на территории Калужской области в 2022 году*. URL: ecology.admoblkaluga.ru (дата обращения 29.10.2023)
- [3] Мазаев В.Т., Ильницкий А.П., Шлепнина Т.Г. *Руководство по гигиене питьевой воды и питьевого водоснабжения*. Москва, Медицинское информационное агентство, 2008, 319 с.
- [4] *Решение проблемы мусора в городе*. URL: binology.ru (дата обращения 29.10.2023)

## Environmental Problems of the City of Kaluga

© | Shul'ga S.S.  
Nikulina S.N.

svet.tik01@mail.ru  
Voinsveta579@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Ecological problems of cities are considered. The state of the environment of the city of Kaluga, its environmental problems and measures taken to solve them are presented. It is concluded that the most acute environmental problems of the urban environment include: air pollution, the problem of clean water, protection of vegetation and soil, waste management.*

**Keywords:** *ecology of the city, Kaluga, pollution of atmospheric air and water, garbage*

УДК 504.06

## Использование современной техники в защите окружающей среды

© Жуков Янислав Дмитриевич	zyanisd@gmail.com
Жукова Юлия Михайловна	zjuliam@bmstu.ru
Ильичев Владимир Юрьевич	patrol8@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрена важная роль современных технологий в защите окружающей среды, робототехника, искусственный интеллект и платформенные решения. Описано применение роботов-гексаподов в экологии и их программирование на языке Python.*

**Ключевые слова:** *роботы-гексаподы, современная техника, окружающая среда, экология, мониторинг*

Использование современной техники играет ключевую роль в защите окружающей среды. Современные технологии и инновационные решения помогают снижать негативное воздействие антропогенной деятельности на окружающую природную среду и способствуют устойчивому развитию. Современные технологии активно используются в защите окружающей среды:

- альтернативные источники энергии;
- умные системы управления, которые оптимизируют использование ресурсов;
- сенсорные сети и мониторинга окружающей среды, для непрерывного мониторинга качества воды и воздуха, уровней загрязнения и других экологических параметров;
- робототехника в экологии (роботы используются для мониторинга сред, очистки мусора из водоемов, и даже для ухода за растениями и лесами);
- искусственный интеллект (ИИ) и аналитика данных (алгоритмы машинного обучения и анализа данных позволяют оптимизировать процессы и предсказывать экологические изменения) [1].

Как платформенные решения и онлайн-сервисы, основанные на данных, собранных с помощью дронов со специальными датчиками, могут использоваться для решения задач по защите окружающей среды:

- мониторинг и управление лесными ресурсами;
- оценка качества водных ресурсов;
- сельское хозяйство и управление культурными растениями;
- мониторинг морских и прибрежных экосистем;
- мониторинг климатических изменений;
- контроль над загрязнением и обезвреживанием отходов.

Такие инновации в сборе данных и мониторинге могут помочь более эффективно оценивать состояние окружающей среды для различных нужд как организаций, так и надзорных органов, реагировать на экологические угрозы

и разрабатывать стратегии по защите окружающей среды. Такие технологии могут играть важную роль в содействии устойчивому управлению окружающей средой.

Платформенные решения и онлайн-сервисы играют важную роль в улучшении мониторинга, управления и охраны окружающей среды. Эти инструменты предоставляют доступ к данным, аналитике и инструментам для решения экологических проблем, и предоставляют не только данные, но и инструменты для анализа, визуализации и принятия решений в области экологии.

Умные системы управления экологическими задачами помогают лучше понимать и контролировать воздействие человека на окружающую среду, что способствует ее защите и устойчивому развитию.

В данной работе рассматривалась возможность применения новых технологий в экологии, таких как возможность применения робота-гексапода для решения экологических задач при визуальном мониторинге.

Разработка прототипа робота-паука (робот-гексапода) [2, 3]. Роботы-гексаподы, которые имитируют движения и анатомию гексаподных животных (с шестью ногами), такие как насекомые и пауки, могут иметь несколько приложений в области экологии и окружающей среды:

- мониторинг исследования биоразнообразия;
- мониторинг водных экосистем;
- оценка качества почвы, в том числе при инженерно-экологических изысканиях [4].

В зависимости от задачи и условий окружающей среды выбирается оптимальный алгоритм управления движением робота-гексапода. Важно отметить, что роботы-гексаподы могут также использовать комбинации различных алгоритмов для оптимизации движения. Например, робот-паук может использовать алгоритм простого хода для движения по прямой, а затем переключаться на алгоритм ходьбы на основе цикла для изменения направления движения.

Кроме того, существуют более сложные алгоритмы, которые позволяют роботам-гексаподам не только передвигаться, но и выполнять более сложные задачи, такие как подъем по лестнице, пересечение препятствий и т. д. Эти алгоритмы обычно используют более продвинутые технологии, такие как машинное обучение и искусственный интеллект.

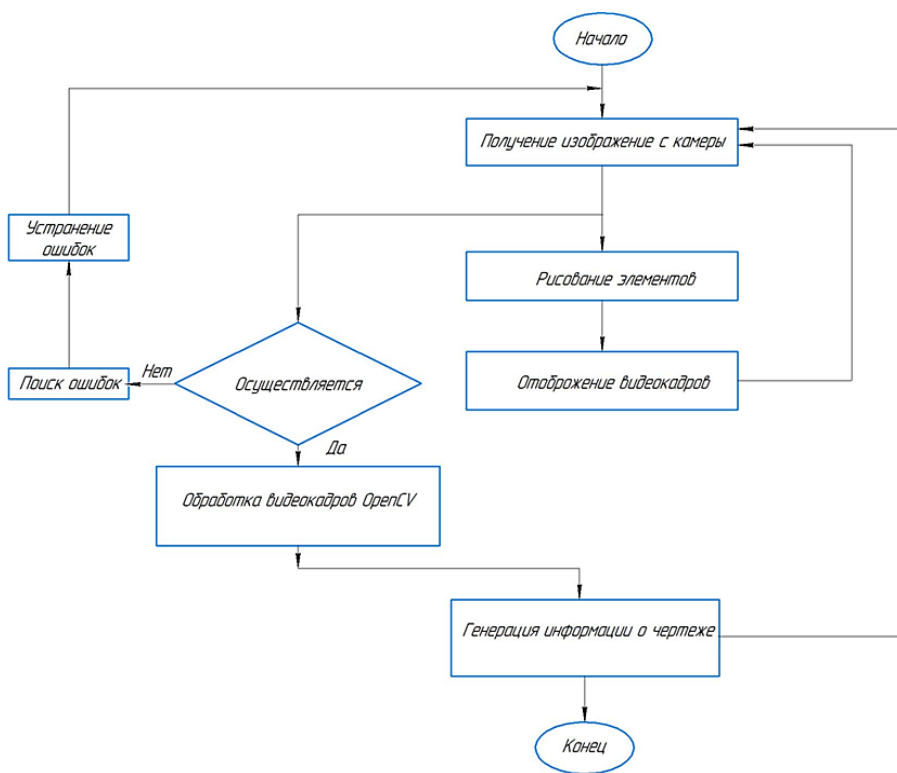
В создании робота использовался язык программирования Python. Python — это высокоуровневый интерпретируемый язык программирования, который отличается простотой и читаемостью синтаксиса.

При изучении реализации технического зрения было выбрано программное средство, позволяющее не только осуществлять практически любые способы изменения изображений, но и реализующее специфические для некоторых отраслей науки возможности, — например, осуществлять классификацию объектов на основе их распознавания.

Эта функция является часто применяемой в картографии, метеорологии, робототехнике, военной промышленности. Одним из такого программного

средства является библиотека компьютерного зрения OpenCV для языка программирования Python [4].

Процесс многопоточной обработки видеокadra показан на рисунке.



Процесс многопоточной обработки видеокдра

Современная техника и технологии играют ключевую роль в усилиях по защите окружающей среды. Они обеспечивают инновационные и эффективные подходы к снижению негативного воздействия человечества на окружающую среду.

## Литература

- [1] Ильичев В.Ю., Жукова Ю.М., Жуков Я.Д. Development of information and computer system for assessment of thermophysical and environmental indicators in combustion of various types of fuel. *International Research Journal*, 2023, № 8 (134).
- [2] Ильичев В.Ю., Жуков Я.Д. Разработка основы конструкции бионического шестиногого робота. *E-Scio*, 2023, № 3 (78), с. 349–361.
- [3] Романов А.В., Жукова Я.Д. Роботы-гексаподы в повседневной жизни человека. *Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: матер. регион. науч.-техн. конф.* В 2 т. Т. 2. Калуга, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, с. 214–216.

- [4] Жукова Ю.М., Жуков Я.Д. Радиационный контроль при проведении инженерно-экологических изысканий природно-территориальных комплексов Калужской области. *Техногенные системы и экологический риск: III Междунар. (XVI Региональн.) науч. конференции: тез. докл.* Обнинск, 2020, с. 76–77.

## The Use of Modern Technology in Environmental Protection

©	Zhukov Ya.D.	zyanisd@gmail.com
	Zhukova Yu.M.	zjuliam@bmstu.ru
	Ilyichev V.Yu.	patrol8@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*This article discusses the important role of modern technologies in environmental protection, robotics, artificial intelligence and platform solutions. The application of hexapod robots in ecology and their programming in Python is described.*

**Keywords:** *hexapod robots, modern technology, environment, ecology, monitoring*

УДК 504.75:502.52:551.510.534

## Разрушение озонового слоя во время пандемии COVID-19

© Никишкина Анастасия Алексеевна  
Никулина Светлана Николаевна

n.nikishkina42@gmail.com  
Voinsveta579@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрена проблема разрушения озонового слоя, объяснены основные причины этого явления и рассмотрены последствия для окружающей среды и человечества, а также проанализировано состояние озонового слоя во время пандемии COVID-19. Обсуждены меры, принимаемые на глобальном уровне для защиты и восстановления озонового слоя. Цель доклада — рассмотрение проблемы озонового слоя во время пандемии COVID-19. На сегодняшний день проблема разрушения озонового слоя является актуальной, так как относится к одной из глобальных экологических проблем.*

**Ключевые слова:** ультрафиолетовое излучение, озоновый слой, разрушение озонового слоя, пандемия COVID-19

Вся жизнь на Земле зависит от энергии Солнца. Эта энергия поступает в виде излучения. Ультрафиолетовые лучи негативно воздействуют на живую материю. На высоте 20...50 км воздух удерживает значительное количество озона (O<sub>3</sub>). Прослойка озона тонкая (2...3 мм), но он надежно защищает все живое от действия ультрафиолетовых лучей. В последние годы отмечается сильное истощение озоновой прослойки атмосферы [1].

Разрушение озонового слоя — процесс уменьшения концентрации озона в стратосфере Земли. Статистика разрушения озонового слоя по годам показывает, что проблема существует уже долгое время и продолжает усиливаться. В 1980-х годах было обнаружено значительное разрушение озонового слоя над Антарктикой. Важно отметить, что разрушение озонового слоя происходит не только над Антарктикой, но и над другими регионами мира [2].

Одним из факторов разрушения озонового слоя является использование фреонов, таких как хлорфторуглеродороды. Когда они попадают в стратосферу, они распадаются под воздействием ультрафиолетовых лучей, высвобождая радикал хлора, который разрушает озон. Другими факторами разрушения являются галогенуглеродороды — химические вещества, аналогичные хлорфторуглеродам. Бромсодержащие химические вещества, такие как бромфторуглероды, негативно влияют на состояние озонового слоя. Кроме того, высокоэнергетические ультрафиолетовые лучи от солнца оказывают негативное воздействие на озон, особенно в регионах, где озоновый слой ослаблен. Мировое сообщество «Генеральная Ассамблея ООН» признало вредность этих веществ и приняло меры для ограничения их производства и использования с целью уменьшения разрушения озонового слоя и его восстановления [3, 4].



В 2020 г. мир был свидетелем редкого явления: временного улучшения озонового слоя в результате мировой пандемии COVID-19. В 2020 г., когда пандемия COVID-19 привела к массовым ограничениям и снижению экономической активности по всему миру, было замечено, что это оказало временное положительное воздействие на озоновый слой. Сокращение производства и использования химических веществ, таких как хлорфторуглероды и других веществ, которые разрушают озон, является одной из основных причин временного улучшения озонового слоя. Ограничение международных перелетов и уменьшение движения на автотранспорте также снизили выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследования показали, что уровни загрязняющих веществ, такие как азотные оксиды и аэрозоли, уменьшились во многих регионах во время пандемии. Это привело к временному улучшению качества воздуха и озонового слоя. Однако важно отметить, что этот эффект был временным и не способствовал полному восстановлению озонового слоя.

Временное улучшение озонового слоя во время пандемии COVID-19 подчеркивает важность мер, предпринимаемых для охраны окружающей среды и ограничения использования вредных химических веществ. Необходимо продолжать сокращать использование и выбросы вредных химических веществ, а также продвигать использование безопасных альтернативных источников энергии. Это поможет защитить озоновый слой и минимизировать воздействие ультрафиолетового излучения на состояние здоровья людей и окружающую среду. Вероятно, что после пандемии может произойти обратный эффект, связанный с увеличением выбросов вредных веществ, когда экономика начнет восстанавливаться и люди будут активно использовать автомобили и другие виды транспорта.

## Литература

- [1] Васюкова А.Т., Славянский А.А., Ярошева А.И. *Экология*. Санкт-Петербург, Лань, 2021, 180 с.
- [2] Ступин Д.Ю. *Влияние изменения климата на агроэкологические системы*. Санкт-Петербург, Лань, 2020, 224 с.
- [3] Корсунова Т.М., Татарникова В.Ю., Имескенова Э.Г. *Агроэкология загрязненных ландшафтов*. Санкт-Петербург, Лань, 2021, 112 с.
- [4] Павлова Е.И., Новиков В.К. *Общая экология*. Москва, Юрайт, 2023, 167 с.

## Ozone Depletion during the COVID - 19 Pandemic

© | Nikishkina A.A.  
Nikulina S.N.

n.nikishkina42@gmail.com  
Voinsveta579@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The problem of ozone layer destruction is considered, the main causes of this phenomenon are explained and the consequences for the environment and humanity are considered, as well as the state of the ozone layer during the COVID-19 pandemic is analyzed. The measures taken at the global level to protect and restore the ozone layer were discussed. The purpose of the report is to address the problem of the ozone layer during the COVID-19 pandemic. To date, the problem of destruction of the ozone layer is relevant, as it relates to one of the global environmental problems.*

**Keywords:** *ultraviolet radiation, ozone layer, ozone layer destruction, COVID-19 pandemic*

УДК 504.064.2.001.18

## Накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах при применении осадков сточных вод

© Тютюнькова Маргарита Викторовна

tyutyunkova82@mail.ru

SPIN-код: 2606-6644

Сиваев Иван Денисович

Sivaiev01@mail.ru

*Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Рассмотрено поступление тяжелых металлов в сельскохозяйственные культуры при использовании в качестве удобрения обезвоженных осадков сточных вод с иловых площадок очистных сооружений канализации на примере тимофеевки луговой, викоовсяной смеси, овса. Содержание тяжелых металлов в сене тимофеевки луговой и викоовсяной смеси не отличались от контрольных вариантов и не превышали установленные нормы. Также в ходе исследования были рассчитаны коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов овсом на примере свинца, цинка, меди, никеля, хрома, кадмия. На основе полученных данных построены убывающие ряды по накоплению тяжелых металлов овсом: никель, цинк, кадмий, свинец, медь, хром. Результаты исследования показали экологическую безопасность использования осадков сточных вод в дозе 10 т/га.*

**Ключевые слова:** *тяжелые металлы, осадок сточных вод, тимофеевка, викоовсяная смесь, овес, коэффициент биологического поглощения*

Способность сельскохозяйственных культур накапливать тяжелые металлы (ТМ) имеет огромное значение для практических целей. Необходимо изучить сельскохозяйственные культуры наиболее чувствительные к почвам загрязненным ТМ и установить предельно-допустимых концентраций (ПДК) ТМ в таких почвах. Также необходимо выявить наиболее устойчивые к ТМ культуры для безопасного использования загрязненных почв и возможной их очистки, фиторемедиации [1].

Поступление ТМ в растения зависит от буферности почвы и от толерантности самих культур к конкретному металлу, то есть их способности переводить соединения ТМ в недоступное состояние. Интервал устойчивости сельскохозяйственных культур зависит от вида растения и токсичности ТМ. Также в растениях есть защитные механизмы, снижающие поступление ТМ в растение [2].

Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур предполагают использование пестицидов и минеральных удобрений, которые содержат ТМ. Также в качестве нетрадиционных видов удобрения используют осадки сточных вод (ОСВ), накопленные на очистных сооружениях канализации городов в больших количествах. ОСВ имеет сложный состав (микробиологический и полиэлементный), поэтому его можно утилизировать почвенным путем.

Из литературных источников известно, что ОСВ по удобрительной ценности не уступают подстилочному навозу. Правильное использование ОСВ позволяет повысить плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур [3].

В настоящее время на основе опытно производственных испытаний для многих культур установлены экологически безопасные дозы применения ОСВ. Однако при этом требуется вести постоянный контроль за миграцией ТМ в почвах, продукции растениеводства, животноводства и других объектах [4].

Основной количественной характеристикой способности культур или их частей к накоплению ТМ является коэффициент биологического поглощения ТМ (КБП).

Целью исследования явилось изучение накопления ТМ сельскохозяйственными культурами (на примере ячменя, картофеля, овса, тимофеевки и викоовсяной смеси) в условиях применения ОСВ в качестве удобрения.

Задачи исследования:

- оценить уровень накопления ТМ в сельскохозяйственных культурах;
- рассчитать КБП ТМ ОСВ сельскохозяйственными культурами на примере овса.

Объекты исследования:

- почва дерново-подзолистая супесчаная;
- ОСВ (обезвоженный) влажностью 70 %, имеющий экологические сертификаты соответствия и санитарно-эпидемиологические заключения;
- сельскохозяйственные культуры:
  - овес (сорт Скакун);
  - тимофеевка луговая, относящаяся к многолетним злаковым культурам;
  - викоовсяная смесь (смесь семян ярового овса и яровой вики, совместное выращивание двух этих культур позволяет получить урожай зеленого корма с повышенным содержанием белка).

Научно-исследовательская работа (НИР) проводилась в течение трех лет на экспериментальном участке.

Опыт проводился по следующим вариантам:

- контрольный опыт (без ОСВ);
- опыт с ОСВ в дозе 10 т/га по сухому веществу (СВ).

Анализ образцов почвы (для расчета КБП) и растений проводили стандартными, лицензированными и сертифицированными методами в лабораториях ООО «Испытательная лаборатория по качеству пищевых продуктов, продовольственного сырья и экологии», ФГБУ «Калугаагрохимрадиология», центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора в г. Калуге, ГП «Калугаоблводоканал».

КБП (%) рассчитан делением выноса ТМ с урожаем (кг/га) на концентрацию ТМ в пахотном слое (кг/га).

Вынос ТМ урожаем (кг/га) рассчитан в результате произведения урожайности (ц/га) и содержания ТМ в урожае (мг/кг).

Расчеты КБП, выноса ТМ с урожаем сельскохозяйственных культур и содержание ТМ в пахотном слое почвы (20 см) проводились по разности указанных величин в контрольном и опытных делянках.

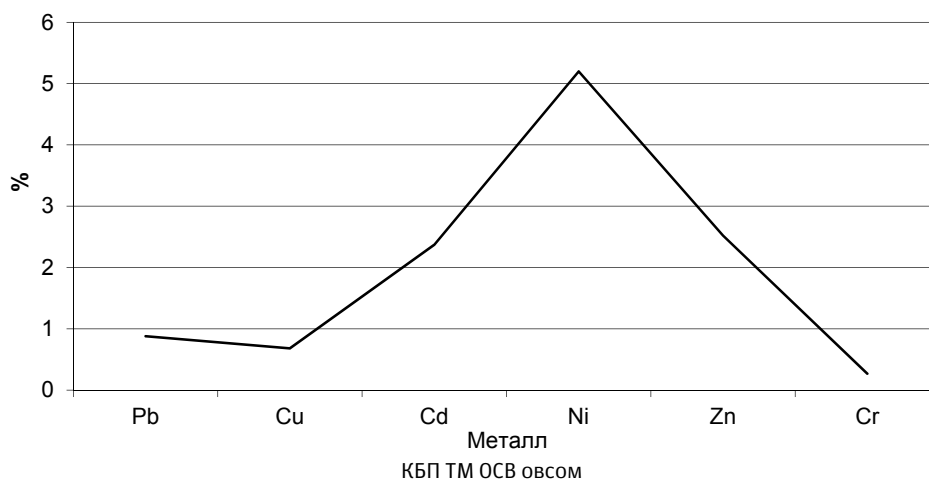
Результаты исследований по накоплению ТМ в урожае сена тимopheевки и викоовсяной смеси представлены в таблице 1.

Содержание ТМ в сене тимopheевки и викоовсяной смеси не отличались от контрольных вариантов и не превышали установленные нормы (временный максимально допустимый уровень — МДУ) [4].

**Накопление ТМ в урожае сена тимopheевки и викоовсяной смеси (мг/кг воздушно-сухой массы)**

Культура	Вариант опыта	ТМ, мг/кг					
		Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni
Тимopheевка	без ОСВ	0,40	0,059	0,803	17,8	0,12	0,41
	с ОСВ	0,44	0,064	0,885	18,9	0,15	0,46
Викоовсяная смесь	без ОСВ	0,11	0,068	1,44	20,4	0,36	0,4
	с ОСВ	0,12	0,079	1,88	21,6	0,39	0,9
Временный МДУ (грубые и сочные корма)		0,5	0,3	30	50	0,5	3

Результаты исследований по КБП ТМ ОСВ на примере овса представлены на рисунке.



На рисунке представлены КБП ТМ ОСВ овсом. Можно построить ряд в порядке убывания по накоплению ТМ: овес интенсивно накапливает никель (Ni), цинк (Zn), кадмий (Cd), свинец (Pb), медь (Cu), хром (Cr).

Результаты НИР показали экологическую безопасность ОСВ в дозе 10 т/га по основным ТМ на дерново-подзолистых суглинистых почвах при выращивании тимофеевки, викоовсяной смеси, используемых на корм животных. Содержание ТМ в кормах практически не отличались от контрольных вариантов и не превышали временный МДУ. ТМ, который наиболее интенсивно накапливается овсом — никель (Ni).

## Литература

- [1] Сюняев Н.К., Тютюнькова М.В., Сюняева О.И., Филиппова А.В. Фиторемедиация тяжелых металлов осадков сточных вод сельскохозяйственными культурами в агроэкосистемах с легкими дерново-подзолистыми почвами. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2017, № 6, с. 208–210.
- [2] Плеханова И.О., Кутукова Ю.Д., Обухов А.И. Накопление тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями при внесении осадков сточных вод. *Почвоведение*, 1995, № 12, с. 1530–1536.
- [3] Сюняев Н.К., Лазарев Н.Н., Сюняева О.И., Тютюнькова М.В. *Комплексная оценка эффективности использования отходов быта и производства в сельском хозяйстве*. Москва, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015, 253 с.
- [4] Тютюнькова М.В., Малахова С.Д., Анфилов К.Л., Чудинова М.В. Нормирование содержания тяжелых металлов в почве при внесении осадков сточных вод. *Проблемы региональной экологии*, 2015, № 4, с. 20–24.

## Accumulation of Heavy Metals in Crops when Wastewater Sludge is Used

© Tyutyunkova M.V.

Sivaev I.D.

tyutyunkova82@mail.ru

SPIN-code: 2606-6644

Sivaiev01@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article considers the entry of heavy metals into crops when using dehydrated wastewater sludge from sludge sites of sewage treatment facilities as fertilizer on the example of timofeevka meadow, vicar mixture, oats. The content of heavy metals in the hay of Timofeevka meadow and vicar mixture did not differ from the control options and did not exceed the established standards. Also in the course of the study, the coefficients of biological absorption of heavy metals by oats were calculated on the example of lead, zinc, copper, nickel, chromium, cadmium. Based on the data obtained, descending rows were built on the accumulation of heavy metals by oats: nickel, zinc, cadmium, lead, copper, chromium. The results of the study showed the environmental safety of the use of wastewater sludge in a dose of 10 t/ha.*

**Keywords:** heavy metals, sewage sludge, timofeevka, vicar mixture, oats, coefficient of biological absorption

УДК 504.054

## Технологии уменьшения количества активного ила в аэротенках

© | Брулева Валерия Алексеевна  
Карпунин Евгений Александрович  
Тютюнькова Маргарита Викторовна

0684964018lera@gmail.com  
karpynin2.2001@gmail.com  
tyutyunkova82@mail.ru  
SPIN-код: 2606-6644

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрена эффективность работы аэротенков при использовании различных технологий и разнообразных носителей активного ила. Подробно рассмотрена технология с использованием процесса иммобилизации клеток активного ила на специальных носителях микрофлоры. Показана перспективность полимерных материалов в качестве носителей иммобилизованной биомассы активного ила. Благодаря этому достигается наибольшая степень очистки, что способствует улучшению показателей сброса и снижению количества осадков сточной воды. Показаны варианты технологий применимые не только с точки зрения уменьшения количества осадка посредством его обработки и утилизации, но и с точки зрения обеспечения более высокого эффекта очистки сточных вод. Рассмотрены различные носители активного ила и отмечена перспективность полимерных материалов, способствующих наибольшей степени очистки.*

**Ключевые слова:** активный ил, осадок сточных вод, иммобилизация, сточные воды

Очистные сооружения большинства крупных городов РФ имеют серьезные проблемы обработки осадков сточных вод (ОСВ), образующихся на сооружениях биологической очистки. Ежегодное количество ОСВ составляет более 80 млн м<sup>3</sup> или до 3 млн т по сухому веществу (СВ). Из них только 10...15 % подвергается обработке с использованием современного технологического оборудования. Оставшаяся часть осадка проходит стандартную и в то же время устаревшую процедуру обезвоживания на иловых площадках, занимающих ощутимо большие площади.

Недостаточное внимание к проблеме обработки и утилизации ОСВ приводит к аварийным сбросам загрязнений, что в свою очередь, способствует увеличению антропогенной нагрузки на окружающую среду. Возникает разумная потребность в поиске новых путей снижения количества осадка, направляемого на обработку и утилизацию. Все вышеперечисленное обуславливает актуальность выдвинутой эколого-экономической проблемы утилизации и обработки ОСВ.

Из множества технологических сооружений биологической очистки сточных вод в качестве объекта настоящего исследования было решено взять аэротенк. На примере сооружения аэротенка будут рассмотрены современные доступные технологии в разрезе дальнейшей утилизации ОСВ. Поэтому целью наших исследований является оценка эффективности работы аэротенков

при использовании различных технологий и разнообразных носителей активного ила.

Одним из путей снижения количества осадка является использование технологий уменьшения избыточной прикрепленной биомассы, направленной на обработку:

1. Технология аэробной биологической очистки сточных вод, исключая образование избыточного активного ила [1].

Рассматриваемый способ биологической очистки сточных вод основан на последовательном функционировании двух технологических фаз: экзогенной и эндогенной.

На экзогенном этапе очистки в воде наблюдаются легко усваиваемые органические питательные вещества. В течение этой фазы происходит формирование и дальнейший прирост массы микроорганизмов, стимулирующих процесс интенсивного удаления биогенных загрязняющих элементов из сточных вод. Эндогенная фаза характеризуется отсутствием легко усваиваемых органических питательных веществ в воде. Отличительной чертой эндогенного этапа очистки сточных вод является возникновение антагонистических взаимоотношений в сообществе микроорганизмов активного ила. Стремительно развивающиеся взаимное антагонистическое влияние микроорганизмов избыточного активного ила обеспечивают значительное его сокращение. Данные взаимоотношения, основанные на непрекращающемся поедании слабых микроорганизмов сильными, в конечном итоге приводит к полному исключению образования избыточного ила.

Обеспечение стабильного функционирования этих этапов позволяет получить контроль над формированием видового состава и селекцией активного ила. Степень конечного поглощения питательного субстрата бактериями активного ила, а также его химический состав определяют качество очистки сточных вод.

Главной задачей разработанной технологии является формирование оптимального биоценоза активного ила с устойчивыми иммунными свойствами. Как результат: становится возможным многостадийный процесс биологической очистки сточной воды от взвешенных веществ, соединений азота, нитритов, нитратов, фосфатов, в том числе от ХПК и БПК. Дополнительно отмечается снижение содержания таких химических соединений, как жиры и нефтепродукты.

2. Технология с сокращением прироста активного ила с помощью протонофоров [2].

Представленный способ сокращения прироста активного ила имеет под собой основу в виде гипотезы о контроле процессом обмена веществ в клетке бактерии посредством управления ее биохимическими циклами. Этот эффект становится возможным с помощью особого класса соединений — протонофоров. В результате действия протонофоров синтез АТФ прекращается, а потребление субстрата происходит только за счет ферментных систем клеток активного ила.



Механизм действия соединений протонофоров заключается в разделении ранее взаимосвязанных процессов дыхания и накопления энергии в клетках. В отсутствие согласования дыхание может резко усиливаться, а энергия, получаемая в результате дыхания, — не накапливаться клеткой в виде АТФ, а рассеиваться в виде тепла. Отмечается, что протонофоры — нетоксичные отходы некоторых производств.

На настоящий момент известен пример успешного внедрения технологий использования протонофоров. Опыт работы Березниковского химзавода подтверждает перспективность рассмотренного метода. Содержание одного из протонофоров в сточной воде завода обеспечивало отсутствие прироста активного ила на сооружениях биологической очистки.

3. Технология с использованием процесса иммобилизации клеток активного ила на специальных носителях микрофлоры [3].

Иммобилизация — метод создания неподвижности биологического объекта (фермента или клетки) путем его фиксации с помощью физических или химических сил на специальных пористых материалах-носителях. В зависимости от используемого физического процесса прикрепления клеток биомассы активного ила различают механизмы прикрепления, внедрения и агрегации.

Процессы прикрепления тесно связаны с естественной адгезией, поскольку прикрепление клеток ила является ее следствием. Адгезия возникает вследствие образования положительного электрокинетического потенциала на волокнистой поверхности материала при возникновении трения между поверхностью и сточной водой. При непрерывном поступлении кислорода и насыщенности сточной воды активной биомассой обеспечивается интенсивное окисление органических загрязнений.

Процесс внедрения активного ила в пористый материал основан на процессе диффузии. Сначала пористая структура принимает диффундированную клетку активного ила, затем в течение времени происходит ее рост. В результате клетка «застревает» в ограниченном объеме поры без возможности освободиться. Агрегация микроорганизмов активного ила во многом зависит от условий их питания. Рост агрегирующих суспензий, содержащихся в клетках ила, возможен только при достаточно высоком отношении углерода к азоту или углерода к фосфору. В этом случае агрегаты достигают необходимых размеров, чтобы реализовать их иммобилизацию методами флокуляции с целью их сохранения.

В качестве носителей микрофлоры применяются различные материалы с хорошо развитой пористой поверхностью, которые будут закреплять микроорганизмы активного ила. Данные по носителям прикрепленной микрофлоры, распространенным в разных странах, представлены в табл. 1.

На настоящий момент мировое, в том числе и российское, производства располагают огромным множеством вариантов носителей активного ила. В табл. 2 на примере одной из очистных станций города Калуги приведены данные по эффективности очистки аэротенка в зависимости от вида носителя (время аэрации составляло 12 ч).

Таблица 1

**Носители прикрепленной микрофлоры, используемые в разных странах [1]**

Страна	Вид носителя
США	1. Эластичные тканево-сетчатые коррозионностойкие мембраны. 2. Порошкообразные высокомолекулярные катионные, анионные и неионные флокулянты с содержанием основного вещества не менее 90 масс. %
Япония	1. Стекловолоконистая порода (оксид кремния + оксид алюминия + оксиды цветных металлов). 2. Смешанная загрузка — пластмассовые гранулы из хлорвиниловых смол, акримонитрилбутадиионнатрирола, полистирола, полиэтилена
Россия	1. Стекловолокно и базальтовое волокно — ерши Куликова Н.. 2. Гофрированные листы из пластмассы. 3. Перфорированная винилпластовая пленка с ячейками. 4. Вулканические породы в виде зерен. 5. Сетчатое капроновое или металлическое волокно. 6. Плавающие пористо-волокнистые материалы

Таблица 2

**Эффективность работы аэротенков с различными носителями активного ила**

Носители активного ила в аэротенках	Показатели сточных вод		Концентрация ила, г/л	Иловый индекс, см <sup>3</sup> /г	Выходящая вода		Окислительная мощность, гБПК/сут
	ХПК, мг/л	БПК, мг/л			ХПК, мг/л	БПК, мг/л	
Без загрузки	2000	1400	3,7	270	210	101	2690
Керамзит	2000	1400	10,3	153	68,4	13,3	2770
Шлаковая пемза	2000	1400	10,9	113	67,9	14,0	2770
Пенопласт	2000	1400	8,9	116	69,7	18,4	2764
Стекловолокно	2000	1400	11,9	105	69,6	14,7	2770
Полимерные материалы	2000	1400	12,5	71	60,0	10,0	3022

Табл. 2 наглядно демонстрирует перспективность полимерных материалов в качестве носителей иммобилизованной биомассы активного ила. Благодаря этому достигается наибольшая степень очистки, что способствует улучшению показателей сброса и снижению количества осадков сточной воды.

Анализ эффективности работы аэротенков с различными носителями микрофлоры ила показывает, что процесс клеточной иммобилизации облада-

ет возможностью достижения очень высокой концентрации клеток. Это факт обеспечивает ряд преимуществ [4] технологического метода иммобилизации клеток активного ила.

Благодаря внедрению новых методов иммобилизации появится возможность повысить общую дозу активного ила на сооружение. Это приведет к увеличению его окислительной мощности, что позволит в перспективе увеличить гидравлическую нагрузку на сооружение.

Обеспечивается устойчивость к неравномерности притока сточной воды. Количество питательных веществ на носителях, сорбированных ими, достаточно для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов во время малого притока сточных вод или полной его остановки.

Применение носителей прикрепленной микрофлоры способствует уменьшению прироста ила на 20...30 %. Это благоприятно сказывается на окружающей среде, поскольку уменьшаются ее вторичные загрязнения и сокращаются расходы на обработку осадка.

Кассетная схема размещения носителей обеспечивает благоприятные условия протекания биохимических процессов. В пределах одной кассеты с течением времени и постоянного обновления ила образуются его биоценозы различных возрастов: молодой и старый ил. Такое сочетание разных возрастов ила позволяет в аэротенке одновременно: поддерживать высокие скорости окисления благодаря молодому илу; улучшать нитрифицирующие и седиментационные свойства благодаря старому илу (ил считается старым, если его возраст превышает 10–12 суток). Данное преимущество позволяет улучшить показатели очистки сточных вод от БПК, аммонийного азота, нефтепродуктов.

Помимо возрастного состава активного ила можно выделить его видовое разнообразие. Некоторые из видов представлены в табл. 3.

Среди общей совокупности видов активного ила выделяются доминирующие судя по индексу Палия — Ковнацки  $D_i$ . Согласно анализу, с помощью этого индекса были выявлены доминирующие виды: *Euglypha laevis*, *Aspidisca costata*; а также и субдоминирующие: *Zoogloea ramigera*, *Centropixis aculeata*, *Vorticella microstoma*. Этот факт указывает, что процесс биологической очистки стока зависит не только от возраста ила, но и от его доминирующего состава. Осуществление контроля за этими двумя факторами дает возможность контролировать и оптимизировать процессы очистки стока.

Прикрепленная микрофлора способствует развитию методов биологического обезвреживания загрязнений сточных вод нефтепродуктами. Поскольку нефтепродукты относятся к биологически трудно окисляемым веществам, то для их очистки часто используют физико-химические методы. Однако применение носителей прикрепленной биомассы позволяет сформировать устойчивую к стрессовым ситуациям ассоциацию нефтеокисляющих микроорганизмов. Описанный метод позволяет повысить эффективность биологической очистки стоков от нефтепродуктов.

Таблица 3

## Гидробиологический анализ активного ила аэротенков [5]

Вид	Индекс Палия — Ковнацки $D_i$	Влияние на процесс биологической очистки, особенности распространения
Zoogloea ramigera	83 400	Могут приводить к нарушению седиментационных свойств ила при значительном накоплении
Centropixis aculeata	166 800	Практически постоянно представлены в активном иле, питаются бактериями, простейшими, одноклеточными водорослями
Euglypha laevus	417 000	Распространены в активном иле нормально работающих аэротенков
Litonotus lamelia	27 800	Развиваются в биоценозах высоко — и средненагружаемых аэротенков, некоторые представители свидетельствуют о возможном залеживании и гниении ила, выносилвы к недостатку кислорода
Aspidisca costata	514 300	
Paranema trichophorum	9 730	—
Vorticella microstoma	152 900	Имеют первоочередное значение при оценке состояния очистки, так как являются показателем хлопьеобразования активного ила, снижают мутность воды, завершают процесс очистки, выедают бактерии, утратившие связь с хлопьями

Подводя итог всему вышесказанному, можно отметить, что рассмотренные варианты технологий на практике применимы не только с точки зрения уменьшения количества осадка посредством его обработки и утилизации, но и с точки зрения обеспечения более высокого эффекта очистки стока. Нет сомнений, что в настоящий момент ведутся исследования в данной области.

## Литература

- [1] Кузнецов А.Е., Градова Н.Б., Лушников С.В., Энгельхарт М. *Прикладная экобиотехнология*. Москва, Лаборатория знаний, 2020, 1164 с.
- [2] Музафаров Е.Н. *Экологическая биотехнология*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 120 с.
- [3] Владимцева И.В., Могилевская И.В., Колотова О.В., Древин В.Е. Магнитоуправляемые микроорганизмы для биологической очистки промышленных сточных вод. *Социально-экологические технологии*, 2020, № 2, с. 185–200.
- [4] Ветошкин А.Г. *Технические средства инженерной экологии*. Санкт-Петербург: Лань, 2022, 424 с.
- [5] Жердев В.Н., Студеникина Л.Н., Шелкунова М.В. Видовой состав активного ила из аэротенков. *Модели и технологии природообустройства*, 2016, № 2, с. 34–39.

## Technologies for Reducing the Amount of Active Sludge in Aerotanks

© | Bruleva Valeria Alekseevna  
Karpunin Evgeny Alexandrovich  
Tyutyunkova Margarita Viktorovna

0684964018lera@gmail.com  
karpynin2.2001@gmail.com  
tyutyunkova82@mail.ru  
SPIN-код: 2606-6644

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*The article considers the effectiveness of aerotanks when using various technologies and various carriers of active sludge. The technology using the process of immobilization of active sludge cells on special microflora carriers is considered in detail. The perspective of polymer materials as carriers of immobilized biomass of active sludge is shown. Due to this, the greatest degree of purification is achieved, which contributes to improving discharge rates and reducing the amount of wastewater precipitation. Technology options are shown to be applicable not only in terms of sludge reduction through treatment and disposal, but also in terms of providing a higher effluent treatment effect. Various carriers of activated sludge are considered and the prospects of polymer materials contributing to the highest degree of purification are noted.*

**Keywords:** active sludge, sewage sludge, immobilization, wastewater

УДК 574

## Методический подход для разработки мероприятий при неблагоприятных метеоусловиях для предприятий Калужской области

© | Зубарев Даниил Юрьевич  
Жукова Юлия Михайловна

zubarev.daniil.2001@gmail.com  
zjuliam@hotmail.com

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Актуальная работа отвечает на вопрос проблемы негативного воздействия метеорологических условий в отношении техногенных загрязнений воздушного бассейна. Проанализированы факторы, влияющие на данное явление. Обозначено влияние отдельных факторов геологического, географического характера и обусловленного потенциальной работой каждого предприятия, как источника, отравляющего газо-воздушное пространство в области распространения выделяемых веществ. Приведена методика разработки мероприятий по уменьшению выбросов загрязняющих веществ для трех режимов неблагоприятных метеоусловий. Представлена разработка мероприятий по уменьшению выбросов загрязняющих веществ для трех режимов неблагоприятных метеоусловий в рамках Калужской области.*

**Ключевые слова:** неблагоприятные метеоусловия, атмосфера, приземной слой атмосферы, выбросы загрязняющих веществ, объекты негативного воздействия, мероприятия по уменьшению выбросов

Состояние атмосферного воздуха в городах представляет собой многогранную проблему, подверженную влиянию как антропогенных, так и природных факторов. Наряду с человеческой деятельностью, влияющей на качество воздуха, следует выделить влияние природных аспектов, включая рельеф местности и метеорологические условия. Установлено, что именно в специфических, порой неблагоприятных, метеоусловиях происходит накопление загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы. Именно эти атмосферные явления оказывают наибольшее воздействие на живых организмов, включая человека, так как именно они являются непосредственно средой обитания [1, 2].

Влияние рельефа на загрязнение атмосферы проявляется косвенно, через местную циркуляцию и микроклиматические особенности. Наиболее высокие уровни загрязнения формируются в слабо продуваемых межгорных котловинах и долинах, где часто наблюдаются застои воздуха, температурные инверсии [3].

Понятие «потенциал загрязнения атмосферы» (ПЗА) становится важным фактором для количественной оценки зависимости уровня загрязнения от метеорологических и климатических факторов. Этот потенциал может либо проявиться, либо остаться нереализованным в зависимости от наличия и интенсивности источников загрязнения. Величина ПЗА отражает степень возможности возникновения НМУ, таких как мощность и интенсивность темпе-

ратурных инверсий, застоев воздуха, слабых ветров, туманов [4]. Учитывая, что атмосферное состояние подвержено как периодическим, так и непериодическим изменениям, различают соответственно метеорологический и климатический ПЗА. Первый определяется текущими метеорологическими условиями, второй зависит от климата. Климатический ПЗА может меняться только за длительный период, вместе с климатом.

В отдельные периоды, когда метеорологические условия способствуют накоплению вредных веществ в приземном слое атмосферы, концентрации примесей в воздухе могут резко возрасти. Чтобы в эти периоды не допускать возникновения высокого уровня загрязнения, необходимо кратковременное сокращение выбросов загрязняющих веществ. Предупреждения о повышении уровня загрязнения воздуха в связи с ожидаемыми НМУ составляются в прогностических отделениях Росгидромета. В зависимости от ожидаемого уровня загрязнения атмосферы составляются предупреждения трех степеней. Предупреждения первой степени составляются, если предсказывается повышение приземных концентраций в 1,5 раза, второй степени — от 3 до 5 ПДК, а третьей — свыше 5 ПДК. В зависимости от степени предупреждения предприятие переводится на работу по одному из трех режимов [5].

Мероприятия при НМУ должны обеспечивать снижение создаваемых выбросами источников объектов негативного воздействия (ОНВ) приземных концентраций по Перечню загрязняющих веществ совместно с другими источниками для рассматриваемой контрольной точки:

- на 15...20 % при НМУ 1-й степени опасности;
- на 20...40 % при НМУ 2-й степени опасности;
- на 40...60 % при НМУ 3-й степени опасности [6, 7].

Для ОНВ, занимающихся поставкой электроэнергии, газа и пара, в период НМУ устанавливаются режимы работы, которые обеспечивают непрерывное выполнение хозяйственных и иных задач. Режимы работы должны гарантировать бесперебойное предоставление электроэнергии, газа и пара. Значения характерны для отопительного периода и определяются обязательными требованиями к эксплуатации тепловых сетей, а также предусматривают уменьшение приземных концентраций каждого загрязняющего вещества, которое должно составлять:

- до 5...10 % при НМУ 1-й степени опасности;
- до 10...20 % при НМУ 2-й степени опасности;
- до 20...25 % при НМУ 3-й степени опасности [6, 7].

Разработка мероприятий по уменьшению выбросов загрязняющих веществ для трех режимов НМУ в Калужской области проводится в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Калужской области от 01.04.2022 № 251-22 [8] в следующей последовательности:

Для начала анализируется инвентаризация выбросов. Данный документ разрабатывается в соответствии с Приказом Минприроды России от 07.08.2018 № 352.

Проводится выбор контрольных точек и определение перечня веществ НМУ. На основании Приказа Минприроды России от 28.11.2019 № 811 [9]

необходимо провести анализ приземной концентрации выбрасываемых загрязняющих веществ и групп суммаций в контрольных точках на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ). Для этого проводится расчет рассеивания в программе УПРЗА в указанных контрольных точках с определением вклада в долях ПДК. Формируется отчет рассеивания для нормальных условий, выводятся карты рассеивания. Далее на основании проведенного расчета рассеивания и определения приземных концентраций в контрольных точках на границе СЗЗ в долях ПДК, проводится расчет увеличения концентрации для каждого режима НМУ. После получения результатов увеличения выбросов в различных режимах, делается выборка загрязняющих веществ и групп суммаций, у которых наблюдается превышение 1 ПДК в каком-либо из режимов. Для этих веществ необходимо проводить мероприятия по сокращению выбросов при объявлении НМУ.

Проводится выбор мероприятий для сокращения выбросов, которые предприятие сможет провести при объявлении НМУ и не приведут к большим экономическим потерям.

Необходимо проверить эффективность применяемых мероприятий, чтобы максимальные приземные концентрации в контрольных точках на границе ближайшей жилой зоне были менее 1 ПДК или ближайшей особо контролируемой территории — менее 0,8 ПДК. Определение эффективности каждого мероприятия по уменьшению выбросов на источниках загрязнения производственной территории по каждому выбрасываемому загрязняющему веществу на источнике осуществляется в соответствии с Приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273 [10]. На основании полученных увеличенных значений максимально-разового выброса для I, II, III режимов необходимо провести расчет рассеивания. Формируется отчет рассеивания и карты рассеивания.

При наступлении НМУ, контроль за реализацией запланированных мероприятий должен проводиться с частотой каждые 2–3 ч на протяжении всего периода НМУ в случае предупреждений 2 и 3 степени. В случае предупреждения 1 степени, контроль проводится 1–2 раза за период НМУ [5].

В планы мероприятий в обязательном порядке включаются общие (организационно-технические) мероприятия по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в периоды НМУ, указанные в пунктах 9, 17 Требований [9], проведение которых направлено на снижение общего загрязнения атмосферного воздуха. Общие мероприятия разрабатываются с учетом имеющегося на предприятии технологического оборудования. В перечень таких мероприятий, в том числе должны быть включены: контроль за соблюдением технологических регламентов работы всех производств, оборудования и установок; запрет остановки газопылеулавливающих сооружений для выполнения профилактических работ; запрет залповых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (кроме случаев, когда уже проводятся технологические операции, по подготовке к проведению залповых выбросов); запрет проведения пуска наладочных работ и испытаний оборудования [8].



## Литература

- [1] Дмитренко В.П., Сотникова Е.В., Кривошеин Д.А. *Экологическая безопасность в техно-сфере*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 524 с.
- [2] Мифтахутдинов А. В. *Токсикологическая экология*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 308 с.
- [3] Стурман В. И. *Геоэкология*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 228 с.
- [4] Широков Ю.А. *Техносферная безопасность: организация, управление, ответственность*. Санкт-Петербург, Лань, 2022, 408 с.
- [5] Майорова Л. П., Черенцова А.А. *Оценка воздействия на среду и экологическая экспертиза*. Хабаровск, Изд-во ТОГУ, 2017, 107 с.
- [6] Тунакова Ю.А., Шагидуллина Р.А., Валиев В.С., Григорьева И.Г., Кузнецова О.Н. Разработка моделей прогноза концентраций примесей в приземном слое атмосферного воздуха на основании значимых метеорологических параметров. *Вестник Казанского технологического университета*, 2016, т19, №22, с. 179–181.
- [7] Звягинцева А.В., Пригородова О.А. Влияние метеорологических условий на загрязнение атмосферы промышленными выбросами. *Пожарная безопасность: проблемы и перспективы*, 2017, с. 432–436.
- [8] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Калужской области от 01.04.2022 № 251-22 «Об утверждении административного регламента министерства природных ресурсов и экологии Калужской области предоставления государственной услуги по согласованию мероприятий по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий».
- [9] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 28.11.2019 № 811 «Об утверждении требований к мероприятиям по уменьшению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в периоды неблагоприятных метеорологических условий».
- [10] Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 06.06.2017 № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».

## Methodological Approach for the Development of Measures in Adverse Weather Conditions for Enterprises of the Kaluga Region

© Zubarev D.Yu.  
Zhukova Yu.M.

zubarev.daniil2001@gmail.com  
zjuliam@hotmail.com

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The current work answers the question of the problem of the negative impact of meteorological conditions in relation to man-made pollution of the air basin. The factors influencing this phenomenon are analyzed. The influence of individual factors of a geological, geographical nature and caused by the potential work of each enterprise as a source poisoning the gas-air space in the area of distribution of the released substances is indicated. The methodology for the development of measures to reduce emissions of pollutants for three modes of adverse weather conditions is given. The development of measures to reduce emissions of pollutants for three modes of adverse weather conditions within the Kaluga region is presented.*

**Keywords:** *adverse weather conditions, atmosphere, surface layer of the atmosphere, emissions of pollutants, objects of negative impact, measures to reduce emissions*

УДК 004.94

## Расчет содержания компонентов биомассы для осуществления пиролиза

© Барабанов Александр Викторович  
Жукова Юлия Михайловна  
Ильичев Владимир Юрьевич

barabanov\_alex02@mail.ru  
zjuliam@hotmail.com  
patrol8@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Приведены результаты исследований, в результате которых создан алгоритм и расчетная программа для определения компонентов биомассы (органических отходов), используемых в процессе пиролиза для выделения биогаза и биомасла. Приведен демонстрационный пример, показывающий практическое применение созданной программы на языке Python с подключением химического модуля chemics. Описываемые созданные авторами инструменты упрощают вычисление наиболее благоприятного для максимизации выхода полезных продуктов процесса пиролиза биомассы. Также авторами намечены пути продолжения описанных методов исследования.*

**Ключевые слова:** пиролиз биомассы, органические отходы, язык программирования Python, библиотека функций chemics

**Введение.** Пиролиз [1] — это термохимический процесс, который можно использовать для конвертации органических отходов (биомассы) в биомасло и биогаз [2], которые могут быть использованы в качестве топлива. Пиролиз является сложным процессом, в котором применяются биореакторы, предназначенные для разложения в которых частиц биомассы в смесь паров биомасла, легких газов (так называемый биогаз), и твердого сгораемого остатка [3].

Рабочая температура реакторов достаточно высока (около 500 °С), а твердые частицы проходят через них за 2–5 с [4]. Проблемой является создание конструкции реактора, с помощью которой можно получить максимальное количество сгораемых продуктов. При известном составе перерабатываемой биомассы, на данный момент уже возможно решать систему уравнений пиролиза. Для этого можно использовать модули языка Python Numpy [5] и Scipy [6].

Цель описываемого исследования заключается в создании алгоритма и программы расчета выхода полезного продукта из перерабатываемой биомассы. Состав биомассы определяется с помощью библиотеки функций chemics [7]. В данном случае модуль chemics, а более конкретно его классы bioscomp и plot\_bioscomp, выводят на экран состав перерабатываемого сырья, и производят визуализацию.

Перерабатываемая биомасса состоит из лигнина, экстрактивного вещества, целлюлозы, гемицеллюлозы. Переработка компонентов биомассы при пиролизе подчиняется разным законам, но выяснение компонентного состава биомассы является сложной задачей.

Авторы [8, 9] производят такой анализ биомассы только по содержанию водорода Н и углерода С в ней. Для этого применяется сгорание [10] и измерение в получаемых продуктах двуокиси углерода и воды.

Затем применяется ряд формул.

Содержание углерода ( $X_C$ ) в % вычисляют по формуле

$$X_C = \frac{K_C \cdot 100}{g},$$

где  $K_C$  — коэффициент пересчета, равный 0,2729;  $\alpha$  — масса двуокиси углерода, мг;  $g$  — масса анализируемого вещества, мг.

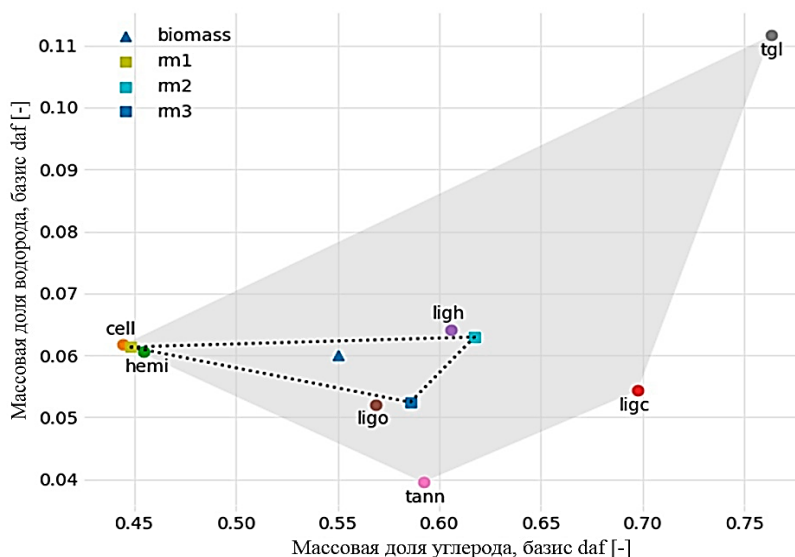
Процентное содержание водорода ( $X_{H_2}$ ) в % вычисляют по формуле

$$X_{H_2} = \frac{K_{H_2} \beta \cdot 100}{g},$$

где  $K_{H_2}$  — коэффициент пересчета, равный 0,1119;  $\beta$  — масса воды, мг;  $g$  — масса анализируемого вещества, мг.

Затем по этим данным и по написанной авторами программе рассчитывается компонентный состав анализируемой биомассы.

На рисунке приведен состав биомассы, исходя из исходного содержания углерода, определенное по результатам предварительного определения, задано равным 55 %, а содержание водорода равным 6 %.



Выведенный с помощью программы развернутый компонентный состав анализируемой биомассы

На рисунке также обозначены точки, соответствующие составу целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнинов и экстрактивных веществ. В центральной части графика изображены три точки, соответствующие составам референсных смесей [10], предназначенных для использования при исследовании процессов пиролиза биомассы.

По результатам исследования как создана методика определения детального компонентного состава биомассы по известным результатам определения процентного содержания в ней углерода и водорода, так и расчетный программный продукт.

Приведен демонстрационный пример расчета, а также произведено объяснение получаемых результатов, позволяющее читателю освоить методику, разработанную авторами настоящей статьи.

В будущем планируется продолжение проведения данных исследований, а также планируется создание актуальной методики расчета и анализа протекания процесса пиролиза биомассы.

## Литература

- [1] Ильичев В.Ю., Качурин А.В. Исследование кинетики химических реакций с использованием модуля ChemPy. *E-Scio*, 2022, № 7 (70), с. 42–51.
- [2] Холопова Т.Ю., Астапов С.Ю., Петина И.И. Использование биомасел в АПК. *Наука и образование*, 2020, т. 3, № 4, с. 14.
- [3] Мурзакулов Н.А., Ысламов М.М. Обращение с органическими отходами и путь утилизации с использованием биопроцессов. *Цифровая наука*, 2022, № 6, с. 41–67.
- [4] Климова Е.В. Пиролиз растительной биомассы (производство жидкого и газообразного топлива путем быстрого нагрева биомассы в отсутствие кислорода). *Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал*, 2007, № 1, с. 218.
- [5] Ilichev V. Yu. Development of procedure for determination of characteristics of heated polycarbonate greenhouses. *International Research Journal*, 2021, № 2-1 (104), с. 132–135.
- [6] Ильичев В.Ю. Использование библиотеки ZenCAD языка Python для разработки универсальной методики создания объемных изделий. *Системный администратор*, 2021, № 6 (223), с. 82–85.
- [7] *Chemics. A Python package for chemical engineering*. Available at: <https://pypi.org/project/chemics/> (accessed October 15, 2023).
- [8] Debiagi P.E.A., Pecchi Ch., Gentile G., Frassoldati A., Cuoci A., Faravelli T., Ranzi E. Extractives extend the applicability of multistep kinetic scheme of biomass pyrolysis. *Energy Fuels*, 2015, vol. 29, pp. 6544–6555.
- [9] Определение содержания углерода и водорода микрометодом. URL: <https://www.spec-kniga.ru/obuchenie/praktikum-po-tehnicheskomu-analizu-i-kontrolyu-proizvodstva-himiko-farmaceuticheskikh-preparatov-i-antibiotikov/opredelenie-soderzhaniya-ugleroda-i-vodoroda-mikrometodom.html> (дата обращения 15.10.2023).
- [10] Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Создание программы построения диаграмм направленности рупорных антенн средствами языка Python. *Научное обозрение. Технические науки*, 2021, № 4, с. 5–9.

## Calculation of the Content of Biomass Components for Pyrolysis Realization

© | Barabanov A.V.  
Zhukova Yu.M.  
Ilyichev V.Yu.

barabanov\_alex02@mail.ru  
zjuliam@hotmail.com  
patrol8@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The paper presents the results of research resulting in the creation of an algorithm and calculation program for determining biomass (organic waste) components used in the pyrolysis process for biogas and bio-oil extraction. A demonstration example showing the practical application of the created program in Python language with the connection of the chemistry module chemics is given. The tools described by the authors simplify the calculation of the most favorable for maximizing the yield of useful products of the biomass pyrolysis process. The authors also outline ways to continue the described research methods.*

**Keywords:** *biomass pyrolysis, organic waste, Python programming language, chemics function library*

УДК 66.097.8

## Характеристика поверхностно-активных веществ как ингибиторов кислотной коррозии

© | Леонтьева Анна Сергеевна

leontevann@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены поверхностно-активные вещества как ингибиторы коррозии. Ингибиторами коррозии называют химические соединения, которые, присутствуя в коррозионной системе в достаточной концентрации, уменьшают скорость коррозии без значительного изменения концентрации любого коррозионного реагента. В кислых средах чаще используются органические поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые тормозят процесс за счет адсорбции.*

**Ключевые слова:** ПАВ, коррозия металла, покрытие, соединения, окружающая среда, ингибитор, воздействие

Ежегодно около четверти всего произведенного в мире металла теряется в результате протекания коррозионных процессов [1]. Потери стали, обусловленные коррозией, составляют 30 % от ее ежегодного производства [2]. В промышленно развитых странах потери от коррозии составляют около десятой части национального дохода, причем затраты на ремонт и замену аппаратуры и коммуникаций во много раз превышают стоимость конструкционного материала. Под угрозой аварийного разрушения по причине коррозии находится до 50 % металлоконструкций российской химической отрасли [3].

Аварии в промышленности сопровождаются экономическими и экологическими последствиями, а в авиации отказ оборудования может привести к человеческим жертвам.

Все материалы и конструкции, применяемые в авиации, защищают от коррозии, причем защита должна с высокой степенью надежности гарантировать их работоспособность во всеклиматических условиях эксплуатации.

Металлы необходимо защищать от агрессивной окружающей среды. Исследование процессов коррозии и разработка методов защиты металлов относится к актуальным научно-техническим задачам [4].

Для значительного замедления либо прекращения коррозии в промышленности широко применяют ингибиторы коррозии. Отличительной чертой этого метода является возможность при небольших капитальных затратах значительно затормозить процессы коррозионного разрушения и деградации механических свойств металлов и сплавов, тем самым замедляя разрушение оборудования.

Для решения этой проблемы наиболее рационально использовать ингибиторы, поскольку их применение не требует принципиального изменения существующих технологических схем, позволяет защищать узлы и детали,

находящиеся в эксплуатации длительное время, и наиболее выгодно с экономической точки зрения [5].

Ингибиторами коррозии называют химические соединения, которые, присутствуя в коррозионной системе в достаточной концентрации, уменьшают скорость коррозии без значительного изменения концентрации любого коррозионного реагента. Ингибиторами коррозии могут быть как соединения, так и композиции химических соединений [5].

В кислых средах чаще используются органические поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые тормозят процесс за счет адсорбции.

Для предотвращения ряда осложнений на нефтепромыслах применяют большой ассортимент ПАВ. Их используют для ингибирования коррозии и различных отложений в нефтепромысловом оборудовании, в процессах подготовки нефти. В основном это неионогенные ПАВ, смеси на их основе. Катионные ПАВ применяют в качестве ингибиторов коррозии и как добавки к различным реагентам.

Если поверхность металла в условиях коррозии заряжена отрицательно, то адсорбируются ингибиторы, относящиеся к катионным ПАВ. Это ИК анодного типа. Анодные ингибиторы замедляют коррозионные процессы за счет снижения скорости анодного процесса путем смещения потенциала корродирующего металла в положительную сторону с переводом металла в устойчивое пассивное состояние и за счет образования на его анодных участках крошащихся защитных пленок [4].

Катодные ингибиторы снижают скорость растворения металла за счет повышения перенапряжения катодного процесса. Катодными реакциями при коррозии являются реакции выделения водорода, восстановления кислорода или какого-либо другого деполяризатора. Торможение ингибитором катодных реакций может происходить либо в результате уменьшения концентрации деполяризатора вследствие взаимодействия с ним, либо за счет затруднения доступа деполяризатора к поверхности металла. В качестве катодных ингибиторов выступают анионные ПАВ [4].

Механизм защитного действия ингибиторов пленочного действия в основном заключается в образовании на поверхности металла защитных пленок, с помощью которых осуществляется разделение агрессивной среды и металла. Ингибиторы пленочного действия это, в основном, неионогенные ПАВ [2].

Особенностью классических КПАВ является то, что дифильный катион состоит из двух сильно различающихся по полярности частей: гидрофобной — неполярного углеводородного радикала и гидрофильной — полярной азотсодержащей группы. Неклассические аммониевые соединения отличаются тем, что гидрофобность длинноцепочных углеводородных радикалов разрывается полярными кислородсодержащими фрагментами. Такая структура меняет адсорбционное поведение этих соединений, это может значительно отразиться на их свойствах.

В общем случае защитное действие обусловлено блокированием части поверхности металла ( $\Theta$ ) и изменением энергии активации ( $\Delta A$ ) на свобод-

ных участках. Изменение энергии активации может быть связано с изменением строения двойного слоя, т. е. величины потенциала, либо с блокированием наиболее активных центров поверхности корродирующего металла. По этим признакам ингибиторы классифицируются как блокировочные ( $Z = \Theta$ ,  $\Delta A = 0$ ), активационные ( $\Theta \approx 0$ ,  $Z \neq 0$ ,  $\Delta A \neq 0$ ) и смешанные ( $\Theta > Z$ ,  $\Delta A \neq 0$ ) [6].

Рассмотрено действие ПАВ как ингибиторов кислотной коррозии. Также приведена характеристика ингибиторов ПАВ. Применение ингибиторов является сейчас одним из лучших методов защиты. Механизм защитного действия ингибиторов пленочного действия в основном заключается в образовании на поверхности металла защитных пленок, с помощью которых осуществляется разделение агрессивной среды и металла. Ингибиторы пленочного действия это, в основном, неионогенные ПАВ.

## Литература

- [1] Антропова Л.И. Ингибиторы коррозии металлов. Ленинград, Химия, 1968, 264 с.
- [2] Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года. *Авиационные материалы и технологии*, 2012, № S, с. 7–17.
- [3] Каблов Е.Н. Коррозия или жизнь. *Наука и жизнь*, 2012, № 11, с. 17–21.
- [4] Левашова В.И., Антипова В.А. Разработка ингибиторов сероводородной коррозии нефтедобывающего оборудования. *Нефтехимия*, 2003, т. 43, № 1, с. 60–64.
- [5] Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. *Коррозия и защита от коррозии*. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2010, 416 с.
- [6] Фархутдинова А.Р., Мукатдисов Н.И., Елпидинский А.А., Гречухина А.А. Составы ингибиторов коррозии для различных сред. *Вестник Казанского технологического университета*, 2013, т. 16, № 4, с. 272–276.

## Characterization of Surfactants as Acid Corrosion Inhibitors

© | Leontieva A.S.

leontevann@yandex.ru

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*Surfactants as corrosion inhibitors are considered. Corrosion inhibitors are chemical compounds that, being present in a corrosion system in sufficient concentration, reduce the rate of corrosion without significantly changing the concentration of any corrosive reagent. In acidic environments, organic surfactants (surfactants) are more often used, which inhibit the process due to adsorption.*

**Keywords:** *surfactants, metal corrosion, coating, compounds, environment, inhibitor, impact*



УДК 628.4

## Изучение метаногенеза на полигонах твердых коммунальных отходов

© | Емельянова Яна Геннадьевна  
Морозенко Мария Ивановна

emelianova\_yana00@mail.ru  
morozenko\_mi@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Статья посвящена анализу влияния влажности отходов на количество образующихся выбросов загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от полигонов захоронения твердых коммунальных отходов. Особое внимание уделено расчету количества выбросов основных компонентов загрязняющих веществ, которые оказывают негативное воздействие на состояние окружающей среды.*

**Ключевые слова:** газовая эмиссия, твердые коммунальные отходы, влажность, суммарные максимальные разовые выбросы, валовые выбросы биогаза полигона

Основными факторами, влияющими на количественный и качественный состав загрязняющих веществ, выделяющихся с полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО), являются: рабочая площадь полигона, сроки эксплуатации полигона, количество отходов, мощность слоя складирования отходов, соотношение количества завезенных бытовых и промышленных отходов, содержание органической составляющей в отходах, содержание жироподобных, углеводородных и белковых веществ в органической составляющей отходов [1, 2].

Рассмотрим влияние влажности на количество выделяющихся загрязняющих веществ с полигона ТКО. Для расчета используем Методику расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов [3].

Данные для расчета: содержание органической составляющей в отходах:  $R = 55\%$ ; содержание жироподобных веществ в органике отходов:  $Ж = 2\%$ ; содержание углеводородных веществ в органике отходов:  $У = 83\%$ ; содержание белковых веществ в органике отходов:  $Б = 15\%$ . В расчете принято, что время функционирования полигона составляет 20 лет.

В Калужской области, особенно в г. Калуга, проблема утилизации, захоронения и обезвреживания отходов стоит чрезвычайно остро. В 2020 г. на полигон согласно данным [4, 5] ежегодно завозится 576996 т отходов. Были проведены расчеты при изменении влажности отходов от 30 до 60 %.

1. Удельный выход биогаза за период активного выделения определяется по формуле [6]

$$Q = 10^{-4} \cdot R (0,92 Ж + 0,62У + 0,34 Б), \quad (1)$$

где  $Q$  — удельный выход биогаза за период его активной генерации, кг/кг отходов;  $R$  — содержание органической составляющей в отходах, %;  $Ж$  — со-

держание жироподобных веществ в органике отходов, %; У — содержание углеводородных веществ в органике отходов, %; Б — содержание белковых веществ в органике отходов, %.

Уравнение (1) применимо к абсолютно сухому веществу отходов. В реальных условиях отходы содержат определенное количество влаги. Уравнение выхода биогаза при метановом брожении для влажных отходов имеет вид [7, 8]:

$$Q_w = 10^{-6} \cdot R(100 - W)(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б), \quad (2)$$

где множитель  $10^{-2}(100 - W)$  учитывает, какова доля абсолютно сухих отходов, для которых использовано уравнение (1) в общем количестве реальных влажных отходов.

$$\begin{aligned} \text{При } W = 30 \%: Q_w &= 10^{-6} R(100 - W)(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б) = \\ &= 10^{-6} 55 \cdot (100 - 30)(0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,34 \cdot 15) = 0,22484 \text{ кг/кг отходов;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{При } W = 35 \%: Q_w &= 10^{-6} 55 \cdot (100 - 35)(0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,34 \cdot 15) = \\ &= 0,20878 \text{ кг/кг отходов;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{При } W = 40 \%: Q_w &= 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 40) \cdot (0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,34 \cdot 15) = \\ &= 0,19272 \text{ кг/кг отходов;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{При } W = 45 \%: Q_w &= 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 45) \cdot (0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,34 \cdot 15) = \\ &= 0,17666 \text{ кг/кг отходов;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{При } W = 50 \%: Q_w &= 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 50) \cdot (0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,34 \cdot 15) = \\ &= 0,1606 \text{ кг/кг отходов;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{При } W = 55 \%: Q_w &= 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 55) \cdot (0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,34 \cdot 15) = \\ &= 0,14454 \text{ кг/кг отходов;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{При } W = 60 \%: Q_w &= 10^{-6} \cdot 55 \cdot (100 - 60) \cdot (0,92 \cdot 2 + 0,62 \cdot 83 + 0,34 \cdot 15) = \\ &= 0,12848 \text{ кг/кг отходов.} \end{aligned}$$

В результате расчета получена графическая зависимость выхода биогаза от влажности складированных на полигоне отходов, представленная на рисунке.

2. Количественный выход биогаза за год, отнесенный к тонне захороненных отходов определяется по формуле [9]

$$P_{\text{уд}} = \frac{Q_w}{t_{\text{сбр}}} \cdot 10^3. \quad (3)$$

$$\text{При } W = 45 \%: P_{\text{уд}} = \frac{0,17666}{20} \cdot 10^3 = 8,833 \text{ кг/(т отходов в год).}$$

3. Плотность биогаза определяется по формуле

$$\rho_{\text{бг}} = 10^{-6} \sum C_i. \quad (4)$$

## 4. Весовое процентное содержание компонентов:

$$C_{\text{вес } i} = 10^{-4} \frac{C_i}{\rho_{\text{бг}}}. \quad (5)$$

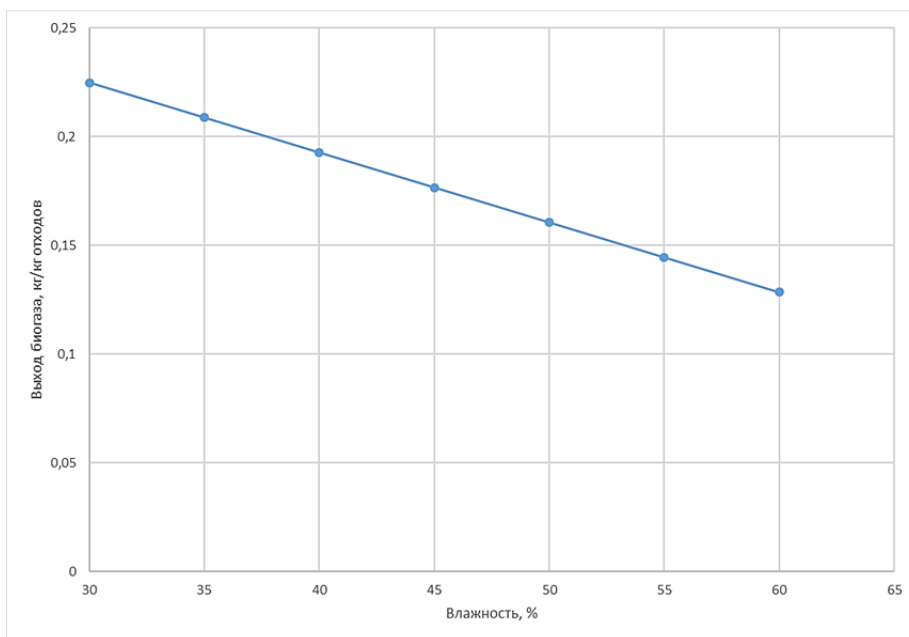


График зависимости выхода биогаза от влажности отходов

Таблица 1

## Плотности и концентрации проб биогаза

Номер	Наименование вещества	$C_i$ , мг/м <sup>3</sup>	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	Метан	660908	0,717
2	Углерода диоксид	558958	1,977
3	Толуол	9029	0,867
4	Аммиак	6659	0,771
5	Ксилол	5530	0,869
6	Углерода оксид	3148	1,250
7	Азота диоксид	1392	1,490
8	Формальдегид	1204	0,815
9	Ангидрид сернистый	878	2,930
10	Этилбензол	1191	0,867
11	Сероводород	326	1,540
Сумма			1249223
$\rho_{\text{бг}}$ , кг/м <sup>3</sup>			1,249

5. Определяем удельные массы компонентов биогаза, выбрасываемые за год:

$$P_{уд i} = \frac{C_{вес i} P_{уд}}{100}. \quad (6)$$

6. При расчете принято, что биогаз вырабатывается из отходов, завезенных на полигон с начала его работы до момента расчета минус два последних года, то есть за 18 лет. Таким образом, суммарное количество биогаза составит  $\Sigma D = 10385928$  т.

7. Суммарный максимальный разовый выброс биогаза полигона:

$$M_{сумм} = \frac{P_{уд} \Sigma D}{86,4 T_{тепл}}; \quad (7)$$

$$M_{сумм} = \frac{8,833 \cdot 10385928}{86,4 \cdot 244} = 4352 \text{ г.}$$

Суммарный максимальный разовый выброс компонентов биогаза:

$$M_i = 0,01 C_{вес i} M_{сумм}. \quad (8)$$

8. Валовые выбросы биогаза, т/год:

$$G_{сумм} = M_{сумм} \left( \frac{5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} \right) \cdot 10^{-6} \text{ т/год}; \quad (9)$$

$$G_{сумм} = 4352 \cdot \left( \frac{5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} + \frac{3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{12} \right) \cdot 10^{-6} = 91496 \text{ т/год.}$$

Валовые выбросы компонентов биогаза:

$$G_i = 0,01 C_{вес i} G_{сумм}. \quad (10)$$

Таблица 2

**Полученные расчетные значения весового процентного содержания, удельные массы, суммарный максимально разовый и валовый выброс компонентов биогаза**

Номер	Наименование вещества	$C_{вес i}$ %	$P_{уд i}$ кг/т отходов в год	$M_i$ г/с	$G_i$ т/г
1	Метан	52,915	4,6740	2302	48410
2	Углерода диоксид	44,752	3,9529	1947	40946
3	Толуол	0,723	0,0639	31,5	688
4	Аммиак	0,533	0,0471	23,2	488

Окончание табл. 2

Номер	Наименование вещества	$C_{\text{вес } i}$ , %	$P_{\text{уд } i}$ кг/т отходов в год	$M_i$ , г/с	$G_i$ , т/г
5	Ксилол	0,443	0,0391	19,3	405
6	Углерода оксид	0,252	0,0223	10,9	230
7	Азота диоксид	0,111	0,0098	4,8	102
8	Формальдегид	0,096	0,0085	4,2	88
9	Ангидрид сернистый	0,070	0,0062	3,0	64
10	Этилбензол	0,095	0,0084	4,1	87
11	Сероводород	0,026	0,0023	1,1	24

**Заключение.** Выполнены расчеты суммарных максимальных разовых и валовых выбросов биогаза полигона, а также основных компонентов биогаза. Результаты исследований служат предпосылкой для установления расчетными методами общего биогазового потенциала полигона, что очень важно для принятия решений по снижению эмиссии биогаза в атмосферу, возможности генерации энергии с использованием нетрадиционных источников (свалочного газа) с применением энергосберегающих энергетических установок в системах дегазации ТКО.

## Литература

- [1] Кожухарь В.Я., Миронов Д.В., Стратулат Е.А. Эмиссия свалочного газа из полигона твердых бытовых отходов Дальнические карьеры. *Труды Одесского политехнического университета*, 2007, № 2, с. 227–231.
- [2] Садчиков А.В. *Дегазация полигонов твердых коммунальных отходов*. Оренбург, СФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», 2017, с. 82–86.
- [3] Волянкина Е.П., Домнин К.И. Математическая модель для прогнозных расчетов образования и извлечения свалочного газа на закрытых свалках ТКО. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*, 2014, № 3 (9), с. 62–69.
- [4] Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу, ФГУП «Федеральный центр благоустройства и обращения с отходами». *Рекомендации по расчету образования биогаза и выбору систем дегазации на полигонах захоронения твердых бытовых отходов*. Москва, 2003, 27 с.
- [5] *О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад*. Москва, Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. 864 с.
- [6] Федеральный закон от 29.12.2022 № 458-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об отходах производства и потребления», отдельные законодательные акты Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных законодательных актов (положений законодательных актов) Российской Федерации». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_172948/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172948/) (дата обращения 01.04.2022).

- [7] Смирнов С.Г., Бушуев Н.Н. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых коммунальных и промышленных отходов. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. URL: <https://e.lanbook.com/book/103298> (дата обращения 01.04.2022).
- [8] Соколов В.Ю., Наумов С.А., Стародубцев Н.А. Методы утилизации твердых бытовых отходов. *Труды VII Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы»*. Оренбург, ООО ИПК «Университет», 2014, с. 70–73.
- [9] Тонкова К.В., Забелина А.В. Экологическое обоснование использования свалочного газа в качестве альтернативного источника энергии. Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО: Пятидесятая научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО. Т. 1, ч. 2. Санкт-Петербург, Национальный исследовательский университет ИТМО, 2021, с. 171–175.

## Study of Methanogenesis in Municipal Solid Waste Landfills

© | Yemelyanova Ya.G.  
Morozenko M.I.

emelianova\_yana00@mail.ru  
morozenko\_mi@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article is devoted to the analysis of the effect of waste moisture on the amount of generated emissions of pollutants entering the atmosphere from landfills of solid municipal waste. Special attention is paid to calculating the amount of emissions of the main components of pollutants that have a negative impact on the environment.*

**Keywords:** *gas emissions, solid municipal waste, humidity, total maximum one-time emissions, gross emissions of landfill biogas*

УДК 631.371

## Способы утилизации отходов животноводства

© | Шарков Иван Павлович

wotwot739@gmail.com

*Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана*

*Рассмотрены образующиеся отходы животноводства и методы их переработки, разработана технологическая схема утилизации отходов. Производство продуктов из отходов животноводства позволяет решить целый ряд взаимосвязанных проблем: безотходная и быстрая утилизация отходов, высвобождение сельскохозяйственных угодий, занятых под лагуны и навозохранилища, восстановление плодородия земельных угодий.*

**Ключевые слова:** отходы, сбраживание, газификация, гранулирование

Продовольственная безопасность является одной из важнейших составляющих определяющих суверенитет любого государства. Динамика производства продукции животноводства в нашей стране показывает последние годы устойчивый рост на уровне десяти процентов в год. На протяжении последних лет Калужская область занимает лидирующие позиции по темпам роста мясо-молочного производства. В период с 2018 года по 2023 год численность крупного рогатого скота увеличилась с 147,8 тыс. голов до 232,4 тыс. Однако отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, являются опасными загрязнителями окружающей природной среды. Они могут создавать напряженную санитарно-гигиеническую обстановку и, в итоге, отрицательно влиять на здоровье населения. Представляют они угрозу и для окружающей среды. Отходы животноводства, особенно жидкие, во время дождей и весеннего паводка смываются в водоемы, приводя к гибели водной флоры и фауны. Отходы содержат в своем составе различные соединения азота, фосфора, калия, серы и других элементов, обладающих высокой токсичностью. Накапливаясь в местах сбросов, они становятся более мобильными и, проникая в воду, разносятся на большие расстояния [1].

В соответствии с Федеральным законом от 14 июля 2022 г. № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» с 1 марта 2023 г. вещества, образующиеся при содержании сельскохозяйственных животных, включая навоз, подстилку, стоки, и используемые в сельскохозяйственном производстве признаны побочным продуктом жизнедеятельности животных. Это означает, что их можно официально вводить в обиход сельскохозяйственных производств, отражать в бухгалтерском и налоговом учете, оформлять на них право собственности и, соответственно, иметь законное право продавать и покупать [2].

В связи с этим на сегодняшний день является актуальным вопрос о переходе на качественно новые технологии производства из отходов животновод-

ства востребованного продукта, способного повысить экономическую эффективность животноводческих комплексов. Этого можно достичь путем активного внедрения малоотходных и безотходных технологий, основанных на использовании в хозяйственном обороте всех сырьевых ресурсов, которые постоянно образуются и накапливаются в хозяйствах [3].

Для успешной переработки отходов животноводства и обеспечения биотехнологического процесса разложения органических составляющих с получением полезной энергии и продуктов применяются в основном: анаэробное сбраживание, термохимическая газификация и гранулирование.

Методом, наиболее отвечающим экологическим, техническим и экономическим требованиям, является анаэробное сбраживание. Эта технология позволяет создать систему замкнутого цикла: растениеводство — корма и пищевые продукты — отходы — анаэробная переработка — растениеводство. По такой схеме сельское хозяйство получает органические удобрения и корма, а производство при полезной утилизации метана — сырье и энергию. Метод анаэробного сбраживания для переработки животноводческих отходов с точки зрения гигиены и охраны окружающей среды является наиболее перспективным, так как обеспечивает более полное обеззараживание остатка и устранение патогенных микроорганизмов. Анаэробная переработка представляет также большой практический интерес, поскольку ускоряет разложение органических отходов животноводства в 10 раз. В результате процесса сбраживания распада подвергаются органические вещества, содержащиеся в навозе, с образованием конечных продуктов в виде смеси метана и углекислого газа. Другими словами, микроскопические бактерии, потребляя органические вещества, содержащиеся в биомассе и биологических отходах, выделяют горючий газ. Но даже при самых благоприятных условиях выделение горючего газа происходит не сразу — сначала нужен процесс ферментации биомассы, разложение которой происходит в несколько этапов за определенные периоды времени. Добавление микроколичеств гидролитических ферментов может многократно ускорить эти процессы.

Термохимическая газификация характеризуется высоким энергопотенциалом. По сравнению с анаэробным сбраживанием термохимическая газификация высвобождает из единицы сырья больше потенциальной энергии. Газификация является процессом высокотемпературной переработки биомассы в газ, называемый генераторным или синтетическим, и золу. Процесс ведут в специальных реакторах (газогенераторах) с ограниченным доступом воздуха. Во время переработки в зоне газификации температура достигает 1500 °С. Мгновенная закалка синтетического газа обеспечивает отсутствие в нем каких-либо токсичных примесей. Благодаря этому, а также удобству применения газа, газификация является гораздо более эффективным и экологически чистым процессом, чем обычное сжигание. Произведенный методом газификации газ может быть использован как обычное топливо, заменяя природный газ, или как топливо для газопоршневых установок, в которых сжигается с получением электрической и тепловой энергии.



Гранулирование отходов животноводства дает возможность создавать органоминеральные гранулы на основе экскрементов сельскохозяйственных животных. Преимущество гранул заключается в удобстве использования, так как отсутствует необходимость в специальных площадках или контейнерах для хранения. Такие гранулы содержат в своем составе до 85 % органических веществ, а также различные соединения азота, фосфора и калия. Опыт зарубежных хозяйств доказывает, что гранулированные удобрения — наиболее эффективный и удобный в практическом применении вид органических удобрений. Они обеспечивают сбалансированную подкормку всех возделываемых сельскохозяйственных культур, создают благоприятные условия для стабильного получения экологически чистой продукции, увеличивают урожайность, улучшают состав и свойства почвы, имеют практически неограниченный срок годности. Технология производства состоит из ряда последовательных операций: разделение навоза на твердую и жидкую фракции; ускоренная ферментация (компостирование) твердой фракции; сушка компостированного сырья до влажности не более 15 % и дробление сухого субпродукта; смешение дробленого субпродукта с минеральными добавками; гранулирование сухой смеси; охлаждение и фасовка.

Проанализировав вышеописанные методы переработки отходов животноводства, можно сделать вывод, что для наибольшей эффективности целесообразно применять сразу несколько методов переработки. Сочетание технологий анаэробного сбраживания и гранулирования позволит решить проблему хранения и использования отработанной биомассы. Для этого после биореактора устанавливается линия гранулирования. Это позволит использовать оставшийся после получения биогаза дигестат для производства органоминеральных гранул. Схема комбинированного метода представлена на рисунке.

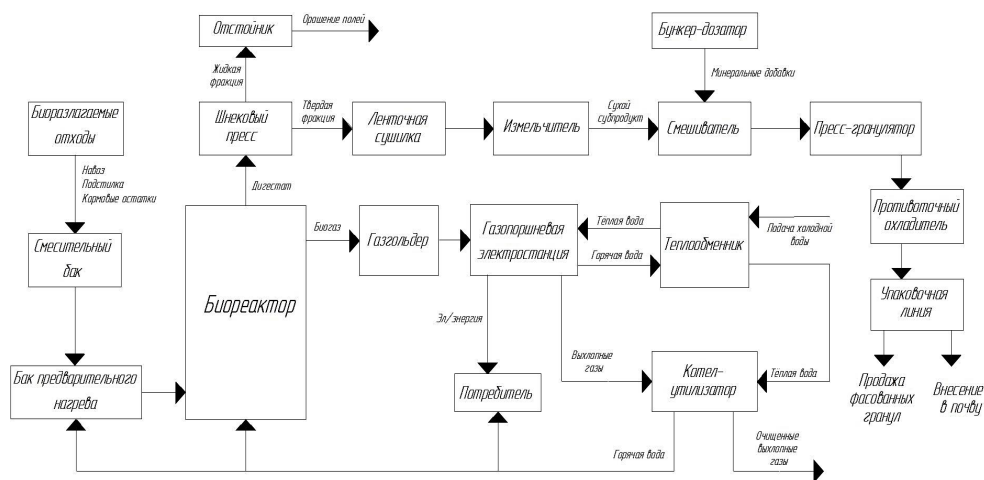


Схема комбинированного метода переработки отходов

Стоимость строительства биогазовой станции для анаэробного сбраживания зависит от ее мощности, вида перерабатываемого сырья, а также от варианта исполнения. Срок окупаемости биогазовой установки также различается, но если учесть установку линии гранулирования, то срок окупаемости может существенно сократиться. Чем больше биогазовая установка, тем выше ее рентабельность и короче сроки окупаемости.

Конструкции биогазовых установок достаточно разнообразны и отличаются главным образом гидравлическим режимом (проточные или периодического наполнения) и способами загрузки (непрерывный или периодический). При непрерывной (проточной) схеме отходы загружаются через определенные промежутки времени (до 10 раз в сутки), удаляя такое же количество сброженной массы. При тщательном соблюдении всех условий сбраживания такая схема позволяет получить максимальный выход биогаза.

Также, важным элементом является система подогрева. Температура в реакторе, наполненном сырьем, должна постоянно поддерживаться на одном уровне — оптимально подходящем для жизнедеятельности анаэробных бактерий. Реакция, возникающая в процессе выработки газа, является экзотермической. Однако если температура воздуха за пределами реактора ниже необходимой температуры для продуктивного функционирования соответствующих бактерий подготовка субстратов нуждается в подогреве. При этом температура не должна выходить за пределы допустимых значений, а прогрев должен осуществляться равномерно, что обеспечивается перемешиванием.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод, что современные технологии и оборудование для переработки и утилизации отходов экономически и технически целесообразны и требуют внедрения в сельскохозяйственное производство. Рассмотренные технологии переработки отходов животноводства позволяют значительно снизить затраты на хранение и вывоз навозных масс, повысить плодородие почв, отказаться от применения химических минеральных удобрений, обеспечить производственные потребности в электрической и тепловой энергии, включая перерабатывающие производства [4].

## Литература

- [1] Власов В.А., Воронов Г.Е. Некоторые теоретические и практические проблемы, возникающие при обращении с жидкими отходами продукции животноводства. Ч 1. *Право и государство: теория и практика*, 2022, № 3 (207), с. 205–209.
- [2] Гузь Л.В., Петров И.Б. Об использовании отходов животноводства при осуществлении экономической деятельности. *Твердые бытовые отходы*, 2021, № 1 (175), с. 56–59.
- [3] Комарова Е.В., Слабунова А.В. Современные проблемы применения отходов животноводства в качестве удобрения: анализ правого поля. *Экология и водное хозяйство*, 2021, т. 3, № 4, С. 27–45.
- [4] Сюняев Н.К. *Комплексная оценка эффективности использования отходов быта и производства в сельском хозяйстве*. Москва, 2015, 253 с.

## Methods of Animal Husbandry Waste Disposal

© | Sharkov I.P.

wotwot739@gmail.com

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Today, the issue of switching to qualitatively new technologies for the production of a sought-after product from animal waste that can increase the economic efficiency of livestock complexes is urgent. This can be achieved through the active introduction of low-waste and non-waste technologies based on the use in economic turnover of all raw materials that are constantly formed and accumulated in farms. The production of products from animal husbandry waste allows us to solve a number of interrelated problems: waste-free and rapid waste disposal, the release of agricultural land occupied for lagoons and manure storage, the restoration of the fertility of land. The resulting animal husbandry waste and methods of its processing, such as: anaerobic digestion, thermochemical gasification, granulation, are considered. Technological schemes of the recycling process with the production of useful energy and the finished product at the output have been developed.*

**Keywords:** *waste, fermentation, gasification, granulation*



***Секция 7. Современные  
технологии в наземных  
транспортно - технологических  
системах***



УДК 631.55

## Прикладные проблемы механики барабана экспериментальной установки для исследования процессов перемещения очесанного вороха

© Иванов Марк Александрович  
Савин Владимир Юрьевич

m19m075@yandex.ru  
savin.study@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*При создании экспериментальной установки для исследования процессов перемещения очесанного вороха необходимо, чтобы параметры данной установки соотносились с параметрами реального объекта в соответствии с законами подобия. Одним из основных параметров исследования и оптимизации в указанном исследовании является скорость воздушного потока в основном канале очесывающего устройства. В соответствии с этим предложено использовать законы подобия вентилятора при пересчете размеров и номинальной частоты вращения барабана экспериментальной установки.*

**Ключевые слова:** уборка зерновых культур, очесывающий барабан, очесывающее устройство, транспортирование очесанной массы

Очесывающий барабан в очесывающем устройстве для уборки зерновых культур выполняет несколько функций. Одна из них — это перемещение очесанной массы к шнеку или другому приемному или транспортирующему устройству. Перемещение барабаном очесанной массы — это швырковопневматическое транспортирование [1]. Работа связки барабан-корпус как вентилятора требует отдельных исследований для оптимизации процессов транспортирования очесанного вороха.

Исследование работы очесывающего барабана как вентилятора предполагает проведение серии экспериментальных исследований. Создание экспериментальной установки часто предполагает масштабирование исследуемого объекта. Масштабирование размеров барабана позволяет оптимизировать массогабаритные характеристики экспериментальной установки, использовать относительно доступные механизмы привода и энергетические установки. При этом целесообразно использовать приводы, позволяющие регулировать частоту вращения очесывающего барабана для нахождения (уточнения) оптимальных режимов его работы. Это позволяет сократить затраты на создание экспериментальной установки и ускорить процесс исследований.

Чтобы корректно интерпретировать результаты, полученные на экспериментальной установке и перенести эти результаты на реальный объект, параметры экспериментальной установки должны соотноситься с параметрами реального объекта в соответствии с законами подобия. Рассмотрим, как будут меняться постоянные и как должны меняться регулируемые параметры экс-

периментальной установки по исследованию аэродинамических процессов в очесывающем устройстве для исключения нарушения подобия установки и реального объекта.

Так как исследуются как параметры связки барабан-корпус как вентилятора так и процессы перемещения очесанной массы под действием воздушного потока, а основным аэродинамическим свойством зерен и других частиц зерновой смеси является скорость витания [2, 3], то одними из основных параметров исследования и оптимизации являются скорость воздушного потока в основном канале очесывающего устройства, зависящая от скорости витания, а так же коэффициент вариации распределения скорости воздушного потока по ширине канала.

Диаметр  $D_2$  и длина  $L_2$  барабана экспериментальной установки, очевидно, уменьшаются по сравнению с диаметром  $D_1$  и длиной  $L_1$  барабана реального очесывающего устройства.

Внутреннее пространство очесывающего адаптера с точки зрения аэродинамических процессов представляет собой совокупность воздухопроводов. Размеры воздухопроводов экспериментальной установки удобно устанавливать по той же пропорции, по которой изменяются диаметр и длина барабана.

Расход воздуха, обеспечиваемый барабаном экспериментальной установки равен

$$Q_2 = V_2 S_2, \quad (1)$$

где  $S_2$  — площадь поперечного сечения канала экспериментальной установки;  $V_2$  — средняя скорость воздуха в соответствующем канале экспериментальной установки.

Согласно законам подобия вентилятора [4] при пересчете вентилятора на другой диаметр имеет место следующее соотношение:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3, \quad (2)$$

где  $Q_1$  — расход воздуха, обеспечиваемый барабаном реального очесывающего устройства.

Уменьшая диаметр барабана, мы получаем расход, равный

$$Q_2 = Q_1 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3. \quad (3)$$

и среднюю скорость потока, равную

$$V_2 = \frac{Q_1}{S_2} \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3. \quad (4)$$

С учетом того, что нам желательно добиться равной скорости в каналах экспериментальной установки и очесывающего устройства при разных диаметрах



барабана и разных поперечных сечения канала, выразим, во-первых, соотношение между указанными скоростями при изменении диаметра барабана.

Введем коэффициент масштабирования  $k$ , тогда размеры каналов экспериментальной установки будут соответствовать следующим соотношениям:

$$a_2 = a_1 k; \quad b_2 = b_1 k; \quad D_2 = D_1 k, \quad (5)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  — высота основного канала очесывающего устройства и экспериментальной установки соответственно;  $b_1$  и  $b_2$  — ширина основного канала очесывающего устройства и экспериментальной установки соответственно.

Тогда

$$V_2 = \frac{Q_1}{a_1 b_1 k^2} \frac{D_1^3 k^3}{D_1^3} = \frac{Q_1 k}{a_1 b_1} = V_1 k. \quad (6)$$

Таким образом, масштабируя диаметр барабана и размеры канала, мы так же масштабируем и скорость воздуха в канале.

Для сохранения скорости воздуха в канале экспериментальной установки на уровне скорости воздуха в очесывающем устройстве нужно изменить частоту вращения барабана экспериментальной установки до частоты, равной  $n_3$ . Соответственно, изменится и расход воздуха. Обозначим его как  $Q_3$ . Выведем необходимое соотношение.

Согласно законам подобия вентилятора [3]

$$\frac{Q_3}{Q_2} = \frac{n_3}{n_1}, \quad (7)$$

где  $n_1$  — частота вращения барабана очесывающего устройства.

Тогда

$$n_3 = \frac{Q_3}{Q_2} n_1. \quad (8)$$

В соответствии с тем, что в канале экспериментальной установки необходимо добиться скорости  $V_1$ , т. е.  $Q_3 = V_1 S_2$  и, исходя из соотношения (6), получаем

$$n_3 = \frac{V_1 S_2}{V_2 S_2} n_1 = \frac{V_2 S_2}{k V_2 S_2} n_1 = \frac{n_1}{k}. \quad (9)$$

Таким образом, уменьшая диаметр барабана и другие размеры экспериментальной установки по сравнению с размерами очесывающего адаптера, например, в два раза получаем коэффициент масштабирования, равный  $k = 1/2$ . При этом для сохранения средней скорости воздуха в канале экспериментальной установки, в соответствие с выражением (9) необходимо частоту вращения барабана экспериментальной установки увеличить в 2 раза.

Использование полученных соотношений позволит выполнить законы подобия вентиляторов, корректно произвести экспериментальные исследова-

ния и полученные результаты использовать при оптимизации режимов работы очесывающего устройства как прицепного, так и в составе комбайна.

### Литература

- [1] Савин В.Ю. К вопросу выбора угла наклона очесывающей гребенки. *Вестник АПК Ставрополья*, 2021, № 2, с. 4–7.
- [2] Красников В.В. *Подъемно-транспортные машины в сельском хозяйстве*. Москва, Колос, 1973, 464 с.
- [3] Тарасенко А.П., Солнцев В.Н., Гребнев В.П. и др. *Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства*. Москва, КолосС, 2004, 552 с.
- [4] Вахвахов Г.Г. *Работа вентиляторов в сети*. Москва, Стройиздат, 1971, 101 с.

## Recalculation of the Cylinder of the Experimental Installation to Study Transportation Processes Combed Heap

© | Ivanov M.A.  
Savin V.Yu.

m19m075@yandex.ru  
savin.study@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*When creating an experimental setup to study the processes of moving combed heaps, it is necessary that the parameters of this setup be correlated with the parameters of a real object in accordance with the laws of similarity. One of the main research and optimization parameters in this study is the air flow speed in the main channel of the rippler. In accordance with this, it is proposed to use the fan similarity laws when recalculating the dimensions and nominal rotation speed of the cylinder of the experimental installation.*

**Keywords:** grain harvesting, stripping cylinder, rippler, transportation of combed heap

УДК 620.22

## К вопросу проектирования квазиуправляемых систем

© | Славкина Екатерина Викторовна  
Астахов Михаил Владимирович

slavkina@bmstu.ru  
mvastahov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены основные преимущества и недостатки применения полимерных композитных материалов для разработки силовых конструкций сельскохозяйственного назначения. Выделено направление проектирования адаптивных систем, способных изменять свои свойства при возникновении аварийных, экстремальных ситуаций. Предложено использовать квазиадаптивную конструкцию, реализованную в виде сэндвич структурированных композитных пластин с наполнителем в виде неньютоновской жидкости, для компенсации ударных воздействий, возникающих при эксплуатации грузов сельскохозяйственного назначения.*

**Ключевые слова:** квазиадаптивная система, полимерные композитные материалы, сельскохозяйственное машиностроение

Широкое применение композитных материалов в машиностроении очевидно и обусловлено резким уменьшением массы и увеличением срока службы конструкций по сравнению с традиционно используемыми стальными деталями, подверженными коррозионному, абразивному и другим видам интенсивного износа. Несмотря на множество преимуществ применения композитов в деталях, узлах и тонкостенных конструкциях агропромышленного комплекса, существенным их недостатком является низкая устойчивость к случайным локальным динамическим воздействиям в виде ударов, воздействующих по нормали к поверхности. Это является причиной таких дефектов, как расслоения, обрывы волокон, проникающие повреждения и др., которые малозаметны в месте удара и приводят к значительному (до 2 раз) падению прочности при сжатии [1].

Однако несмотря на описанные недостатки корпусные детали из композитов не являются инновационными в таких сферах как самолетостроение, ракетостроение, кораблестроение, где ударные нагрузки, сосредоточенные на малой площади, регулярно возникают в процессе эксплуатации. Решением описанной проблем в таких областях стало использование многослойных композитных конструкций. Накопленный опыт их исследования и применения позволил выявить основное преимущество, когда при относительно небольшой массе они обладают высокими характеристиками прочности и жесткости, применяются как силовые элементы, воспринимающие действующую нагрузку. В то же время для компенсации не только эксплуатационных нагрузок, но и прогнозирования последствий аварийных ситуаций, на современном уровне развития техники, проектировщики стремятся к управлению

напряженно-деформированным состоянием систем. Это возможно путем использования адаптивных систем [2–5].

Адаптивные устройства распространены в некоторых отраслях техники, особенно в конструкциях, испытывающих вибрации. В то же время современные управляемые системы не получили широкого распространения в сельскохозяйственных машинах, подвергающихся малоцикловым нагрузкам достаточно большой амплитуды или случайным воздействиям, превышающим максимальную нагрузку, таким как удары. В основном это связано с инерционностью движения данных устройств (медленной реакцией на внешние возмущения). Также, причинами их малой распространенности являются высокая стоимость и сложность изготовления (за счет наличия датчиков, актуаторов и управляющих систем). Таким образом, при проектировании техники сельскохозяйственной отрасли наблюдается некоторая замедленность введения инновационных систем и конструкций, что принято объяснять в том числе повышением цены на продукцию при росте стоимости машин.

Решением описанных проблем может стать применение квазиуправляемых систем, способных менять напряженно-деформированное состояние конструкции за счет изменения свойств материалов, например использования наполнителей одного из слоев многослойной композитной конструкции в виде дилатантных жидкостей. Многослойная конструкция, работающая при нагружении распределенными силами в обычном режиме деформирования согласно закону Гука, а при ударных воздействиях, сосредоточенных на малой площади, резко увеличивает способность сопротивляться разрушению за счет того, что один из слоев, содержащий неньютоновскую жидкость, затвердевает и меняет свои механические характеристики и прочность, поглощая при этом энергию удара и сохраняя конструкцию неповрежденной.

Разработка и проектирование достаточно простой квазиадаптивной конструкции сельскохозяйственного назначения, работающей в стандартном режиме при воздействии статической нагрузки, но способной изменять механические характеристики, свойства и прочность в целом при экстремальном воздействии (например, ударе), позволит повысить надежность техники, эффективно применять инновационные материалы и технологии для нужд отрасли.

## Литература

- [1] Жихарев М.В. *Оценка прочности высоконагруженных пластин из композитных материалов при локальном ударном воздействии*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.02.04. Челябинск, 2019, 18 с.
- [2] Wadhawan Vinod K. *Smart structures: blurring the distinction between the living and the nonliving*. Oxford, Oxford University Press, 2007, 368 p.
- [3] Абовский Н.П. К развитию управляемых конструкций. *Строительство. Известия высших учебных заведений*, 1994, № 11, с. 4–19.
- [4] Славкина Е.В., Астахов М.В. К вопросу повышения эффективности конструкций с помощью адаптивных систем. *Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и разви-*

тие инновационной деятельности в вузе: Всерос. науч.-техн. конф.: матер. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017, с. 159–160.

[5] Волков А.А. Управляемые конструкции. *Вестник МГСУ*, 2009, № 2, с. 194–198.

## On the Issue of Designing Quasi-Controllable Systems

© Slavkina E.V.  
Astakhov M.V.

slavkina@bmstu.ru  
mvastahov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The main advantages and disadvantages of using polymer composite materials for the development of load-bearing structures for agricultural purposes are considered. The direction of designing adaptive systems capable of changing their properties in the event of emergency, extreme situations is highlighted. It is proposed to use a quasi-adaptive design, implemented in the form of sandwich structured composite plates with a filler in the form of a non-Newtonian fluid, to compensate for shock impacts arising during the operation of agricultural loads.*

**Keywords:** *quasi-adaptive system, polymer composite materials, agricultural engineering*

УДК 531.8

## Динамическое исследование исполнительного механизма машинного агрегата, работающего в режиме «пуск-останов»

© Сорокина Ирина Игоревна  
Касымов Никита Дмитриевич

irina.sorokina@bmstu.ru  
kasymovnd@student.bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены особенности работы машинного агрегата в режиме «пуск-останов». Предложен алгоритм, позволяющий решить обратную задачу динамики в рамках заданного режима работы механизма, с указанием возможных вариантов представления полученных результатов. Сделаны выводы о возможности применения предложенного подхода при решении конструкторских задач в рамках обучения. Результаты могут быть использованы при проведении студенческой научно-исследовательской работы, а также для выполнения предварительных расчетов при создании механизмов, работающих в неустановившемся режиме.*

**Ключевые слова:** неустановившийся режим, «пуск-останов», закон движения, управляющие силы

В условиях работы большинства машинных агрегатов возможны три фазы: разгон (разбег), торможение (выбег) — относятся к неустановившимся режимам и установившийся режим, который подразумевает цикличность всех кинематических и динамических параметров. Однако ряд машин в установившемся режиме не работают в принципе. Их исполнительный механизм во время срабатывания переходит из одного положения в другое, не совершая замкнутого повторяющегося кинематического цикла: гидроподъемники и подъемники с телескопическими стрелами, механизмы шасси, манипуляторы, механизмы автоматических дверей и т. д. В начальном и конечном положениях исполнительный орган такого механизма неподвижен. Режим носит название «пуск-останов» и также относится к неустановившимся.

Динамическое исследование различных механизмов при установившемся режиме работы подробно описываются в специальной и общедоступной литературе [1, 2], часто используется при расчетах с целью оптимизации параметров машины [3]. В то время как неустановившемуся режиму работы посвящено немного исследований, как правило специализированных [4, 5]. Учитывая вышесказанное студенты 3 курса сталкиваются с проблемой определения порядка проведения динамического исследования механизмов, работающих в режиме «пуск-останов».

При проектировании машинного агрегата находят параметры движения (закон движения, время срабатывания механизма и пр.) и ряд силовых факторов (методами д'Аламбера или Жуковского). Однако выполнить силовой расчет можно лишь в том случае, если закон движения исполнительного органа машины определен. Динамическое исследование относится к задачам

анализа, при которых геометрические параметры машины заданы, либо могут быть определены на предварительных этапах расчета [6, 7]. Рассмотрим порядок проведения такого исследования.

Во-первых, определение геометрических параметров исследуемой машины — проводится по исходным данным и, обычно, не вызывает значительных трудностей.

Во-вторых, замена существующего механизма динамической моделью. Здесь целесообразно подчеркнуть, что закон движения исполнительного органа (как правило, звена приведения) еще не известен, так как именно он является результатом динамического исследования. В связи с этим студентам предлагается определить передаточные функции (ПФ), так как они не зависят от времени, а являются функциями положения и геометрии механизма. Для этого можно воспользоваться методом замкнутого векторного контура (аналитически с применением любого математического пакета, включая общедоступный excel) или графоаналитическим — план скоростей в вынужденном масштабе.

В-третьих, определение управляющего воздействия по параметрам движения. Этот этап также может выполняться как аналитически, так и с применением графоаналитических методов. С целью выполнения условий начала движения и остановки исполнительного звена в конечном положении, необходимо соответствующим образом выбрать закон изменения движущих или управляющих сил. Вид диаграммы управляющей силы обычно содержится в исходных данных на КП или может быть принят по типовым для данных систем [7]. Следует отметить, что в ряде случаев в системе действуют силы, являющиеся функциями времени. При проведении исследования в этом случае все силы, действующие на механизм, приводятся по отдельности, пользуясь принципом независимости действия сил, а затем результат суммируют.

Определив все вышеизложенные параметры динамической модели и используя уравнение движения машинного агрегата в интегральной форме, находят закон движения как зависимость угловой скорости исполнительного органа машины от его положения в текущий момент времени.

В случае необходимости проведения в дальнейшем силового расчета указанного механизма, проводится дополнительный расчет с использованием дифференциальной формы закона движения исполнительного органа машинного агрегата для определения углового ускорения. Кроме того, применяя методики графического исследования [8] можно определить время быстрого действия (срабатывания) механизма.

Предложенный алгоритм действий, помогает студенту сформировать практические навыки решения задач синтеза и анализа типовых механизмов машинного агрегата (для заданного режима работы); проводить анализ полученных результатов и оформить отчет по результатам выполненной работы.

## Литература

- [1] Кузенков В.В., Самойлова М.В., Тарабарин В.Б. и др.; Тимофеев Г.А. (ред.). *Теория механизмов и машин. Курсовое проектирование*. Москва, Изд-во МГТУ им. Баумана, 2012, 169 с.
- [2] Косенок Б.Б. Обоснование динамически оптимального режима работы основного механизма двигателя внутреннего сгорания. *Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки*, 2010, № 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-dinamicheski-optimalnogo-rezhima-raboty-osnovnogo-mehanizma-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya> (дата обращения 31.10.2023).
- [3] Лобов Н.А. *Динамика передвижения кранов по рельсовому пути*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003, 230 с.
- [4] Бартош П.Р., Селивончик И.Г., Сафонов А.И., Кишкевич П.Н. Динамический расчет гидропривода опрокидывающего механизма платформы самосвала. *Автомобильный транспорт*, 2011, № 29. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamicheskiy-raschet-gidroprivoda-oprokidyvauschego-mehanizma-platformy-samosvala> (дата обращения 31.10.2023).
- [5] Ереско А.С., Ереско С.П. Проектирование и динамический анализ гидроприводных рычажных механизмов. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2012, № 8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-i-dinamicheskiy-analiz-gidroprivodnyh-rychazhnyh-mehanizmov> (дата обращения 31.10.2023).
- [6] Постнов К.М., Чубаров Ф.Л. Совершенствование стрелы телескопического погрузчика JSB 531-70 *Всерос. (национальной) науч.-практ. конф. с междунар. уч., посв. дню основания Российского государственного аграрного университета: тез. докл.* Калуга, ИП Якунина В.А., 2023, с. 45–50.
- [7] Куликова Л.Е., Никишкина А.Б., Сорокина И.И. *Динамическое исследование основного механизма при неустановившемся режиме работы*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 67 с.
- [8] Куликова Л. Е., Сорокина И. И. *Решение задач для проверки остаточных знаний по теории механизмов и механике машин*. Москва, МГТУ им. Баумана, 2013, 116 с.

## Dynamic Study of the Actuator of a Machine Unit Operating in the “Start-Stop” Mode

© Sorokina I.I.  
Kasymov N.D.

irina.sorokina@bmstu.ru  
kasymovnd@student.bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The features of the operation of the machine unit in the “start-stop” mode are considered. An algorithm is proposed that allows solving the inverse problem of dynamics within a given operating mode of the mechanism, indicating possible options for presenting the results obtained. Conclusions are drawn about the possibility of using the proposed approach when solving design problems within the framework of training. The results can be used when conducting student research work, as well as for performing preliminary calculations when designing mechanisms operating in a transient mode*

**Keywords:** *unsteady motion mode, “start-stop”, law of motion, control forces*



УДК 625.768.1

## Тяговый расчет малогабаритной коммунальной техники для различных режимов работы

© Носов Виктор Алексеевич<sup>1</sup> v.nosov@merkatorkaluga.ru  
 Булычев Всеволод Валериевич<sup>2</sup> vbul@bmstu.ru  
 Васильев Андрей Александрович<sup>2</sup> andrei2000was@gmail.com  
 Мнацаканян Татьяна Дмитриевна<sup>2</sup> dtd18km050@student.bmstu.ru

<sup>1</sup> ООО «МЕРКАТОР Калуга»

<sup>2</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Приведена методика расчета сил сопротивления движению колесной машины и крутящего момента, приходящегося на колесо малогабаритной коммунальной техники для всесезонного содержания дорог. По результатам расчета сформулированы требования для подбора электродвигателя.

**Ключевые слова:** коммунальная техника, малогабаритная, подметально-вакуумная машина, электрический привод, тяговый расчет

Целью работы является разработка методики расчета необходимого крутящего момента на колесах с целью подбора электродвигателя.

Для выбора электродвигателя необходимо задаться различными режимами работы коммунальной техники. Маршевый, для перемещения между участками, рабочий, с приведенным в действие навесным оборудованием, и аварийный. Упрощенное описание моделей режимов работы приведено в табл. 1.

Таблица 1

Упрощенное описание моделей режимов работы

№	Время года	Режим	Скорость, км/ч	Привод	Комплектация	Сопротивление оборудования				Масса, кг	Уклон дороги, %
						лотк. щетки	щетка-манипулятор	фронтальная щетка	отвал		
1	любое	марш. <sup>1</sup>	30	п <sup>5</sup>	любая	-	-	-	-	4500	30
2	любое	марш.	40	п	любая	-	-	-	-		0
3	лето	рабоч. <sup>2</sup>	12	4×4 <sup>6</sup>	всесезон	+	+	-	-		30
4	лето	рабоч.	12	4×4	всесезон	+	+	-	-		0
5	зима	рабоч.	12	4×4	зим. № 1	+	-	+	-		0
6	зима	рабоч.	12	4×4	зим. № 2	-	-	-	+		30
7	лето	преп. <sup>3</sup>	1	4×4	всесезон	+	+	-	-		10
8	зима	преп.	1	4×4	зим. № 1	+	-	+	-		10
9	любое	авар. <sup>4</sup>	20	з <sup>7</sup>	любая	-	-	-	-		30
10	любое	авар.	30	з	любая	-	-	-	-		0

Для расчета подводимого момента на колеса необходимо рассчитать не только силы сопротивления качению и уклону, но и аэродинамическую силу сопротивления движению и силу сопротивления, создаваемую оборудованием.

Сила сопротивления движению машины создаваемая работой щеток [1, 2]:

$$W_{\text{щеток}} = (P_{\text{ц}} + n_{\text{к}} P_{\text{к}} + P_{\text{м}}) f_{\text{в}},$$

где  $P_{\text{ц}}$  — вертикальная сила взаимодействия цилиндрической щетки с дорогой, Н;  $P_{\text{к}}$  — вертикальная сила взаимодействия конической щетки с дорогой, Н;  $P_{\text{м}}$  — вертикальная сила взаимодействия щетки-манипулятора с дорогой, Н;  $n_{\text{к}}$  — количество рабочих конических щеток;  $f_{\text{в}}$  — коэффициент трения ворса о дорожное покрытие.

Вертикальная сила взаимодействия цилиндрической щетки с дорогой:

$$P_{\text{ц}} = 0,17 \cdot E J_{\text{ц}} \frac{S_{\text{ц}}^6}{y_{\text{кц}}^8} i_{\text{ц}} \operatorname{acos} \left( \frac{y_{\text{кц}} + R_{\text{б}}}{R} \right),$$

где  $E$  — модуль упругости ворса, МПа;  $J_{\text{ц}}$  — момент инерции поперечного сечения прутка относительно оси, перпендикулярной к плоскости вращения,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  $S_{\text{ц}}$  — длина прутка, м;  $y_{\text{кц}}$  — расстояние между ободом и горизонтальной поверхностью дороги, м;  $i_{\text{ц}}$  — общее число ворса цилиндрической щетки, ед;  $R$  — радиус цилиндрической щетки, м;  $R_{\text{б}}$  — радиус барабан, м.

Вертикальная сила взаимодействия конической щетки с дорогой:

$$P_{\text{к}} = 0,65 P_i i_{\text{к}},$$

где  $P_i$  — вертикальная реакция, действующая на один пруток, Н;  $i_{\text{к}}$  — количество ворса щетки, ед.

Суммарное тяговое сопротивление, возникающее при работе отвалом [3]:

$$W_{\text{отвала}} = W_{\text{р}} + W_{\text{пр}} + W_{\text{ин}} + W_{\text{пер}} + W_{\text{под}} + W_{\text{тр}},$$

где  $W_{\text{р}}$  — сопротивление снега резанию, Н;  $W_{\text{пр}}$  — сопротивление, возникающее в результате трения призмы волочения о поверхность снежного массива перед отвалом, Н;  $W_{\text{ин}}$  — проекция нормальной составляющей инерционного сопротивления, Н;  $W_{\text{пер}}$  — сопротивление перемещению призмы волочения вдоль отвала, Н;  $W_{\text{под}}$  — суммарное сопротивление, затрачиваемое на подъем вырезаемой стружки, Н;  $W_{\text{тр}}$  — сопротивление перемещению отвала по заснеженной поверхности покрытия, Н.

Работая в парковых зонах, технике требуется преодолевать препятствия.

Достаточный для преодоления барьерного препятствия крутящий момент [4]:

$$M_k = \frac{P_z \Phi_{\text{уст}} (r_{\text{св}} - h_{z_{\text{уст}}})}{\cos \alpha_{\text{уст}} + \Phi_{\text{уст}} \sin \alpha_{\text{уст}}},$$

где  $P_z$  — нормальная сила, Н;  $\Phi_{\text{уст}}$  — коэффициент сцепления шины с уступом;  $r_{\text{св}}$  — свободный радиус колеса, м;  $h_{z_{\text{уст}}}$  — радиальная деформация шины на уступе, м;  $\alpha_{\text{уст}}$  — угол уступа.

Результаты расчета представим в виде таблицы (табл. 2).

Таблица 2

**Значение сил и моментов, действующих на разных режимах движения**

№	Сила сопротивления качению, Н	Сила сопротивления польему, Н	Аэродинамическая сила сопротивления, Н	Вертикальная сила взаимодействия конической шетки с дорогой, Н	Вертикальная сила взаимодействия манипулятора с дорогой, Н	Вертикальная сила взаимодействия цилиндрической шетки с дорогой, Н	Сопротивление движению машины, создаваемая отвалом, Н	Общее сопротивление движению, Н	Момент на ведущих колесах, Н · м	Сила инерции при трогании, Н	Общее сопротивление движению при трогании, Н	Момент на ведущих колесах при трогании, Н · м	Сила сцепления, Н	Максимально возможный момент сцепления, Н · м
1	1269	12686	24	0	0	0	0	13977	4450	1260	15078	4841	8752	2787
2	1324	0	43	0	0	0	0	1367	435		2449	820	13243	4217
3	846	12686	4	983	373	0	0	14890	4741		16011	5138	31712	10097
4	883	0	4	983	373	0	0	2242	714		3499	1111	33109	10542
5	1324	0	4	983	0	810	0	3120	994		4241	1391	26487	8433
6	1268	12686	4	0	0	0	2322	16280	5183		16871	5412	25369	8077
7	879	4400	0	0	0	0	0	5279	2474		6404	2872	32944	10489
8	1318	4400	0	0			0	5718	2979		6978	3377	26355	8391
9	1268	12686	11	0	0	0	0	13964	4446		15214	4841	16617	5291
10	1324	0	11	0	0	0	0	1335	425		2584	820	13243	4217

Наиболее энергозатратным является аварийное движение машины на тяге двигателя задней оси в любое время года в маршевом режиме.

Тогда для расчета требуемой мощности на колесах одного моста примем  $M = 4841 \text{ Н} \cdot \text{м}$ :

$$N = M\omega_k,$$

где  $M$  — максимальный крутящий момент,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;  $\omega_k$  — частота вращения колес,  $\text{с}^{-1}$ ,

$$N = 4841 \cdot 5,55 = 26877 \text{ Вт} \approx 27 \text{ кВт}.$$

Таким образом, на два моста электрофицированной малогабаритной техники необходима мощность 54 кВт.

### Литература

- [1] Ксеневич И.П. (ред.), Волков Л.А., Карасев Г.Н. и др. *Строительные, дорожные и коммунальные машины. Оборудование для производства строительных материалов. Т. IV-9.* Москва, 2005, 736 с.
- [2] Баловнев В.И., Данилов Р.Г., Северстов Н.Д., Кустарев Г.В. *Подметально-уборочные машины. Устройство, основы расчета.* Москва, МАДИ, 2016, 144 с.
- [3] Павлов С.А., Погонина А.М. *Техника и технология содержания аэродромов в зимний период.* Москва, МАДИ, 2021, 246 с.
- [4] Ларин В.В. *Теория движения полноприводных колесных машин.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 391 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/106433> (дата обращения 12.09.2023).

## Traction Calculation of Small-Sized Municipal Equipment for Various Operating Modes

© Nosov V.A.<sup>1</sup>

Bulychev V.V.<sup>2</sup>

Vasiliev A.A.<sup>2</sup>

Mnatsakanyan T.D.<sup>2</sup>

v.nosov@merkatorkaluga.ru

vvbul@bmstu.ru

andrei2000was@gmail.com

dtd18km050@student.bmstu.ru

<sup>1</sup> MERCATOR Kaluga LLC

<sup>2</sup> Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*The article provides a method for calculating the resistance forces to the movement of a wheeled vehicle and the torque per wheel of small-sized municipal equipment for the summer cleaning mode using conical and cylindrical brushes, as well as a manipulator brush, and for the winter cleaning mode using a blade. Based on the calculation results, the requirements for selecting an electric motor are formulated.*

**Keywords:** municipal equipment, small-sized sweeper-vacuum machine, machine drive, traction calculation

УДК 625.768.1

## Эргономический анализ интерьера малагабаритной коммунальной техники

© Носов Виктор Алексеевич<sup>1</sup>  
Голубина Светлана Александровна  
Васильев Андрей Александрович<sup>2</sup>  
Мнацаканян Татьяна Дмитриевна<sup>2</sup>

v.nosov@merkatorkaluga.ru  
golubinas@bmstu.ru  
andrei2000was@gmail.com  
dtd18km050@student.bmstu.ru

<sup>1</sup> ООО «МЕРКАТОР Калуга»

<sup>2</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрено расположение основных органов управления малагабаритной коммунальной техники. Проведен анализ эргономических решений, намечены пути совершенствования рабочей зоны водителя-оператора.*

**Ключевые слова:** коммунальная техника, малагабаритная, подметально-вакуумная машина, эргономика

Специфика работы оператора малагабаритной коммунальной техники заключается в необходимости использовать большое количество механизированных систем и различных сценариев работы, что задает высокие требования к качеству обитаемости, эргономичности, технологичности и эстетической привлекательности. Таким образом, кабина должна обеспечивать выполнение следующих основных требований:

- безопасность оператора;
- хорошая обзорность;
- современный внешний вид;
- технологичность конструкции в производстве [1].

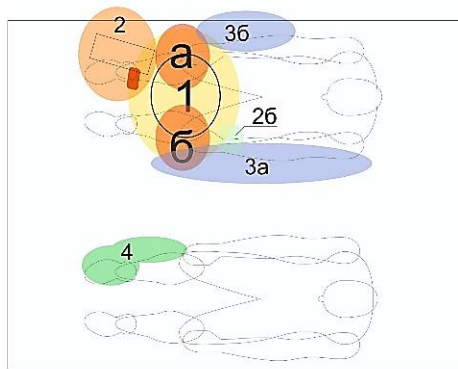
Для проектирования оптимального экстерьера и интерьера малагабаритной коммунальной техники необходимо провести анализ эргономических решений; анализ сценариев пользователя; анализ дизайн решений интерьера [2].

Одним из наиболее существенных критериев в повышении эффективности деятельности водителей является оптимизация параметров рабочего места водителя автотранспортного средства [3].

Интерьер прототипа вакуумно-подметальной машины [4] построен по принципу индивидуального рабочего места с ориентацией всех органов управления на водителя — оператора транспортного средства. Оператор располагается справа по ходу движения транспортного средства. Такое расположение связано прежде всего с спецификой работы, необходимостью видеть зону тротуара при работе. Слева от оператора расположено дополнительное пассажирское место.

Компоновка интерьера транспортного средства предполагает наличие двух человек в кабине, водителя и пассажира (сменщика, инструктора). Во-

датель — оператор располагается справа по ходу движения машины. Оператор имеет доступ к следующим органам управления и зонам (см. рисунок).



Органы управления в компоновке интерьера

*Зона 1.* Руль направления движением. Его особенности, применение дополнительной поворотной ручки для уменьшения нагрузки на водителя при операциях быстрой смены направления движения, также ручка позволяет снизить моторную нагрузку на оператора машины. Под рулем расположены две клавиши, аварийной остановки и режима хода. На рулевой колонке под рулем расположены дополнительные органы взаимодействия, а именно двухпозиционные переключатель режимов рабочий\транспортный

*Зона 2.* Стандартные органы управления движением состоят из педали газа и тормоза, педаль газа напольная, расположена под углом к водителю, фактически двойного действия, при отпущенной педали газа происходит торможение транспортного средства. Педаль тормоза длинноходная, расположена под углом к водителю, применяется при остановке на уклонах. Педаль расположена слева от педали газа.

*Зона 1а.* Система выбора направления движения расположена справа от руля на рулевой колонке. Представлена трехпозиционным джойстиком.

*Зона 1б.* Система управления светом расположена слева от места водителя и представлена трехпозиционным джойстиком.

Вспомогательные органы управления расположены слева (зона 3а) и справа (зона 3б) от водителя-оператора и представлены справа неподвижным джойстиком с кнопками управления манипулятором передних щеток и блоком управления служебными функциями.

Зона 3а представлена кранами управления системой пылеподавления, а также пультом управления климатической установкой. Управление системой пылеподавления происходит за счет поворота кранов. Система управления климатической установкой состоит из двух ограниченных по углу поворота рукояток, ближняя отвечает за температуру подачи воздуха, дальняя — за мощность вентиляторов обдува.

Таким образом, большинство органов управления расположены неоптимально, не учитывают сценарии использования, допускаются перекрестные сценарии пользования, что может привести к ошибкам ввиду высокой утомляемости оператора.

В процессе движения, при необходимости оперативно перебросить правую ногу с педали газа на педаль тормоза происходит задевание правого края педали тормоза, что может привести к аварии. Траектория движения педали тормоза не оптимальна, что приводит к повышенной утомляемости и травмоопасности оператора, не обеспечивается ассоциативное восприятие педали тормоза.

Несмотря на верное с эргономической точки зрения расположение кнопок на джойстике рекомендуется обеспечить джойстик подвижностью, уменьшить объем кнопочного управления и произвести переход на интуитивные решения.

## Литература

- [1] Гуськов В.В., Бойков В.П., Клютко Д.В., Кухаренок Л.В. *Многоцелевые гусеничные и колесные машины. Эргономика и дизайн*. Минск, Новое знание, 2014, 350 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/64777> (дата обращения 07.11.2023).
- [2] Манухина С.Ю. *Инженерная психология и эргономика: хрестоматия*. Москва, ЕАОИ, 2009, 224 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/126322> (дата обращения 07.11.2023).
- [3] Кипень Т.В., Короткий В.С., Кочетов С.И., Харитончик С.В. Оптимизация параметров рабочего места водителя транспортного средства. *Механика машин, механизмов и материалов*, 2011, № 2 (15), с. 39–42.
- [4] *Вакуумная коммунальная машина ВКМ 2020*. URL: <https://merkatorgroup.ru/equipment/dorozhno-kommunalnaya-tekhnika/podmetalnye-mashiny-i-oborudovanie/samokhodnaya-podmetalno-vakuumnaya-mashina-vkm-2020/> (дата обращения 11.10.2023).

## Ergonomic Analysis of the Interior of Small-Sized Utility Vehicles

© | Nosov V.A.<sup>1</sup>  
 Golubina S.A.  
 Vasiliev A.A.<sup>2</sup>  
 Mnatsakanyan T.D.<sup>2</sup>

v.nosov@merkatorkaluga.ru  
 golubinasa@bmstu.ru  
 andrei2000was@gmail.com  
 dtd18km050@student.bmstu.ru

<sup>1</sup> MERCATOR Kaluga LLC

<sup>2</sup> Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*The article considers the location of the main controls of small-sized municipal equipment. The analysis of ergonomic solutions is carried out, ways of improving the driver-operator working area are outlined.*

**Keywords:** *utility equipment, small-sized, vacuum sweeper, ergonomics*

УДК 631.354.2

## Выбор угла установки гребенок очесывающего барабана при работе его как элемента вентилятора

© | Иванов Марк Александрович  
Савин Владимир Юрьевич

m19m075@yandex.ru  
savin.study@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены функции, выполняемые барабаном жатки очесывающего типа. Акцентировано внимание на возможности использования очесывающего барабана как элемента пневмотранспортной установки. Проанализировано влияние угла наклона очесывающей гребенки на напор, создаваемый барабаном. Построены треугольники скоростей на выходе для гребенок, отогнутых назад и отогнутых вперед. Сделаны выводы об увеличении полного напора и доли скоростного напора в полном напоре при использовании гребенок, отогнутых вперед.*

**Ключевые слова:** уборка зерновых культур, очесывающий барабан, очесывающее устройство, угол установки гребенки

Вентиляторы широко используются в сельскохозяйственных машинах и являются неотъемлемой составляющей устройств очистки зерноуборочных комбайнов, воздушных систем зерноочистительных машин, используются для нагнетания воздуха в сушилках, для транспортирования зерна, сена, соломы и т. д. В большинстве случаев эти вентиляторы являются классическими центробежными и осевыми вентиляторами, которые рассчитываются по стандартным методикам. В то же время в очесывающих жатках зерноуборочных комбайнов происходит процесс швырково-пневматического транспортирования. Здесь гребенки очесывающего барабана выполняют несколько функций. Наряду с собственно очесом они работают как лопасти метателя и как лопасти вентилятора.

В целом конструкции очесывающих жаток не предусматривают использование полезной работы, совершаемой очесывающим барабаном как вентилятором. В то же время, использование очесывающего барабана в данном качестве ведет к наиболее полному использованию подводимой к нему механической энергии.

Рассмотрим особенности очесывающего устройства как вентилятора. Вентилятором здесь будем называть очесывающий барабан с кожухом или очесывающий барабан с кожухом и направляющими щитками. При этом для краткости ниже будем условно говорить об очесывающем барабане как о вентиляторе.

Проанализировав классификацию и конструкции вентиляторов, представленную в работах [1, 2] можно отметить лишь частичное сходство рассматриваемого вентилятора с центробежными пылевыми вентиляторами. По-



этому использовать стандартную методику расчета для очесывающего барабана как вентилятора не представляется возможным. В то же время отдельные теоретические и практические положения могут позволить проанализировать и предложить направления оптимизации конструкции для получения требуемых характеристик и повышения КПД очесывающего барабана как вентилятора.

Необходимо отметить, что существуют различные конструкции очесывающих барабанов с различными формами гребенок. Рассматривая гребенку как лопасть вентилятора необходимо проанализировать влияние формы и угла наклона гребенки на напор, создаваемый очесывающим барабаном. В соответствии с уравнением Эйлера окружная составляющая скорости воздуха на выходе рабочего колеса определяет напор вентилятора [2, 3].

Проанализируем влияние угла установки гребенки на напор, создаваемый очесывающим барабаном. Для этого построим треугольники скоростей на выходе из барабана. При построении треугольников скоростей примем допущение о бесконечном числе лопастей.

Окружная скорость барабана на выходе равна

$$U = \omega R, \quad (1)$$

где  $\omega$  — угловая скорость барабана;  $R$  — наружный диаметр барабана.

Меридиональная скорость воздуха  $V_m$  на выходе из барабана зависит от радиуса барабана, ширины канала барабана, коэффициента стеснения на выходе из барабана, объемного КПД барабана как вентилятора.

Рассмотрим два характерных случая установки гребенок барабана. В первом случае примем, что лопасти отклонены назад на угол  $20^\circ$ . При этом исходим из того, что угол наклона лопастей  $\beta$  отсчитывается от отрицательного направления переносной скорости воздуха [3]. С учетом этого данный угол для первого случая будет равен  $\beta_1 = 70^\circ$ .

Второй случай предполагает установку гребенок, наклоненных вперед на те же  $20^\circ$ . При этом  $\beta_2 = 110^\circ$ .

Треугольник скоростей для первого случая приведен на рис. 1, а для второго случая — на рис. 2. На рисунках:  $W_1$  и  $W_2$  — скорости воздуха относительно барабана для первого и второго случаев;  $V_1$  и  $V_2$  — абсолютные скорости воздуха для первого и второго случаев.

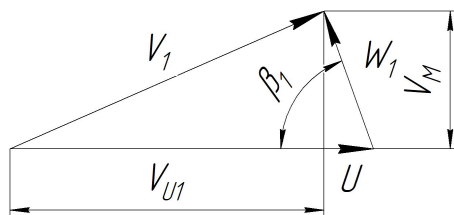


Рис. 1. Треугольник скоростей на выходе для гребенки, отогнутой назад

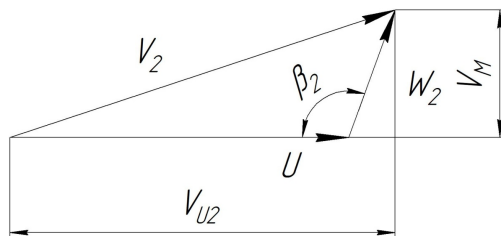


Рис. 2. Треугольник скоростей на выходе для гребенки, отогнутой вперед

Согласно построенным треугольникам скоростей при увеличении угла  $\beta$  окружная составляющая абсолютной скорости возрастает от величины  $V_{U1}$  к величине  $V_{U2}$ . Из треугольника скоростей, изображенного на рис. 1 видно, что

$$V_{U1} = U - V_m \operatorname{ctg} \beta_1. \quad (2)$$

При этом, согласно уравнению Эйлера [2, 3], увеличивается и напор.

Если анализировать изменение полного напора и динамического напора, можно отметить следующее. Увеличение угла  $\beta$  дает нам, согласно уравнению Эйлера [2, 3], линейное увеличение теоретического напора. В то же время, динамический напор  $H_{\text{дин}}$  увеличивается квадратично. Таким образом, в результате увеличения угла  $\beta$  растет доля динамического или скоростного напора в общем напоре.

Угол установки гребенок очесывающего барабана играет важнейшую роль при оптимизации как процесса непосредственно очеса растений, процессов перемещения очесанной массы по гребенке так и процессов швыркового транспортирования очесанной массы [4]. В то же время проведенный анализ позволяет нам отметить важнейшую роль угла установки гребенки при использовании барабана в связке с кожухом и направляющими щитками как вентилятора. С точки зрения пневматического транспортирования очесанной массы более выгодным является использование гребенок, отогнутых вперед.

## Литература

- [1] Черкасский В.М., Романова Т.М., Крауль Р.А. *Насосы, компрессоры, вентиляторы*. Москва, Госэнергоиздат, 1962, 264 с.
- [2] Брук А.Д., Матикашвили Т.И., Невельсон М.И. и др. *Центробежные вентиляторы*. Москва, Машиностроение, 1975, 416 с.
- [3] Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. *Гидравлика, гидромашины и гидроприводы*. Москва, Машиностроение, 1982, 432 с.
- [4] Савин В.Ю. К выбору профиля гребенки очесывающего барабана. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 2019, № 1, с. 67–72.

## Choosing the Installation Angle of the Stripping Fingers of Cylinder when Operating as a Fan Element

© | Ivanov M.A.  
Savin V.Yu.

m19m075@yandex.ru  
savin.study@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The functions performed by the cylinder of a stripper type header are considered. Attention is focused on the possibility of using a stripping cylinder as an element of a pneumatic conveying installation. The influence of the angle of inclination of the stripping fingers on the pressure created by the drum is analyzed. Triangles of output velocities were constructed for stripping fingers bent back and bent forward. Conclusions are drawn about an increase in the total pressure and the proportion of the velocity pressure in the total pressure when using stripping fingers bent forward.*

**Keywords:** *grain harvesting, stripping cylinder, rippler, stripping fingers angle*

УДК 629.038

## Исследование трансмиссии трактора с раздаточной коробкой. Определение основных параметров трансмиссии

© Крупнов Дмитрий Андреевич

Нахабин Иван Игоревич

Иванов Роман Юрьевич

Сидоров Владимир Николаевич

krupnovda@student.bmstu.ru

nakhabinii@student.bmstu.ru

ivanovryu1@student.bmstu.ru

sidorov-kaluga@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Представлено исследование разгона трактора с колесной формулой 4×4 и раздаточной коробкой до установившегося движения. Предложены математическая и имитационная модели трактора с колесной формулой 4×4 и раздаточной коробкой, позволяющие изучить динамику разгона трактора.

**Ключевые слова:** трактор, математическая модель, схема

В данной статье рассматривается имитационная модель трактора при движении по асфальтированной дороге, составленная в среде Simylink. Имитационная модель включает в себя следующие блоки: четыре блока определения момента сопротивления для каждого колеса, блока трансмиссии и блока двигателя внутреннего сгорания [1].

Общий вид блок-схемы исследования трансмиссии трактора с раздаточной коробкой представлен на рис. 1. Блок определения моментов сопротивления на колесе составлен (рис. 2) на основе формулы [2, 3]:

$$M_c = f_0(1 + V_c^2 / 1500)r_k m_k \cdot 9,81 \cos \alpha + r_k k_w S V_c^2 \cdot 0,25,$$

где  $f_0$  — коэффициент сопротивления качению;  $V_c$  — скорость трактора;  $r_k$  — радиус колеса;  $m_k$  — масса колеса;  $\alpha$  — угол уклона;  $k_w$  — коэффициент обтекаемости автомобиля;  $S$  — лобовая площадь автомобиля.

Блок трансмиссии составлен (рис. 3) на основе системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{к1} \dot{\omega}_{к1} = \frac{M_{сц}}{2} i_{ГП1} i_{КП} \cdot 0,68; \quad J_{к2} \dot{\omega}_{к2} = \frac{M_{сц}}{2} i_{ГП2} i_{КП} \cdot 0,32; \\ J_{к1} \dot{\omega}_{кк1} = \frac{M_{сц}}{2} i_{ГП1} i_{КП} \cdot 0,68; \quad J_{к2} \dot{\omega}_{кк2} = \frac{M_{сц}}{2} i_{ГП2} i_{КП} \cdot 0,32; \\ \dot{\omega}_{дв} = \frac{\dot{\omega}_{13} + \dot{\omega}_{24}}{2} i_{КП} = \\ = \frac{\dot{\omega}_1 \cdot 0,68 i_{КП} i_{ГП1}}{4} + \frac{\dot{\omega}_3 \cdot 0,68 i_{КП} i_{ГП1}}{4} + \frac{\dot{\omega}_2 \cdot 0,68 i_{КП} i_{ГП1}}{4} + \frac{\dot{\omega}_4 \cdot 0,68 i_{КП} i_{ГП1}}{4}; \\ J_{дв} \dot{\omega}_{дв} = M_c - M_{сц}, \end{array} \right.$$

где  $J_k$  — момент инерции колеса;  $J_{дв}$  — момент инерции двигателя;  $\dot{\omega}_{ki}$  — угловое ускорение вращения  $i$ -го колеса;  $\dot{\omega}_{кд}$  — угловое ускорение вращения вала двигателя;  $i_{кп}$ ,  $i_{гп}$  — передаточное число коробки передач и главной передачи соответственно;  $M_c$ ,  $M_{сц}$  — крутящий момент сопротивления и на сцеплении соответственно.

Решения данной системы уравнений производим матричным способом в блоке Matrix of dif. Equations [4].

Исследуя составленную модель в среде Simulink были определены частоты вращения передних и задних колес (рис. 4), момент на валу муфты сцепления, скорость движения трактора (рис. 5) и моменты сопротивления на переднем и заднем колесах (рис. 3).

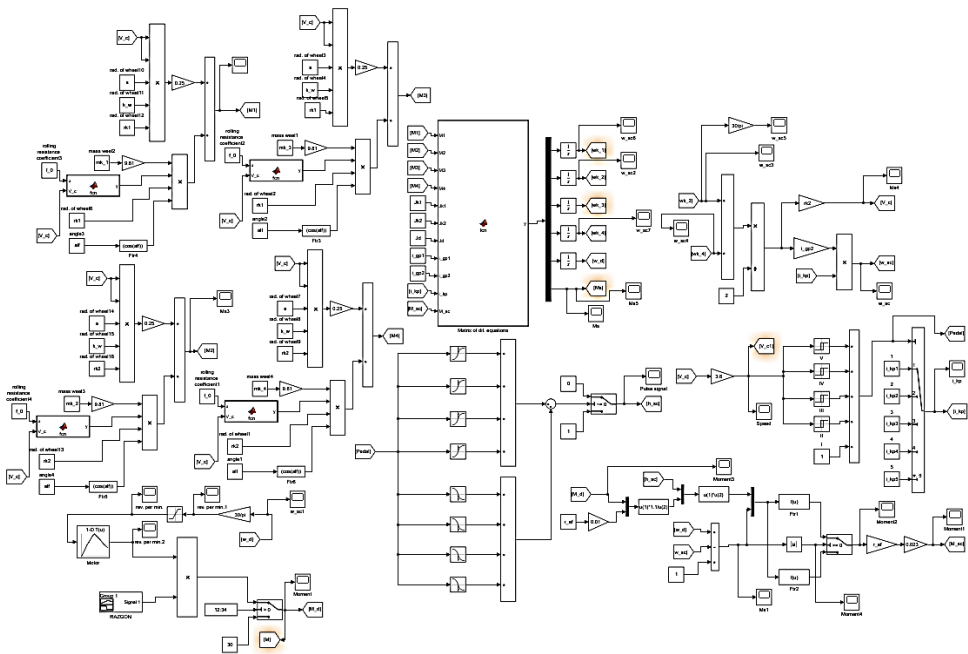


Рис. 1. Общий вид блок-схемы исследования трансмиссии трактора с раздаточной коробкой

На рис. 3 видно, что моменты сопротивления достигают на 300 с на передних колесах  $56 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , а на задних —  $109 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . На рис. 4 видно, что частота вращения передних колес достигает 295 об/мин, а задних колес 151 об/мин. Исходя из рисунка 5 за 300с трактор развивает скорость, равную 48 км/ч. Имитационная модель позволила изучить динамику разгона тарктора и определить значения моментов сопротивления на колесах и частоты их вращения при установившемся режиме на скорости 48 км/ч.

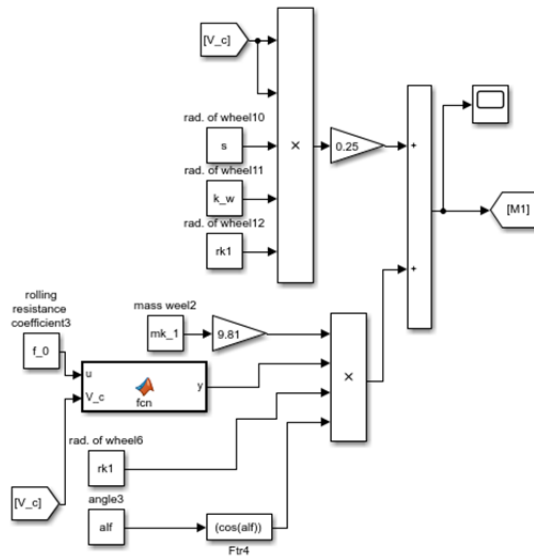


Рис. 2. Блок-схема определения момента сопротивления

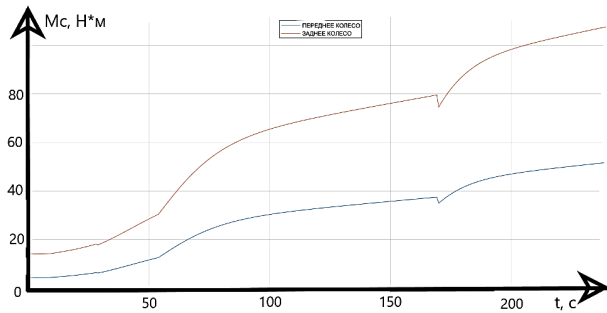


Рис. 3. Момент сопротивления на переднем и заднем колесе

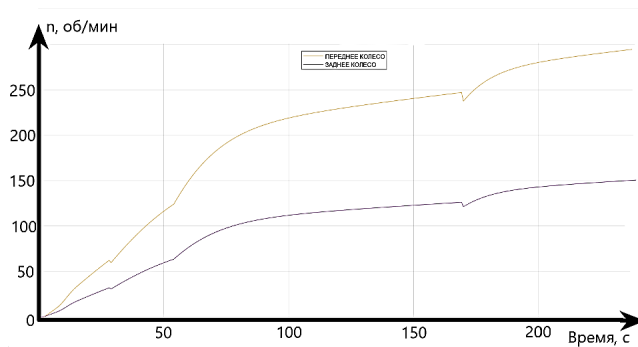


Рис. 4. Частота вращения передних и задних колес

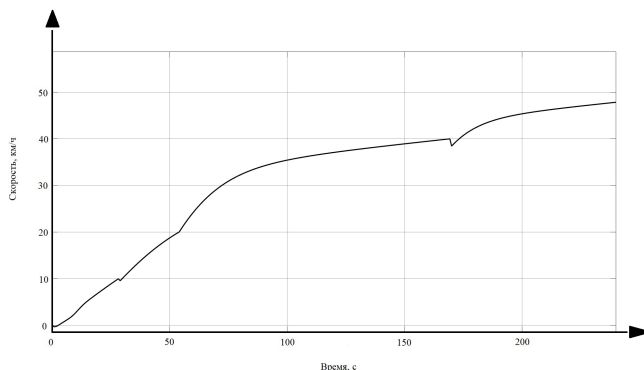


Рис. 5. Развиваемая трактором скорость

## Литература

- [1] Дьяконов В.П. *Simulink 5/6/7: самоучитель*. Москва, ДМК Пресс, 2008, 784 с.
- [2] Жилейкин М.М., Котиев Г.О. *Моделирование систем транспортных средств*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 292 с.
- [3] Жилейкин М.М. *Моделирование систем транспортных средств*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, 100 с.
- [4] Михайлов В.Г. *Компьютерное и имитационное моделирование автомобиля*. Минск, 2020, 315 с.

## Recalculation of the Cylinder of the Experimental Installation to Study Transportation Processes Combed Heap

© Krupnov D.A.  
Nahabin I.I.  
Ivanov R.U.  
Sidorov V.N.

krupnovda@student.bmstu.ru  
nakhabinii@student.bmstu.ru  
ivanovryu1@student.bmstu.ru  
sidorov-kaluga@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The paper presents a study of the acceleration of a tractor with a 4x4 wheel formula and a transfer case to steady motion. Mathematical and simulation models of a tractor with a 4x4 wheel formula and a transfer case are proposed to study the dynamics of tractor acceleration.*

**Keywords:** tractor, mathematical model, diagram

УДК 629.1

## Расчет и моделирование изменения угла крена автомобиля

© Сидоров Владимир Николаевич  
Фомин Вадим Игоревич

sidorov-kaluga@yandex.ru  
fominvi@student.bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены составление имитационной модели системы адаптивного регулирования давления в шинах в среде MathLab Simulink; определение оптимальных параметров управления системой, которые позволяют достигать минимального угла увода колес при сохранении устойчивости по опрокидыванию при поперечном угле поверхности близком к критическому; разработка имитационной модели расчета коэффициента опрокидывания автомобиля и измерения величины бокового увода колес.*

**Ключевые слова:** угол увода колес, изменение угла крена, коэффициент опрокидывания

Устойчивость автомобиля определяется поперечным углом крена. Чтобы найти угол поперечного крена  $\varphi$ , нам необходимо найти параметры шины — радиальную  $C_r$  и боковую жесткость  $C_b$ . Радиальная жесткость, Н · м, определяется по следующей зависимости [1, 2]:

$$C_r = p_w \pi \sqrt{DB_{ш}}, \quad (1)$$

где  $D$  — диаметр колеса;  $B_{ш}$  — ширина шины.

Боковая жесткость шины, Н · м, определяется через радиальную, зависимостью

$$C_b = 0,6C_r, \quad (2)$$

Исходя из рассчитанных характеристик жесткости шин и рассчитанных ранее характеристик опрокидывания, найдем смещение плеча  $G_{\text{полн. пер}} \cos \alpha$  по формуле

$$\Delta = \frac{G_{\text{полн. пер}} \sin \alpha + P_I}{\sum_1^m C_b}, \quad (3)$$

где  $P_I$  — сила, приложенная к ЦМ от действия инерционного момента;  $\sum_1^n C_b$  — суммарная боковая жесткость всех шин автомобиля.

Значение угла крена автомобиля, рад, можно рассчитать следующим образом:

$$\varphi = \frac{M_I + M_G}{C_\varphi - G_{\text{подр. пер}} \cos \alpha \cdot H_{\text{ЦМ}}}. \quad (4)$$



Момент, создаваемый силой тяжести за счет угла поперечного уклона, Н · м:

$$M_G = G_{\text{полн пер}} H_{\text{ЦМ}} \sin \alpha. \quad (5)$$

Момент, создаваемый силой инерции от поперечно-угловых колебаний, Н · м, можно вычислить как

$$M_I = \frac{G_{\text{полн пер}}}{g} \sigma_z H_{\text{ЦМ}}, \quad (6)$$

где  $\sigma_z$  — среднеквадратичное значение боковых ускорений ЦМ при движении. Примем  $\sigma_z = 0,6$ .

$\Delta$  — смещение плеча силы  $G_{\text{полн пер}} \cos \alpha$  за счет боковой деформации шин;  $G_{\text{подр пер}}$  — вес подрессоренной части автомобиля.

С учетом описанных выше зависимостей можно записать следующее выражение, для определения коэффициента опрокидывания К:

$$K = \frac{[G_{\text{полн пер}} (0,5B - \Delta) - G_{\text{подр пер}} H_{\text{ЦМ}} \sin \varphi] \cos \alpha}{M_I + M_G}. \quad (8)$$

В среде MATLAB Simulink [3] были составлены имитационные модели по определению угла крена (рис. 1) и коэффициенту опрокидывания автомобиля (рис. 2).

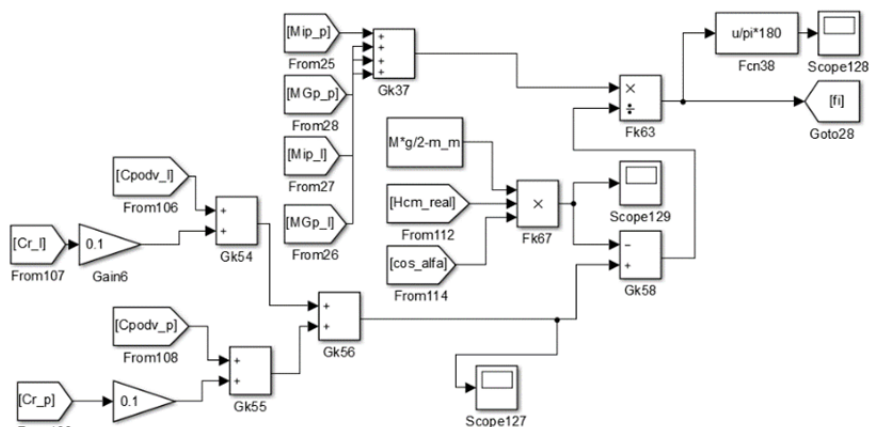


Рис. 1. Расчет угла крена подрессоренной части

По результатам моделирования движения автомобиля по наклонной плоскости с поперечным углом наклона  $41^\circ$  были получены графики изменения угла крена [4].

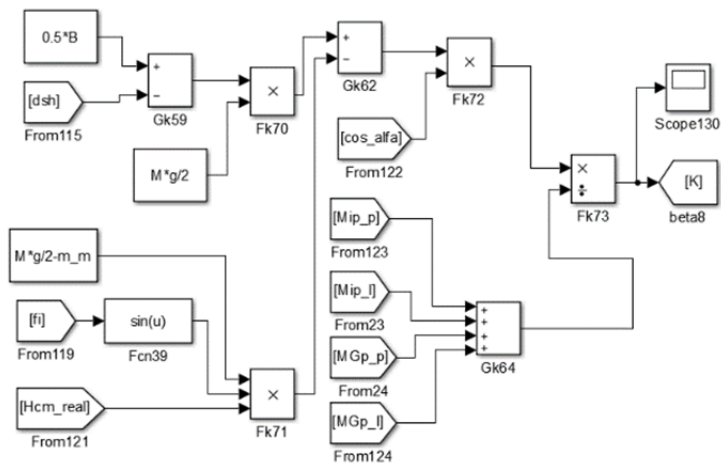


Рис. 2. Расчет коэффициент запаса поперечной устойчивости

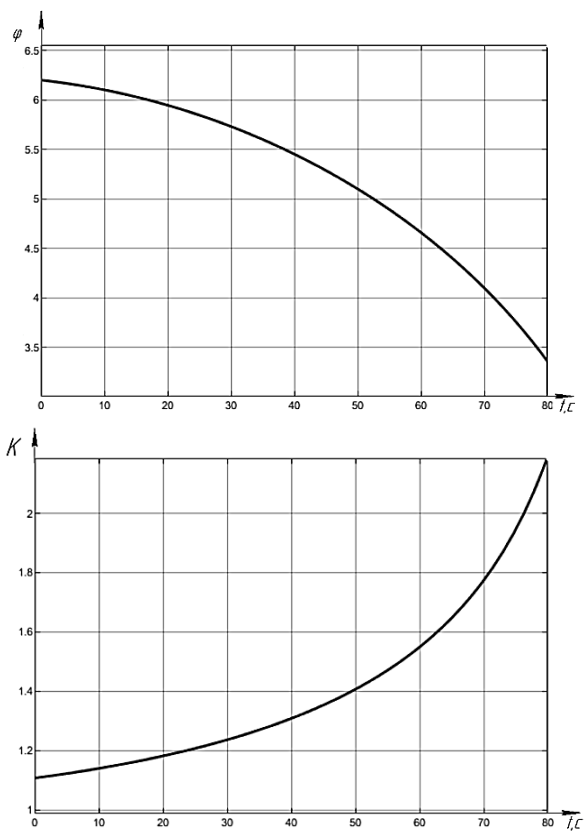


Рис. 3. Изменение угла крена автомобиля и коэффициент опрокидывания  $K$

Результатами моделирования будут являться следующие графики (рис. 3–5).

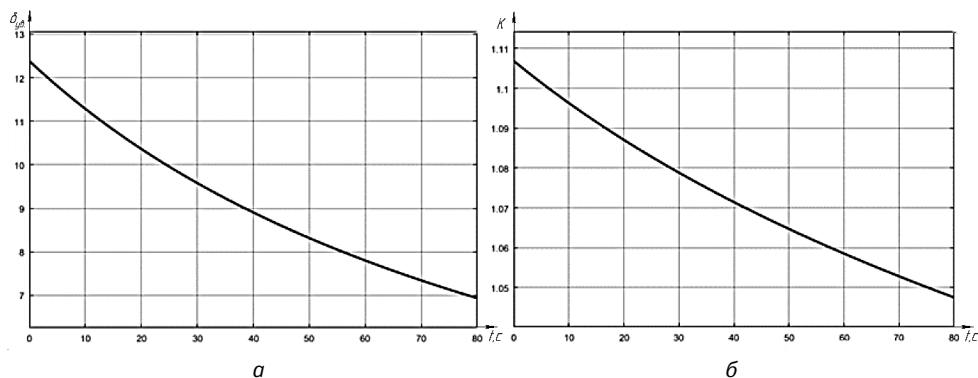


Рис. 4. Изменение  $\delta_{yb}$  (а) и  $K$  (б) при увеличении  $p_{w \text{ прав}}$  и  $p_{w \text{ лев}}$  до предельного максимального значения

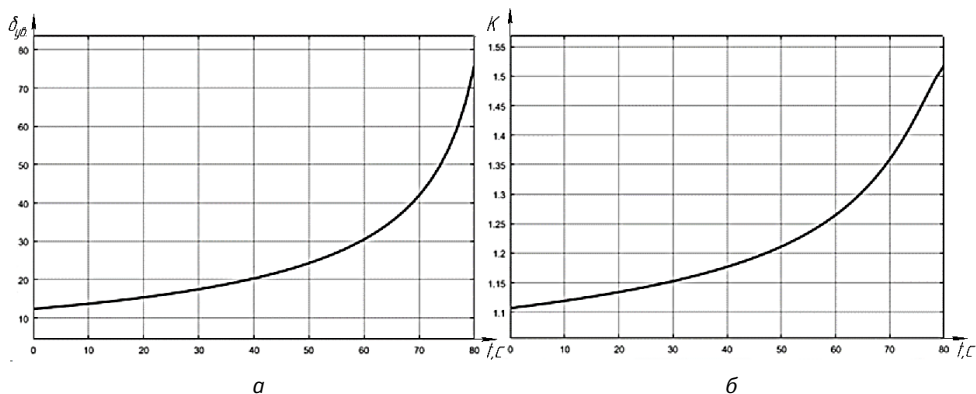


Рис. 5. Изменение  $\delta_{yb}$  (а) и  $K$  (б) при увеличении  $p_{w \text{ прав}}$  и  $p_{w \text{ лев}}$  до предельного минимального значения

Проведем анализ и получим, что угол крена уменьшается с течением времени в параболической зависимости, коэффициент опрокидывания увеличивается до предельных значений в зависимости от времени.

При использовании адаптивной подвески, большой положительный эффект на коэффициент опрокидывания  $K$  и угол увода колеса будет иметь компенсация угла поперечного уклона за счет хода подвески, чем просто снижение центра масс подвеской. Так при компенсации угла уклона:  $\Delta K = 1$ ;  $\Delta \delta_{yb} = 5^\circ$ . При снижении ЦМ:  $\Delta K = 0,05$ ;  $\Delta \delta_{yb} = 1,5^\circ$ .

Исследования подтвердили, что модель позволяет исследовать влияние на них таких параметров как давление в шинах, ход адаптивной подвески, веса автомобиля в зависимости от выбранной компоновочной схемы.

## Литература

- [1] Жилейкин М.М. *Моделирование систем транспортных средств*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017, 100 с.
- [2] Тарасик В.П. *Математическое моделирование технических систем*. Минск, Новое знание, 2013, 584 с.
- [3] Рыжков И.Б. *Основы научных исследований и изобретательства*. Санкт-Петербург, Лань, 2019, 224 с. URL: <http://e.lanbook.com/book/116011> (дата обращения 09.09.2023).
- [4] Филькин Н.М., Шаихов Р.Ф., Буянов И.П. *Теория транспортных и транспортно-технологических машин*. Пермь, ФГБОУ ВО Пермская ГСХА, 2016, 230 с.

## Calculation and Modeling of Changes in the Roll Angle of the Car

© | Sidorov V.N.  
Fomin V.I.

sidorov-kaluga@yandex.ru  
fominvi@student.bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The paper considers the compilation of a simulation model of the adaptive tire pressure control system in the MathLab Simulink environment; determination of optimal system control parameters that allow to achieve a minimum wheel deflection angle while maintaining rollover stability at a transverse surface angle close to critical; development of a simulation model for calculating the rollover coefficient of the car and measuring the value of lateral wheel deflection.*

**Keywords:** *wheel steering angle, roll angle change, rollover coefficient*

УДК 629.366

## Использование композиционных материалов для кабин тракторов

© Голубина Светлана Александровна

golubinasa@bmstu.ru

Фадеева Милена Эдуардовна

stepanovamea@student.bmstu.ru

Фадеев Дмитрий Николаевич

fadeevdn@student.bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены неблагоприятные факторы, влияющие на кабину, требования к изготовлению кабины. Излагается подход к выбору материала для изготовления кабины трактора, основанный на требованиях по дизайну, эргономике, экологичности и конкурентоспособности. Проведен анализ использования композиционных термопластичных материалов для изготовления современной кабины трактора. Изучены свойства термопластичных композиционных материалов. Сделаны выводы о соответствии нового материала для изготовления кабины требованиям, предъявляемым к кабине трактора.*

**Ключевые слова:** комфортабельная кабина, трактор, композиционный материал, термопластичный композит

В настоящее время комфортабельная кабина должна обеспечивать трактористу удобное положение и рациональное размещение органов управления трактором, контрольно-измерительных приборов и оборудования, обеспечивающего соблюдение санитарно-гигиенических требований. Кабина современного трактора оборудуется устройством нормализации микроклимата. С учетом современных тенденций кабина современного трактора становится довольно сложным инженерным сооружением.

Для снижения себестоимости изготовления кабины трактора необходимо экономить металл. Достаточно отметить, что стоимость современной тракторной кабины составляет 40...50 % стоимости машины в целом.

В процессе эксплуатации на кабину воздействует ряд неблагоприятных факторов [1]:

- 1) ударные и знакопеременные нагрузки;
- 2) коррозионное воздействие со стороны внешней среды;
- 3) перепады температур (зима-лето) и т. д.

В связи с этим к изготовлению кабины предъявляются следующие технические требования [2]:

- 1) точность сварной конструкции и линейные размеры по 3-ве классу точности;
- 2) предельные отклонения размеров по ГОСТ 30021–93;
- 3) сварные соединения 1-го класса по СТБ 1016–96;
- 4) контроль изготовления изделия 100 %.

Приступая к описанию и анализу технологий производства кабин, следует отметить, что речь идет об изготовлении корпуса кабины. Сборка, уста-

новка оборудования и элементов оборудования не является предметом рассмотрения данного анализа.

Процесс изготовления кабины состоит из двух этапов:

- 1) изготовление элементов корпуса;
- 2) сборка элементов корпуса.

Эти этапы сильно различаются технологией и организацией работы, они часто разнесены в пространстве. Изготовление и сборка — ряд различных технологий. Технология изготовления кабины из одного материала — стали ушла в прошлое.

Технологии и стоимостные показатели материалов являются основными затратами на производство, следовательно, важными составляющими экономической целесообразности. При этом технологии зависят от используемых материалов, значит, в основе технологической цепочки должен быть выбор материала.

Материал кабины должен отвечать современным требованиям по дизайну, эргономике, экологичности и конкурентоспособности [3].

Для проектирования кабины трактора выбираем современные термопластичные композиты (АСМ) состоят из высокопрочных волокон, удерживаемых вместе термопластичной матрицей. Современные термопластичные композиты находят все более широкое применение в аэрокосмической, морской, автомобильной и энергетической промышленности. Это связано со снижением стоимости и более высоким соотношением прочности к весу по сравнению с металлическими деталями. Современные термопластичные композиты обладают превосходной устойчивостью к повреждениям, устойчивостью к коррозии, высокой вязкостью разрушения, высокой ударопрочностью, хорошей усталостной стойкостью, низкой стоимостью хранения и бесконечным сроком годности. Термопластичные композиты также обладают способностью к формованию, реформированию, ремонту и сварке плавлением.

Термопластичные композиты обладают следующими свойствами [4]:

- хорошая прочность;
- низкая плотность, следовательно, легкий вес;
- возможность повторного формования;
- хорошая устойчивость к воздействию окружающей среды;
- составы могут быть адаптированы к различным температурным и экологическим условиям.

Таким образом, термопластичные композиты удовлетворяют основным требованиям к материалам кабины, а также более экономичны по сравнению со сталью.

## Литература

- [1] Илинич И.М., Никонов В.В., Кальченко Б.И. *Расчет, проектирование и испытание кабин тракторов*. Москва, Агропромиздат, 1989, 213 с.
- [2] Ксенович И.П., Гуськов В.В., Бочаров Н.Ф. и др. *Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет*. Москва, Машиностроение, 1991, 544 с.

- [3] Гуськов В.В., Бойков В.П., Клютко Д.В., Кухаренок Л.В. *Многоцелевые гусеничные и колесные машины. Эргономика и дизайн*. Минск, Новое знание, 2014, 350 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/64777> (дата обращения 09.10.2023).
- [4] *Термопластичные композиты в строительстве — виды, свойства, применение*. URL: <https://centrselstroy.ru/termoplastichnye-kompozity-v-stroitelstve-vidy-svoystva-primenenie>

## Use of Composite Materials for Tractor Cabs

© | Golubina S.A.

Fadeeva M.E.

Fadeev D.N.

golubinasa@bmstu.ru

stepanovamea@student.bmstu.ru

fadeevdn@student.bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The unfavorable factors affecting the cab, the requirements for the manufacture of the cab are considered, and an approach to the choice of material for the manufacture of the tractor cab based on the requirements for design, ergonomics, environmental friendliness and competitiveness is also outlined. The analysis of the use of composite thermoplastic materials for the manufacture of a modern tractor cab is carried out. The properties of thermoplastic composite materials have been studied. Conclusions are drawn about the compliance of the new material for the manufacture of the cab with the requirements for the tractor cab.*

**Keywords:** *comfortable cab, tractor, composite material, thermoplastic composite*

УДК 629.366

## Концепция и дизайн кабины колесного трактора

© Голубина Светлана Александровна  
Фадеева Милена Эдуардовна  
Афанасьев Иван Алексеевич

golubinasa@bmstu.ru  
stepanovamea@student.bmstu.ru  
afanasevia@student.bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Излагается подход к проектированию транспортных средств, в том числе тракторов, основанный на принципах обеспечения современных требований эргономики и дизайна. Рассматриваются вопросы компоновки и формообразования внешнего строения с учетом требований функциональности и эстетики, удобного и безопасного взаимодействия человека и транспортного средства, а также минимизации воздействия отрицательных факторов. Разработан эскизный проект кабины трактора повышенной комфортности. Сделаны выводы о соответствии разработанной кабины технико-экономическим, эксплуатационным, эргономическим и эстетическим требованиям.*

**Ключевые слова:** *кабина трактора, трактор, дизайн, эргономичность, комфортабельность*

Проектирование любого транспортного средства, в том числе и тракторов, представляет собой длительный процесс, в котором конструктор решает большое количество задач. Разрабатываемое транспортное средство должно обеспечить большой экономический эффект, а также иметь технико-экономические, эксплуатационные, эргономические и эстетические показатели, соответствующие мировым достижениям.

В связи с развитием машиностроения, растут требования к качеству продукции. Первостепенно выдвигаются требования к внешнему виду, форме, эргономике транспортного средства, так как это информирует потребителя о назначении, наличии в нем необходимых свойств, внутреннем содержании и так далее.

Исследуя машиностроение на мировом уровне, можно сделать вывод о том, что помимо повышения эффективности и эргономичности машин, универсальности, комфортабельности, безопасности стремительно развиваются эргономичность, эксплуатация и обслуживание на основе учета всех возможностей человека. Они заключаются в более эффективном использовании транспортных средств при минимальном расходе человеческих ресурсов и максимальной удовлетворенности содержанием труда [1].

При проектировании тракторов чаще всего требуется изменить форму транспортного средства, ее внешний вид, на что очень влияют требования по улучшению труда оператора. В свою очередь условия работы оператора связаны с организацией его рабочего места, обеспечением необходимых размеров кабины и ее прочности, расположением рабочих органов, усилия



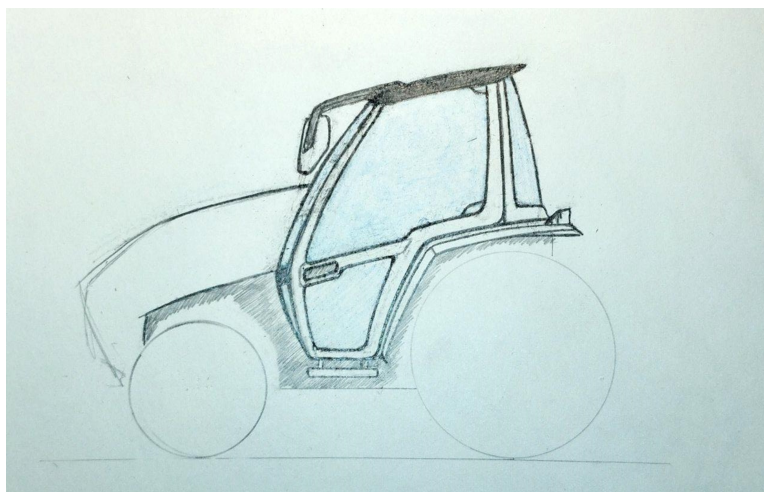
на приведение их в действие, уровнем шума, загазованности и запыленности, температуры воздуха и т. д. Изменение внешнего вида трактора осуществляется на этапе разработки или модернизации. Главное условие для разработки проекта — сохранность или изменение его функционального назначения [2].

При выборе зарубежного аналога требуется анализ соответствия его отечественным стандартам, знание международных стандартов, их выполнение при проектировании нового транспортного средства. Обеспечение конкурентоспособности нового изделия — задача комплексная и ее решение требует усилий всех специалистов, в том числе патентоведов [3].

На организацию композиционной структуры кабины и ее формы определяющее влияние оказывает место ее расположения на остова трактора и параметры, регламентируемые государственными стандартами (в том числе ГОСТ 12.2.019–86); расположение уровня пола; размер кабины по высоте; размеры дверного проема, в том числе в нижней части; компоновочные и нормативные возможности по длине кабины и т. д.

В процессе создания конструкций современных тракторов выявились некоторые общие технические решения, способствующие обеспечению необходимой обзорности с рабочего места тракториста. Одни из них обусловлены изменением конструкции машины и ее компоновки (переднее расположение кабины, поворотный пост управления или сиденье и др.), а другие связаны непосредственно с конструкцией кабин (увеличение площади остекления). Перспективными мерами по предоставлению трактористу необходимой зрительной информации является применение телевизионных установок и различных устройств, дающих информацию в виде графических мнемосхем, световых или звуковых сигналов [4].

При проектировании кабины трактора тягового класса 1,4 кН разработан эскизный проект, который представлен на рисунке.



Эскизный проект кабины трактора тягового класса 1,4 кН

В проектируемой кабине увеличена площадь остекления, что обеспечивает круговой обзор. На крыше установлен люк из специального солнцезащитного стекла. Данные изменения не только повышают обзорность кабины, но и придают ей более эстетичный вид.

Широкий прямой подъем в кабину, который расположен не высоко от земли для удобного входа в кабину. Сама ступенька с отверстиями, чтобы избежать скопления грязи на поверхности. Ручка расположена на высоте 1,5 м от земли для комфортного поднятия в кабину.

В связи с тем что современные тракторы работают в самых разнообразных климатических условиях в любое время года, кабина трактора должна обладать хорошей прочностью, эстетичностью, удовлетворять антропометрическим требованиям, а также создавать комфортные условия работы оператора.

## Литература

- [1] Гуськов В.В., Бойков В.П., Клютко Д.В., Кухаренок Л.В. *Многоцелевые гусеничные и колесные машины. Эргономика и дизайн*. Минск, Новое знание, 2014, 350 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/64777> (дата обращения 12.09.2023).
- [3] Ксеньевич И.П., Гуськов В.В., Бочаров Н.Ф. и др. *Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет*. Москва, Машиностроение, 1991, 544 с.
- [4] Московский М.Н. *Основы дизайна автомобилей и тракторов*. Ростов-на-Дону, ДГТУ, 2020, 42 с.
- [2] Шарипов В.М., Городецкий К.И., Маринкин А.П. и др. *Устройство тракторов*. Москва, МГТУ «МАМИ», 2007, 320 с.

## Concept and Design of a Wheeled Tractor Cab

© | Golubina S.A.  
Fadeeva M.E.  
Afanasyev I.A.

golubinasa@bmstu.ru  
stepanovamea@student.bmstu.ru  
afanasevia@student.bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*An approach to the design of vehicles, including tractors, based on the principles of ensuring modern requirements of ergonomics and design is outlined. The issues of layout and shaping of the external structure are considered, taking into account the requirements of functionality and aesthetics, convenient and safe interaction between a person and a vehicle, as well as minimizing the impact of negative factors. A draft design of a tractor cab of increased comfort has been developed. Conclusions are drawn about the compliance of the developed cabin with technical, economic, operational, ergonomic and aesthetic requirements.*

**Keywords:** tractor cab, tractor, design, ergonomics, comfort

УДК 625.768.5

## Особенности конструкции снегоборочных отвалов

© Плахов Сергей Александрович  
 Чудаков Дмитрий Алексеевич  
 Котков Алексей Сергеевич

sa.plahov@yandex.ru  
 chda18km203@student.bmstu.ru  
 kotkovas@student.bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены разновидности конструкций снегоборочных отвалов и приведены их параметры, определяющие выбор рабочего органа для комплектования коммунально-дорожных машин.*

**Ключевые слова:** снегоборочный отвал, снег, нож отвала

Обязательным условием содержания любых дорожных сетей является удаление снега, снежного наката и ледяного покрова с дорожного полотна. Для этого широко применяются снегоборочные автомобили, оборудованные специальными отвалами. Совершенство конструкции отвалов, способствует повышению эффективности при очистке снега и расширению сферы их применения.

Эффективность работы снегоборочного отвала определяется его геометрические параметры (углами установки отвала по отношению к очищаемой поверхности, размерами и формой) (рис. 1).

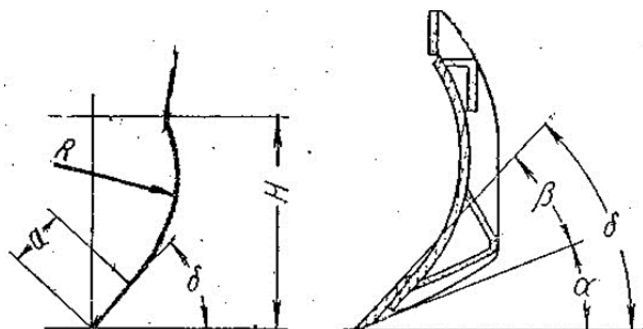


Рис. 1. Геометрические параметры отвала

Для правильной работы, задний угол  $\alpha$  должен быть не менее  $30^\circ$ . При снижении его значения до близких к нулю, энергоёмкость рабочего процесса резко возрастает из-за трения задней грани ножа об опорную поверхность [1]. Исследования влияния угла резания  $\delta$  отвала на энергоёмкость резания снежного наката показали, что наименьшая удельная энергоёмкость процесса достигается при резании снежного наката моделью отвала с углом резания от  $45^\circ$  до  $50^\circ$  [2] Величина относительного давления, создаваемого призмой волооче-

ния, отличается на различных участках отвала, в связи с чем радиусы кривизны  $R$  являются переменными по его высоте  $H$ .

Выбор геометрической формы того или иного отвала также определяется толщиной и состоянием снежного покрова. Для очистки дорог и обочин от свежевыпавшего и малоуплотненного снега толщиной до 10 см используются специальные поворотные отвалы с небольшой кривизной  $R$ . Эти отвалы устанавливаются на передней навеске комбинированной дорожной машины (КДМ), которая базируется на шасси грузового автомобиля (автошасси). Рабочие скорости КДМ, оборудованных такими типами отвалов достигают 40 км/ч. Отвал обязательно оснащен стальным, либо резиновым ножом. Резиновый нож является более долговечным и оказывает меньшее динамическое воздействие на поверхность дорожного полотна.

Для среднеуплотненного снежного покрова дорог и обочин толщиной до 30 см используют автошасси с отвалом скошенной формы. Для данных условий целесообразно применять стальные ножи.

Для борьбы с особо плотным снегом и высокими снежными заносами, достигающими 2 м в высоту, применяются фрезерно-роторные или шнекороторные снегоочистители на базе тракторов и автошасси [3].

Некоторые снегоуборочные машины для скоростной очистки оборудованы комбинацией фронтального и бокового отвала специальной формы (рис. 2). Такие отвалы предназначены для очистки дорог со скоростью до 60 км/ч и способны выбрасывать снег на расстояние до 10 м. Ножи таких отвалов изготавливаются из стали. В качестве автошасси подобных КДМ используют трехосные грузовые автомобили. Подобные отвалы зачастую комбинируют с боковым отвалом, которые позволяют увеличить ширину зоны очистки. Использование трехосного шасси повышает продольную устойчивость данной снегоуборочной машины.



Рис. 2. Комбинация фронтального и бокового отвала для скоростной очистки

Усовершенствование конструкции снегоуборочных овалов достигается различными способами:

- использование дополнительных боковых отвалов;
- с помощью дополнительных приводов, повышающих подвижность отвала;
- разработка наиболее подходящей для данных условий формы отвала;
- применение в конструкции деталей из композитных материалов для уменьшения веса [4].

Таким образом, для городских условий, где уборка снега происходит на скоростях до 40 км/ч целесообразно применение отвалов простой цилиндрической формы с углом резания 45...50° с небольшим радиусом кривизны.

Для уборки магистральных дорог, где рабочая скорость достигает 60 км/ч больше подходят скоростные отвалы конической формы с добавлением боковых отвалов, обеспечивающих эффективную очистку от снега одновременно нескольких полос автомобильной дороги.

Комплектование КДМ при условии рационального выбора типа отвала снегоуборочной машины позволит увеличить ресурс самой КДМ, рабочего органа, снизить негативное воздействие на дорожное покрытие и повысить рентабельность процесса до 20 %.

## Литература

- [1] Богданова Е. О. Повышение эффективности рабочего оборудования бульдозера. *Современные научные исследования и инновации*, 2016, № 10, с. 78–82.
- [2] Лысянников А.В., Желукевич Р.Б., Кайзер Ю.Ф., Малышева Н.Н., Надейкин И.В. Влияние угла резания отвала на усилия и энергоёмкость резания снежного наката. *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 2012, т. 15, № 12, с. 152–155.
- [3] Сахапов Р.Л., Махмутов М.М., Махмутов М.М. Обзор исследований по взаимодействию снежного покрова с различными рабочими органами коммунальных машин. *Изв. Самар. науч. центра РАН*, 2016, т. 18, № 1–2, с. 432–434.
- [4] Мерданов Ш.М., Конеев В.В., Балин А.В. Исследование конструкций отвалов снегоуборочных машин. *Инженерный вестник Дона*, 2015, № 2, ч. 2. URL: [ivdon.ru/rumagazine/archive/n2p2y2015/2945](http://ivdon.ru/rumagazine/archive/n2p2y2015/2945)

## Design Features of Snow Removal Dumps

© Plakhov S.A.  
Chudakov D.A.  
Kotkov A.S.

sa.plahov@yandex.ru  
chda18km203@student.bmstu.ru  
kotkovas@student.bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article discusses the varieties of snow removal dumps designs and the parameters by which the type of working body used is selected.*

**Keywords:** *snow removal blade, snow, blade blade*

УДК 629.369

## Обзор современного состояния автомобилей с манипуляторной уборочно-моечной установкой

© Носов Виктор Алексеевич<sup>1</sup>  
Зезюля Валерий Владимирович<sup>2</sup>  
Маташнев Артем Александрович<sup>2</sup>

v.nosov@merkatorkaluga.ru  
zezyulyavv@bmstu.ru  
matashnev000@mail.ru

<sup>1</sup> ООО «МЕРКАТОР Калуга»

<sup>2</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Проведен обзор современного состояния автомобилей с манипуляторной уборочно-моечной установкой, применяемых для выполнения задач коммунального хозяйства. Рассмотрено назначение, функциональные возможности и принцип действия конкретных моделей. Сделаны выводы о целесообразности использования манипуляторов в процессе работы по содержанию автомобильных дорог, прилегающих территорий и инфраструктуры в целом.*

**Ключевые слова:** специальная техника, коммунальное хозяйство, манипулятор, уборочно-моечная установка

В настоящее время существует множество объектов инфраструктуры, требующих постоянного ухода. Для этого применяется большое количество коммунальной техники и рабочей силы [1]. Одним из вариантов уменьшения трудоемкости при проведении уборочно-моечных работ является использование манипуляторной установки с навесным оборудованием.

Целью работы является обоснование использования манипуляторных установок для уборочно-моечных работ в области коммунального хозяйства.

Одной из проблем, возникающих при уборке дорог в городской среде или на трассе, является уборка барьерных ограждения [2]. Одним из вариантов решения является использование специальной техники на базе грузового автомобиля с небольшой манипуляторной установкой и специальной ворсяной щеткой (рис. 1).



Рис. 1. Автомобиль с манипуляторной установкой для мойки барьерных ограждений

Данная установка предназначена для очистки барьерных ограждений различного типа. В летний период времени во время очистки осуществляется высоконапорное предварительное увлажнение и финальная мойка с применением минимального количества воды. В зимний период времени используется для сметания с барьерных ограждений снега, снежной шуги и т. п.

Установка применяется совместно с поливомоечным оборудованием, а также имеет соединение с гидросистемой автомобиля посредством быстроразъемного соединения. Управление осуществляется с пульта управления, установленного в кабине водителя.

Поворотная стрела состоит из двух звеньев и позволяет отслеживать (копировать) обрабатываемую поверхность. Копирование поверхности барьерного ограждения обеспечивается гидросистемой. Моющая головка с щеточными дисками приводится во вращение мощным гидромотором, который обеспечивает высокую скорость вращения и высокое качество очистки. В транспортном положении установка фиксируется.

Преимуществом данной установки является простота и надежность конструкции. Однако существенным минусом является ограниченная функциональность использования.

Повысить функциональные возможности при проведении коммунальных работ, таких как мойка дорог и тротуарных дорожек; мойка шумозащитных экранов и т. д., возможно при использовании более сложных, несколько секционных манипуляторов с установленной моечной установкой (рис. 2).

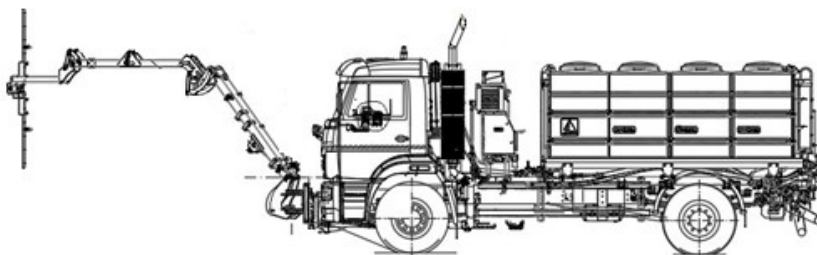


Рис. 2. Автомобиль с манипуляторной моечной установкой

Работа установки начинается после раскрытия трех звеньев манипулятора. Раскрытие осуществляется с помощью гидроцилиндров, установленных на звеньях. Поворот в горизонтальной плоскости осуществляется с помощью двух горизонтальных гидроцилиндров. Работа гидроцилиндров осуществляется за счет гидрораспределителя [3].

После того, как все звенья манипулятора были раскрыты на необходимую величину, вода или водяной раствор под давлением поступает с помощью рукавов из водяных баков в моечную рейку, оснащенную распылительными и напорными форсунками. Кроме того, за счет установки пылевлагозащищенного электромотора, моечная рейка имеет возможность вращения на  $360^\circ$ .

Управление манипуляторной моечной установкой осуществляется с помощью пульта управления, установленного в кабине грузового автомобиля.

Преимуществом данной установки являются широкие функциональные возможности и высокая степень очистки. Однако низкая грузоподъемность манипулятора не позволяет использовать сменное навесное оборудование.

Применение сменного навесного оборудования возможно при использовании сложной манипуляторной установки с большой грузоподъемностью (рис. 3).



Рис. 3. Автомобиль с манипуляторной установкой большой грузоподъемности

Установка предназначена для выполнения работ по содержанию инфраструктуры дорог I и II категории. Конструктивно представляет собой манипулятор с комплектом адаптированного навесного оборудования.

Главный узел установки — манипулятор, состоящий из трехзвенной стрелы и модуля перемещения. Вся конструкция агрегируется на передней монтажной плите автомобиля. Используется совместно с поливомоечным оборудованием и имеет соединение с гидросистемой посредством быстроразъемного соединения. Основное рабочее положение стрелы ориентировано на правую сторону автомобиля. Первое звено установлено на U-образном кронштейне поворотной колонны. Гидроцилиндр первого звена отвечает не только за манипуляцию, но и за работу режима «копирование». Второе звено стрелы соединено с первым, манипуляции производятся за счет гидроцилиндра. Концевое звено управляется гидроцилиндром, с которым это звено соединено через систему рычагов, что позволяет ему совершать поворот вокруг оси на угол до  $160^\circ$ . В концевое звено вмонтирована соединительная втулка, предназначенная для соединения с ответной частью оборудования. Внутри соединительной втулки — зубчатая шайба, с помощью которой оборудование можно поворачивать вокруг оси [4].

Возможность смены навесного оборудования полностью раскрывает функционал манипуляторной установки. Однако ощутимым недостатком является сложность конструкции.



Таким образом, было обосновано, что использование манипуляторной установки расширяет функциональные возможности коммунальной техники при проведении уборочно-моечных работ, а также позволяет отказаться от использования дополнительной техники и ручной рабочей силы.

## Литература

- [1] Ксеневи́ч И.П. (ред.), Волков Л.А., Карасев Г.Н. и др. *Строительные, дорожные и коммунальные машины. Оборудование для производства строительных материалов. Т. IV-9.* Москва, 2005, 736 с.
- [2] ГОСТ 31544–2012. *Машины для городского коммунального хозяйства и содержания дорог. Специальные требования безопасности.* Москва, Стандартинформ, 2014. 8 с.
- [3] Огороднов С.М. *Конструкция автомобилей и тракторов.* Москва, Вологда, Инфра-Инженерия, 2019, 284 с.
- [4] *Меркатор Калуга: навесное оборудование для КДМ.* URL: <https://merkatorgroup.ru/equipment/dopolnitelnoe-oborudovanie/navesnoe-oborudovanie-dlya-kdm/> (дата обращения 08.11.2023).

## Overview of the Current State of Cars with a Manipulator Cleaning and Washing Unit

© | Nosov V.A.<sup>1</sup>  
| Zezyulya V.V.<sup>2</sup>  
| Matashnev A.A.<sup>2</sup>

v.nosov@merkatorkaluga.ru

zezyulyavv@bmstu.ru

matashnev000@mail.ru

<sup>1</sup> MERCATOR Kaluga LLC

<sup>2</sup> Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*The article provides an overview of the current state of cars with a manipulator cleaning and washing unit used to perform tasks of public utilities. The purpose, functionality and principle of operation of specific models are considered. Conclusions are drawn about the expediency of using manipulators in the process of work on the maintenance of highways, adjacent territories and infrastructure in general.*

**Keywords:** *special equipment, communal services, manipulator, cleaning and washing plant*

УДК 625.768.1

## Седельный автопоезд с активным полуприцепом

© Плахов Сергей Александрович  
Котков Алексей Сергеевич  
Чудаков Дмитрий Алексеевич

sa.plahov@yandex.ru  
kotkovas@student.bmstu.ru  
chda18km203@student.bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Статья посвящена проблематике и актуальным способам повышения тягово-сцепных характеристик седельных автопоездов при движении по дорогам с низким коэффициентом сцепления.

**Ключевые слова:** седельный автопоезд, электрический привод осей, активный полуприцеп

Разработка специальных седельных автопоездов повышенной проходимости является одной из актуальных задач в настоящее время. Особую роль играют специальные автопоезда для перевозки грузов в районах с неразвитой дорожной сетью и сложными дорожно-климатическими условиями.

Значительная часть территории России расположена в умеренном и холодном климатических районах, что оказывает большое влияние на качество и состояние дорожного покрытия, а также сцепные свойства колесных движителей с опорной поверхностью. Например, по данным ФГБУ «Центральное УГМС» за последние несколько лет, в центральной части России снег на дорогах держался 7 из 12 месяцев (рис. 1) [1].

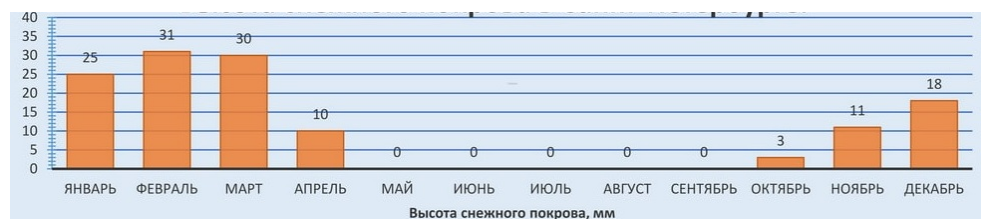


Рис. 1. Гистограмма высоты снежного покрова в центральной части России

Подобные неблагоприятные условия приводят к образованию на дорогах гололедных явлений и снежного наката. В результате чего значительно снижаются сцепные свойства колесных движителей с дорогой и затрудняется процесс передвижения и маневрирования автомобилей, особенно седельных автопоездов.

Повышение сцепных свойств можно добиться за счет [2, 3]:

– перевода прицепных звеньев на автономные приводные двигатели;

– создание новых и комплексного совершенствования существующих механизмов трансмиссии;

– принципиального совершенствования колесных движителей и применение сочлененной рамы.

Перспективным направлением увеличения общих сцепных характеристик автопоездов является активизация осей прицепов и полуприцепов, в том числе при использовании серийных моделей тягачей. Использование активного прицепного звена актуально для автопоездов не только повышенной проходимости, но и предназначенных для эксплуатации на дорогах общего пользования [4]. Типы приводов осей полуприцепа можно классифицировать (см. таблицу).

**Типы приводов осей прицепных звеньев [2]**

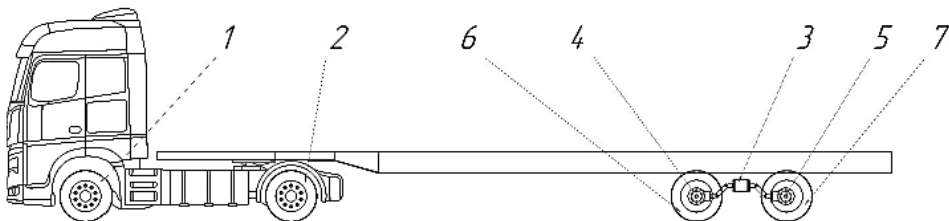
Способ повышения тяговых характеристик	Достоинства	Недостатки
Механический привод	Высокая надежность, высокий КПД, простота обслуживания	Шумность при больших оборотах, большое количество деталей, сложность конструкции при передачи крутящего момента на большие расстояния
Гидравлический привод	Большая удельная передаваемая мощность, простота конструкции, простота управления и автоматизации, возможность бесступенчатого регулирования	Зависимость от температуры окружающей среды, пожаро- и взрывоопасность, необходимость рабочей жидкости, низкий КПД, утечка рабочей жидкости
Электрический привод	Высокая точность позиционирования, возможность диагностирования системы в реальном времени, отсутствие негативного воздействия на окружающую среду, низкий уровень шума	Высокая стоимость

Перспективной компоновкой является комбинация электромеханического привода и гидрообъемного типа «гидровал» (рис. 2). Такая схема позволит сократить количество электромоторов с 4 до 2 при сохранении возможности работы привода полуприцепа при скоростях выше, чем при использовании гидравлического привода осей полуприцепа.

Тяговые электродвигатели включаются в работу в следующих случаях:

– при трогании автопоезда с места для создания дополнительного тягового усилия;

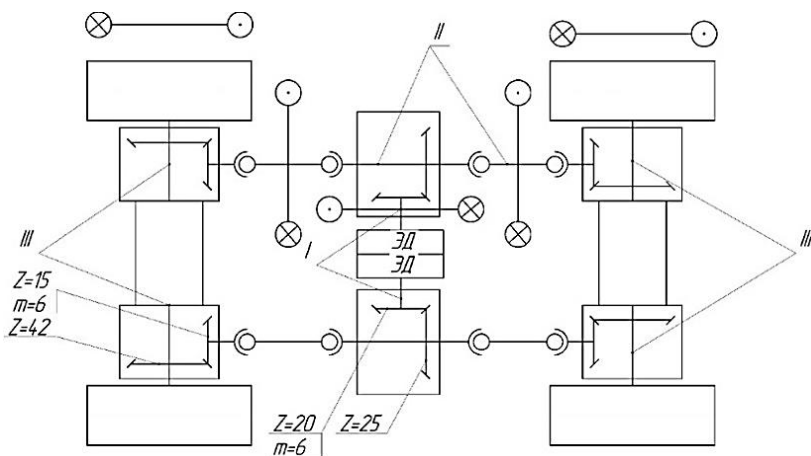
– при маневрировании тягача для улучшения управляемости и предотвращения складывания полуприцепа;  
 – при затяжном спуске, так как электродвигатели будут рекуперировать энергию, а значит, будет создаваться дополнительный момент сопротивления на колесах, что позволит тормозить автопоезда и продлить срок службы тормозных механизмов автопоезда.



**Рис. 2.** Комбинированный привод осей полуприцепа:

1, 2 – ведущие мосты тягача; 3 – тяговый электродвигатель с угловым редуктором;  
 4, 5 – колесные угловые редукторы; 6, 7 – ведущие колеса полуприцепа

Проектирование комбинированного активного привода осей полуприцепа будет проводиться по следующей кинематической схеме (рис. 3).



**Рис. 3.** Кинематическая схема комбинированного привода активного полуприцепа

Такая компоновка позволит управлять по отдельности колесами на каждом из бортов транспортного средства. Разработана 3D-модель комбинированного привода осей полуприцепа (рис. 4).

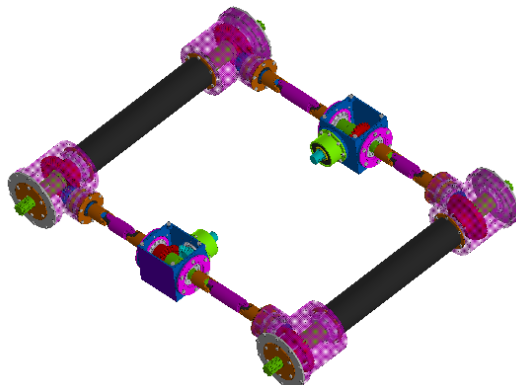


Рис. 4. 3D-модель электропривода осей полуприцепа

Активизация осей полуприцепа позволит не только увеличить тягово-сцепные характеристики за счет увеличения количества ведущих колес, но и повысить общую безопасность движения седельного автопоезда по дорогам при неблагоприятных погодных-климатических условиях, так как электрический привод колес позволяет точно дозировать необходимый крутящий момент, уменьшать буксование колес и занос прицепного звена автопоезда.

## Литература

- [1] ФГБУ «Центральное УГМС». URL: <http://www.ecomos.ru> (дата обращения 12.10.2023).
- [2] Уханов А.П., Уханов Д.А., Рыблов М.В. *Специализированная и специальная автомобильная техника*. Санкт-Петербург, Лань, 2023, 284 с.
- [3] Горелов В.А., Падалкин Б.В., Чудаков О.И. *Многозвенные автопоезда. Решение задач прямолинейной динамики с помощью имитационного моделирования*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019, 88 с.
- [4] Гусев И.В., Чубаров Ф.Л., Сизов А.Н. Разработка модели высокоточного быстродействующего следящего электромеханического привода. *Современные проблемы науки и образования*, 2015, № 1-1, с. 444.

## Truck with Active Semi - Trailer

© Plakhov S.A.  
Kotkov A.S.  
Chudakov D.A.

sa.plahov@yandex.ru  
kotkovas@student.bmstu.ru  
chda18km203@student.bmstu.ru

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*The article is devoted to the problems and current methods of increasing the traction and coupling characteristics of semi-trailer trains when driving on roads with a low coefficient of adhesion*

**Keywords:** *Semi-trailer, electric axle drive, active semi-trailer*

УДК 621.791

## Научно-производственные предпосылки и разработка комплексной оснастки управления процессом холодного газодинамического напыления

© Алакин Виктор Михайлович<sup>1</sup>  
Костин Михаил Сергеевич<sup>2</sup>

alakin@bmstu-kaluga.ru

kostin\_ms2@paoktz.ru

<sup>1</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>2</sup> ПАО «Калужский турбинный завод»

*Рассмотрены преимущества метода восстановления антифрикционных покрытий на основе баббита Б83 при ремонте подшипников паровых турбин методом холодного газодинамического напыления перед традиционными методами заливки и наплавки, а также газотермического напыления. Рассмотрены основные требования к антифрикционным покрытиям и параметры процесса холодного газодинамического напыления (ХГДН), оказывающие влияние на адгезию покрытия. Представлены рабочие режимы и технологическая оснастка для управления процессом ХГДН, повышения качества и производительности напыления крупных подшипников скольжения в производственных условиях.*

**Ключевые слова:** холодное газодинамическое напыление, ремонт подшипников турбин, антифрикционное покрытие подшипников турбин, баббит, Б83, адгезионная прочность

По мере развития технического прогресса в машиностроении постоянно разрабатываются новые технологии соединения и наращивания поверхности рабочих деталей, которые позволяют повысить качество и надежность покрытий, снизить временные и материальные затраты на производство и эксплуатацию машин. Одним из перспективных направлений развития технологий в машиностроении является напыление металлов для послойного формирования рабочих поверхностей деталей.

Широко известно, что методом холодного газодинамического напыления можно создавать однородные покрытия и рабочие поверхности или изготавливать сэндвич-конструкции на основе напыления нескольких слоев металлов [1].

Традиционные технологии ремонта методами заливки или наплавки требуют специального оборудования, проведения дополнительных операций, значительного припуска под мехобработку, что увеличивает материальные и трудовые затраты на ремонт. Вторичная наплавка или заливка Б83 часто приводит к ухудшению структуры Б83, расслоению сплава в процессе кристаллизации, образованию включений, образованию зон скопления оксидов, пор, нестабильности химического состава и к снижению сцепления ремонтного слоя с основой. Искажение формы вкладыша вследствие повторных температурных деформаций приводит к возникновению внутренних напряжений в слое баббита с образованием трещин и выкрашиванием отдельных зерен [2].

По сравнению с газотермическим напылением Б83-ХГДН значительно снижает тепловую нагрузку на первичный слой и основу подшипника.

Мобильность и универсальность компактной установки для ХГДН, к примеру, ДИМЕТ позволяет выполнять ремонт подшипников энергетической установки непосредственно на станции ее эксплуатации.

К антифрикционным покрытиям подшипников скольжения из баббита на оловянной основе предъявляется ряд отраслевых требований, которые формализованы в нормативно-технической документации: толщина слоя — 1,25...6 мм; напряженность работы — свыше 75 МПа·(м/с); пористость антифрикционного слоя — до 10...15 %; адгезионная прочность — не менее 60 МПа; коэффициент трения от 0,001 до 0,005, а без смазки: 0,004...0,5 [3].

В исследовании Куприянова Г.В. и Гладкова Р.В. рассмотрен механизм формирования адгезионных связей на основе размера фракций частиц абразива, температуры рабочего газа воздушно-порошковой смеси и продолжительность обработки поверхности абразивом. Подготовка поверхности перед напылением, определяющая макро- и микрогеометрию поверхностного слоя, оказывает существенное влияние на адгезию покрытия и должна быть направлена на увеличение площади контакта, а значит, и числа возможных физических и химических связей [4].

В исследованиях Дудник М.Г. было установлено влияние шероховатости и температуры нагрева подложки на прочность сцепления покрытия с основой [5]. Ряд других исследований показывают, что на адгезию оказывают влияние внутренние напряжения, которые остаются в напыленном слое, причем это влияние может быть, как положительным, так и отрицательным [6].

Выявлен недостаточный объем исследований по разработке процессов и установок ХГДН для турбиностроения, особенно для изготовления и восстановления антифрикционных покрытий на основе баббита. Установки ХГДН с ручным управлением сопловым блоком для напыления имеют ряд недостатков: это значительная трудоемкость постоянного удерживания соплового блока на заданном расстоянии от детали 10...15 мм; или 50...60 мм; постепенное перемещение блока по поверхности детали с заданной скоростью, а также контроль угла наклона сопла не более — 75гр, толщины нанесенного слоя и возможности удаления с поверхности слабо закрепленных частиц Б83. Поэтому все технологические параметры ХГДН и контроль процесса оператор должен обеспечивать вручную и визуально с учетом обработки различной кривизны и габаритов детали, что приводит к усталости рук, зрения и нарушению заданных параметров ГДН.

В этой связи проводится научная работа по обоснованию параметров конструкции и рабочих режимов технологической оснастки к сопловым блокам установки ХГДН для управления процессом, повышения качества и производительности ручного напыления крупных подшипников скольжения в производственных условиях. В настоящее время обоснован состав приспособлений и варианты их технологического применения к сопловому блоку оборудования «ДИМЕТ-405», а именно: измеритель-кондуктор для обеспечения установленных параметров высоты удержания сопла от детали на интервале 10...15 мм или 50...60 мм; контроллер угла наклона сопла не более 75 г; измеритель скорости подачи сопла вдоль поверхности детали в пределах от 3 до 10 мм/с; измеритель температуры основы и зоны напыления и контактный измеритель толщины слоя

напыления. В состав приспособлений предложено включить щеточный очиститель незакрепленных частиц порошка и оксидной пленки, активного действия.

Предложены параметры конструкции приспособлений применительно к сопловому блоку оборудования ДИМЕТ-405 и способы их применения. Планируется изготовление приспособления и проведение экспериментальных исследований на предмет влияния рабочих параметров приспособлений на повышение адгезии слоя, качества структуры и прочности слоя B83 и производительности ручного напыления крупных подшипников скольжения в производственных условиях на 25...30 % за счет снижения трудоемкости и усталости оператора ХГДН.

## Литература

- [1] Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В.Ф., Фомин В.М. *Холодное газодинамическое напыление*. Теория и практика. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2009, 536 с.
- [2] Хмелевская В.Б., Леонтьев Л.Б., Лавров Ю.Г. *Технологии восстановления и упрочнения деталей судовых механизмов и триботехнические характеристики покрытий*. Санкт-Петербург, СПГУВК, 2002, 309 с.
- [3] Христоролюбов А.С., Потехин Б.А., Михайлов С.Б. Демпфирующая способность баббитов, полученных различными способами. *Вестник ИжГТУ*, 2008, № 4, с. 33–35.
- [4] Куприянов Г.В., Гладков Р.В. Формирование адгезионных связей при подготовке поверхности железоуглеродистой основы к нанесению холодного газодинамического покрытия. *Известия ТулГУ*, 2018, № 6, с. 373–385.
- [5] Дудник М.Г. *Разработка управляемого процесса нанесения комбинированных защитно-декоративных покрытий с использованием холодного газодинамического напыления*. Дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2022, 231 с.
- [6] Архипов В.Е., Балашова А.В., Лондарский А.Ф., Москвитин Г.В., Пугачев М.С. Повышение качества газодинамических покрытий. *Вестник машиностроения*, 2012, № 8, с. 48–51.

## Scientific and Production Prerequisites and Development of Complex Equipment for Managing the Hgdn Process

© Alakin V.M.<sup>1</sup>  
Kostin M.S.<sup>2</sup>

alakin@bmstu-kaluga.ru  
kostin\_ms2@paoktz.ru

<sup>1</sup> Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

<sup>2</sup> Full Joint Stock Company "Kaluga Turbine Plant"

*The advantages of the method of restoring antifriction coatings based on babbitt B83 in the repair of steam turbine bearings by cold gas-dynamic spraying over traditional methods of pouring and surfacing, as well as gas-thermal spraying are considered. The basic requirements for antifriction coatings are considered and the parameters of the HCDN process affecting the adhesion of the coating are considered. The working modes of technological equipment for the nozzle blocks of the HGDN installation for process control, improving the quality and productivity of manual spraying of large plain bearings in production conditions are presented.*

**Keywords:** cold gas dynamic spraying, repair of turbine bearings, antifriction coating of turbine bearings, babbitt, HGDN, B83, adhesive strength



УДК 629.1.02

## Моделирование механической трансмиссии для колесной машины 4×2 с задней ведущей осью

© Сидоров Владимир Николаевич  
 Фадеев Дмитрий Николаевич  
 Алексеечкин Кирилл Алексеевич  
 Мочалов Иван Андреевич

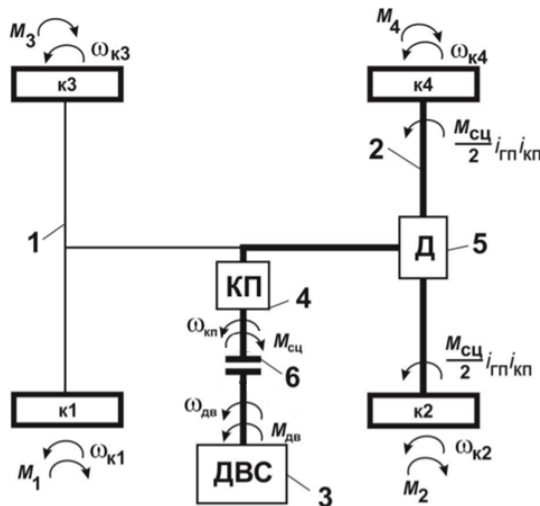
sidorov\_vn@bmstu.ru  
 fadeevdn@student.bmstu.ru  
 alekseechkinka@student.bmstu.ru  
 mochalovia1@student.bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Представлены результаты исследования скорости и времени разгона колесной машины с механической трансмиссией 4×2 с задней ведущей осью. Приводится математическая модель данной колесной машины. Для этого была представлена расчетная схема дифференциальной трансмиссии колесной машины с задней ведущей осью, а также приведена система дифференциальных уравнений движения автомобиля. Имитационное моделирование осуществлено с помощью среды MATLAB Simulink, которая позволяет на основе заданной математической модели проводить исследования разрабатываемой системы.

**Ключевые слова:** колесная машина, механическая трансмиссия 4×2, задняя ведущая ось, MATLAB Simulink, математическая модель, моделирование

Объектом моделирования является кинематическая схема дифференциальной трансмиссии КМ 4×2 с задней ведущей осью [1].



**Рис. 1.** Схема дифференциальной трансмиссии КМ с задней ведущей осью:  
 1, 2 — передняя и задняя оси; 3 — двигатель внутреннего сгорания (ДВС); 4 — коробка передач (КП);  
 5 — симметричный межколесный дифференциал; 6 — сцепление

Для исследования модели используем систему дифференциальных уравнений [5]:

$$\begin{cases} J_k \dot{\omega}_{k2} = \frac{M_{24}}{2} i_{гп} i_{кп} - M_2; \\ J_k \dot{\omega}_{k4} = \frac{M_{24}}{2} i_{гп} i_{кп} - M_4; \\ \dot{\omega}_{сц} = i_{гп} i_{кп} \frac{(\dot{\omega}_{k2} + \dot{\omega}_{k4})}{2} \\ J_{дв} \dot{\omega}_{дв} = M_{сц} - M_{24} \end{cases} \quad (1)$$

где  $J_k, J_{дв}$  — моменты инерции колеса и двигателя;  $\dot{\omega}_{ki}$  — угловое ускорение вращения  $i$ -го колеса;  $\dot{\omega}_{дв}$  — угловое ускорение вращения вала двигателя;  $i_{кп}$  — передаточное отношение коробки передач.

Список переменных:  $x_1 = \dot{\omega}_{k2}$ ;  $x_2 = \dot{\omega}_{k4}$ ;  $x_3 = \dot{\omega}_{дв}$ ;  $x_4 = M_{24}$ .

Рассматриваемую систему уравнений представляем в виде произведения двух матриц [2]:

$$X = A^{-1}b. \quad (2)$$

Для решения системы (1) воспользуемся блоком MATLAB Function [3].

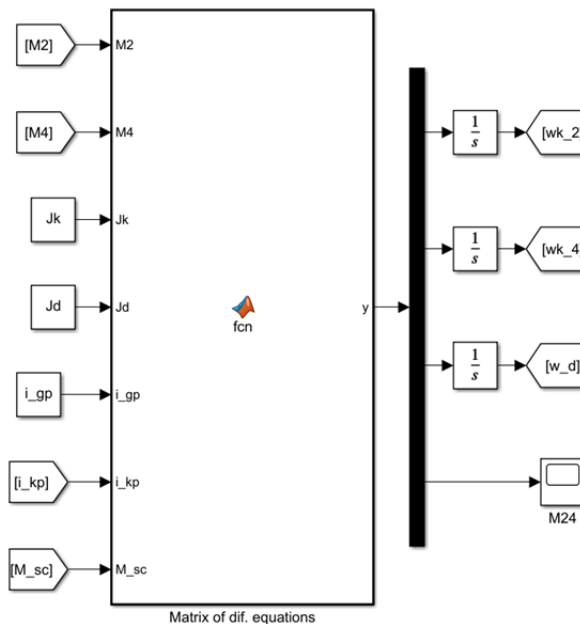


Рис. 2. Общий вид блока MATLAB Function

Входные переменные:  $M_2$ ,  $M_4$  — моменты сопротивления движению автомобиля на колесах;  $i_{kp}$  — передаточное число коробки передач (КП);  $M_{sc}$  — момент от сцепления;  $J_d$  — момент инерции приведенный к коленчатому валу двигателя;  $J_k$  — момент инерции колеса автомобиля;  $i_{gp}$  — передаточное число главной передачи.

Выходные переменные:  $M_{24}$  — момент, передаваемый от КП на заднюю ведущую ось;  $\omega_{k\_2}$ ,  $\omega_{k\_4}$  — угловая скорость на каждом колесе;  $\omega_d$  — угловая скорость коленчатого вала двигателя.

Ниже приведен текст программы решения системы уравнений (1), прописанный в блоке MATLAB Function [4]:

```
function y = fcn(M2, M4, Jk, Jd, i_gp, i_kp, M_sc)
%#codegen
A=[Jk 0 0 -i_gp*i_kp/2;
0 Jk 0 -i_gp*i_kp/2;
-i_gp*i_kp/2 -i_gp*i_kp/2 1 0;
0 0 Jd 1];
b=[-M2; -M4; 0; M_sc];
x=A\b;
y = x;
```

*Исходные данные:*

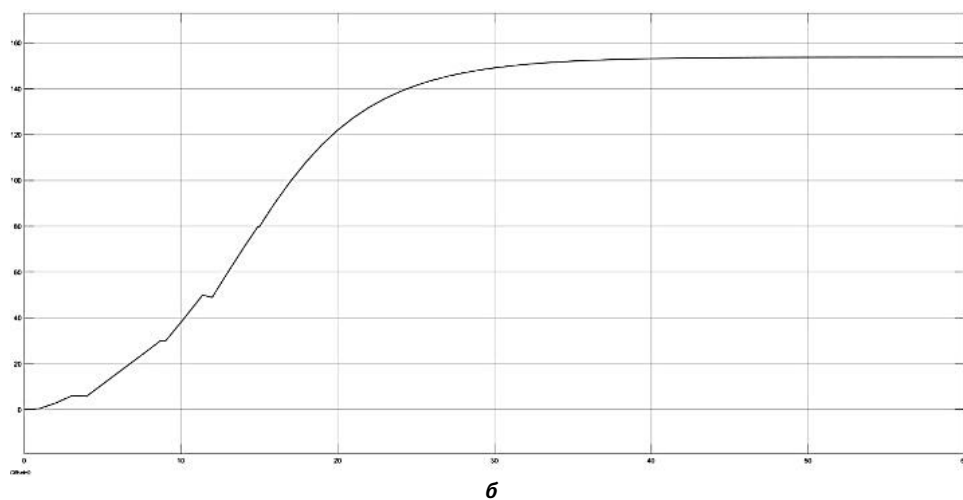
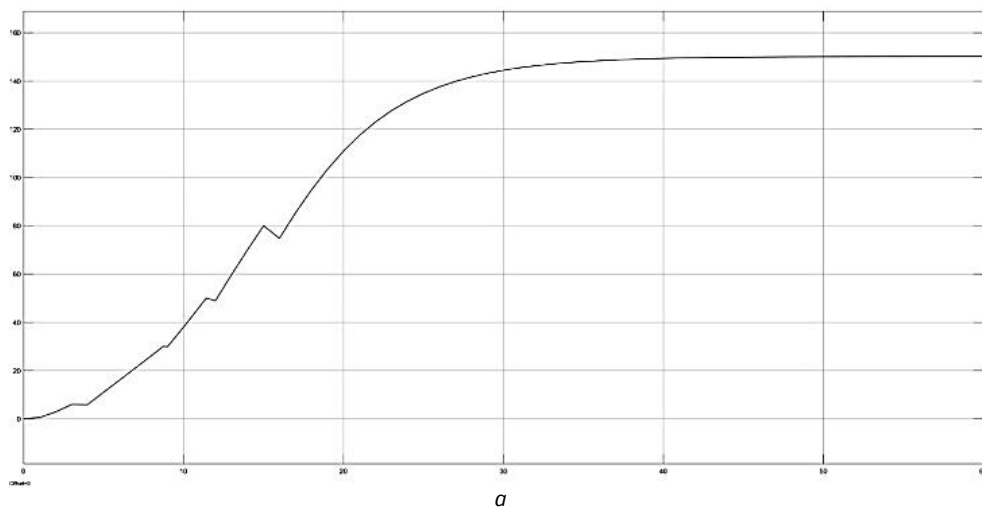
```
mk_1=398; %масса приходящаяся на 1ое колесо, кг%
mk_2=372.5; %масса приходящаяся на 2ое колесо, кг%
mk_3=398; %масса приходящаяся на 3ое колесо, кг%
mk_4=372.5; %масса приходящаяся на 4ое колесо, кг%
f_0=0.01; %коэффициент сопротивления качению%
rk=0.46; %радиус колеса, м%
alf=0; %угол наклона поверхности движения%
Jk=1.6; %момент инерции колеса, кг*м^2
Jd=18; %момент инерции вращающихся частей двигателя, кг*м^2
i_gp=3.8; %передаточное число главной передачи%
i_kp1=3.251; %передаточное число 1ой передачи%
i_kp2=1.955; %передаточное число 2ой передачи%
i_kp3=1.31; %передаточное число 3ой передачи%
i_kp4=1; %передаточное число 4ой передачи%
i_kp5=0.753; %передаточное число 5ой передачи%
f_cfr=38; %коэффициент силы кулоновского трения, Н/бар%
k_b=1.1; %коэффициент изменения силы страгивания%
mu=0.4; %коэффициент трения покоя%
del_w=0.5; %пороговое значение разности угловых скоростей, 1/с%
cw=1.24; %коэффициент перевода, с%
d_n=32; %внешний диаметр фрикционных накладок, см2%
d_v=20; %внутренний диаметр фрикционных накладок, см2%
s_n=0.84*pi*(d_n^2-d_v^2)/4; %площадь трения%
```

```

r_ef=pi*(d_n^3-d_v^3)/(12*s_n); %эффективный радиус трения,см2%
s=2.24; %лобовая площадь автомобиля,м2%
k_w=0.27; %коэффициент обтекаемости автомобиля%
rho_t=0.73; %плотность топлива,г/см3%

```

При исследовании КМ с механической трансмиссией 4×2 с задней ведущей осью была получена зависимость скорости КМ, а также определено время разгона до 100 км/ч при различной массе. Результаты исследования приведены на рис. 3.



**Рис. 3.** Изменение скорости КМ полной (а) и снаряженной (б) массы

Были получены следующие значения: максимальная скорость КМ полной массы составила 150 км/ч при времени разгона до 100 км/ч равным 18 с, максимальная скорость КМ снаряженной массы составила 154 км/ч при времени разгона до 100 км/ч равным 16 с.

## Литература

- [1] Афанасьев Б.А. *Моделирование систем колесных машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997, 30 с.
- [2] Жилейкин М.М. *Домашнее задание по курсу «Моделирование систем транспортных средств»*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 56 с.
- [3] Жилейкин М.М. *Математические модели систем транспортных средств*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 100 с.
- [4] Полковникова Н.А. *Научные и инженерные расчеты в среде MATLAB*. Москва, Моркнига, 2019, 143 с.

## Simulation of a Mechanical Transmission for a 4x2 Wheeled Vehicle with a Rear Driving Axle

© | Sidorov V.N.  
| Fadeev D.N.  
| Alekseyechkin K.A.  
| Mochalov I.A.

sidorov\_vn@bmstu.ru  
fadeevdn@student.bmstu.ru  
aleksechkin@student.bmstu.ru  
mochalovia1@student.bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*This paper presents the results of a study of the speed and acceleration time of a wheeled vehicle with a 4x2 manual transmission with a rear driving axle. A mathematical model of this wheeled vehicle is given. For this purpose, the calculation scheme of the differential transmission of a wheeled vehicle with a rear driving axle was presented, and a system of differential equations of motion of the car was also given. Simulation modeling is carried out using the MATLAB Simulink environment, which allows conducting research on the developed system based on a given mathematical model.*

**Keywords:** *wheeled vehicle, 4x2 mechanical transmission, rear drive axle, MATLAB Simulink, mathematical model, simulation*

УДК 631.37

## Моделирование работы антиблокировочной системы тормозов

© Сидоров Владимир Николаевич  
 Никонов Семен Николаевич  
 Шутов Андрей Александрович  
 Каретин Александр Валерьевич

sidorov\_vn@bmstu.ru  
 nikonoffsimon@yandex.ru  
 denchikisback@gmail.com  
 caretin.alexandr@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Приведены результаты моделирования движения автомобиля ЗИЛ-130Н с установленной системой АБС в программе MATLAB Simulink. Выявлено, что с выключенной системой АБС автомобиль со скоростью 90 км/ч останавливается в течение 14,74 секунд при тормозном пути 187,5 метров и с включенной системой АБС в течение 11,18 секунд при тормозном пути 150 метров.

**Ключевые слова:** математическая модель, тормозная система, антиблокировочная система, тормозной путь

При экстренном торможении колесной машины возможна блокировка одного или нескольких колес автомобиля. Заблокированное колесо начинает скользить по дорожному покрытию. Автомобиль теряет управляемость, и малейшее боковое воздействие приводит к его заносу. Антиблокировочная система тормозов предназначена для того, чтобы предотвратить блокировку колес при торможении, сохранить управляемость колесной машины и уменьшить тормозной путь.

Для моделирования тормозного режима автомобиля с включенной и выключенной системой АБС была построена имитационная модель в программе MATLAB Simulink, представленная на рис. 1.

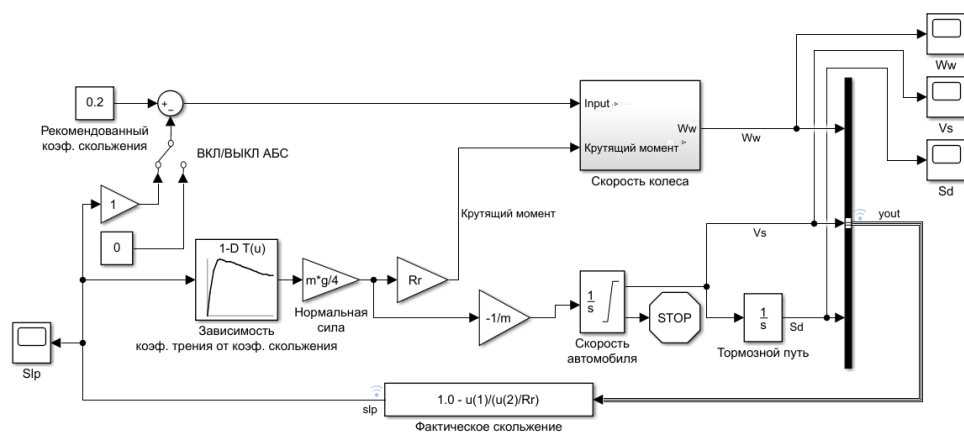


Рис. 1. Модель реализации тормозного режима с включенной и выключенной системой АБС

Результаты моделирования торможения автомобиля ЗИЛ-130Н с первоначальной скоростью 90 км/ч, при включенной и выключенной системой АБС, представлены на рис. 2.

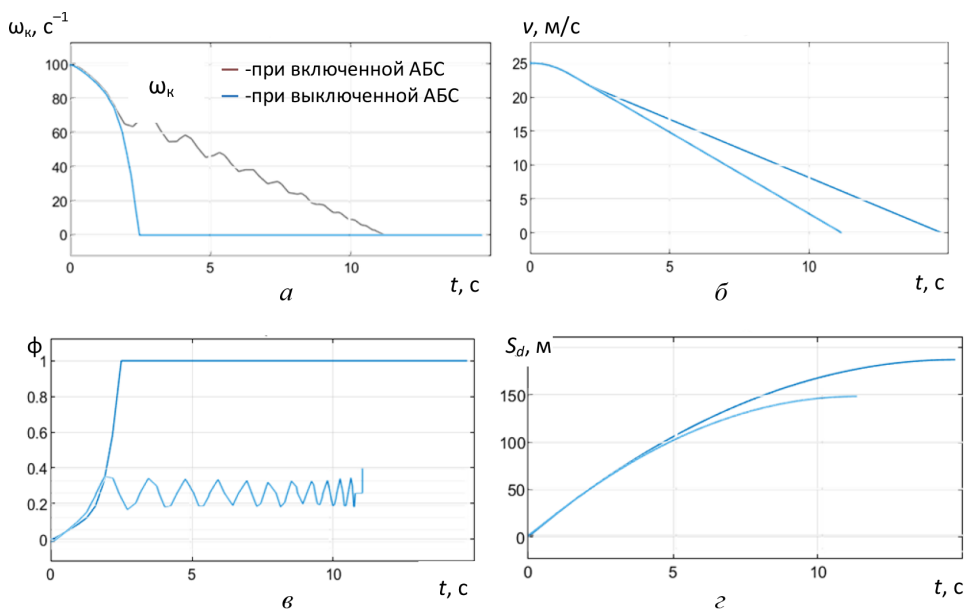


Рис. 2. Графические результаты:

*a* — угловой скорости колеса; *б* — линейной скорости автомобиля; *в* — фактического коэффициента скольжения; *г* — тормозного пути автомобиля

Анализируя полученные графики можно отметить, что угловая скорость колес снижается равномерно и за меньший промежуток времени, что исключает возможность возникновения неуправляемого скольжения при использовании АБС. Тормозной путь автомобиля при этом снизился на 37,5 м и как следствие повысилась безопасность движения колесной машины. Также уменьшилось время, необходимое автомобилю для полной остановки при движении автомобиля с первоначальной скоростью 90 км/ч. Равномерное торможение колес автомобиля без их блокировки и скольжения по дорожному покрытию позволило добиться ускоренного снижения линейной скорости автомобиля: без АБС = 14,74 с, а с включенной системой АБС = 11,18 с. Фактический коэффициент скольжения при использовании АБС не превышает значения 0,4, что позволяет сохранять контроль над управлением колесной машины.

**Заключение.** Результаты исследования подтвердили эффективность установки системы АБС на автомобиле ЗИЛ-130Н. Тормозной путь автомобиля с включенной системой АБС на 37,5 м короче по сравнению с тем же тормозным путем, необходимым автомобилю без системы АБС для полной остановки, и составляет 150 м при первоначальной скорости движения 90 км/ч. Таким образом, полная остановка автомобиля достигается за проме-

жуток времени равный 11,18 с. С выключенной системой АБС автомобиль останавливается в течение 14,74 с при тормозном пути 187,5 м.

## Литература

- [1] Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. *MATLAB 7*. Санкт-Петербург, БХВ-Петербург, 2021, 1104 с.
- [2] Дьяконов В.П. *Simulink 5/6/7: самоучитель*. Москва, ДМК Пресс, 2008, 784с.
- [3] Жилейкин М.М., Котиев Г.О., *Моделирование систем транспортных средств*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 280 с.
- [4] Мартынов Н.Н., Иванов А.П. *MATLAB 5.x Вычисления. Визуализация. Программирование*. Москва, Кудиц-Образ, 2020, 332 с.
- [5] Черных И.В. *Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink*. Москва, ДМК Пресс, 2007, 288 с.

## Modeling of Antilock Braking System Operation

© Sidorov V.N.  
Nikonov S.N.  
Shutov A.A.  
Karetin A.V.

sidorov\_vn@bmstu.ru  
nikonoffsimon@yandex.ru  
denchikisback@gmail.com  
caretin.alexandr@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The results of modeling of ZIL-130N car movement with installed ABS system in MATLAB Simulink program are given. It is revealed that with the ABS system switched off the car at a speed of 90 km/h stops within 14.74 seconds with a braking distance of 187.5 meters and with the ABS system switched on within 11.18 seconds with a braking distance of 150 m.*

**Keywords:** *mathematical model, braking system, anti-lock braking system, braking distance*



УДК 629.33

## Исследование взаимодействия колеса с опорным основанием при движении по криволинейной траектории

© Козлов Владислав Александрович  
 Касымов Максим Сергеевич  
 Волков Михаил Алексеевич  
 Сидоров Владимир Николаевич  
 Пономарев Алексей Иванович

kva19km090@student.bmstu.ru  
 kms19km080@student.bmstu.ru  
 volkovma1@student.bmstu.ru  
 sidorov\_vn@bmstu.ru  
 apon@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Проведены результаты исследования изменение сил и моментов, действующих на колесо, при его взаимодействии с опорной поверхностью и изменении траектории движения автомобиля. Для нахождения зависимости величин была создана модель MATLAB Simulink.*

**Ключевые слова:** управляемость, математическая модель, колесная машина, моделирование, шина колеса, угол поворота колеса, MATLAB Simulink

Изменение нагрузки на передние управляемые колеса при повороте является ключевым фактором для обеспечения стабильности и управляемости автомобиля. Поэтому целесообразно изучить изменение нагрузок на ведущее управляемое колесо во время его перехода с прямолинейной на криволинейную траекторию движения в подвижной системе координат.

Для анализа была создана модель в программе MATLAB Simulink. Для проведения исследования рассмотрим схему ведущего переднего левого колеса автомобиля и его взаимодействие с опорным основанием [1]. Будем считать, что подвижная система координат непосредственно связана с левым передним колесом рис. 1.

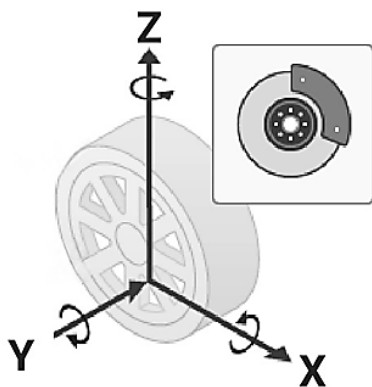


Рис. 1. Схема взаимоположения осей подвижной системы координат

Ось  $Y$  отвечает за поворот колеса на ступице. Ось  $Z$  отвечает за поворот управляемого колеса для обеспечения маневрирования автомобиля. Ось  $X$  отвечает за изгиб колеса относительно его вертикального положения [2].

Блок для нахождения силы и моментов представлен на рис. 2.

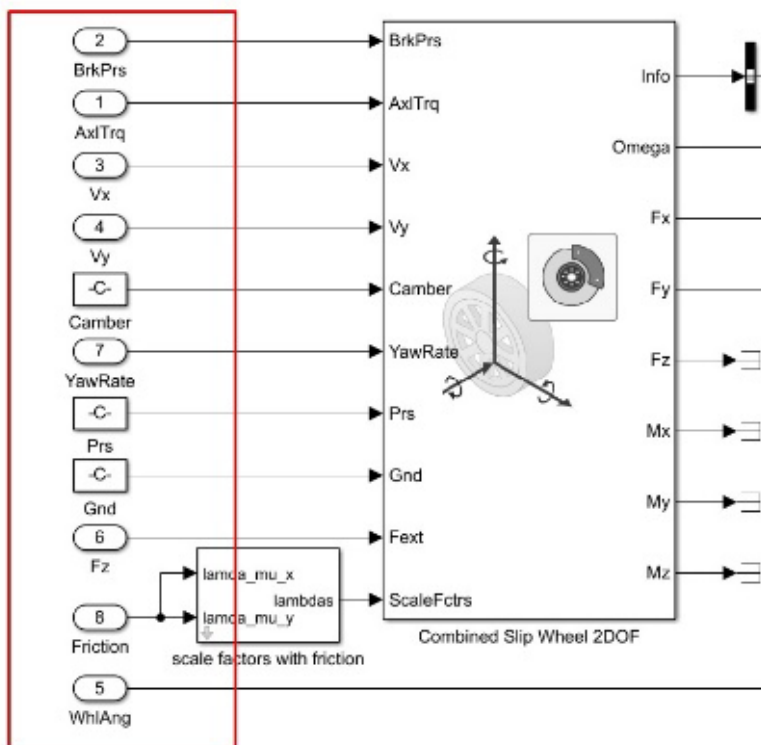


Рис. 2. Программные блоки *scale factors with friction* и *Combined Slip Wheel 2DOF* для определения сил и моментов, действующих на колесо при движении автомобиля по криволинейной траектории

На выходе из программного блока получим:  $F_x$  — сила, действующая на колесо по оси  $X$ ;  $F_y$  — сила, действующая на колесо по оси  $Y$ ;  $F_z$  — сила, действующая на колесо по оси  $Z$ ;  $M_x$  — изгибающий момент, относительно оси  $X$ ;  $M_y$  — момент сопротивления кручению колеса, относительно оси  $Y$ ;  $M_z$  — момент сопротивления повороту управляемого колеса, относительно оси  $Z$  [3].

Программный блок *Combined Slip Wheel 2DOF* позволяет получить данные о силе, действующей на колесо, и моментах сопротивления. Характеристики шины включают коэффициенты трения, давление в шине, углы развала колес и другие параметры [4]. Сценарий моделирования движения по криволинейной траектории включает траекторию движения на рис. 3.

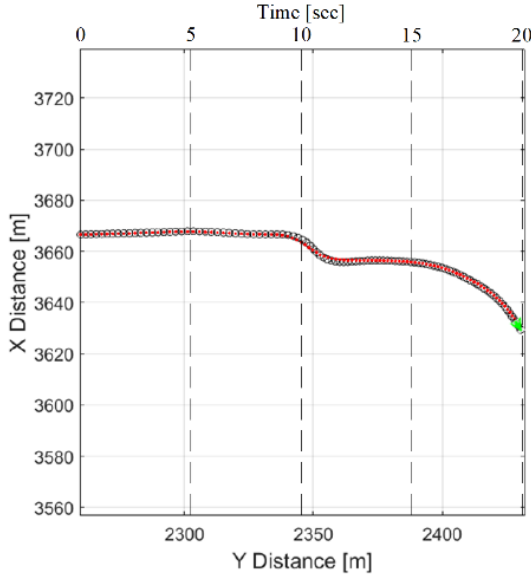


Рис. 3. Траектория движения колесной машины

Изменения сил и моментов, действующих на колесо, при взаимодействии его с опорной поверхностью по осям  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , в зависимости от угла поворота колеса, при движении автомобиля по криволинейной траектории представлены на рис. 4.

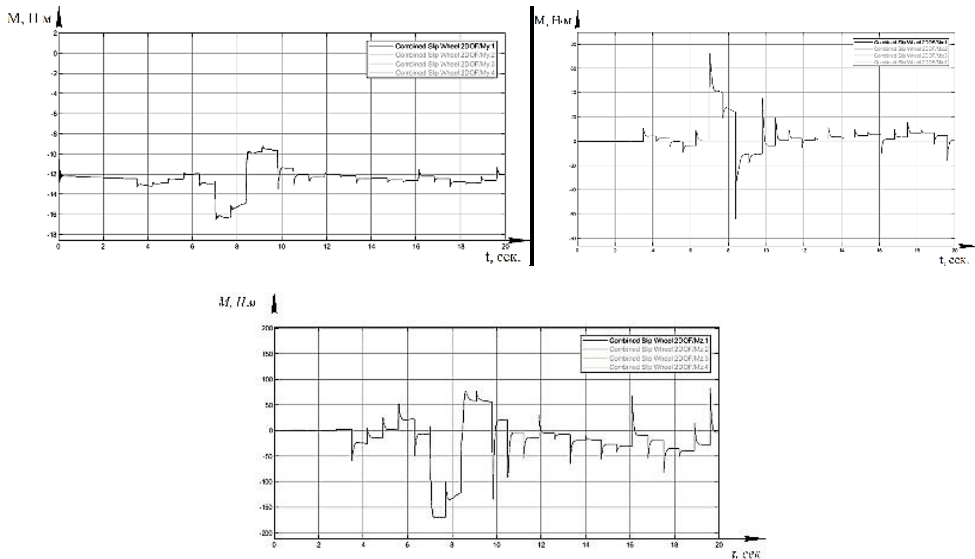
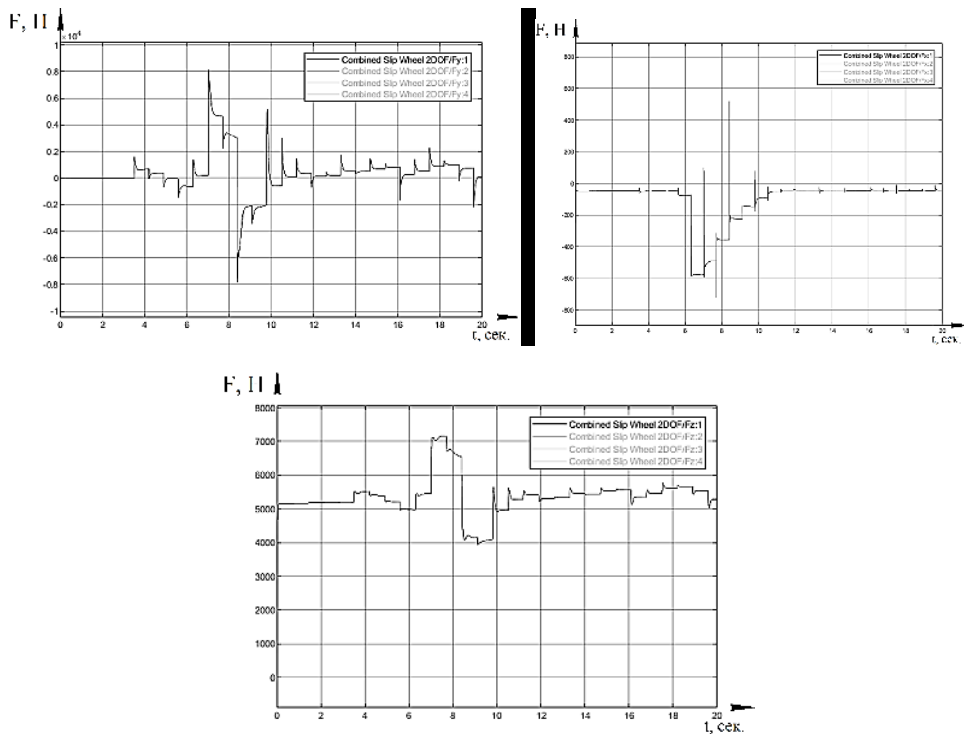


Рис. 4 (начало). Изменения сил по осям и их результирующих в зависимости от угла поворота колеса



**Рис. 4 (окончание).** Изменения сил по осям и их результирующих в зависимости от угла поворота колеса

Проанализировав графики, можно сделать следующие выводы. Момент сопротивления вращению колеса  $M_y$  с начала точки отсчета эксперимента резко увеличивается до 12 Н · м, это говорит о том, что колесо сопротивляется вращению с момента трогания автомобиля. Крутящий момент  $M_x$  при старте равен нулю, это говорит о том, что колеса находятся в прямом положении. При совершении поворота крутящий момент  $M_x$  начинает резко расти и достигает значения 65 Н · м, это говорит о том, что появляется воздействие, пытающееся изогнуть шину. Момент сопротивления повороту управляемых колес  $M_z$  при старте автомобиля с места равен нулю, это говорит о том, что колеса находятся в прямом положении. Далее при повороте закручивающий момент  $M_z$  начинает резко расти и достигает значения 160 Н · м — это говорит о том, что шина сопротивляется повороту. Сила по оси  $Y$ , при старте равна нулю, что соответствует движению по прямолинейному участку, далее при прохождении поворота величина  $F_y$  резко возрастает 1800 Н, это говорит о том, что появляется усилие, способствующее отрыву или же прижиманию колеса к ступице. Сила по оси  $X$  при трогании с места имеет свой номинал в 50 Н, это свидетельствует о том, что всегда имеет место сила, изгибающая

полуось автомобиля, при прохождении поворота величина  $F_x$  резко возрастает до 700 Н.

Сила по оси  $Z$  при старте автомобиля с места имеет номинал в 5200 Н и является величиной постоянной при прохождении прямолинейного участка пути, а при прохождении поворота, по причине загрузки-разгрузки левого и правого борта автомобиля величина  $F_z$  достигает значения 7000 Н при загрузке левого борта и 4000 Н при разгрузке левого борта.

## Литература

- [1] Скрынников А.В., Шихин А.В., Попов А.А., Сидоров В.Н. Моделирование взаимодействия шины колеса с опорным основанием опорно-ходового модуля. *Инженерный вестник Дона*, 2022, № 6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7695](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7695) (дата обращения 12.09.2023).
- [2] Попов С.Д. *Внешняя механика автомобильного колеса с эластичной шиной. Ч. 2: Плоское стационарное качение колеса по плоской твердой опорной поверхности*. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, 70 с.
- [3] Сидорова А.В., Степин П.И., Сидоров В.Н. Имитационное моделирование колебаний центра масс колесной машины с помощью программы Simulink. *Инженерный вестник Дона*, 2020, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395) (дата обращения 12.09.2023).
- [4] Жилейкин М.М. *Математические модели систем транспортных средств*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 100 с.

## Investigation of the Interaction of the Wheel with The support Base when Moving Along a Curved Trajectory

© Kozlov V.A.  
Kasymov M.S.  
Volkov M.A.  
Sidorov V.N.  
Ponomarev A.I.

kva19km090@student.bmstu.ru  
kms19km080@student.bmstu.ru  
volkovma1@student.bmstu.ru  
sidorov\_vn@bmstu.ru  
apon@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The article describes a study of the change in forces and moments acting on the wheel during its interaction with the supporting surface when the trajectory of the vehicle changes. To find the dependence of the quantities, a MATLAB Simulink model was created.*

**Keywords:** *controllability, mathematical model, wheeled vehicle, modeling, wheel tire, wheel angle, MATLAB Simulink*



## ***Секция 8. Защита информации***





УДК 004.92

## Анализ методов для управления персональным компьютером жестами

© | Борисов Никита Сергеевич  
Белов Юрий Сергеевич

bns40@mail.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены существующие методы замены компьютерной мыши, разработанные как крупными компаниями, так и отдельными людьми. Цель доклада — проанализировать имеющиеся методы, осветить научные разработки различных компаний и исследования институтов.*

**Ключевые слова:** компьютерная мышь, курсор, жесты, движения рук

Взаимодействие человека и компьютера является необходимой частью повседневной жизни. Ежегодно во всем мире продается более 350 миллионов компьютеров. Основным устройством взаимодействия с компьютером за последнее десятилетие была компьютерная мышь, которая не подходит в некоторых случаях, например, при взаимодействии человека и робота или когда расстояние или окружение не позволяют использовать мышь [1]. В данной статье будут рассмотрены новые системы и методы управления курсором.

На сегодняшний день существует ряд разработок, представляющих альтернативу компьютерной мыши для взаимодействия с компьютером. Система, разработанная фирмой Apple, позволяющая управлять курсором движением головы и мимикой (рис. 1). Плюсами данной системы является то, что для ее использования нет необходимости докупать дополнительное оборудование и устанавливать дополнительное программное обеспечение. Эта система является встроенной функцией всех устройств фирмы, что является как плюсом (работает, используя штатную камеру на устройстве), так и минусом (система работает только на устройствах фирмы Apple) [2].

Следующей разработкой в этой области является система, созданная компанией Microsoft. Данная система считывает движения человека, используя специальные датчики Azure Kinect DK, которые позволяют наиболее точным образом распознавать движения человека в пространстве (рис. 2). Плюсом разработки Microsoft является точное и быстрое распознавание жестов. Однако весомым недостатком системы является стоимость ее реализации (необходимо докупать специальные датчики Kinect, устанавливать пакет SDK на устройство и настраивать всю систему для корректной работы) [3].

Помимо систем, разработанных двумя, вышеперечисленными, крупными компаниями, существуют индивидуальные разработки пользователей. В большинстве своем они основываются на управлении жестами отдельными приложениями, а не всем компьютером в целом. Большинство таких разработок

направлены на взаимодействие с определенными программами, а не со всей операционной системой в целом.

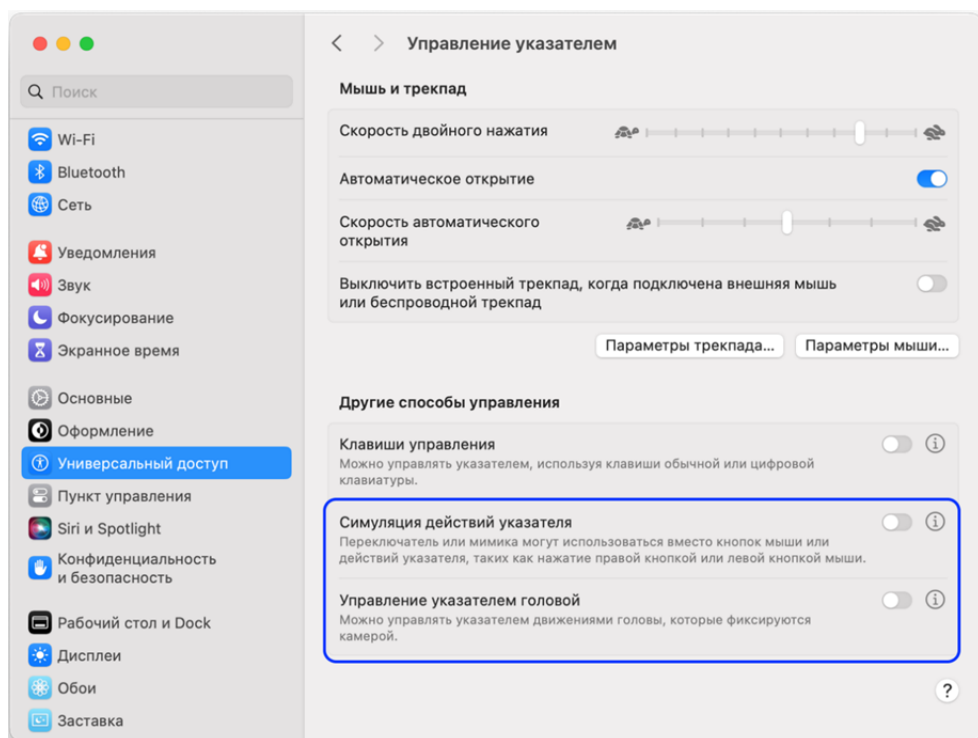


Рис. 1. Управление курсором мимикой и головой от компании Apple

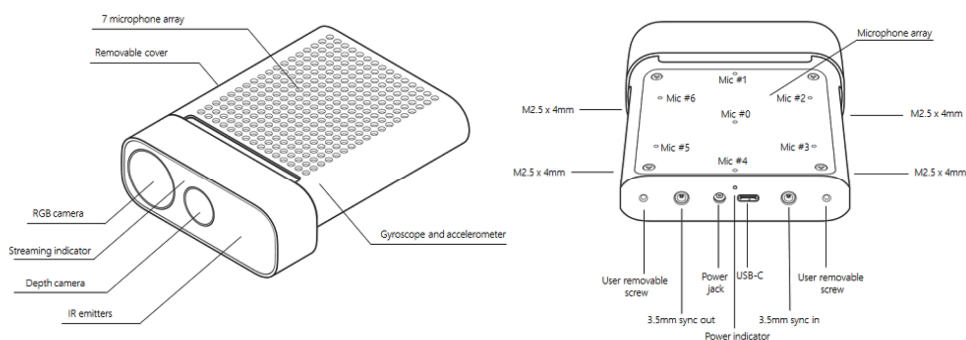


Рис. 2. Azure Kinect DK [3]

Также существует метод управления курсором, разработанный в УВИ (университет Вест-Индии). Он предлагает новую систему управления курсором, основанную на компьютерном зрении, с использованием жестов рук че-

ловека, снятых веб-камерой компьютера. Система позволяет пользователю перемещать курсор по экрану компьютера с помощью движения руки, а функции курсора, такие как щелчок правой и левой кнопкой мыши, выполняются с использованием различных жестов. Эта система использует веб-камеру с низким разрешением, способную отслеживать руку пользователя в двух измерениях и распознавать до семи жестов рук, которые интерпретируются как функции мыши. Входной кадр с веб-камеры преобразуется в цветное пространство HSV, где выполняется обнаружение кожи и вычитание фона. Затем выполняется обнаружение края, чтобы получить контур руки, который будет использоваться для отслеживания рук и распознавания жестов [4]. Основным ограничением системы является то, что ее необходимо эксплуатировать в хорошо освещенном помещении. Точность предложенной системы управления курсором составила 59 %, тогда как точность компьютерной мыши составила 99 % [2].

Помимо перечисленных выше методов существуют способы управления компьютером жестами с использованием различных датчиков. Как пример — MYO. Это разработка канадской компании Thalmic Labs, представленная на международной выставке мобильной индустрии Mobile World Congress. MYO представляет собой датчики, помещенные в браслет (рис. 3), который надевается на предплечье человека и считывает движения рук методом анализа электромагнитных импульсов в мышцах [5, 6]. Данный метод весьма инновационный и обладает повышенной точностью, однако требует покупки дополнительного оборудования и установки дополнительных программных средств.



Рис. 3. MYO by Thalmic Labs [6]

Подводя итог, следует заметить, что тема управления курсором компьютера является достаточно актуальной и находится в активном рассмотрении различными научными организациями, крупными компаниями и так же частными лицами. На сегодняшний день существует ряд разработок, однако каждая из них еще не идеальна и имеет ряд недостатков, которые могут замедлить внедрение нового уровня взаимодействия между компьютером и человеком в массы.

## Литература

- [1] Williamosn A. *Vision Based Cursor Control using Hand Gestures and a Webcam*. 2008–2009 The University of The West Indies St. Augustine, Trinidad & Tobago, West Indies Faculty Of Engineering. Available at: [https://www.academia.edu/8990113/Cursor\\_Control\\_using\\_Hand\\_Gestures\\_and\\_a\\_Webcam](https://www.academia.edu/8990113/Cursor_Control_using_Hand_Gestures_and_a_Webcam) (accessed October 12, 2023).
- [2] Pastorella G. *The Apple Ecosystem: from the commoditisation of advanced hardware towards a services-oriented industry*. Available at: [https://tesi.luiss.it/28627/1/214691\\_PASTORELLA\\_GIACOMO.pdf](https://tesi.luiss.it/28627/1/214691_PASTORELLA_GIACOMO.pdf) (accessed October 12, 2023).
- [3] Документация по Azure Kinect DK | Microsoft Learning — 2023. Available at: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/azure/kinect-dk/> (accessed October 12, 2023).
- [4] Gholamreza A., Bebis G., Erol A., Nicolescu M. Hand-based verification and identification using palm–finger segmentation andkl; fusion. *Computer Vision and Image Understanding*, 2009, vol. 113, no. 4.
- [5] *Thalmic labs, MYO Manuals*. Guide-Docs.com — 2023. Available at: <https://service-manual.eu/device/thalmic-labs/myo/> (accessed October 12, 2023).
- [6] Castello E. *A wearable general-purpose solution for Human-Swarm Interaction* / MIT Media Lab, 75 Amherst St., Cambridge, MA. Available at: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/108829/A%20wearable%20general-purpose%20solution%20for%20human-swarm%20interaction%20-%20Eduardo%20Castello.pdf?sequence=1> (accessed October 12, 2023).

## Analysis of Methods for Controlling a Personal Computer with Gestures

© | Borisov N.S.  
Belov Yu.S.

bns40@mail.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The existing methods of replacing a computer mouse developed by both large companies and individuals are considered. The purpose of the report is to analyze the available methods, highlight the scientific developments of various companies and research institutes.*

**Keywords:** *computer mouse, cursor, gestures, hand movements*

УДК 004.91

## Аналитика социальных сетей: обзор инструментов с открытым исходным кодом

© | Космынин Денис Сергеевич  
Белов Юрий Сергеевич

n3dsky@mail.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В результате доступности веб-интерфейсов прикладного программирования (API) для сайтов социальных сетей изучение социальных сетей стало основной исследовательской и деловой практикой. Эта среда быстро развивается в связи с требованиями рынка и огромными областями применения. В этой статье представлен обзор ведущих инструментов аналитики социальных сетей, доступных для различных платформ социальных сетей. Предприятия сталкиваются с различными проблемами при внедрении аналитических инструментов социальных сетей для поддержки бизнес-стратегий, основанных на знаниях. Эта работа будет очень полезна организациям при определении различных инструментов, доступных на рынке, которые могут помочь им принимать стратегические решения, основанные на знаниях.*

**Ключевые слова:** аналитика социальных сетей; интеллектуальный анализ данных; поддержка принятия решений; создание знаний; платформы социальных сетей

Инструменты с открытым исходным кодом очень популярны для приложений социальных сетей, это инструменты, исходный код которых охотно публикуется для использования и изменяется по сравнению с его первоначальным дизайном (economytimes, 2018). Они находятся в свободном доступе для использования и не нуждаются в коммерческой лицензии. Лицензии принадлежат сообществу пользователей, а не компании, приносящей прибыль. Рассмотрим некоторые инструменты аналитики социальных сетей с открытым исходным кодом.

**Socioboard (<https://www.socioboard.com>).** Этот инструмент с открытым исходным кодом помогает компаниям понять возможности социальных сетей для дальнейших продаж и установить с ними связь. Эти инструменты выполняют такие функции, как ведение аккаунтов в социальных сетях, аналитика и отчетность. Информационная панель предоставляет полный набор функций прогнозного анализа. Данные из различных источников собираются и классифицируются в соответствии с более чем тысячей групп, что облегчает предоставление ориентированных на потребителя данных для распространения в отраслях и производствах [1]. Он работает в режиме реального времени и помогает в анализе настроений. Socioboard предоставляет наиболее компетентное приложение для управления данными социальных сетей в любое время и в любом месте.

**Hootsuite (<https://hootsuite.com>).** Этот инструмент аналитики социальных сетей работает как с бесплатными, так и с платными сервисами. Это ин-

струмент, который анализирует данные в режиме реального времени. Он имеет единую панель мониторинга, которая позволяет отслеживать и публиковать сообщения в Twitter, LinkedIn, Google + и ряде других социальных сетей. Маркетологи могут назначать задачи, общаться, а также планировать рассылку сообщений. Это повышает рентабельность инвестиций в любой бизнес [2]. Возможность создания еженедельных отчетов наряду с отличными возможностями управления командой, предлагаемыми этим инструментом, особенно полезна в случае, когда несколько человек управляют аккаунтами в социальных сетях. Он может отслеживать до 10 социальных профилей и поддерживает такие функции, как автоматическое планирование контента и массовое планирование.

**Social Harvest ([www.socialharvest.io](http://www.socialharvest.io)).** Это бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом, которое предназначено для сбора данных на аппаратном обеспечении или в облаке. В основном это работает для Twitter и Facebook. Легко настраиваемая панель мониторинга может содержать место для визуализации любых данных с помощью виджетов. Его цель — предоставить информацию о социальных сетях частным лицам и малому бизнесу. Основной целью этого инструмента является экономически эффективный хостинг и предоставление масштабируемой и гибкой платформы. Этот инструмент помогает проводить прогностический анализ и работает в режиме реального времени. Это очень эффективный и масштабируемый инструмент. Однако он не был разработан как корпоративный инструмент [3].

**Google Alerts (<https://www.google.co.in/alerts>).** Это бесплатный инструмент, который использует целевые ключевые слова для мониторинга огромного количества блогов и новейших сайтов. Он предоставляет оповещения или пакетные отчеты, если поступает какой-либо новый контент. Он работает для блогов, новостей, веб-сайтов и т. д. и генерирует пакетные отчеты в режиме реального времени. Оповещения Google приходят в виде обновлений по электронной почте на основе последних релевантных результатов Google (блоги, новости и т. д.) в зависимости от результатов поиска пользователя. Можно ввести тему, которая подлежит мониторингу, а затем просмотреть предварительный просмотр типа полученных результатов [4]. Некоторые практические применения Google Alerts включают мониторинг и разработку новостного материала, а также отслеживание текущих событий у конкурентов или в отрасли [5].

**Tweetdeck (<https://web.tweetdeck.com>).** TweetDeck — это приложение, которое имеет панель мониторинга и предназначено для управления учетными записями Twitter. Это бесплатный инструмент, который работает в режиме реального времени для Twitter. Он также выполняет поиск многомерных приложений для социальных сетей, которые позволяют публиковать данные. TweetDeck работает с Twitter API и позволяет пользователям отправлять и получать твиты и просматривать профили. Изначально TweetDeck был независимым приложением, однако оно было приобретено Twitter. Это самый мощный инструмент Twitter для отслеживания, координации и взаимодей-

ствия в режиме реального времени. Этот инструмент может управлять несколькими аккаунтами, планировать твиты для будущей публикации и создавать коллекцию [6].

В связи с наличием большого числа инструментов аналитики социальных сетей с открытым исходным кодом, нельзя выбрать инструмент, который будет являться универсальным для всех ситуаций. Поэтому, предприятиям стоит выбирать то программное обеспечение, которое по функционалу будет удовлетворять поставленным целям и задачам.

## Литература

- [1] Adedoyin-Olowe M., Gaber M.M., Stahl F. A Survey of Data Mining Techniques for Social Media Analysis, 2013, arXiv preprint arXiv, art. 1312.4617.
- [2] Kumar V., Nanda P. Social media to social media analytics: ethical challenges. *International Journal of Technoethics(IJT)*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 57–70.
- [3] Kumar V., Pradhan P. Trust management issues in social-media marketing. *International Journal of Online Marketing (IJOM)*, 2015, vol. 5, no. 3, pp. 47–64.
- [4] Kumar V., Pradhan P. Reputation management through online feedbacks in e-business environment. *International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS)*, 2016, vol. 12, no. 1, pp. 21–37.
- [5] Kumar V., Vidhyalakshmi R. *Reliability Aspect of Cloud Computing Environment*. Singapore, Springer, 2018.
- [6] Ruhi U. Social media analytics as a business intelligence practice: current landscape and future prospects. *Journal of Internet Social Networking and Virtual Communities*, 2014, pp. 1–12.

## Social Media Analytics: An overview of Open Source Tools

© Kosmynin D.S.  
Belov Yu.S.

n3dsky@mail.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*As a result of the availability of web-based application programming interfaces (APIs) for social networking sites, the study of social networks has become a core research and business practice. This environment is developing rapidly due to market demands and huge application areas. This article provides an overview of the leading social network analytics tools available for various social media platforms. Businesses face various challenges when implementing social media analytics tools to support knowledge-based business strategies. This work will be very useful for organizations in identifying various tools available in the market that can help them make strategic decisions based on knowledge.*

**Keywords:** *social network analytics; data mining; decision support; knowledge creation; social media platforms*

УДК 004.932.7

## Интернет - форматы изображений в стеганографии

© Носов Антон Владимирович  
Гагарин Юрий Евгеньевич

avgam304@yandex.ru  
gagarin\_je@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В настоящее время часто возникает необходимость передачи чувствительной информации в цифровом виде. Для этой цели обычно используется криптография, однако существует и другие подходы. В работе рассмотрены популярные форматы для передачи изображений в сети Интернет и проведен их анализ на вместимость информации внутри себя при использовании стеганографии.*

**Ключевые слова:** стеганография, криптография, стегосообщение, стегоконтейнер, стегоалгоритм, изображение

Стеганография — это наука, изучающая способы передачи одних данных (скрываемых), внутри других, открытых для всех (например, в картинах или книгах). Скрываемое сообщение обычно называют стегосообщением, а данные, внутри которых оно находится, называют стегоконтейнером [1]. Как правило, сообщение выглядит как что-либо иное, например, статья, список покупок, электронное письмо или видео.

В цифровой стеганографии (используемой на компьютерах) именно графические изображения стали самыми используемыми стегоконтейнерами, вот несколько тому причин:

- востребованность защиты графической информации от незаконного копирования и распространения;
- большой информационный объем самого изображения, что позволяет скрывать цифровые водяные знаки (ЦВЗ) большого объема;
- криптоанализ данных обычно начинается с визуальной оценки зашифрованной информации, однако цель стеганографии скрыть наличие сообщения (в тех же самых изображениях), что оставляет такой канал передачи информации вне подозрения для простого человека.

Методы сокрытия информации в изображениях делятся на пространственные и частотные [2]. Пространственные методы манипулируют значениями в пространственной области (т. е. пикселями и их компонентами). Частотные методы работают с коэффициентами в частотной области, полученными после какого-либо дискретного преобразования исходного файла (например, косинусного или вейвлет).

Цифровые изображения бывают двух типов: векторные и растровые. Первые используют для построения изображения так называемые примитивы, т. е. математические объекты (круги, линии, точки, и др.), имеющие заданные параметры (радиус, координаты, угол и т. п.). Растровые же изображения состоят из пикселей — цветных точек, имеющих собственные координаты и парамет-



ры. Растровые форматы хранят больше информации по сравнению с векторными, чем и обоснована их применимость в стеганографии.

Рассмотрим среди растровых форматов самые популярные и используемые чаще всего для передачи в сети Интернет. Попробуем выяснить какое максимальное количество (супремум) информации можно в них передать (спрятать).

*GIF (Graphics Interchange Format)* — это формат файлов, который обычно используется для изображений с ограничением на количество цветов. Изображение в формате GIF хранится построчно, в каждой строке хранятся номера цветов (индекс) из палитры. Стандарт разрабатывался только для поддержки 256-цветовой палитры в формате RGB, «полупрозрачность» пикселей (технология альфа-канала) не поддерживается [3].

Данный формат является самым простым из представленных в работе с точки зрения стеганографии, так как метод сжатия информации один и работает без потерь (вся информация восстанавливается в абсолюте), а цветовое пространство представлено 8-битной моделью RGB, цвета из которой хранятся в палитре цветов. При таких условиях необходимо использовать пространственные методы, так как в последующем никаких преобразований (кроме сжатия без потерь) над изображением не осуществляется.

Таким образом, чтобы получить максимальную длину сообщения ( $L$ , length), которое можно спрятать в таких файлах, можно воспользоваться следующей формулой:

$$L = 256 \text{ (размер палитры)} \times 3 \times 8 \text{ (бит для представления цвета в RGB)} = 6144 \text{ бит.}$$

Цвета в палитре для разных кадров могут повторяться, однако все они хранятся в одной глобальной таблице цветов (ограниченной 256 цветами). Также стоит отметить, что используются все биты, выделенные на представление цвета, а значит сам цвет поменяется на совсем другой, тем самым нарушив правило стеганографии о скрытности сообщения.

*PNG (Portable Network Graphics) / APNG (Animated PNG)* — растровый формат хранения графической информации, использующий сжатие без потерь по алгоритму Deflate (алгоритм, являющийся комбинацией алгоритма LZ77 и Хаффмана). PNG был создан как свободный формат для замены GIF (до 2005 г. GIF не был таковым), поэтому собрал в себе все лучшие и необходимые качества: поддержка большого количества цветов, поддержка альфа-канала, свободная лицензия и эффективный алгоритм сжатия. PNG стал (и является) одним из самых популярных форматов для использования в сети Интернет.

PNG использует RGB (а также RGBA) модель и поддерживает три режима хранения изображения [4]:

- полутоновое изображение (с глубиной цвета 16 бит);
- цветное индексированное изображение (8-битная палитра с глубиной цвета 24 бит);
- полноцветное изображение (с глубиной цвета 48 бит).

При использовании полутонов на каждый пиксель отводится 16 бит информации для кодирования яркости этого пикселя, поэтому длину сообщения можно рассчитать по формуле:

$$L = x \text{ (ширина изображения)} \times y \text{ (высота изображения)} \times \\ \times (16 + 8) \text{ (бит на пиксель + альфа-канал).}$$

Правила использования индексированной палитры, как и формула для вычисления длины стегосообщения, остаются такими же, как в формате GIF, имеем:

$$L = 2^8 \text{ (количество цветов в палитре)} \times (24 + 8) \text{ (бит на цвет + альфа-канал)} = \\ = 8192 \text{ бит.}$$

При полноценном режиме отображения на каждый пиксель отводится 48 бит для кодирования RGB компонент (по 16 бит на каждую), а также 8 бит для альфа-канала, учитывая это имеем:

$$L = x \text{ (ширина изображения)} \times y \text{ (высота изображения)} \times \\ \times (48 + 8) \text{ (бит на пиксель + альфа-канал)}$$

*JPEG* — один из популярных растровых графических форматов, применяемый для хранения фотографий и подобных им изображений. Данный формат использует алгоритм сжатия с потерями (дискретное косинусное преобразование, ДКП), что означает непригодность пространственных методов для сокрытия стегосообщения. Сжатие состоит из трех этапов: субдискретизация, ДКП с дискретизацией и кодирование [5]. Потеря данных происходит на втором этапе, поэтому для подсчета длины стегосообщения рационально использовать результат этой стадии. В конечном файле хранятся именно коэффициенты, полученные в результате ДКП, которые можно использовать для сокрытия сообщения, тогда супремум длины стегосообщения и будет количеством хранимых коэффициентов:

$$L = n \text{ (количество коэффициентов, полученных после ДКП).}$$

Стоит сделать замечание, что нельзя использовать все коэффициенты (как и с битами для представления цвета), потому что некоторые из них (а именно низкочастотные) несут больше информации чем другие, и такая замена просто испортит изображение.

В работе рассмотрены основные форматы изображений, применяемые в сети Интернет, и исследованы их возможности на способность сокрытия большого количества сторонней информации.

## Литература

- [1] Генне О.В. Основные положения стеганографии. *Защита информации. Конфидент*, 2000, № 3.
- [2] Завьялов С.В., Ветров Ю.В. *Стеганографические методы защиты информации*. Санкт-Петербург, Изд-во Политехн. ун-та, 2012, 190 с.

- [3] Пономарев И.В., Строкин Д.И. Стеганографические методы встраивания и обнаружения сокрытых сообщений, использующие GIF-изображения в качестве файлов-контейнеров. *Известия АлтГУ. Математика и механика*, 2022, № 1.
- [4] ISO/IEC 15948:2004 — Information technology — Computer graphics and image processing — Portable Network Graphics (PNG): Functional specification. International Organization for Standardization. 3 March 2004. Retrieved 19 February 2011. Available at: <https://www.iso.org/standard/29581.html> (accessed October 02, 2023).
- [5] Быков С.Ф. Алгоритм сжатия JPEG с позиции компьютерной стеганографии. *Защита информации. Конфидент*, 2000, № 3.

## Internet Image Formats in Steganography

© | Nosov Anton Vladimirovich  
Gagarin Yuri Evgenievich

avgam304@yandex.ru  
gagarin\_je@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Nowadays, it is often necessary to transfer sensitive information in digital form. Cryptography is usually used for this purpose, but there are other approaches. The paper considers popular formats for transmitting images on the Internet and analyzes them for the capacity of information inside themselves when using steganography.*

**Keywords:** *steganography, cryptography, stegocommunication, stegocontainer, stegoalgorithm, image*

УДК 004.056

## Анализ методов обнаружения сетевых атак

© Шеститка Александр Вадимович  
Белов Юрий Сергеевич

shestitka@list.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены основные методы обнаружения сетевых атак: метод обнаружения на основе сигнатур, метод обнаружения на основе аномального поведения, гибридный метод. Система обнаружения сетевых атак является важнейшей компонентой комплексного решения по обеспечению безопасности. Проанализированы и представлены основные способы обнаружения сетевых атак для каждого метода, выявлены сильные и слабые стороны каждого метода.*

**Ключевые слова:** сетевые атаки, информационная безопасность, анализ сигнатур, метод обнаружения

Система обнаружения сетевых атак является важнейшей компонентой комплексного решения по обеспечению безопасности. В данном докладе рассматриваются основные методы обнаружения сетевых атак: метод обнаружения на основе сигнатур, метод обнаружения на основе аномального поведения, гибридный метод. Все перечисленные методы используют в качестве исходных данных сетевой трафик, зачастую фрагментированный на уровне IP и представленный как набор сетевых пакетов.

Метод, основанный на анализе сигнатур, в качестве основной идеи подразумевают сопоставление трафика с некоторым образцом (сигнатурой атаки). Предполагается, что необходимо предварительное знание атак и их моделей, чтобы текущий входящий сетевой трафик можно было внимательно отслеживать и сравнивать с известными сигнатурами атак [1, 2]. Стоит отметить, что данный метод требует регулярного обновления и добавления новых сигнатур. К недостаткам метода можно отнести низкую производительность [1, 2]. Другая проблема — это неспособность обнаружения атак, сигнатуры которых неизвестны. К плюсам данного метода можно отнести простоту его реализации и высокую точность при обнаружении хорошо известных атак.

Метод обнаружения на основе аномального поведения оперирует таким понятием, как ненормальное или аномальное поведение [3]. Как следует из названия, данный метод предлагает анализировать трафик для обнаружения поведения или событий и действий, которые считаются ненормальными по сравнению с типичными событиями и действиями, которые происходят во время нормальной работы сети. Этот метод противопоставляется методу, основанному на анализе сигнатур. Вместо того чтобы полагаться на постоянно увеличивающийся набор правил и шаблонов, метод обнаружения на основе аномального поведения собирает сетевой трафик, чтобы сформулировать

модель, на основе которой будет производиться прогнозирование последующего трафика. Таким образом образуется порог, пересечение которого может указывать на аномальный уровень поведения [2, 3]. Как и в случае с системами на основе сигнатур, метод систем на основе аномалий имеет проблемы, в частности уверенность в решениях, принятых с использованием прогнозов и пороговых значений, гораздо ниже, чем в предыдущем методе. И хотя системы на основе аномалий могут обнаруживать некоторые неизвестные атаки, сложность систем на основе сигнатур меньше.

Гибридная система использует комбинацию метода обнаружения, основанного на анализе сигнатур и метода обнаружения на основе аномального поведения [4]. Учитывая разнообразные проблемы метода на основе сигнатур и метода на основе аномалий, гибридная система стремится преодолеть хотя бы некоторые из индивидуальных проблем каждого метода. Преимущества обеих методологий призваны дополнять друг друга для устранения недостатков каждой из них, создавая систему, которая требует минимального взаимодействия с человеком [5]. Модуль, сопоставляющий сигнатуры может обнаружить известные атаки и предотвратить попытку злоумышленников переобучить модуль, анализирующий аномалии, в то время как модуль, проверяющий пакеты на аномальность может обнаружить неизвестные или новые вторжения. Несмотря на все положительные стороны, гибридный метод сложен в реализации и низко производителен.

Перспективными направлениями при проектировании систем обнаружения сетевых атак в настоящее время видится гибридизация подходов, а также использование технологий машинного обучения и больших данных [6].

## Литература

- [1] Biermann E., Cloete E., Venter L. A comparison of Intrusion Detection systems. *Computers & Security*, 2001, vol. 20, no. 8, pp. 676–683. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167404801008069> (accessed September 9, 2023).
- [2] Davis J.J., Clark A.J. Data preprocessing for anomaly based network intrusion detection: A review. *Computers & Security*, 2011, vol. 30, no. 6, pp. 353–375. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404811000691> (accessed September 9, 2023).
- [3] Garc'ia-Teodoro P., D'iaz-Verdejo J., Maci'a-Fern'andez G., V'azquez E. Anomaly-based network intrusion detection: Techniques, systems and challenges. *Computers & Security*, 2009, vol. 28, no. 1-2, pp. 18–28. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167404808000692> (accessed September 9, 2023).
- [4] Patcha A., Park J.-M. An overview of anomaly detection techniques: Existing solutions and latest technological trends. *Comput. 2007, 225 Netw.*, vol. 51, no. 12, pp. 3448–3470. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2007.02.001>
- [5] Thaseen S.I., Poorva B., Ushasree P.S. Network Intrusion Detection using Machine Learning Techniques. *International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering*, ic-ETITE 2020, pp. 267–291.
- [6] Котенко И.В., Саенко И.Б. К новому поколению систем мониторинга и управления безопасностью. *Вестник Российской академии наук*, 2014, т. 84, № 11, с. 993–1001

## Analysis of Network Attack Detection Methods

© | Shestitka A.V.  
Belov Yu.S.

shestitka@list.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The main methods for detecting network attacks are considered: signature-based detection method, anomalous behavior-based detection method, hybrid method. Network attack detection is a critical component of a comprehensive security solution. The main methods for detecting network attacks for each method are analyzed and presented, and the strengths and weaknesses of each method are identified.*

**Keywords:** *network attacks, information security, signature analysis, detection method*

***Секция 9. Динамика,  
прочность и надежность  
подъемно - транспортных,  
строительных, дорожных  
машин и оборудования***





УДК 621.86

## Влияние параметров кранового колеса на величину контактного напряжения между колесом и рельсом

© Карпов Алексей Алексеевич  
Витчук Павел Владимирович

karpovaa@student.bmstu.ru  
vitчук@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Траектория перемещения кранового колеса по рельсу представляет из себя случайный процесс, зависящий от большого числа случайных силовых факторов: воздействия продольных и поперечных сил сопротивления движению колеса, тяговых усилий и других. Совокупность этих силовых факторов приводит к неизбежному проскальзыванию кранового колеса относительно рельса и, как следствие, к износу трущихся поверхностей, как правило, реборд колеса. В этой связи известные методы расчета на износ кранового колеса требуют корректировки, учитывающей конкретные условия эксплуатации кранового колеса.*

**Ключевые слова:** крановое колесо, износ, реборда, номинальная площадь контакта, средние контактные напряжения

Движение кранового колеса по рельсу можно рассматривать как совокупность двух различных фаз:

- «свободное движение», когда контактирование колеса с рельсом осуществляется только по поверхности качения;
- «несвободное движение», когда контактирование по поверхности качения сопровождается дополнительным контактом одной из реборд.

В соответствии с этим при расчете кранового колеса необходимо рассчитывать не только долговечность поверхности качения, но и реборд кранового колеса. Меньшая из этих двух величин и будет определять фактическую долговечность колеса.

До настоящего времени методики расчета долговечности крановых колес преимущественно разрабатывались лишь для поверхности качения [1, 2] и др. При этом основной причиной отказа крановых колес при эксплуатации грузоподъемных кранов является интенсивный износ реборд [3, 4], поэтому разработка методики расчета долговечности реборд крановых колес является актуальной задачей.

На рис. 1 представлена схема контактирования реборды кранового колеса с боковой гранью головки кранового рельса. Как видно из приведенной схемы, контакт реборды кранового колеса с боковой гранью головки кранового рельса осуществляется по площадке длиной  $l_K$ , определяемой по формуле [5]

$$l_K = \frac{h_p}{\cos \alpha}, \quad (1)$$

где  $h_p$  — высота реборды кранового колеса.

Величина угла  $\alpha$  в формуле (1) зависит от конкретного рельса и лежит в пределах  $6 \dots 10^\circ$

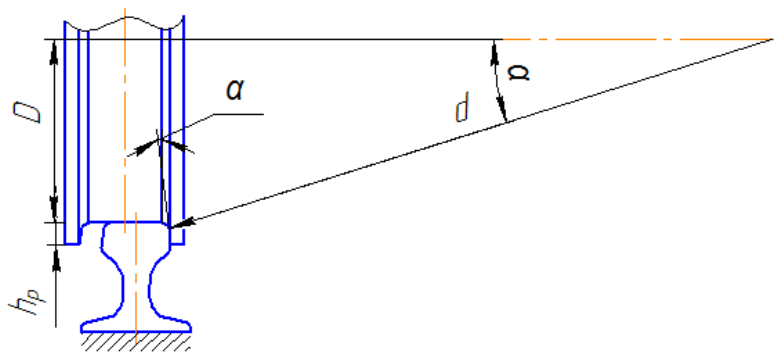


Рис. 1. Схема контактирования реборды кранового колеса с головкой рельса

Представляя боковую грань головки рельса в виде плоской площадки бесконечной длины, а поверхность реборды кранового колеса в зоне контакта — цилиндром с диаметром  $d$ , согласно [5] можно определить половину ширины полоски контакта  $b$ :

$$b = 0,0073 \sqrt{\frac{P_{\text{гор}} d}{l_K}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{гор}}$  — горизонтальная нагрузка в контакте.

Величина  $d$ , входящая в формулу (2), связана с параметрами кранового колеса следующим выражением:

$$d = \frac{D + 0,5h_p}{\sin \alpha}. \quad (3)$$

Определив по формулам (1) и (2) размеры площадки контакта, можно вычислить величину контактных напряжений. Для общего случая линейного контакта, согласно [1, 5], средние напряжения определяют по известному отношению:

$$p_{\text{гор}} = \frac{P_{\text{гор}}}{2bl_K}. \quad (4)$$

Задаваясь последовательно рядом стандартных диаметров крановых колес и высотами реборд, для широкого диапазона эксплуатационных нагрузок [6] по формулам (1)–(4) можно вычислить размеры площадки контакта и величины средних контактных напряжений.

Результаты этих расчетов представлены на рис. 2 и 3.

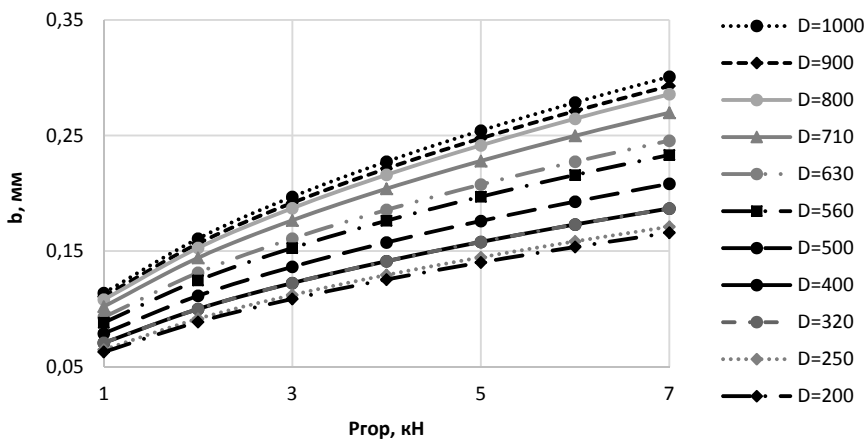


Рис. 2. Зависимость изменения полуширины площадки контакта реборды с головкой рельса для различных уровней горизонтальных нагрузок

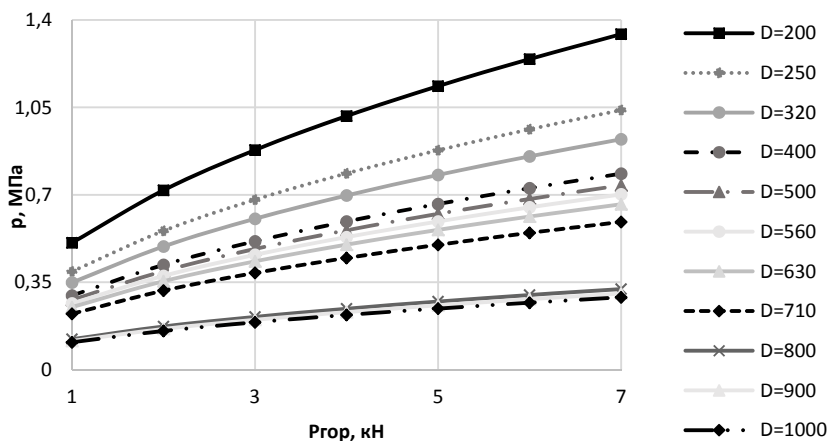


Рис. 3. Зависимость изменения среднего давления в контакте реборды с головкой рельса для различных уровней горизонтальных нагрузок

**Заключение.** Анализ полученных графиков показывает, что при одинаковых условиях нагружения размеры площадок контакта и средние контактные напряжения существенно зависят от геометрических размеров контактируемых поверхностей: большим диаметрам колес соответствуют большие площадки контакта, и как следствие, меньшие контактные напряжения.

Дополнительным эффективным средством снижения контактных нагрузок является увеличение высоты реборды. Так, например, увеличение высоты реборды с 20 до 30 мм дает возможность снизить контактные напряжения в среднем на 20 %. Разумеется, в реальных конструкциях высота реборды должна быть ограничена. При линейном контакте таким ограничением явля-

ется высота боковой грани головки подкранового рельса  $h_{\Gamma}$ , которая при условии  $l_{\max}$

$$h_p \geq h_{\Gamma} \quad (5)$$

дает по формуле (1) вполне определенную длину площадки контакта

$$l_{\max} = \frac{h_{\Gamma}}{\cos \alpha}. \quad (6)$$

Случай равенства  $h_p$  и  $h_{\Gamma}$  представляется наиболее благоприятным в эксплуатации. Износ боковой грани рельса происходит при этом по всей высоте, на головке рельса не образуется «ступенек», которые затрудняли бы эксплуатацию на данных крановых путях кранов различной грузоподъемности, имеющих различные конструкции крановых колес.

### Литература

- [1] Лалаянц Р.А. (ред.). Расчеты крановых механизмов и их деталей. Москва, ВНИИПТ-МАШ, 1993, т. 1, 187 с.
- [2] Александров М.П. Грузоподъемные машины. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана — Высшая школа, 2000, 552 с.
- [3] Витчук П.В., Шубин А.А., Крылов К.Ю. Классификация дефектов и отказов башенных и автомобильных кранов. *Подъемно-транспортное дело*, 2015. № 4–5, с. 38–41.
- [4] Ермоленко В.А., Витчук П.В. Особенности расчета показателей надежности грузоподъемных машин. *Надежность*, 2016, т. 16, № 2 (57), с. 20–25.
- [5] Ишлинский А.Ю. О проскальзывании в области контакта при трении качения. *Изв. АН СССР: Отделение техн. наук*, 1956, № 6, с. 3–15.
- [6] Витчук П.В., Шубин А.А., Анцев В.Ю., Крылов К.Ю. Прогнозирование долговечности крановых ходовых колес с учетом отклонений крановых путей от проектного положения. *Подъемно-транспортное дело*, 2019, № 5 (98), с. 7–12.

## Influence of Crane Wheel Parameters on the Contact Voltage between the Wheel and the Rail

© | Karpov A.A.  
Vitchuk P.V.

karpovaa@student.bmstu.ru  
vitchuk@bmstu.ru

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

*The trajectory of movement of the crane wheel along the rail is a random process, depending on a large number of random force factors: the influence of longitudinal and transverse forces of resistance to the movement of the wheel, traction forces and others. The combination of these force factors leads to inevitable slipping of the crane wheel relative to the rail and, as a consequence, to wear of the rubbing surfaces, usually the wheel flanges. In this regard, known methods for calculating the wear of a crane wheel require adjustments that take into account the specific operating conditions of the crane wheel.*

**Keywords:** crane wheel, wear, flange, nominal contact area, average contact stress

УДК 629.464.2

## Повышение эффективности работы снегоуборочных машин на станционных путях

© | **Логинов Дмитрий Игоревич**  
**Шубин Александр Анатольевич**

dimasik.loginov@yandex.ru  
ashubin@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрен принцип работы самоходного снегоуборочного комплекса и предложен вариант повышения эффективности его работы при уборке снега со станционных железнодорожных путей. Для улучшения работы снегоуборочной машины предложено оснащать ее снегоуплотнительным модулем для полного использования максимальной грузоподъемности комплекса. Сделаны выводы, что данный модуль целесообразно использовать только при определенной плотности снега.*

**Ключевые слова:** максимальная грузоподъемность, плотность снега, снегоуплотнительным модуль, снегоуборочный комплекс

В зимний период в районах Российской Федерации, где долго держатся отрицательные температуры и осадки выпадают в большом количестве, транспортная инфраструктура работает в тяжелом режиме из-за проблем, затрудняющих движение транспорта. В такое время года вопрос уборки и утилизации снега с железнодорожных путей на перегонах и станциях для обеспечения бесперебойного движения подвижного состава особенно актуален.

На станционных железнодорожных путях может скапливаться большое количество снежной массы. При этом очистить путь посредством удаления снега в сторону не представляется возможным вследствие небольшого расстояния между станционными путями.

Все существующие и эксплуатирующиеся снегоуборочные комплексы на железнодорожной сети при различном конструктивном исполнении имеют общие принципы работы. Снег забирается с пути и передается в специализированный вагон для сбора снега, при этом грузоподъемность специализированных вагонов не используется в полной мере, что приводит к необходимости чаще совершать поездки для разгрузки снега. Данная процедура снижает эффективность использования снегоуборочного комплекса. Возможность повышения эффективности работы снегоуборочной работы была рассмотрена ранее [1].

При эксплуатации современного самоходного комплекса для удаления снега на станционных путях ПСС-2П возникает вопрос о рациональности использования грузоподъемности промежуточных полувагонов, потому что она в несколько раз превышает массу перевозимого снега. В связи с этим можно предположить, что есть возможность улучшить работу снегоуборочной техники на железнодорожных путях.

Повысить эффективность работы данной техники на станционных путях можно за счет полного использования максимальной грузоподъемности сне-

гоуборочного комплекса. Этого можно добиться с помощью уплотнения удаленного с путей снега и дальнейшей передачи его в вагон-засоритель.

В работах [2, 3] уже был рассмотрен вопрос прессования снега с учетом его вакуумирования. Однако в наше время отсутствует достоверная информация об использовании процесса предварительного прессования снега в конструкциях снегоуборочных машин.

Сложность заключается в том, что снег бывает разной плотности. Плотность снега весьма неоднородна по высоте снежного покрова и также зависит от продолжительности его залегания на железнодорожных путях. Поэтому плотность снежного покрова зависит от его состояния и является величиной усредненной, данные представлены ниже [4]:

- свежесвыпавший, чистый — 100...150 кг/м<sup>3</sup>;
- лежалый менее 30 сут — 200...300 кг/м<sup>3</sup>;
- лежалый более 30 сут — 340...420 кг/м<sup>3</sup>.

Рассмотрим эффективность использования снегоуборочного комплекса на примере машины ПСС-2П. Максимальная грузоподъемность этой машины составляет 86 т; максимальная вместимость — 230 м<sup>3</sup> [5].

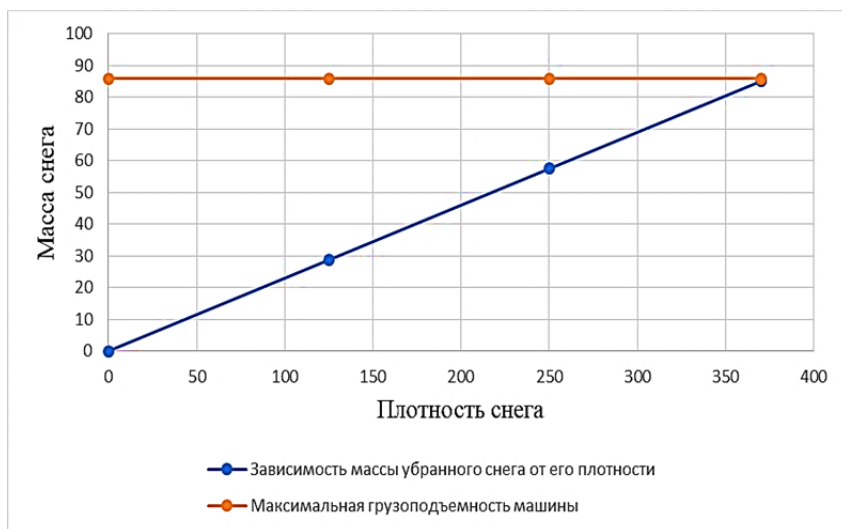
Сравним три случая сбора снега с разной плотностью на станционных железнодорожных путях при помощи снегоуборочного комплекса.

Общая формула для определения массы снега, забираемого с железнодорожных путей:

$$m_i = \rho_i V,$$

где  $\rho$  — плотность снега;  $V$  — максимальная вместимость поезда.

Результаты расчетов представлены на рис. 1.



Зависимость массы убранных снега от его плотности и максимальной грузоподъемности машины

В первом случае свежевывавший снег занимает лишь 33,43 % от максимальной грузоподъемности снегоуборочного поезда. Во втором случае лежалый не более 30 суток снег составляет 66,8 % от максимальной грузоподъемности снегоуборочного поезда. В третьем случае, когда плотность снега увеличилась до  $370 \text{ кг/м}^3$ , было получено значение равное 98,9 %.

Исходя из полученных данных, видно, что чем больше плотность снега, тем эффективнее используется грузоподъемность снегоуборочного комплекса. Соответственно, целесообразно оснащать снегоуборочные машины снегоуплотнительным модулем, когда плотность снега находится в пределах от 100 до  $300 \text{ кг/м}^3$ . Если плотность снега уже составляет от 300 до  $370 \text{ кг/м}^3$ , то эффективность использования снегоуплотнительного модуля значительно падает.

В связи с тем что удаление снега со станционных путей в соответствии с нормативами должна быть произведена в первые дни после снегопада, актуальным является повышение эффективности работы снегоуборочных машин за счет их оснащения модулем уплотнения удаляемого снега.

## Литература

- [1] Медведева Е.А., Шубин А.А. Повышение производительности процесса очистки путей железнодорожных станций от снега. *Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе*, 2021, № 2, с. 141–144.
- [2] Быков В.Ю. Исследование процесса прессования снега с учетом его вакуумирования. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*, 2010, № 3, с. 36–39.
- [3] Быков В.Ю. *Определение параметров процесса прессования снега и вакуум-прессового оборудования для снегоуборочной машины*. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2010. 158 с.
- [4] АГС-Комплекс. URL: [https://www.musorunet.ru/tablica\\_plotnosti\\_snega.php](https://www.musorunet.ru/tablica_plotnosti_snega.php) (дата обращения 02.11.2023).
- [5] Синара — Транспортные Машины. URL: <https://sinaratm.ru/products/putevaya-tehnika/pss-1k/> (дата обращения 01.11.2023).

## Improving the Efficiency of Snowplows on Station tracks

© Loginov D.I.  
Shubin A.A.

dimasik.loginov@yandex.ru  
ashubin@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The principle of operation of a self-propelled snow removal complex is considered and an option is proposed to increase the efficiency of its operation when removing snow from station railway tracks. To improve the operation of the snowplow, it is proposed to equip it with snow-sealing modules for full use of the maximum load capacity of the complex. It is concluded that it is advisable to use this module only at a certain snow density.*

**Keywords:** *maximum load capacity, snow density, snow sealing module, snow removal complex*

УДК 62-783

## Разработка автоматизированного противоугонного захвата грузоподъемного крана

© Баранов Кирилл Александрович  
Витчук Павел Владимирович

baranovka@student.bmstu.ru  
zzzventor@yandex.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Приведена последовательность расчета противоугонного захвата грузоподъемного крана. Обоснована целесообразность разработки автоматизированного противоугонного захвата. Выбран прототип конструкции противоугонного устройства. Разработана схема управления выбранной конструкцией противоугонного захвата на основе использования анемометра. Предложенный способ управления противоугонным захватом, предусматривающий введение анемометра в схему его управления позволяет автоматизировать работу захватного устройства, что обеспечит снижение влияния человеческого фактора на безопасность эксплуатации грузоподъемного крана.*

**Ключевые слова:** грузоподъемный кран, противоугонный захват, автоматизация

Безопасная эксплуатация грузоподъемных кранов включает в себя комплекс мероприятий, направленных на защиту машины от ветровых нагрузок, в том числе закрепление его на крановых путях для предотвращения его угона ветром в нерабочем состоянии. Последовательность и состав действий обслуживающего персонала при подготовке крана к нерабочему состоянию регламентированы действующей нормативно-технической документацией. Требования к противоугонным устройствам установлены РД 24.090.102–01 «Основные требования безопасности к устройству и эксплуатации ветрозащитных систем мостовых и козловых кранов» [1].

Закрепление крана на крановых путях осуществляют при помощи противоугонных устройств. Противоугонное устройство — это устанавливаемое на грузоподъемный кран устройство, предназначенное для удерживания грузоподъемной машины при ветре, превышающем по силе (скорости) ветер рабочего состояния в произвольном месте крановых путей [2]. При этом противоугонное устройство не должно создавать препятствий для нормальной эксплуатации крана и приводить к повреждению каких-либо элементов его конструкции.

Противоугонное устройство должно обеспечивать удержание крана на месте при действии нагрузки, определяемой в соответствии с [3]:

$$P = W'_в + W'_y + W'_{тр}, \quad (1)$$

Где  $W'_в$ ,  $W'_y$ ,  $W'_{тр}$  — нагрузки от ветра, уклона путей, сил трения.

Условие удержания крана от угона ветром [3]:



$$mP_{\text{пр}} \geq k_{\text{гр}} P, \quad (2)$$

где  $m$  — число противоугонных захватов,  $P_{\text{пр}} = 2N \cdot f_1$  — сила трения, развиваемая одним захватом;  $N$  — нормальное усилие, прикладываемое к губке захвата;  $f_1$  — коэффициент трения губок об рельс;  $k_{\text{гр}}$  — коэффициент запаса от угона.

Из условия (2) выражают минимально необходимую силу прижатия губок одного захвата:

$$N = K \frac{P_{\text{пр}}}{n \cdot \mu}, \quad (3)$$

где  $K$  — коэффициент запаса;  $n$  — число поверхностей контакта в одном захвате;  $\mu$  — коэффициент сцепления губок.

Далее из суммы моментов относительно оси рычага захвата определяют силу, действующую на верхнюю часть клещей в месте контакта распорного механизма с плечом рычага. По этой силе производят расчет привода распорного механизма по известным методикам [2, 3].

В большинстве существующих противоугонных захватов включение механизма осуществляется вручную оператором (машинистом) крана. Это может привести к аварийной ситуации [4, 5], обусловленной вероятностью несоблюдения норм безопасной эксплуатации крана. Поэтому актуальной является задача разработки противоугонного захвата, работающего в автоматизированном режиме. Например, возможно производить управление захватом с помощью анемометра — прибора, регистрирующего скорость (давление) ветра.

В качестве прототипа такого противоугонного захвата была использована конструкция, представленная в [6] (рис. 1). Основным преимуществом данной конструкции является ее малый вес, компактность и сравнительно высокая степень надежности.

При опускании клинового устройства ролики 13 скользят вдоль наклонных пазов, заставляя рычаги клещей повернуться вокруг осей 4 и зажать головку рельса 1. При поднятии клина вверх ролики 13, перемещаясь по наклонным направляющим вниз, раскрывают клещевой захват, а затем, увлекаемые клиновым устройством, поднимают клещи вверх выше уровня головки рельса.

Элементы данного противоугонного захвата были рассчитаны с использованием зависимостей (1)–(3). В настоящее время осуществляется конструкторская проработка рассчитанного механизма.

Для обеспечения автоматизации управления необходимо использовать управляющую схему (рис. 2), основанную на релейно-контакторном принципе. Анемометр, установленный на кране, при превышении допустимой скорости (или давления) ветра подает сигнал на управляющее захватом

устройство, которое включает электрический двигатель, что приводит к срабатыванию противоугонного захвата и увеличению усилия зажима.

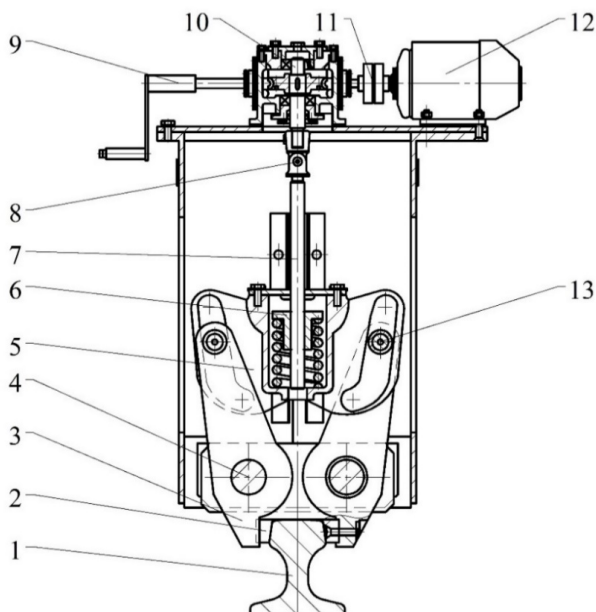


Рис. 1. Прототип противоугонного захвата [7]:

1 — рельс, 2 — губки, 3 — клещи захвата, 4 — ось, 5 — клиновое устройство, 6 — гайка, 7 — винт, 8 — муфта, 9 — рукоятка, 10 — редуктор, 11 — муфта зубчатая, 12 — электродвигатель, 13 — ролик

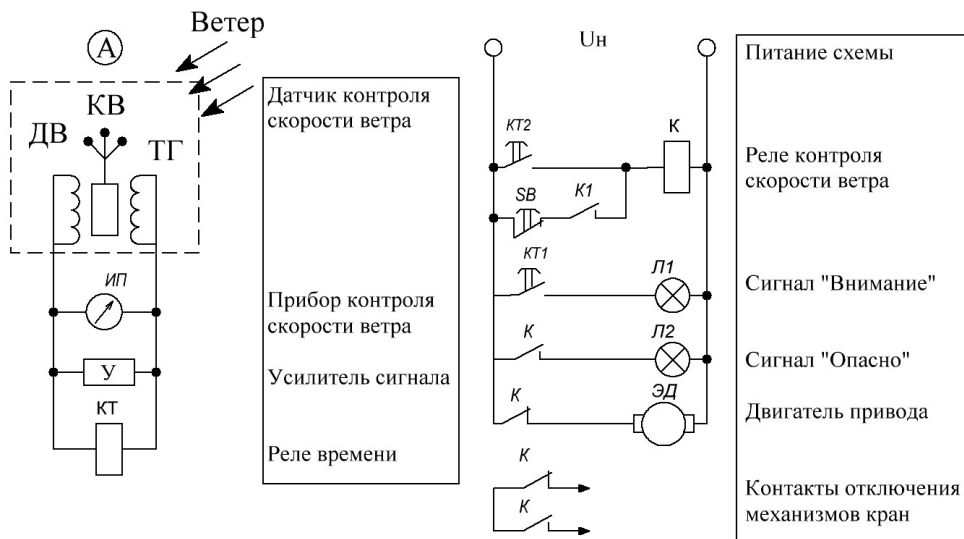


Рис. 2. Схема управляющего устройства

Предложенный способ управления противоугонным захватом, предусматривающий введение анемометра в схему его управления позволяет автоматизировать работу захватного устройства, что способствует снижению влияния человеческого фактора на безопасность эксплуатации грузоподъемного крана.

## Литература

- [1] РД 24.090.102–01. *Основные требования безопасности к устройству и эксплуатации ветрозащитных систем мостовых и козловых кранов.*
- [2] Александров М.П. *Грузоподъемные машины.* Москва, Изд-во МГТУ, 2000, 552 с.
- [3] Лалаянц Р.А. (ред.). *Расчеты крановых механизмов и их деталей: в 2 т., Т. 1.* Москва, ВНИИПТМАШ, 1993, 187 с.
- [4] Витчук П.В., Шубин А.А., Крылов К.Ю. Классификация дефектов и отказов башенных и автомобильных кранов. *Подъемно-транспортное дело*, 2015. № 4-5 (82), с. 38–40.
- [5] Ермоленко В.А., Витчук П.В. Особенности расчета показателей надежности грузоподъемных машин. *Надежность*, 2016, т. 16, № 2 (57), с. 20–25.
- [6] Прошин А.С. *Монтажные краны электростанций.* Москва, Машиностроение, 1973, 246 с.

## Development of an Anti - Theft Grip with a Mechanical Drive

© | Baranov Kirill Aleksandrovich  
Vitchuk Pavel Vladimirovich

baranovka@student.bmstu.ru  
zzzventor@yandex.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The sequence of calculation of the anti-theft capture of the lifting crane is given. The expediency of developing an automated anti-theft capture is substantiated. A prototype of the anti-theft device design has been selected. A control scheme for the selected anti-theft capture design based on the use of an anemometer has been developed. The proposed method of controlling the anti-theft gripper, which provides for the introduction of an anemometer into its control scheme, allows automating the operation of the gripper device, which allows reducing the influence of the human factor on the safety of operation of the lifting crane.*

**Keywords:** *crane, anti-theft capture, automation*

УДК 625.75

## Разработка универсального модуля для удаления растительности вдоль железнодорожных путей

© | Илюхин Семен Олегович  
Габьев Юрий Сергеевич  
Шубин Александр Анатольевич

senyailykhin2000@gmail.com  
jivanshi.flou@mail.ru  
ashubin@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены аналоги конструкций различных машин используемых для очистки полосы отвода железнодорожного пути от нежелательной растительности. Для повышения производительности и улучшения условий работы предложена конструкция машины на базе путевой автомотрисы, оснащенной специальной манипуляторной установкой, со сменным навесным оборудованием для выполнения различных работ по очистке обочин железнодорожного полотна. Показана компоновка бытового модуля для обеспечения мобильности и возможности работы машины при удалении от базы на значительные расстояния.*

**Ключевые слова:** путевая автомотриса АСГ-30П, очистка полосы отвода, специальная манипуляторная установка, бытовой модуль автомотрисы

Древесно-кустарниковая растительность, а также трава вдоль железнодорожных путей могут представлять собой серьезную угрозу железнодорожной инфраструктуре, которая может выразиться в падении высоких деревьев на контактную сеть или железнодорожный путь, а также при возгорании травы или другой растительности, пламя может перекинуться на подвижной состав [1].

В связи с этим в России продолжает оставаться актуальной задача удаления травы и нежелательной древесно-кустарниковой растительности в полосе отвода железных дорог.

Регламентирующим документом [2], установлены нормы отвода земельных участков железных дорог, где зона интенсивного содержания составляет 5 м от оси пути, и 10 м — зона экстенсивного содержания.

Основным способом борьбы с нежелательной растительностью является механическое ее устранение, при этом ключевым направлением считается раздельное удаление надземной и корневой частей растений. Для решения этих задач применяются высокопроизводительные косилки, кусторезы и мульчеры [3], устанавливающиеся на манипуляторы, которыми оборудованы самые различные транспортные средства.

Как в России, так и за рубежом имеются специализированные и универсальные машины для борьбы с растительностью на железных дорогах [4]. В качестве универсальных машин используют тяжелые и легкие грузовые автомобили рис. 1, гусеничные и пневмоколесные машины на комбинированном ходу рис. 2, а также машины на железнодорожном ходу, оборудованные манипуляторной установкой [5]. В зависимости от решаемых задач,

на манипуляторные установки могут навешиваться различные рабочие органы, такие как, дисковые пилы, роторные косилки, мульчеры и так далее.

Конструкция этих машин не предусматривает возможность размещения нескольких исполнительных рабочих органов, что делает невозможным выполнение различных операций на перегоне, поэтому для смены инструмента машина должна переместиться к месту его хранения. Это увеличивает время закрытия перегона для движения поездов и снижает эффективность работы таких машин.



Рис. 1. Mercedes UNIMOG



Рис. 2. UNAC RAIL 300RR

Все рассматриваемые машины приписаны к путевой машинной станции, и, как следствие этим ограничивается дальность использования машины от базы. Иметь в парке специализированных предприятий такие машины не всегда экономически целесообразно, в связи с недостаточным объемом работ

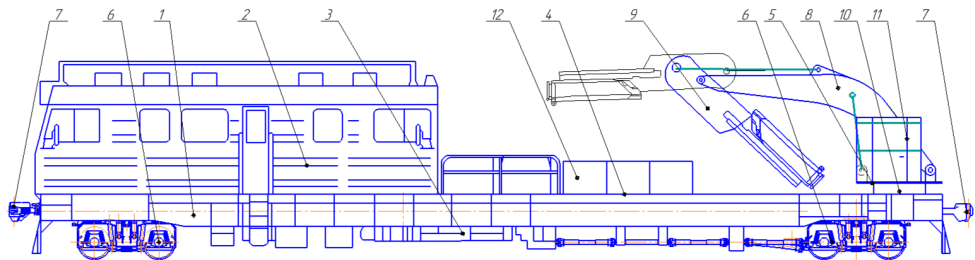
для них, а использование машин на значительном удалении от базовых предприятий связано со сложностью работы и отдыха машинистов и операторов.

Анализ существующих конструктивов машин для удаления нежелательной растительности позволяет сделать следующие выводы:

1) актуальной задачей является разработка специальной машины на железнодорожном ходу;

2) разрабатываемая машина должна иметь возможность работы автономно на значительном удалении от базы приписки;

На основании этого предложена конструкция машины на базе автомотрисы АСГ-30П рис. 3 со специальным манипулятором и использованием специального сменного оборудования, позволяющего выполнять весь комплекс работ в полосе отвода железнодорожного пути.



**Рис. 3.** Путьевая автомотриса АСГ-30П с манипуляторной установкой и сменным рабочим оборудованием:

1 — рама, 2 — бытовой модуль; 3 — силовая установка; 4 — зона для размещения сменного оборудования; 5 — манипулятор; 6 — приводные тележки; 7 — автосцепное устройство; 8 — коренная секция; 9 — телескопическая секция; 10 — опорно-поворотный круг; 11 — кабина оператора; 12 — сменное навесное оборудование

Все оборудование размещается на раме 1 и включает в себя бытовой модуль 2, силовую установку 3, зону для размещения сменного оборудования 4, манипулятор 5. Машина опирается на две приводные двухосные тележки 6 и имеет два автосцепных устройства 7.

Манипулятор представляет собой полноповоротную стреловую систему состоящую из коренной 8 и телескопической 9 секции, которые смонтированы на опорно-поворотном круге 10. Управление осуществляется из кабины оператора 11. На манипулятор устанавливается сменное навесное оборудование 12.

Для обеспечения мобильности и возможности работы машины при удалении от базы на значительные расстояния, поездной бригаде необходимо создать все условия, как для отдыха, так и для приема пищи. Для этого предлагается в размерах бытового модуля автомотрисы АСГ-30П рис. 4, предусмотреть:

– место для отдыха и сна бригады 2, которое включает в себя двухъярусную кровать 3 и тумбу 4 для личных принадлежностей;

– зону для приготовления 5 и приема пищи 6, санитарный узел 7. Также в бытовом модуле прототипа имеются две кабины управления 1 и 8.

В транспортном положении машины, стрела манипулятора складывается и располагается на платформе. Манипулятор устанавливается на полноповоротном опорном круге 10, что позволяет выполнять работу в полосе отвода железнодорожного пути, а также увеличивает рабочую зону без остановки машины, в случае если удаляется высокая растительность.

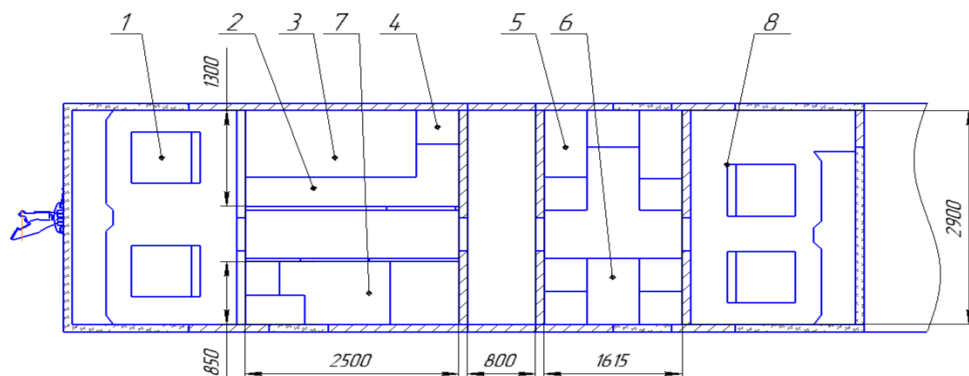


Рис. 4. Схема прототипа бытового модуля путевого автомотрисы АСГ-30П:

1 — передняя кабина управления; 2 — спальное помещение; 3 — двухъярусная кровать; 4 — тумба служебное помещение; 5 — зона приготовления пищи; 6 — зона для приема пищи; 7 — санитарный узел; 8 — задняя кабина управления

### Выводы:

- 1) предложена перспективная конструкция специализированной путевого машины на базе автомотрисы АСГ-30П с бытовым модулем;
- 2) наличие в составе машины различных исполнительных модулей позволяет расширить ее функциональные возможности;
- 3) создание в экипажной части бытовой зоны для поездной бригады позволит обеспечить ее автономную работу на значительном удалении от базы приписки.

### Литература

- [1] *Очистка полосы отвода железнодорожных путей*. URL: <https://dezinfekc.ru/raznoe/ochistka-polosy-otvoda-ot-drevesno-kustarnikovoy-rastitel-nosti-na-zhd> (дата обращения 12.09.2023).
- [2] Приказ Минтранса РФ от 6 августа 2008 г. № 126 «Об утверждении норм отвода земельных участков, необходимых для формирования полосы отвода железных дорог, а также норм расчета охраняемых зон железных дорог». URL: <https://base.garant.ru/12162226/> (дата обращения 12.09.2023).
- [3] *Каталог навесного оборудования для манипуляторов — AFR Group*. URL: [https://afr-group.ru/goods\\_category/kosilki/](https://afr-group.ru/goods_category/kosilki/) (дата обращения 12.09.2023).
- [4] Антипов Б.В., Маркелов С.Ю., ХАйдаров М.Т. *Мульчерные технологии в полосе отвода железных дорог*. Москва, Арсенал, 2013, 115 с.
- [5] *Лесотехнический журнал. Технологии. Машины и оборудование*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kinematicheskie-shemy-manipulyatorov-dlya-udaleniya-nezhelelnoy-drevesno-kustarnikovoy-rastitelnosti-v-plane-polosy-otvoda> (дата обращения 12.09.2023).

## Development of a Universal Module for Removing Vegetation Along Railway Tracks

© Ilyukhin S.O.  
Gabyev Yu.S.  
Shubin A.A.

senyailykhin2000@gmail.com  
jivanshi.flou@mail.ru  
ashubin@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Analogous designs of various machines used for cleaning are considered the right-of-way of the railway track from unwanted vegetation. To increase productivity and improve working conditions, the design of a machine based on a track car, equipped with a special manipulator unit, with replaceable attachments for performing various works on cleaning the sides of the railway track, is proposed. The layout of the household module is shown to ensure mobility and the ability of the machine to operate at a considerable distance from the base.*

**Keywords:** *ASG-30P track inspection, cleaning of the right-of-way, special manipulator installation, household module of the inspection*



***Секция 10. Математическое  
моделирование и физико-  
математические проблемы  
проектирования сложных  
технических систем***



УДК 004.89

## Анализ работы вокодера на базе модели WaveRNN в системе преобразования текста в речь

© Белоножко Павел Евгеньевич  
Белов Юрий Сергеевич

belonozhkope@student.bmstu.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассмотрена реализация вокодера на базе модели WaveRNN в системе преобразования текста в речь. Проведено обучение вокодера на различных наборах данных. Представлены результаты генерации англоязычной речи в условиях дефицита обучающих данных, просодических помех, транслитерации текстового описания слов языка, не предназначенного для генерации. А также представлен набор рекомендаций для обучения модели в данных неблагоприятных условиях. Показана оценка работы вокодера по субъективным и машинным методам, включая MOS (Mean Opinion Score), которая охватывает качество звучания и оценку интонации и выразительности, и метрики просодической точности.

**Ключевые слова:** синтез речи, WaveRNN, вокодер, TTS-система, просодия, MOS

**WaveRNN.** Основным принципом работы вокодера WaveRNN является совмещение методов генерации аудио-волн с использованием рекуррентных нейронных сетей (RNN) и сэмплирования с высокой частотой. Эта модель способна создавать речь, которая звучит естественно и богата деталями, что делает ее подходящей для широкого спектра приложений, включая голосовых ассистентов, аудиокниги, синтез речи для людей с нарушениями речи и другие области [1]. Для генерации аудиосигнала модели WaveRNN, как и любому другому вокодеру, нужны датасет для обучения самой модели и мел-спектрограмма, которая будет выделять акустические особенности голоса говорящего. WaveRNN является центральным звеном во всей системе синтеза речи, которая имеет следующую архитектуру (рис. 1).

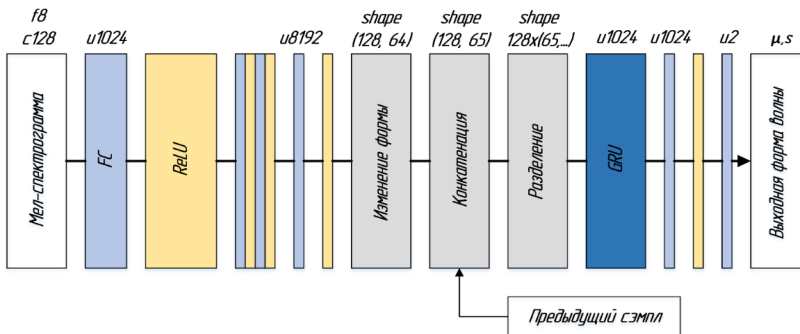


Рис. 1. Общая архитектура TTS-системы, построенной на основе вокодера WaveRNN

Процесс включает в себя следующие шаги: Сначала текст обрабатывается с использованием глубоких нейронных сетей, таких как Tacotron-2, чтобы сгенерировать мел-спектрограмму. Затем она преобразуется в условное представление, которое используется в WaveRNN в качестве входных данных. WaveRNN отвечает за генерацию аудио сигнала, используя условное представление на каждом этапе генерации. В конечном итоге сгенерированное аудио воспроизводится для получения нужного речевого вывода [2].

**Обучение и результаты.** Процесс обучения WaveRNN начинается с последовательной обработки аудиосигналов, подаваемых на вход модели. После каждой обработки модель предсказывает следующее значение аудиосигнала. Затем это предсказание сравнивается с фактическим значением следующего значения аудиосигнала, и вычисляется значение функции потерь. Алгоритм обратного распространения ошибки используется для обновления параметров модели WaveRNN: градиенты функции потерь по каждому параметру модели вычисляются, а затем градиенты передаются обратно через сеть для обновления весов с учетом выбранного метода оптимизации [3]. Процесс обучения продолжается до достижения необходимой точности или вручную прерывается. После завершения обучения модель может быть использована для синтеза речи, генерируя аудиосигналы на основе текстовых или других входных параметров. Обучение производилось на трех различных наборах данных (LJSpeech, LibriTTS, Blizzard Challenge). Оценка качества синтезируемой речи по шкале MOS (Mean Opinion Score) представлена в табл. 1.

Таблица 1

Оценка качества синтезируемой речи по шкале MOS

Датасет	Число обучающих образцов	Качество генерации (MOS*)	Производительность (время генерации)
LJSpeech	13,100	4.2	50 секунд
LibriTTS	59,000	4.4	45 секунд
Blizzard Challenge	7,000	4.1	55 секунд

Эти результаты показывают, что модель WaveRNN демонстрирует высокое качество генерации речи на различных датасетах, получая MOS-оценки близкие к 4, что свидетельствует о ее способности генерировать естественную и качественную речь. Производительность модели также находится на приемлемом уровне с разумным временем генерации аудиосигналов. Эти результаты подчеркивают эффективность WaveRNN в области синтеза речи на различных датасетах [4]. Также была проведена оценка по метрикам просодической точности, результаты которой представлены в табл. 2.

Данный результат дает обзор просодических параметров на разных датасетах. Например, LibriTTS проявляет высокую интонационную вариативность и выразительность, а также сбалансированный ритм речи. В то время

как Blizzard Challenge имеет медленную скорость речи и неравномерные паузы и затяжки. Это сравнение позволяет оценить, как модель WaveRNN справляется с просодическими аспектами разных датасетов.

Таблица 2

### Оценка по метрикам просодической точности

Датасет	Интонационная вариативность	Скорость речи	Паузы и затяжки	Интонационная выразительность	Артикуляция и акцент
LJSpeech	Средняя	Умеренная	Недостаточные	Ограниченная	Адекватная
LibriTTS	Высокая	Высокая	Сбалансированные	Выразительная	Хорошая
Blizzard Challenge	Средняя	Медленная	Неравномерные	Умеренная	Ограниченная

В ходе эксперимента с генерацией речи с использованием модели WaveRNN в условиях дефицита обучающих данных и наличия просодических помех, а также транслитерации текстового описания слов, не предназначенного для генерации, были получены неудовлетворительные результаты. Ограниченное количество обучающих данных привело к недостаточной способности модели адаптироваться к разнообразным интонационным особенностям и структуре речи. Процесс транслитерации также оказал негативное воздействие на качество сгенерированной речи, так как модель не была предварительно обучена на этом языке, что привело к неточностям в произношении и интонации [5].

Для улучшения результатов в таких условиях рекомендуется следующее:

1. В случае дефицита данных, дополнительные данные или использование смешанных датасетов может помочь модели получить больше информации и адаптироваться к различным просодическим особенностям.

2. Использовать точную транскрипцию текстового описания на целевом языке. Это может значительно улучшить произношение и интонацию, уменьшив просодические помехи.

3. Перед обучением модели провести предварительную обработку данных, включая выравнивание просодических фаз и разметку. Это поможет учесть особенности произношения и структуры фраз в данных.

4. В некоторых случаях, можно воспользоваться дополнительными моделями, такими как транскриберы, для предварительной обработки текста и улучшения произношения.

Все эти рекомендации помогут улучшить качество генерируемой речи в условиях ограниченных данных и просодических помех.

**Выводы.** В работе исследована реализация вокодера, основанного на модели WaveRNN в контексте системы преобразования текста в речь. Основное

внимание уделено обучению этой модели на различных датасетах с целью оценки ее способности справляться с неблагоприятными условиями, такими как дефицит обучающих данных, просодические помехи и транслитерация текста на нецелевом языке. В статье представлены результаты генерации англоязычной речи в вышеуказанных условиях, и также даны ценные рекомендации по обучению модели в данных неблагоприятных условиях. Важно отметить, что такие условия могут существенно влиять на качество сгенерированной речи и просодические аспекты. Данная работа подчеркивает значимость дальнейших исследований в области улучшения качества генерации речи в сложных условиях.

## Литература

- [1] Белоножко П.Е. Модификации архитектуры WaveNet для реализации вокодера в генеративной модели преобразования текста в речь. *Научное обозрение. Технические науки*, 2022, № 6, с. 37–42.
- [2] Kanagawa H., Ijima Y. SIMD-Size Aware Weight Regularization for Fast Neural Vocoding on CPU. *2022 IEEE Spoken Language Technology Workshop (SLT)*, 2023, pp. 955–961.
- [3] Liu J., Guo Y., Chen J. Speech Synthesis for Speaker Timbre Translation Across Languages. *2022 4th International Conference on Control and Robotics (ICCR)*. 2022. pp. 320–324.
- [4] Jain R., Yiwere M.Y., Bigioi D. A Text-to-Speech Pipeline, Evaluation Methodology, and Initial Fine-Tuning Results for Child Speech Synthesis. *IEEE Access*, 2022, vol. 10, pp. 47628–47642.
- [5] Koizumi Y., Yatabe K., Zen H. Wavefit: an Iterative and Non-Autoregressive Neural Vocoder Based on Fixed-Point Iteration. *2022 IEEE Spoken Language Technology Workshop (SLT)*, 2023, pp. 884–891.

## Analysis of a WaveRNN -based Vocoder in a Text -to -Speech Conversion System

© | Belonozhko P.E.  
Belov Yu.S.

belonozhkope@student.bmstu.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The implementation of a vocoder based on the WaveRNN model in a text-to-speech conversion system is examined. The vocoder is trained on various datasets. Results of generating English speech in conditions of limited training data, prosodic disturbances, transliteration of text descriptions of non-generative languages are presented. Additionally, a set of recommendations for training the model in adverse conditions is provided. The vocoder's performance is assessed using subjective and machine-based methods, including the Mean Opinion Score (MOS), which covers sound quality, intonation, expressiveness, and prosodic accuracy metrics.*

**Keywords:** *speech synthesis, WaveRNN, vocoder, TTS system, prosody, MOS*

УДК 004.89

## Применение гиперсетей совместно с моделями генерации изображений по текстовым описаниям, основанными на диффузионных моделях

© Левин Артем Олегович  
Белов Юрий Сергеевич

levinao@student.bmstu.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*В настоящее время область генерации изображений на основе текстовых описаний привлекает значительное внимание исследователей и разработчиков. Диффузионные модели играют в ней ключевую роль, предоставляя технологию генерации изображений по текстовым описаниям. Однако существует проблема интеграции новых элементов в большие модели, требующая длительного переобучения. В этой статье рассмотрен принцип работы гиперсетей, как способ настройки моделей без полного переобучения, что позволяет расширить их функциональность. Гиперсети позволяют интегрировать новые стили и объекты, сохраняя при этом скорость обучения и затрачивая минимальное количество ресурсов.*

**Ключевые слова:** генерация изображений, гиперсети, диффузионные модели, текстовые описания

В современном информационном веке, с развитием вычислительной техники и искусственного интеллекта, область генерации изображений на основе текстовых описаний стала объектом активного исследования и развития. Данное исследовательское направление в области искусственного интеллекта представляет собой фундаментальную часть машинного зрения и компьютерной графики, объединяя в себе высокоинтеллектуальные методы и алгоритмы, предназначенные для преодоления барьеров между текстовыми описаниями и визуальными представлениями.

Одним из ключевых технологических революций, способствующих этому прогрессу, является применение диффузионных моделей, представляющих собой инновационный исследовательский инструмент, обеспечивающий глубокое понимание и синтез изображений на основе текстовых описаний [1].

Тем не менее существует проблема в области генерации изображений по текстовым описаниям, связанная с необходимостью введения новых стилей, объектов или целых сфер деятельности в исходную большую модель. Добавление таких элементов требует значительных усилий и времени для переобучения всей исходной модели, что может быть крайне ресурсозатратным и неэффективным процессом. Однако с появлением концепции гиперсетей, был найден способ решения данной проблемы.

В данной статье будет рассмотрен принцип работы гиперсетей, предоставляющих возможность настройки диффузионных моделей генерации

изображений на основе текстовых описаний без необходимости полного переобучения исходной модели [2].

Гиперсети представляют собой инновационный инструмент, который обеспечивает гибкую настройку основных моделей. Они реализуются в виде небольших моделей, прикрепляемых к большим исходным моделям. При использовании в совокупности с диффузионной моделью, гиперсеть оказывает влияние на существенный компонент этой модели — модуль cross-attention, также известный как слой cross-attention U-Net [3].

Структура гиперсети, собственно, представляет собой стандартную нейронную сеть, включающую линейные слои, слои dropout и функции активации [4]. Принцип ее работы заключается в том, что она встраивается в модуль cross-attention, предоставляя две дополнительные сети для обработки векторов ключей и запросов (рис. 1).

Данный вариант отличается от исходного принципа работы модели без гиперсети (рис. 2).

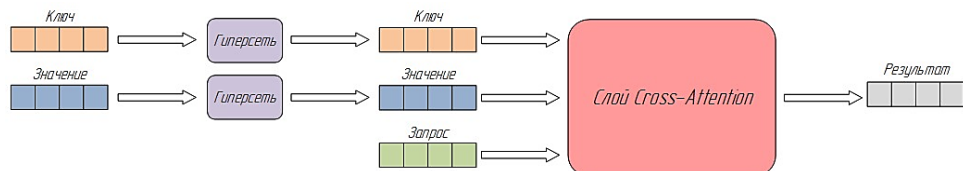


Рис. 1. Принцип работы модели с гиперсетью



Рис. 2. Принцип работы модели без гиперсети

Следовательно, гиперсеть не изменяет основную модель, а просто предоставляет ей свои веса, дополняя тем самым знания этой модели. Таким образом, возможно подключение нескольких мини-моделей гиперсети для более детальной настройки основной модели.

В свою очередь, процесс обучения практически идентичен стандартному обучению диффузионной модели для генерации изображений по текстовым описаниям. Однако обучение модели гиперсети выполняется намного быстрее благодаря ее небольшому размеру и не требует обширной обучающей выборки. Это позволяет быстро и эффективно расширить функциональность существующей модели для генерации изображений без значительных ресурсов.



В заключение, гиперсети представляют важное средство для более гибкой и быстрой настройки моделей генерации изображений на основе текстовых описаний. Их интеграция с диффузионными моделями позволяет эффективно вводить новые стили и элементы, расширяя функциональность моделей без необходимости переобучения. Этот подход является важным шагом в развитии области генерации изображений на основе текстовых описаний, обеспечивая более быстрое и экономичное обучение моделей.

## Литература

- [1] Zhang C., Peng Y. Stacking VAE and GAN for Context-aware Text-to-Image Generation. *2018 IEEE Fourth International Conference on Multimedia Big Data (BigMM)*, 2018, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/BigMM.2018.8499439>
- [2] Левин А.О., Белов Ю.С. Применение диффузионных моделей для генерации изображений. *Наукоемкие технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: Всерос. науч.-техн. конф.: матер.* Москва, 2022, т. 1, с. 70–73.
- [3] Dong H., Zhang J., McIlwraith D. I2T2I: Learning text to image synthesis with textual data augmentation. *2017 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2017, pp. 2015–2019. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2017.8296635>
- [4] Мосин Е.Д., Белов Ю.С. Генерация музыки с использованием двунаправленной рекуррентной нейронной сети. *Научное обозрение. Технические науки*, 2023, № 1, с. 10–14.

## The Application of Hypernetworks in Conjunction with Image Generation Models Based on Diffusion Models

© | Levin A.O.  
Belov Yu.S.

levinao@student.bmstu.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Currently, the field of image generation based on textual descriptions is drawing significant attention from researchers and developers. Diffusion models play a crucial role in this field, providing the technology for generating images from textual descriptions. However, there is a challenge in integrating new elements into large models, which requires extensive retraining. This article explores the principles of hypernetworks as a method for fine-tuning models without the need for complete retraining, enabling the expansion of their functionality. Hypernetworks allow the integration of new styles and objects while maintaining training speed and requiring minimal resources.*

**Keywords:** *Image generation, hypernetworks, diffusion models, textual prompts*

УДК 004.852

## Переобучение нейронной сети Inception-v3 в качестве бинарного классификатора

© Сергеев Леонид Андреевич  
Белов Юрий Сергеевич

la.sergeev@yandex.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*При использовании машинного обучения, возникает вопрос, можно ли использовать ранее обученную модель, показывающую хорошие результаты точности, для решения задач, которые косвенно связаны с данными для обучения. Ответ — да, специально для решения данной проблемы используется трансферное обучение. Цель статьи — показать процесс переобучения и адаптации сверточной нейронной сети к новым данным. Это действие включает в себя несколько шагов: подготовка новых данных, добавление нескольких новых слоев, заморозка слоев, отвечающих за извлечение признаков.*

**Ключевые слова:** нейронные сети, обучение, классификация изображений, адаптация

На текущий момент использование нейронных сетей проникает во множество различных сфер деятельности человека. Они могут классифицировать изображения, распознавать речь, переводить текст на различные языки. Одной из наиболее мощных архитектур для решения задач классификации изображений является Inception-V3, за авторством компании Google.

Inception-V3 — это глубокая сверточная нейронная сеть, представляющая собой третье поколение архитектур Inception. Данная нейронная сеть была разработана для классификации изображений и показывает довольно высокую точность на объемных наборах данных, таких как ImageNet.

Особенностью Inception-V3 является использование блоков-модулей, которые очень эффективно выполняют операции по свертке [1]. Это позволяет сети извлекать признаки из изображений на разных уровнях абстракции.

Переобучение или же трансферное обучение — это процесс дообучения предварительно обученной нейронной сети на новом наборе данных, который косвенно связан с изначальной задачей [2]. В случае с сверточной сетью Inception-V3, это может быть крайне полезным, так как сеть изначально обладает выдающимися навыками по извлечению признаков из изображений.

Первым делом для трансферного обучения нейронной сети необходимо подготовить данные, на основе которых будет производиться дообучение. Эти данные должны содержать нотации, отражающие к какому классу необходимо отнести изображение при классификации. Кроме того, если новая выборка имеет довольно малый размер, то необходимо провести аугментацию данных [3].

Далее необходимо загрузить модель нейронной сети Inception-V3, а также матрицу весов, обученные на большом наборе данных, таком как ImageNet.

После загрузки модели и прежде, чем приступить к самому «переобучению» необходимо заморозить слои модели нейронной сети, отвечающие за извлечение признаков, поскольку уже обучены и содержат ценные знания. Таким образом, они остаются неизменными в процессе нового обучения.

Поскольку изначальная задача модели немного изменилась стоит добавить в нейронную сеть один или несколько слоев предназначенные для более быстрой адаптации к новой задаче. Обычно эти слои включают в себя полносвязные слои для классификации, с небольшим количеством нейронов [4].

Этапы подготовки к переобучению нейронной сети завершены, далее происходит сам процесс трансферного обучения на новых данных. Стоит отметить, что при компиляции измененной модели лучше использовать определенный оптимизатор — Adam, основанный на стохастическом градиентном спуске [5], это делается для того, чтобы предотвратить слишком выраженные обновления уже обученных весов.

После завершения процесса переобучения сверточной нейронной сети необходимо провести оценку на тестовом наборе данных, и если показатели являются неудовлетворительными, то необходимо изменить параметры модели, чтобы добиться удовлетворительной точности нейронной сети.

Переобучение нейронной сети Inception-V3 предоставляет мощный инструмент для адаптации модели к новым задачам классификации изображений. Этот процесс требует тщательной подготовки данных и тщательной настройки параметров, но позволяет добиться высоких результатов точности на наборах данных, которые изначально не использовались при построении оригинальной матрицы весов нейронной сети.

## Литература

- [1] Szegedy Ch., Vanhoucke V., Ioffe S. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7780677> (accessed September 12, 2023).
- [2] Torrey L., Shavlik J. Transfer Learning. *Handbook of Research on Machine Learning Applications and Trends: Algorithms, Methods, and Techniques*, IGI Global, Hershey, 2010, pp. 242–264. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/285639948\\_Transfer\\_learning](https://www.researchgate.net/publication/285639948_Transfer_learning) (accessed September 12, 2023).
- [3] Сергеев Л.А., Белов Ю.С. Расширение данных при классификации изображений с использованием машинного обучения. *Наукоемкие технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: Всерос. науч.-техн. конф.: матер.*, 2023, т. 2, с. 169–171.
- [4] Dario P., Puneet M. Realizing transfer learning for updating deep learning models of spectral data to be used in a new scenario. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2021, vol. 212, no. 10. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/349809162\\_Realizing\\_transfer\\_learning\\_for Updating\\_deep\\_learning\\_models\\_of\\_spectral\\_data\\_to\\_be\\_used\\_in\\_a\\_new\\_scenario](https://www.researchgate.net/publication/349809162_Realizing_transfer_learning_for Updating_deep_learning_models_of_spectral_data_to_be_used_in_a_new_scenario) (accessed September 12, 2023).
- [5] Banerjee D., Sparks T.D. Comparing transfer learning to feature optimization in microstructure classification. *iScience*, 2022, vol. 25, no. 2. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S258900422200044X> (accessed September 12, 2023).

## Retraining of the Neural Network Inception -v3 as a Binary Classifier

© | Sergeev L.A.  
Belov Yu.S.

la.sergeev@yandex.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*When using machine learning, the question arises whether a previously trained model that shows good accuracy results can be used to solve problems that are indirectly related to the training data. The answer is yes, specifically transfer learning is used to solve this problem. The purpose of this article is to show the process of retraining and adapting a convolutional neural network to new data. This action includes several steps: preparing new data, adding several new layers, freezing the layers responsible for feature extraction.*

**Keywords:** *neural networks, training, image classification, adaptation*

УДК 004.89

## Анализ результата генерации изображений по текстовым описаниям с помощью многоэтапной генеративно-согласительной нейронной сети

© Дроздов Дмитрий Сергеевич  
Белов Юрий Сергеевич

dmtr636@gmail.com  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Произведено исследование процесса генерации изображений по текстовым описаниям с помощью многоэтапной генеративно-согласительной нейронной сети. Выполнен анализ различных компонентов модели, приведены примеры изображений, соответствующих различным конфигурациям модели. Результаты исследования подтверждают, что использование многоэтапной структуры приводит к повышению качества и реалистичности сгенерированных изображений. Установлено, что метод условного дополнения позволяет стабилизировать процесс обучения и повысить разнообразие сгенерированных изображений. Эксперименты с интерполяцией встраивания предложений подтверждают, что модель способна генерировать реалистичные изображения, точно отражающие изменения внешнего вида объектов на основе заданных текстовых описаний.*

**Ключевые слова:** генеративно-согласительные сети, генерация изображений, глубокое обучение

В качестве модели используется многоэтапная генеративно-согласительная сеть. Главная идея заключается в использовании последовательной генерации изображений на разных уровнях детализации. Это позволяет модели постепенно создавать более сложные и реалистичные изображения, соответствующие заданному текстовому описанию [1, 2].

Архитектура модели состоит из нескольких последовательных модулей генерации изображений, каждый из которых отвечает за определенный уровень детализации [3]. На первом этапе модель генерирует низкоразмерное изображение, соответствующее общему описанию, а затем постепенно улучшает его на более высоких уровнях для получения более детализированных изображений. Модель использует две GAN-сети: одна отвечает за генерацию грубых изображений, а другая уточняет детали изображения. Это позволяет модели создавать более реалистичные изображения, сохраняя при этом соответствие с текстовым описанием [4].

Был проведен анализ генерации изображений при использовании различных конфигураций модели. Для обучения модели использовался набор данных CUB [5].

Как видно из первых четырех строк табл. 1, при непосредственном использовании только первой сети для генерации изображений начальные оценки существенно снижаются. Такое падение качества хорошо иллюстри-

руется результатами, приведенными на рис. 1. Как видно из первого ряда рисунка, модель на первом этапе не может сгенерировать ни одной правдоподобной выборки размером  $256 \times 256$ .

Таблица 1

### Оценка качества сгенерированных изображений

Конфигурация	Условное дополнение	Дублирование текста	Начальная оценка
64×64, этап 1	нет	–	2,66
	да	–	2,95
256×256, этап 1	нет	–	2,48
	да	–	3,02
128×128, этап 2	да	нет	3,13
	нет	да	3,20
	да	да	3,35
256×256, этап 2	да	нет	3,45
	нет	да	3,31
	да	да	3,70



Рис. 1. Генерация изображений при различных конфигурациях

Условное дополнение позволяет стабилизировать процесс обучения условного GAN и улучшить разнообразие генерируемых образцов. Несмотря на то, что для каждого столбца используется свой вектор шума, сгенерированные выборки оказываются одинаковыми для каждого входного текстового описания (ряд 1 на рис. 1). При использовании условного дополнения, но

фиксировании векторов шума, модель все же способна генерировать изображения птиц с различными позами и ракурсами (ряд 2 на рис. 1).

Несмотря на то, что модель на первом этапе с использованием условного дополнения способна генерировать более разнообразные изображения  $256 \times 256$ , эти образцы не столь реалистичны, как образцы, генерируемые на втором этапе (ряд 3 на рис. 1). Это свидетельствует о том, что использование многоэтапной сети повышает качество сгенерированных изображений. Кроме того, при уменьшении разрешения изображений с  $256 \times 256$  до  $128 \times 128$  начальная оценка снижается с 3,70 до 3,35.

Перед вычислением значения начальной оценки все изображения масштабируются до размера  $299 \times 299$ . Таким образом, если бы модель просто увеличивала размер изображения, не добавляя дополнительной информации, то для образцов с разным разрешением оценка осталась бы одинаковой. Уменьшение начальной оценки при использовании разрешения  $128 \times 128$  свидетельствует о том, что наш  $256 \times 256$  действительно добавляет больше деталей в изображения. Для изображений размером  $256 \times 256$ , если текст вводится только на этапе I (дублирование текста отсутствует), то оценка снижается с 3,70 до 3,45. Это говорит о том, что повторная обработка текстовых описаний на этапе II помогает уточнить результаты этапа I.

На рис. 2 приведены примеры изображений, полученные в результате интерполяции вложений двух текстовых описаний. Наблюдается постепенное изменение внешнего вида от смысла первого текста к смыслу второго. Вектор шума фиксировано равен нулю для каждого изображения.



Рис. 2. Демонстрация интерполяции текстовых описаний

Изображения в первом ряду сгенерированы по простым предложениям. Эти предложения содержат только простые цветовые описания. Результаты показывают, что изображения, сгенерированные на основе интерполированных вложений, могут точно отражать изменения цвета и генерировать правдоподобные формы птиц. Во втором ряду показаны примеры, сгенерированные на основе более сложных предложений, содержащих более подробную информацию о внешнем виде птиц. Сгенерированные изображения меняют

основной цвет птицы с красного на синий, а цвет крыльев — с черного на коричневый.

## Литература

- [1] Berrahal M., Azizi M. Optimal text-to-image synthesis model for generating portrait images using generative adversarial network techniques. *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, 2022, pp. 972–979.
- [2] Zhang H., Xu T., Li H. StackGAN: Text to photo-realistic image synthesis with stacked generative adversarial networks. *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Vis. (ICCV)*, Oct. 2017, pp. 5907–5915.
- [3] Liu R., Ge Y., Choi C.L. Diverse conditional image synthesis via contrastive generative adversarial network. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Nashville, TN, USA, 20–25 June 2021, pp. 16377–16386.
- [4] Cai Y., Wang X., Yu Z. Dualattn-GAN: Text to image synthesis with dual attentional generative adversarial network. *IEEE Access*, 2019, pp. 183706–183716.
- [5] Дроздов Д.С., Белов Ю.С. Генерация изображений по текстовому описанию с помощью глубокого обучения. *Научные технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: регион. науч.-техн. конф.: матер. Т. 2*. Калуга, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023, с. 71–74.

## Analysis of the Result of Generating Images from Text Descriptions Using a Multi-Stage Generative Adversarial Neural Network

© Drozdov D.S.  
Belov Yu.S.

dmtr636@gmail.com  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*A study was made of the process of generating images from text descriptions using a multi-stage generative adversarial neural network. An analysis of the various components of the model is carried out, and examples of images corresponding to various configurations of the model are given. The results of the study confirm that the use of a multi-stage structure leads to improved quality and realism of the generated images. It has been established that the conditional addition method makes it possible to stabilize the learning process and increase the variety of generated images. Experiments with sentence embedding interpolation confirm that the model is capable of generating realistic images that accurately reflect changes in the appearance of objects based on given text descriptions.*

**Keywords:** *generative adversarial networks, image generation, deep learning*



УДК 004.93

## Обнаружение и классификация опухоли головного мозга с использованием архитектуры VGG-16

© Петров Артем Ильич  
Белов Юрий Сергеевич

artemchik-2000@mail.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Опухоль головного мозга — это серьезное заболевание, вызванное аномальным развитием клеток в головном мозге. Это происходит в результате поражения тканей, окружающих мозг или череп. У пациентов с опухолями головного мозга отмечаются затруднения при ходьбе, речи, проблемы со зрением, рвота, головные боли, судороги и психические отклонения. Рост злокачественной ткани обнаруживается по изображениям магнитно-резонансной томографии (МРТ). В исследовании представлено глубокое обучение для обнаружения опухоли мозга по данным МРТ, основанную на архитектуре VGG-16. Набор данных состоит из МРТ-изображений с опухолью мозга и без. На имеющемся наборе данных была достигнута точность 90%. Работа посвящена классификации опухолей головного мозга.*

**Ключевые слова:** обучение нейросети, vgg-16, классификация медицинских изображений

Опухоль головного мозга — это развитие раковых клеток в головном мозге или вокруг него. Опухоль мозга может быть доброкачественной или злокачественной. Доброкачественная опухоль мозга имеет однородную структуру и не содержит активных клеток, в то время как злокачественные опухоли мозга имеют неоднородную структуру и содержат активные клетки. Опухоли головного мозга поражают людей всех возрастов, и их воздействие неодинаково у разных людей [1]. В течение длительного времени эта болезнь является одной из основных причин смертности, особенно в развивающихся странах.

Ручное лечение опухоли головного мозга отнимает много времени и сил у рентгенологов и врачей. Раннее выявление и диагностика опухоли предоставляет пациентам дополнительные возможности лечения и повышает их шансы на выживание. Для ранней диагностики используются различные технологии визуализации, такие как магнитно-резонансная томография (МРТ), компьютерная томография (КТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). МРТ позволяет получить детальные изображения мозга и проследить за размерами опухоли. Для диагностики опухоли мозга МРТ более эффективна, чем КТ, поскольку позволяет получить более детальные изображения. Однако оценка результатов МРТ вручную может оказаться утомительной в условиях ограниченного времени. Для решения этой проблемы можно анализировать результаты МРТ в цифровом виде, чтобы получить точный и мгновенный диагноз. В прошлом было предпринято множество попыток обнаружения опухолей головного мозга с использованием различных алгоритмов, а также различных инструмен-

тов и методик. Опухоль мозга идентифицируется с помощью искусственной нейронной сети на сегментированных изображениях [2]. Для удаления шума с изображений использовался медианный фильтр, а также применялся метод распознавания образов.

Модель идентифицирует опухоль в доброкачественной стадии. Система, реализует подход машинного обучения для прогнозирования наличия опухоли в головном мозге или вблизи него на основе МРТ-изображений пациентов с использованием конволюционной нейронной сети. Конволюционная нейронная сеть относится к алгоритмам глубокого обучения, которые идентифицируют входное изображение путем присвоения важности различным аспектам/объектам на изображении. По сравнению с другими алгоритмами классификации он требует меньшего количества шагов предварительной обработки. Архитектура ConvNet аналогична схеме связи нейронов в человеческом мозге и была вдохновлена организацией зрительной коры [3]. Была реализована архитектура VGG-16 конволюционной нейронной сети (CNN) для извлечения и анализа признаков. Эта модель поможет медицинскому персоналу идентифицировать опухоль и предложить правильное лечение в нужное время.

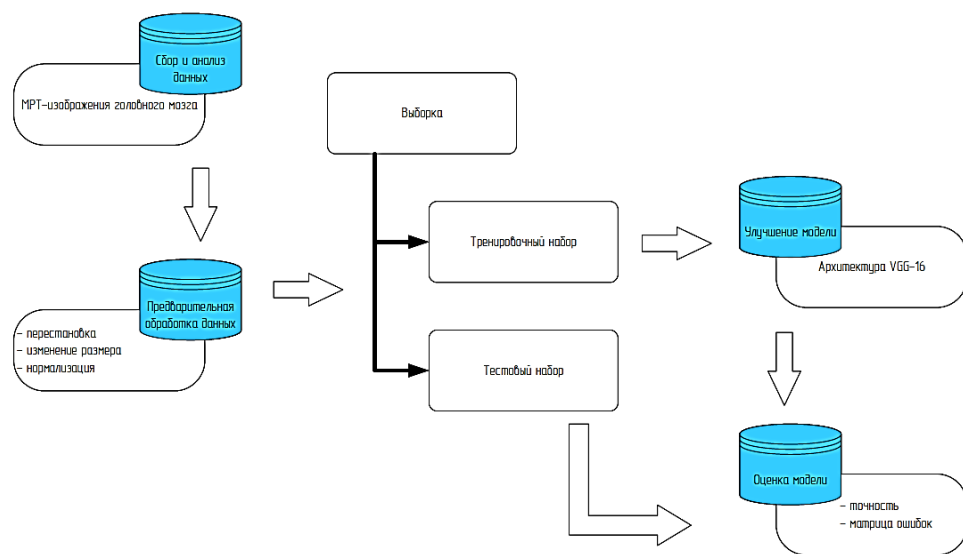


Рис. 1. Блок-схема системы обнаружения опухоли головного мозга с использованием архитектуры VGG-16

Блок-схема системы обнаружения опухолей головного мозга представлена на рис. 1. Первоначально собираются МРТ-изображения для анализа, затем собранные данные корректируются для выделения только части мозга на снимке. МРТ-изображения изменяются до размеров (224, 224), как того требует архитектура VGG-16 [4]. Для увеличения набора обучающих данных

выполняется расширение данных с целью извлечения различных вариаций МРТ путем перестановки, изменения размеров, поворота, сдвига. Дополненные изображения поступают на вход модели VGG-16. В условиях соответствующей обучающей среды создается модель VGG для обнаружения опухолей головного мозга. После обучения проводится тестирование и валидация, в ходе которых анализируется производительность и точность модели.

Эффективность предложенной системы может быть показана с помощью матрицы ошибок на рис. 2. С увеличением эпохи потери уменьшаются. Модель предсказывает возникновение опухоли головного мозга с точностью 95,7% и потерями 1,3%. Точность может быть повышена за счет увеличения числа наборов данных [5]. Модель может быть улучшена за счет использования значительного увеличения числа данных, увеличения шага и количества эпох, добавления контрольных точек.

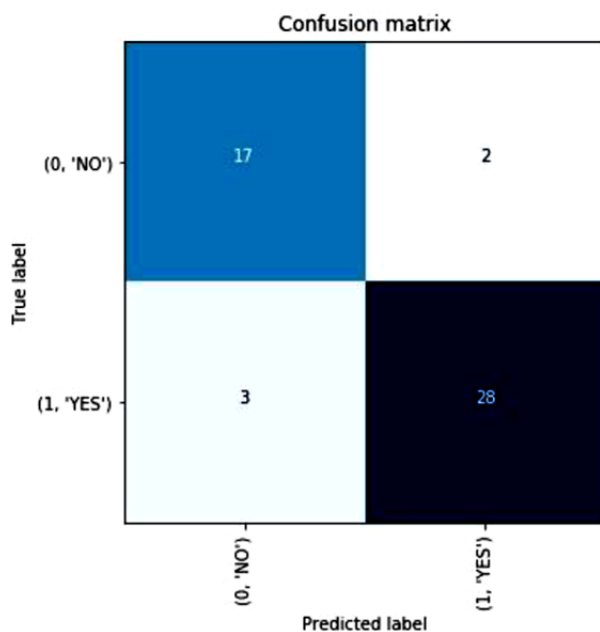


Рис. 2. Матрица ошибок

Система обнаружения опухолей головного мозга направлена на точное и быстрое выявление опухолей головного мозга. В первую очередь она направлена на устранение утомительной и трудоемкой ручной работы радиологов и врачей. Система обнаружения опухолей головного мозга получает МРТ-изображения головного мозга и выдает результат, определяющий наличие или отсутствие опухоли в головном мозге. Модель обеспечивает хорошую точность. Для дальнейшего совершенствования можно обучить больший набор данных и применить другие методы глубокого обучения.

## Литература

- [1] Bahadure N.B., Ray A.K., Thethi H.P. Image Analysis for MRI Based Brain Tumor Detection and Feature Extraction Using Biologically Inspired BWT and SVM. *International Journal of Biomedical Imaging*, 2017, pp. 1–12.
- [2] Тоғаçar М., Ergen В., Cömert Z., Özyurt F. A deep feature learning model for pneumonia detection applying a combination of mRMR feature selection and machine learning models IRBM, 2020, vol. 41 (4), pp. 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2019.10.006>
- [3] Петров А.И., Белов Ю.С. Трансферное обучение в нейросетевой обработке данных медицинских изображений на основе сверточных сетей. Электронное периодическое издание *E-Scio.ru*. Эл. № ФС77-66730. URL: <https://e-scio.ru/wp-content/uploads/2023/06/Петров-А.-И.-Белов-Ю.-С.pdf> (дата обращения 12.09.2023).
- [4] *Brain MRI images for Brain Tumor Detection*. Available at: <https://www.kaggle.com/navoneel/brain-mri-images-for-brain-tumor-detection> (accessed October 2, 2023).
- [5] Xu P., Zhao J., Zhang J. Identification of intrinsically disordered protein regions based on deep neural network-VGG16. *Algorithms*, 2021, vol. 14 (4), p. 107.

## Detection and Classification of Brain Tumors Using the VGG - 16 Architecture

© Petrov A.I.  
Belov Yu.S.

artemchik-2000@mail.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*A brain tumor is a serious disease caused by abnormal cell development in the brain. This occurs as a result of damage to the tissues surrounding the brain or skull. Patients with brain tumors have difficulty walking, speech, vision problems, vomiting, headaches, seizures and mental abnormalities. The growth of malignant tissue is detected by magnetic resonance imaging (MRI) images. The study presents deep learning for detecting brain tumors based on MRI data, based on the VGG-16 architecture. The dataset consists of MRI images with and without a brain tumor. An accuracy of 90% was achieved on the available data set. The work is devoted to the classification of brain tumors.*

**Keywords:** *neural network training, vgg-16, classification of medical images*

УДК 004.932

## Этапы фотограмметрической обработки серии изображений для 3D-реконструкции

© Панина Екатерина Александровна  
Белов Юрий Сергеевич

panina.kaluga@yandex.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрены основные этапы фотограмметрической обработки серии изображений для 3D-реконструкции, такие как: подготовка изображений, регистрация изображений, построение 3D-модели, оценка качества 3D-модели. В целях демонстрации приведены результаты выполнения каждого этапа. Этапы неразрывно связаны между собой и результат реконструкции зависит от качества выполнения каждого из них. Фотограмметрическая обработка серии изображений — это сложный процесс, требующий определенных навыков и знаний. Однако при правильном выполнении она позволяет получить точные и детализированные 3D-модели объектов и явлений.*

**Ключевые слова:** фотограмметрия, 3D-реконструкция, подготовка изображений, регистрация изображений, построение 3D-модели

**Введение.** Этапы фотограмметрической обработки серии изображений с целью последующей 3D-реконструкции

Фотограмметрия — это наука о восстановлении пространственной информации об объектах и явлениях на основе их фотографических изображений. 3D-реконструкция — это процесс построения трехмерной модели объекта или сцены на основе серии двумерных изображений.

Для получения 3D-модели из серии изображений необходимо выполнить ряд этапов фотограмметрической обработки.

**Подготовка изображений.** На первом этапе выполняется подготовка изображений, которая включает в себя:

– *коррекцию геометрических искажений.* Изображения, полученные цифровыми фотоаппаратами, обычно содержат геометрические искажения, которые необходимо исправить. Это можно сделать с помощью специальных алгоритмов [1].

– *устранение шумов.* Изображения, полученные в реальных условиях, обычно содержат шумы, которые могут повлиять на точность реконструкции. Шумы можно устранить с помощью методов цифровой обработки изображений [2].

– *создание опорной сети.* Опорная сеть — это набор точек, которые определяют положение и ориентацию камеры при съемке изображений. Опорную сеть можно создать вручную или с помощью автоматического алгоритма.

На рис. 1 приведен пример выполнения этих этапов при помощи алгоритмов медианной фильтрации и алгоритма SIFT. Поскольку при съемке искажение оказалось достаточно малым, процесс коррекции искажения мало заметен [3].

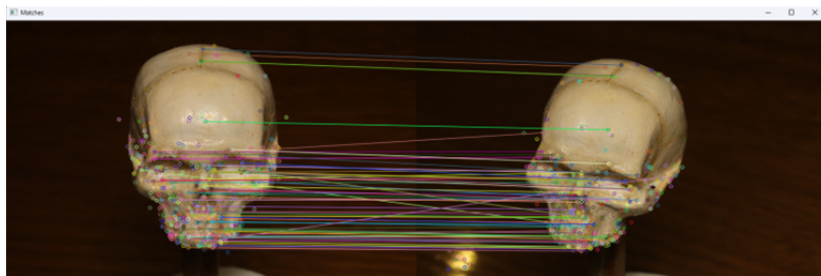


Рис. 1. Подготовка изображений к дальнейшей 3D-реконструкции

**Регистрация изображений.** На втором этапе выполняется регистрация изображений, которая заключается в определении соответствия между точками на разных изображениях. Регистрация изображений необходима для того, чтобы объединить изображения в единую систему координат.

Существует множество методов регистрации изображений, которые различаются по точности и сложности реализации. В результате система всегда получает матрицу преобразования одного изображения относительно другого (рис. 2) [4].

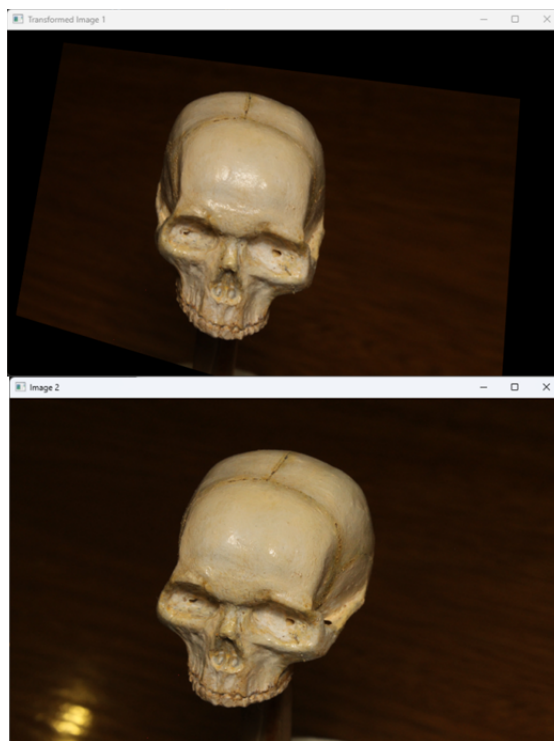
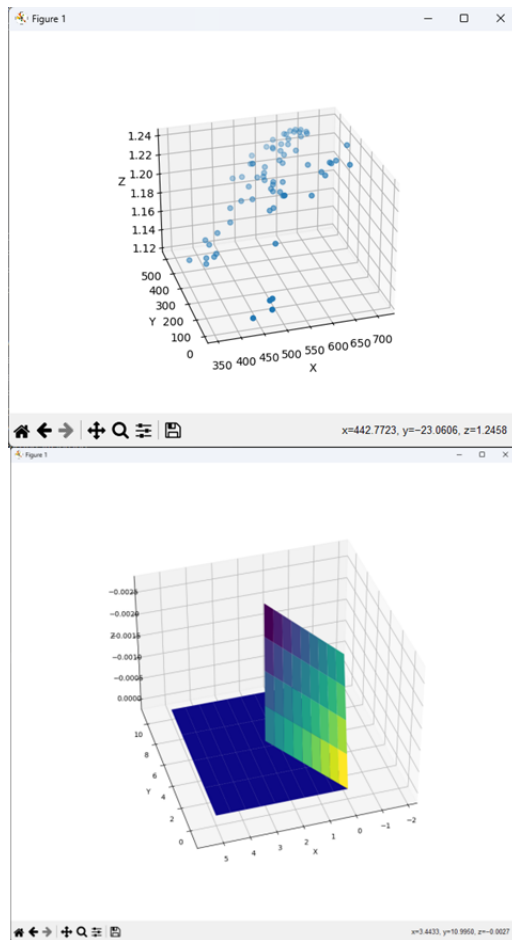


Рис. 2. Искажение изображения для демонстрации работы матрицы преобразования

**Построение 3D-модели.** На третьем этапе выполняется построение 3D-модели. Для этого используются методы фотограмметрии, которые позволяют восстановить пространственные координаты точек на поверхности объекта или сцены.

В случае с опорной сетью имеется пара изображений, на которых видны опорные точки. Для каждой опорной точки мы знаем ее координаты в пикселях на каждом изображении. Эти координаты можно использовать для построения двух треугольников, вершины которых являются опорными точками [5]. Решив систему уравнений для этих треугольников, можно получить пространственные координаты опорных точек. На рис. 3 представлены опорные точки с изображений выше в трехмерном пространстве и взаимное расположение изображений относительно друг друга.



**Рис. 3.** Визуализация расположения опорных точек изображений и плоскостей самих изображений в трехмерном пространстве

**Качество 3D-модели.** Качество 3D-модели зависит от следующих факторов [5]:

- количество изображений. Чем больше изображений используется для построения модели, тем выше ее точность;
- разрешение изображений. Чем выше разрешение изображений, тем более детализированной будет модель;
- точность регистрации изображений. Чем точнее зарегистрированы изображения, тем точнее будет построена модель;
- метод построения модели. Некоторые методы построения моделей позволяют получать более точные модели, чем другие.

**Заключение.** Фотограмметрическая обработка серии изображений — это сложный процесс, требующий определенных навыков и знаний. Однако при правильном выполнении она позволяет получить точные и детализированные 3D-модели объектов и явлений и используется во множестве областей и для большого спектра целей:

Фотограмметрия находит широкое применение в различных областях, включая науку, инженерию, архитектуру и искусство.

Примеры использования фотограмметрии:

- в науке фотограмметрия используется для изучения природных явлений, таких как движение ледников или изменение уровня моря;
- в инженерии фотограмметрия используется для создания цифровых моделей зданий и сооружений;
- в архитектуре фотограмметрия используется для создания трехмерных моделей исторических зданий и сооружений;
- в искусстве фотограмметрия используется для создания трехмерных моделей объектов и явлений.

## Литература

- [1] Ким Ч.С., Чан С.Х., Чан В.Х. A survey on methods for geometric distortion correction in digital images. *Computer Vision and Image Understanding*, 2019, vol. 168, pp. 73–89. <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2018.10.011>
- [2] Панина Е.А., Белов Ю.С. Анализ алгоритмов нахождения характерных точек изображений. *Всероссийская научно-техническая конференция*, 2022, т. 1, с. 55–57.
- [3] Хан Н.Ю., МакКейн Б., Уивилл Д. SIFT and SURF Performance Evaluation Against Various Image Deformations on Benchmark Dataset. Conference. *2011 International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)*, Noosa, QLD, Australia, December 6–8, 2011.
- [4] Лю И., Ван Ч., Сон Ч., Ван М. Efficient global point cloud registration by matching rotation invariant features through translation search. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2018, pp. 712–727. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0221-7>
- [5] Кук Дж.Дж., Дэвис У.К., Каспари В.Дж. Digital Image Processing. *Pearson Education*, 2014.



## Stages of Photogrammetric Processing of a Series of Images for 3D Reconstruction

© Panina E.A.  
Belov Yu.S.

panina.kaluga@yandex.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*There was considered the main stages of photogrammetric processing of a series of images for 3D reconstruction, such as: image preparation, image registration, 3D model construction, and 3D model quality assessment. The results of each stage are presented for demonstration. The stages are closely interrelated and the reconstruction result depends on the quality of each stage. Photogrammetric processing of a series of images is a complex process that requires certain skills and knowledge. However, with proper execution, it allows to obtain accurate and detailed 3D models of objects and phenomena.*

**Keywords:** *photogrammetry, 3D reconstruction, image preparation, image registration, 3D model construction*

УДК 004.89

## Повышение эффективности больших языковых моделей с использованием fine-tuning на примере GPT-3

© Чикишев Андрей Денисович  
Белов Юрий Сергеевич

chikishev2012@yandex.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрен метод “fine-tuning” для совершенствования большой языковой модели GPT (Generative Pre-trained Transformer). GPT-3, как заранее предобученная модель, имеет огромный объем обучающих данных и может выполнять широкий спектр задач, связанных с естественным языком. Однако, чтобы достичь оптимальной производительности в конкретных задачах, требуется адаптация модели под эти задачи. Процесс fine-tuning включает в себя инициализацию заранее предобученной модели и последующее обучение на небольшом, специфическом для задачи, наборе данных.*

**Ключевые слова:** генерация текста, большие языковые модели, fine-tuning, GPT

GPT-3 — это крупная заранее предобученная языковая модель, которая была обучена на огромном объеме разнообразных данных. Fine-tuning позволяет адаптировать заранее предобученную модель под конкретную задачу, такую как анализ тональности, машинный перевод, вопросно-ответная система или любая другая задача, связанная с обработкой текста. В ходе процесса fine-tuning, начинают с заранее предобученной модели GPT-3 и продолжают обучение на более небольшом наборе данных, специфичном для данной задачи. Этот процесс включает в себя инициализацию весов заранее предобученной модели и последующее настраивание параметров модели на более маленьком наборе данных [1].

Процесс fine-tuning обычно включает в себя несколько раундов обучения, при которых производительность модели оценивается на валидационном наборе данных, чтобы определить, требуется ли дополнительное обучение. Как только модель достигает удовлетворительной производительности на валидационном наборе, она может быть использована для генерации прогнозов на новом тестовом наборе данных.

Fine-tuning модели GPT-3 может значительно повысить ее точность и эффективность в конкретных задачах, что делает ее мощным инструментом для приложений в области обработки естественного языка. Существует четыре основных подхода к улучшению GPT-3:

1. Fine-tuning (или «точная настройка») — это процесс обучения предварительно обученной модели (т. е. базовой GPT-3) новой задаче или набору данных, при котором повторно обучаются только последние слои модели, сохраняя при этом предыдущие слои фиксированными.

2. Few shot learning (или «обучение в несколько этапов») — под обучением за несколько шагов подразумевается процесс предоставления модели небольшого количества примеров, обычно всего нескольких примеров, во время вывода (т. е. включения в подсказку). Ожидается, что GPT-3 будет обобщен на новые, ранее невиданные примеры. Это похоже на точную настройку, но объем помеченных данных ограничен.

3. One shot learning (или «одноразовое обучение») — однократное обучение аналогично обучению с несколькими этапами, за исключением того, что во время вывода базовой модели предоставляется только один пример.

4. Zero shot learning (или «обучение с нулевым выстрелом») — это метод, при котором модели дается задание без каких-либо обучающих примеров и предоставляется только подсказка на естественном языке [2].

Разница между внедрением и тонкой настройкой GPT-3. Внедрение и тонкая настройка GPT-3 представляют собой методы обучения модели на дополнительных данных, но они выполняют различные функции и используют разные стратегии обучения.

Внедрение относится к представлению текстовых элементов (слов, фраз, документов) в числовой форме с целью отражения их смысла и контекста. Эти числовые внедрения извлекаются из дополнительных источников знаний и могут быть использованы для предоставления контекста и дополнительной информации вводу модели GPT-3.

Тонкая настройка, с другой стороны, направлена на обучение GPT-3 конкретным структурам, шаблонам или стилям языка на основе набора примеров, предоставленных пользователем. Тонкая настройка можно рассматривать как процесс переобучения базовой модели GPT-3 с использованием новых шаблонов, правил или стилей языка, заданных пользователем. После завершения этого процесса модель GPT-3 может генерировать текст в соответствии с заданными параметрами.

В некоторых случаях можно комбинировать внедрение и тонкую настройку, сначала используя внедрение для обогащения базовой модели знанием, а затем применив тонкую настройку для управления специфическим стилем или поведением модели [3].

Теперь, когда основные понятия внедрения и тонкой настройки GPT-3 рассмотрены, можно перейти к рассмотрению практических аспектов тонкой настройки. Далее будет рассмотрен пример тонкой настройки большой языковой модели GPT-3.

Пример тонкой настройки большой языковой модели GPT-3.

На высоком уровне шаги, которые нам необходимо предпринять для тонкой настройки GPT-3, включают в себя:

- 1) подготовку и загрузку данных обучения в формате JSONL;
- 2) обучение новой доработанной модели;
- 3) сохранение и использование настроенной модели для ответов.

Чтобы подготовить набор данных для тонкой настройки, необходимо использовать файл JSONL в следующем формате.

(Можно использовать инструмент подготовки данных CLI OpenAI [2], чтобы легко конвертировать файлы CSV, TSV, XLSX или JSON в JSONL в следующем формате:

```
{"prompt": "<текст подсказки>", "completion": "<идеальный сгенерированный текст>"}
```

```
{"prompt": "<текст подсказки>", "completion": "<идеальный сгенерированный текст>"}
```

```
{"prompt": "<текст подсказки>", "completion": "<идеальный сгенерированный текст>"}
```

...

Каждый ввод предоставляет один ввод или подсказку и связанный с ней идеальный текст завершения.

После подготовки набора данных для точной настройки, чтобы создать и сохранить точно настроенную модель, необходимо предпринять следующие шаги:

1. Установить OpenAI и установить свой ключ API

```
# install openai
```

```
pip install --upgrade openai
```

2. Экспортировать OPENAI\_API\_KEY="<КЛЮЧ\_API >"

3. Далее можно использовать инструмент подготовки данных CLI, если нужно изменить набор данных на JSONL:

```
Fine_tunes.prepare_data -f <ЛОКАЛЬНЫЙ_ФАЙЛ>
```

4. Затем необходимо создать точно настроенную модель следующим образом, где ссылка БАЗОВАЯ\_МОДЕЛЬ может быть любой из списка представленных моделей — Ады, Бэббиджа, Кюри или Давинчи:

```
Fine_tunes.create -t <ПУТЬ_ДО_ФАЙЛА_С_НАСТРОЙКОЙ> -m <БАЗОВАЯ_МОДЕЛЬ>
```

Команда выше выполняет несколько действий:

1) сначала загружается файл с помощью файлового API;

2) затем создается точно настроенная работа;

3) наконец, передаются события до тех пор, пока задание не будет выполнено.

Это часто занимает от нескольких минут до нескольких часов, если в очереди много заданий или для тонкой настройки требуется большой набор данных. Когда задание будет завершено, в консоли выведется имя точно настроенной модели в командной строке.

Для использования настроенной модели, можно воспользоваться следующим конфигуратором [4]:

```
import openai
openai.Completion.create(model=НАЗВАНИЕ_МОДЕЛИ,prompt=ПОДСКАЗКА)
```

**Вывод.** Тонкая настройка модели GPT-3 может значительно улучшить ее производительность в конкретной задаче. Модель может быть адаптирована или «настроена» для более эффективного выполнения поставленной задачи, что приводит к повышению точности, надежности, обобщения и интерпретируемости.

Более того, тонкая настройка может сократить необходимое количество данных для обучения модели на конкретную задачу, что делает процесс более эффективным. Тем не менее, важно учитывать качество набора данных и параметры модели, которые будут настраиваться в ходе процесса тонкой настройки.

В конечном итоге, решение о проведении тонкой настройки модели или использовании проектирования запросов зависит от конкретного случая использования.

## Литература

- [1] Rothman D., Gulli A. Transformers for Natural Language Processing: Build, train, and fine-tune deep neural network architectures for NLP with Python, Hugging Face, and OpenAI's GPT-3, ChatGPT, and GPT-4. Packt Publishing, 2022.
- [2] Jin F., Lu J., Zhang J. Unified Prompt Learning Makes Pre-Trained Language Models Better Few-Shot Learners. *ICASSP 2023 — 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Rhodes Island, Greece, 2023, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICASSP49357.2023.10095738>.
- [3] Zhang L., Hu Y. A fine-tuning approach research of pre-trained model with two stage. *2021 IEEE International Conference on Power Electronics, Computer Applications (ICPECA)*, Shenyang, China, 2021, pp. 905–908. <https://doi.org/10.1109/ICPECA51329.2021.9362566>
- [4] Bahrami M., Mansoorizadeh M., Khotanlou H. Few-shot Learning with Prompting Methods. *2023 6th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis (IPRIA)*, Qom, Iran, Islamic Republic of, 2023, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/IPRIA59240.2023.10147172>

## Improving the Efficiency of large Language Models Using Fine-Tuning Using GPT-3 as an Example

© Chikishcev A.D.  
Belov Yu.S.

chikishev2012@yandex.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The “fine-tuning” method for improving the large GPT (Generative Pre-trained Transformer) language model is considered. GPT-3, as a pre-trained model, has a huge amount of training data and can perform a wide range of natural language tasks. However, to achieve optimal performance in specific tasks, the model must be adapted to those tasks. The fine-tuning process involves initializing a pre-trained model and then training it on a small, task-specific data set.*

**Keywords:** *text generation, large language models, fine-tuning, GPT*

УДК 004.89

## Предварительная обработка данных и извлечение признаков в системе анализа голосовых данных с использованием нейронных сетей

© Вялых Софья Андреевна  
Белов Юрий Сергеевич

sofiyavyalykh@gmail.com  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Основным аспектом исследования в области распознавания эмоций в речи является предварительная обработка данных и извлечение признаков перед применением нейронных сетей. Это играет важную роль в системе анализа голосовых данных, поскольку качество предварительной обработки и правильный выбор признаков могут существенно повлиять на точность и эффективность определения эмоционального состояния речи. Целью данной статьи является исследование системы анализа голосовых данных с использованием нейронных сетей для определения эмоционального состояния речи, с фокусом на предварительной обработке данных и извлечении признаков.*

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

В системе анализа голосовых данных с использованием нейронных сетей для определения эмоционального состояния речи предварительная обработка данных и извлечение признаков являются важными шагами. Они выполняются для подготовки голосовых данных к последующей обработке и классификации с использованием нейронных сетей.

К предварительной обработке данных относится устранение шума, нормализация амплитуды и удаление смещения. Устранение шума отвечает за процесс фильтрации и удаления нежелательных шумовых сигналов из голосовых записей, чтобы повысить качество звука и улучшить различимость голосовой информации. Нормализация амплитуды является процессом приведения голосового сигнала к заданному уровню амплитуды, чтобы обеспечить единообразное представление данных и устранить искажения, вызванные разными уровнями громкости в исходных записях [1]. Удаление смещения обеспечивает процесс удаления постоянного смещения в сигнале, которое может повлиять на результаты анализа и классификации.

Извлечение признаков происходит, как правило, при использовании в системе метода самоподобия, извлечения спектральных характеристик и получения мел-частотных кепстральных коэффициентов [2].

Метод самоподобия — это один из подходов, который может быть применен в задаче распознавания речи и эмоций для анализа голосовых данных. Он основан на представлении речевого сигнала в виде самоподобной структуры, что позволяет выявить и изучить временные и частотные шаблоны

в голосовом сигнале. Основная идея метода самоподобия состоит в том, что речевые сигналы могут иметь определенные структурные и повторяющиеся паттерны, которые могут быть исследованы и использованы для извлечения признаков и выделения эмоциональной информации. Этот метод позволяет учитывать особенности интонации, ритма и модуляции речи [3]. В рамках метода самоподобия проводится анализ временных и частотных шаблонов, представленных в голосовом сигнале. Эти шаблоны могут быть выделены с помощью различных алгоритмов и методов, например, вейвлет-преобразование или корреляционный анализ.

Мел-частотные кепстральные коэффициенты (MFCC) — это одна из наиболее распространенных и эффективных методов извлечения признаков в задаче распознавания речи и эмоций. Они были разработаны для моделирования восприятия человеком звуков различной высоты и представляют собой представление голосового сигнала в спектральной области, преобразованного в мел-частотную шкалу. Процесс извлечения MFCC включает следующие шаги:

1. Разделение сигнала на короткие оконные фреймы: Голосовой сигнал разделяется на фиксированное число оконных фреймов, каждый продолжительностью около 20...30 мс. Это позволяет учитывать изменения в спектре звука в течение времени.

2. Применение преобразования Фурье: Каждый оконный фрейм проходит через преобразование Фурье для получения спектра мощности, который отображает энергию звука на различных частотах.

3. Применение мел-фильтров: Спектральные данные пропускаются через набор мел-фильтров, которые имитируют восприятие человеком частоты звука. Мел-фильтры являются треугольными оконными функциями, размещенными в мел-шкале, которые учитывают особенности восприятия звука в разных частотных областях.

4. Применение логарифмической компрессии: Логарифмическая компрессия используется для усиления слабых сигналов и сглаживания сильных сигналов, чтобы улучшить динамический диапазон данных.

5. Применение дискретного косинусного преобразования (DCT): Применение DCT к логарифмированному спектру мощности позволяет сократить размерность данных и извлечь главные компоненты MFCC, которые представляют собой конечный набор числовых признаков.

MFCC представляют собой компактное и информативное представление голосового сигнала, сохраняющее основные характеристики речи, такие как форманты, интонация и произношение [4]. В задачах распознавания речи и эмоций MFCC широко применяются для обучения нейронных сетей и других классификаторов, чтобы определить эмоциональное состояние и другие характеристики звука.

Извлечение спектральных характеристик является важным шагом в задаче распознавания речи и эмоций. Спектральные характеристики представляют собой информацию о распределении энергии звука в различных частот-

ных компонентах сигнала и могут быть полезными для анализа речевых особенностей и выделения эмоциональных признаков в голосовом сигнале. Частотные пики указывают на наличие или отсутствие определенных частотных компонент в голосовом сигнале. Они могут быть связаны с формантами — резонансными пиками, обусловленными анатомией речевого аппарата, которые содержат информацию о произношении.

Ширина полосы пропускания показывает размах частотных компонент сигнала, что может указывать на изменение в интонации, интенсивности или других речевых характеристиках. Энергия спектра отражает общую энергию сигнала в определенном частотном диапазоне. Энергия может быть связана с громкостью и силой голоса, что может быть связано с определенными эмоциональными состояниями.

Спектральные флуктуации отражают изменения в распределении энергии в спектре в течение времени. Высокие флуктуации могут быть связаны с выраженностью эмоциональных изменений в речи. Извлечение спектральных характеристик может быть выполнено с использованием методов преобразования Фурье, таких как быстрое преобразование Фурье (FFT), которое преобразует сигнал из временной области в частотную область. Затем можно применить соответствующие алгоритмы для оценки и выделения этих спектральных характеристик признаков. Эти спектральные характеристики могут быть использованы вместе с нейронными сетями для распознавания речи и эмоций. Нейронные сети, в частности сверточные нейронные сети (CNN) и рекуррентные нейронные сети (RNN), имеют способность автоматического извлечения и обработки таких характеристик, что помогает в эффективном распознавании и классификации эмоций в речи [5]. Извлечение спектральных характеристик является важным этапом в процессе анализа голосовых данных для распознавания речи и эмоций. Они предоставляют информацию о спектральном содержании голосового сигнала, которая может быть полезной для выявления эмоциональных особенностей и характеристик речи.

Важно отметить, что выбор конкретных методов предварительной обработки данных и извлечения признаков может быть специфичным в зависимости от конкретной задачи распознавания эмоций и характеристик голосовых данных [6]. Глубокое обучение и нейронные сети часто используются для автоматического извлечения признаков из голосовых данных и различения эмоциональных состояний. Это описание предварительной обработки данных и извлечения признаков в системе анализа голосовых данных с использованием нейронных сетей демонстрирует важность этих шагов для получения репрезентативных и информативных признаков, которые могут помочь в распознавании эмоций в речи. Дальнейший анализ и классификация этих признаков с использованием нейронных сетей могут привести к более точному определению эмоционального состояния в голосе.



## 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, vol. 29, no. 6, pp. 82–97.
- [2] Кипяткова И.С., Карпов А.А. Разновидности глубоких искусственных нейронных сетей для систем распознавания речи. *Труды СПИИРАН*, 2016, т. 6, № 49, с.80–103.
- [3] Devillers L., Vidrascu L., Lamel L. Challenges in real-life emotion annotation and machine learning based detection. *Neural Networks*, 2005, vol. 18 (4), pp. 407–422.
- [4] Киселев В.В. Автоматическое определение эмоций по речи. *Образовательные технологии*, 2012, № 3, с. 85–89.
- [5] Ростовцев В.С. Искусственные нейронные сети. Санкт-Петербург, Лань, 2021, 216 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/160142> (дата обращения 07.10.2022).
- [6] Маркина Ю.Ю., Белов Ю.С. Кепстральные коэффициенты как необходимая характеристика процесса создания системы имитации голоса человека с помощью методов глубокого обучения. *Международный студенческий научный вестник*, 2018, № 1, с. 78.

## Data Preprocessing and Feature Extraction in a Voice Data Analysis System Using Neural Networks to Determine the Emotional State of Speech

© | Vyalykh Sofia Andreevna  
Belov Yu.S.

sofiyavyalykh@gmail.com  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The main aspect of research in the field of emotion recognition in speech is data preprocessing and feature extraction before applying neural networks. This plays an important role in a voice data analysis system, since the quality of preprocessing and the correct selection of features can significantly affect the accuracy and efficiency of determining the emotional state of speech. The purpose of this article is to study a system for analyzing voice data using neural networks to determine the emotional state of speech, with a focus on data preprocessing and feature extraction.*

**Keywords:** *emotion recognition, neural networks, programming, machine learning*

УДК 621.391.15

## Поле излучения как источник информации

© Крицкая Анна Рудольфовна	anna_kritskaya@list.ru
Силаева Наталья Альбертовна	silaeva1968@list.ru
Горбунов Александр Константинович	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Логонова Алла Юрьевна	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Сваталова Вероника Сергеевна	sv270504@gmail.com
Илюхина Ирина Владиславовна	ilykhinaira8@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Для обработки информации, собранной с помощью оптических электронных систем, предлагается использовать аппарат теории передачи информации. Рассматриваются модели канала с аддитивным шумом. Используются прямая и обратная теоремы Шеннона. Находятся выражения априорной энтропии поля для конкретных случаев. Задачи решаются для требуемых значений сигнал/шум.*

**Ключевые слова:** поле излучения, априорная энтропия, сигнал и шум, дифракция

Источником информации для ОЭС является пространство объектов — поле излучения. До измерения представим поле излучения в виде совокупности элементарных областей, число которых равно  $N$ . Внутри каждой области поле излучения может принимать  $m$  состояний с вероятностями  $p(n_i)$ . С увеличением числа  $N$  априорная энтропия возрастает [1].

Нецелесообразно, чтобы число  $N$  было больше, чем число — областей  $N_b$ , поскольку в этом случае величина  $H_{\text{арг}}$  растет пропорционально  $N$ , а количество информации  $I$ , получаемое в результате измерений, не увеличивается.

Максимально возможное число  $N = N_b$ , и соответственно максимальное значение  $H_{\text{арг}}$  определяется из условия ограничения разрешения дифракцией на входном зрачке оптической системы [2].

При дифракционных ограничениях угловой размер кружка рассеяния (кружка Эри)

$$d = 2,44 \frac{\lambda}{D}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — длина волны излучения;  $D$  — диаметр входного зрачка объектива.

В линейной мере диаметр кружка Эри  $d_{\text{л}} = 2,44 \frac{\lambda f'}{D}$ .

Будем считать, что — область определяется дифракцией и ее площадь, равна площади квадрата со стороны  $d_{\text{л}}$ , т. е.

$$d_{\text{л}}^2 = \left( 2,44 \frac{\lambda}{D} f' \right)^2. \quad (2)$$

Пусть изображение ограничено по площади окружностью диаметром

$$D_{\text{н}} = 2 f' \operatorname{tg} W,$$

где  $2W$  — размер углового поля объектива. Тогда в пределах всего углового поля число элементов дискретизации (число  $\varepsilon$ -областей)

$$N_{\text{в}} = \frac{\pi D_{\text{н}}^2}{4d_{\text{л}}^2} = \pi D^2 (\operatorname{tg} W / 2, 44\lambda)^2. \quad (3)$$

При малых  $W$ , когда  $\operatorname{tg} W = W$ , выражение (3) приводится к виду

$$N_{\text{в}} = 0,67 A_{\text{вх}} \left( \frac{W}{\lambda} \right)^2, \quad (4)$$

где  $A_{\text{вх}}$  — площадь входного зрачка оптической системы.

С учетом равенства  $\frac{D}{f'} = 2 \operatorname{tg} \sigma'$ , где  $2\sigma'$  — апертурный угол объектива, выражение (3) может быть преобразовано к виду

$$N_{\text{в}} = 0,67\pi \left[ \frac{f'}{\lambda} W \operatorname{tg} \sigma' \right]^2. \quad (5)$$

Пусть в каждой  $\varepsilon$ -области поле излучения может принимать значение яркости от 0 до  $L_{\text{max}}$  и число этих значений равно  $m + 1$  ( $m$  — число разрешаемых градаций яркости). Будем также считать, что значения яркости в каждой области статически независимы. Число различных возможных сочетаний, т. е. различных распределений яркости по всему угловому полю ОЭС  $z = (m + 1)^N$ .

В случае равной вероятности возможных сочетаний энтропия поля излучения максимальна

$$H_{\text{апр}} = \log_2 (m + 1)^N = N \log_2 (m + 1). \quad (6)$$

Окончательно получим из формул (4), (5) и (6) выражения для априорной энтропии поля излучения при ограничении ее дифракцией

$$H_{\text{апр}} = 0,67 A_{\text{вх}} \left( \frac{W}{\lambda} \right)^2 \log_2 (m + 1), \quad (7)$$

или

$$H_{\text{апр}} = 0,67\pi \left( \frac{f'}{\lambda} W \operatorname{tg} \sigma' \right)^2 \log_2 (m + 1). \quad (8)$$

Из этих выражений следует, что априорная энтропия, а соответственно и информативность оптического изображения в ОЭС, при дифракционных

ограничениях растут с увеличением входного зрачка оптической системы  $A_{\text{вх}}$ , углового поля  $2W$  или с увеличением фокусного расстояния объектива  $f'$  и апертурного угла  $\sigma'$ . Энтропия  $H_{\text{апр}}$  уменьшается с увеличением рабочей длины волны  $\lambda$ . Коэффициент 0,67 может быть и другим, и зависит от принятого критерия различимости соседних областей. Так, например, если принять, что минимально разрешаемое расстояние между  $\varepsilon$ -областями равно диаметру абберационного кружка в линейной мере на длине волны  $\lambda$ , или в угловой мере  $d_{y\lambda} = d_{\lambda\lambda} / f'$ , то легко получить

$$N_{\text{в}} = \frac{S}{d_{\lambda\lambda}} = \pi(Wf'/d_{\lambda\lambda})^2 = \pi(W/d_{y\lambda})^2. \quad (9)$$

Тогда выражение для априорной энтропии поля излучения при абберационных ограничениях будет

$$H_{\text{апр}} = \pi(W/d_{y\lambda})^2 \log_2(m+1), \quad (10)$$

из которого следует, что информативность изображения увеличивается с уменьшением кружка рассеяния или с увеличением углового разрешения.

Выражения (7), (8), (10) не учитывают энергетических соотношений между полезным сигналом и шумом. Будем считать, что все шумы приведены к флуктуации потока оптического излучения на входе ОЭС [3, 4].

Если требуемое отношение сигнал/шум, необходимое для разрешения  $m$  градаций яркости поля излучения равно  $\mu$ , то оно может быть определено, как это делается, например, в телевидении, по приближенной формуле

$$m \approx \sqrt{2\mu}.$$

Тогда формулы (5.7) и (5.8) принимают вид

$$H_{\text{апр}} = 0,67 A_{\text{вх}} \left(\frac{W}{\lambda}\right)^2 \log_2(\sqrt{2\mu} + 1),$$

или

$$H_{\text{апр}} = 0,67\pi \left[ \left(\frac{f'}{\lambda}\right) W \operatorname{tg} \sigma' \right]^2 \log_2(\sqrt{2\mu} + 1),$$

и формула (10) принимает вид

$$H_{\text{апр}} = \pi(W/d_{y\lambda})^2 \log_2(\sqrt{2\mu} + 1).$$

Необходимо учитывать, что величина  $\mu$  (отношение сигнал/шум) определяется многими факторами: свойствами источника излучения, среды распространения и др. Эти факторы обсуждаются в последующих главах, но уже

ясно, что количество информации, которое возможно получить в результате измерений в длинноволновой области спектра, может превышать количество информации в коротковолновой области.

В ОЭС для исследования природных ресурсов изображения могут создаваться в различных спектральных диапазонах [2]. При этом анализируются как изображения, полученные в узком спектральном диапазоне, так и синтезированные «цветные» изображения. Из формул (4) и (5) легко получить, что число  $\varepsilon$ -областей для цвета с длиной волны  $\lambda$ , при дифракционных ограничениях

$$H_{\varepsilon\lambda_i} = N_{\varepsilon\lambda_i} \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_i} \right)^2$$

и из выражения (5.9) при абберационных ограничениях

$$N_{\varepsilon\lambda_i} = N_{\varepsilon\lambda_1} \left( \frac{d\lambda_1}{d\lambda_i} \right)^2$$

где  $N_{\varepsilon\lambda_1}$  — число  $\varepsilon$ -областей, определенных для длины волн  $\lambda$ ;  $d_{\lambda_1}$  и  $d_{\lambda_i}$  — абберационный кружок рассеяния для длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_i$  соответственно.

Априорная энтропия поля излучения для цвета с длиной волны  $\lambda_i$  определяется как

$$H_{\text{арг } \lambda_i} = N_{\varepsilon\lambda_i} \log_2(m+1),$$

Априорная суммарная энтропия  $H_{\Sigma}$  поля излучения, в котором представляется совокупность трех цветов с длинами волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ , и соответственно информативность «цветного» изображения, полученного в этих цветах, может определяться путем алгебраического суммирования энтропий одноцветных изображений, полученных на длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ .

## Литература

- [1] Мишев Д. *Дистанционное исследование из космоса*. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2014.
- [2] Шеннон К.Э. *Математическая теория связи*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2017.
- [3] Мак-Вильямс Д. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2012.
- [4] Гихман И.И., Скороходов А.В. *Введение в теорию случайных процессов*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015.

## Radiation Field as a Source of Information

©	Kritskaya A.R.	anna_kritskaya@list.ru
	Silaeva N.A.	silaeva1968@list.ru
	Gorbunov A.K.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Loginova A.Yu.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Svatalova V.S.	sv270504@gmail.com
	Ilykhina I.V.	ilykhinaira8@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*To process the information collected using optical electronic systems, it is proposed to use the apparatus of the theory of information transmission. Models of a channel with additive noise are considered. The direct and inverse Shannon theorems are used. Expressions of the a priori entropy of the field for specific cases are found. The tasks are solved for the required signal/noise values.*

**Keywords:** *radiation field, a priori entropy, signal and noise, diffraction*

УДК 621.391.15

## Общая характеристика влияния атмосферы на сигналы

© Крицкая Анна Рудольфовна	anna_kritskaya@list.ru
Силаева Наталья Альбертовна	silaeva1968@list.ru
Горбунов Александр Константинович	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Логонова Алла Юрьевна	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Сваталова Вероника Сергеевна	sv270504@gmail.com
Илюхина Ирина Владиславовна	ilykhinaira8@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрена общая характеристика влияния атмосферы на сигналы. Изучено взаимодействие излучения с атмосферой при дистанционном зондировании. Сделаны выводы, что для качественной интерпретации результатов дистанционных измерений необходим учет влияния атмосферы и для определения спектральной яркости излучения объекта, необходимо знать оптические свойства атмосферы.*

**Ключевые слова:** взаимодействие излучения, атмосфера, яркость излучателя, оптические свойства

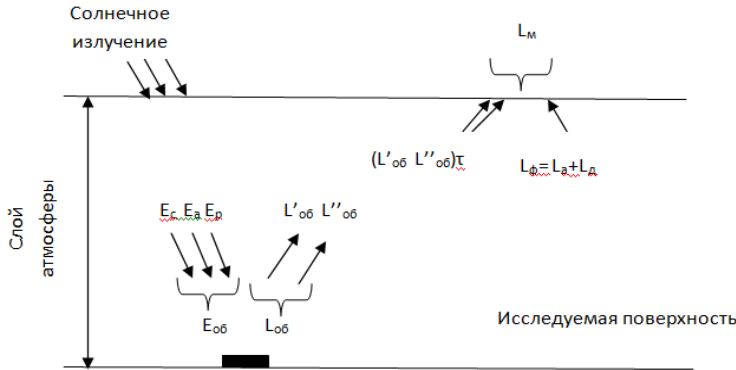
Атмосфера представляет собой смесь газов, в которой взвешены твердые и жидкие частицы вещества — от тонкого аэрозоля до плотных облаков со всеми возможными промежуточными стадиями.

При прохождении через атмосферу оптическое излучение взаимодействует с содержащимися в ней газами, частицами пыли, дыма, каплями воды и т. п. Поэтому для качественной интерпретации результатов дистанционных измерений необходим учет влияния атмосферы. Также необходимо учитывать собственное излучение атмосферы и сравнительно быстрые изменения параметров проходящего излучения [1].

Взаимодействие излучения с атмосферой при дистанционном зондировании показано на рис. 1. Яркость  $L_{об}$  от объекта исследования, представленного в виде элементарной площадки  $\Delta A_1$ , характеризует собственное излучение объекта (составляющая яркость  $L'_{об}$ ) и отраженное им излучение (составляющая  $L''_{об}$ ) внешних источников, создающих в плоскости объекта некоторую освещенность  $E_{об}$ . Эта освещенность при пассивном методе зондирования имеет составляющие за счет прямого солнечного излучения  $E_c$ , рассеянного солнечного излучения  $E_p$  и теплового излучения атмосферы в сторону объекта [2]. Таким образом,

$$L_{об} = L'_{об} + L''_{об}; E_{об} = E_c + E_p + E_a.$$

Излучение на пути от объекта исследования до приемной оптико-электронной системы ослабевает вследствие его поглощения и рассеяния атмосферой.



Взаимодействие излучения с атмосферой при дистанционном зондировании

Это ослабление описывается законом Бугера, по которому наблюдаемая яркость излучателя, находящегося на расстоянии в ослабляющей излучение среде, определяется как

$$L_{\lambda} = L_{0\lambda} \exp \left[ - \int_l \alpha_{\lambda}(l) dl \right], \quad (1)$$

где  $L_{0\lambda}$  — монохроматическая яркость излучателя;  $\alpha_{\lambda}(l)$  — монохроматический коэффициент ослабления. В общем случае  $\alpha_{\lambda}$  представляет собой сумму показателей истинного поглощения  $\alpha_{\lambdaп}$  и рассеяния  $\alpha_{\lambdaр}$ :

$$\alpha_{\lambda} = \alpha_{\lambdaп} + \alpha_{\lambdaр}.$$

Пропускание среды  $\tau_{\lambda}$  на длине волны  $\lambda$  определяется как

$$\tau_{\lambda} = \frac{L_{\lambda}}{L_{0\lambda}} = \exp \left[ - \int_l \alpha_{\lambda}(l) dl \right].$$

Величину  $\alpha_{\lambda} = \frac{L_{0\lambda} - L_{\lambda}}{L_{0\lambda}} = 1 - \tau_{\lambda}$  называют спектральным поглощением среды.

Измеряемая дистанционно яркость  $L_{\lambdaн}$  объекта исследования определяется как свойствами самого объекта, так и условиями его наблюдения. Эту яркость можно представить как

$$L_{\lambdaн} = L_{\lambdaоб} \tau_{\lambda} + L_{\lambdaф}, \quad (2)$$

где  $L_{\lambdaоб}$  складывается из яркости  $L'_{\lambdaоб}$  собственного излучения и яркости  $L''_{\lambdaоб}$  отраженного излучения;  $L_{\lambdaф}$  — яркость излучения атмосферного фона в сторону приемной ОЭС. Выражение (2) можно записать в виде



$$L_{\lambda н} = (L'_{\lambda об} + L''_{\lambda об})\tau_{\lambda} + L_{\lambda д} + L_{\lambda ф}.$$

Итак, для определения спектральной яркости излучения объекта, являющейся во многих случаях признаком его распознавания, необходимо знать оптические свойства атмосферы [3, 4].

## Литература

- [1] Межерис Р. *Лазерное дистанционное зондирование*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2019.
- [2] Шеннон К.Э. *Математическая теория связи*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2017.
- [3] Мак-Вильямс Д. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2012.
- [4] Гихман И.И., Скороходов А.В. *Введение в теорию случайных процессов*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015.

## General Characteristics of the Influence of the Atmosphere on Signals

©	Kritskaya A.R.	anna_kritskaya@list.ru
	Silaeva N.A.	silaeva1968@list.ru
	Gorbunov A.K.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Loginova A.Yu.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Svatalova V.S.	sv270504@gmail.com
	Ilykhina I.V.	ilykhinaira8@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The general characteristic of the influence of the atmosphere on the signals is considered. The interaction of radiation with the atmosphere during remote sensing is shown. It is concluded that for the qualitative interpretation of the results of remote measurements, it is necessary to take into account the influence of the atmosphere and to determine the spectral brightness of the radiation of an object, it is necessary to know the optical properties of the atmosphere.*

**Keywords:** *radiation interaction, atmosphere, emitter brightness, optical properties*

УДК 004.93

## Методы точечного определения деревьев на аэрофотоснимках

© | **Филянин Никита Сергеевич**  
**Белов Юрий Сергеевич**

nikita@ns-filyanin.ru  
ysbelov@bmstu.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Точечное распознавание деревьев на аэрофотоснимках — перспективное направление, способное значительно облегчить задачи специализированных ведомств, а также помочь в оценке общей экологической ситуации в регионе. Использование для этой цели съемки с небольших коммерческих дронов или же малой беспилотной авиации может значительно снизить стоимость применения данной технологии. В исследовании представлен анализ методов точечного распознавания и способы подготовки данных для работы этих методов. Работа посвящена анализу методов классификации точечных объектов на удаленных снимках.*

**Ключевые слова:** обучение нейросети, точечное распознавание, классификация лесохозяйственных изображений, ортофотоплан

Обнаружение объектов на аэрофотоснимках и спутниковых изображениях — важное направление, которое позволяет упрощать решение различных задач в рамках повседневной деятельности специализированных ведомств и компаний. Хорошим примером может служить лесохозяйственная отрасль. В рамках лесного мониторинга может осуществляться поиск пораженных болезнью деревьев, анализ перспективности участка вырубki или оценка ущерба от стихийных бедствий [1].

В связи с протяженностью лесных массивов метод геодезической съемки, представляющий из себя выезд группы специалистов на место для фиксации пней и стволов деревьев, трудноосуществим и требует больших затрат человеческих ресурсов для решения проблемы мониторинга. В сравнении, использование квадрокоптеров или малой беспилотной авиации для осуществления съемки местности значительно ускоряет работы, а дальнейший их анализ с помощью методов искусственного интеллекта или с помощью статистического анализа позволяет получить данные по большим участкам леса с высокой точностью [2].

Вне зависимости от метода необходимо подготовить материал для дальнейшей работы. Для оптимального анализа алгоритмам, основанным на работе искусственного интеллекта необходимы мультиспектральные (видимый и инфракрасный диапазон) или гиперспектральные снимки, когда статистических методов достаточно использовать снимки только в видимом диапазоне. Однако общая схема проведения работ по съемки местности сильно не меняется.

Таким образом, для подготовки материала необходимо осуществить облет территории с помощью квадрокоптера или малого беспилотного самолета

с установленной на борту камерой, способной осуществлять съемку в необходимом спектре.

После подготовки материала осуществляется его постобработка. Выполняется выравнивание изображений по их ключевым точкам, а также осуществляется общее позиционирование сцены в реальных координатах. Далее методами фотограмметрии осуществляется построение облака точек и построение цифровой модели поверхности (DEM). На их основе формируется ортофотоплан территории в видимом (при необходимости и в других) спектре (рис. 1).

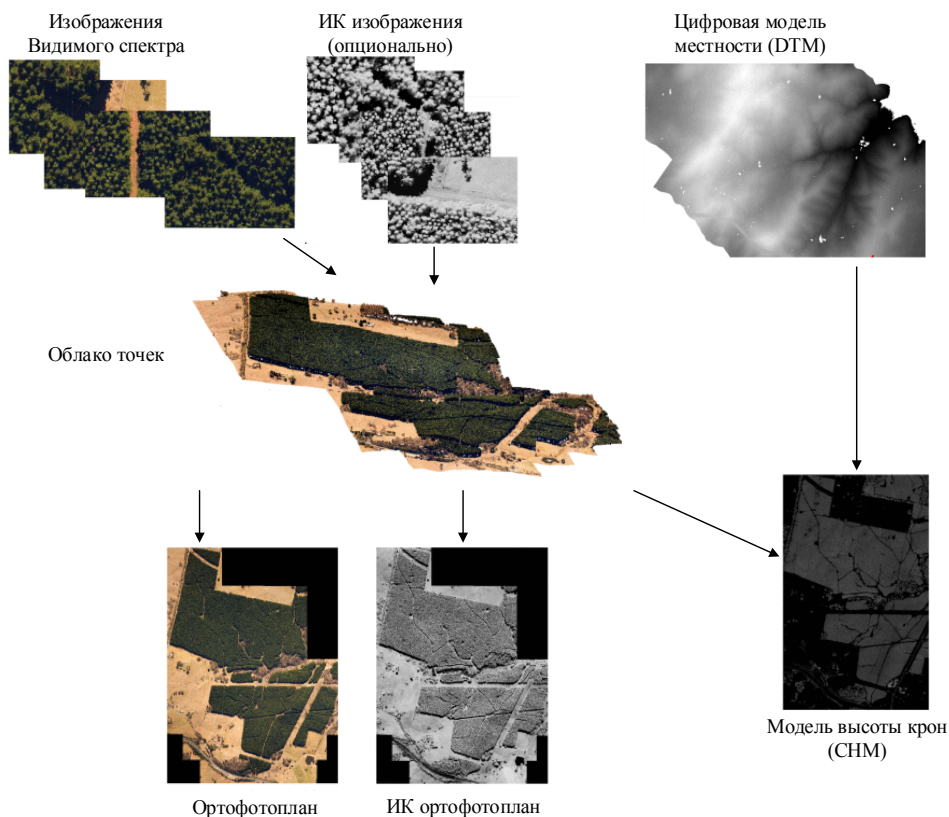


Рис 1. Схема подготовки данных

На этом этапе происходит разделение подходов. При использовании статистических методов, основанных на выделении ключевых признаков, таких как пиковые высоты или текстура кроны проводится анализ модели высоты кроны в совокупности с ортофотопланом посредством среды статистического программирования. В результате работы алгоритма получается набор вершин (рис. 2). Согласно исследованию [1], в зависимости от подобранных ключевых характеристик точность полученных результатов может варьироваться от

80 до 90 %, что хуже, чем у подходов, основанных на искусственном интеллекте. Однако полученная точность, на практике, является достаточной.

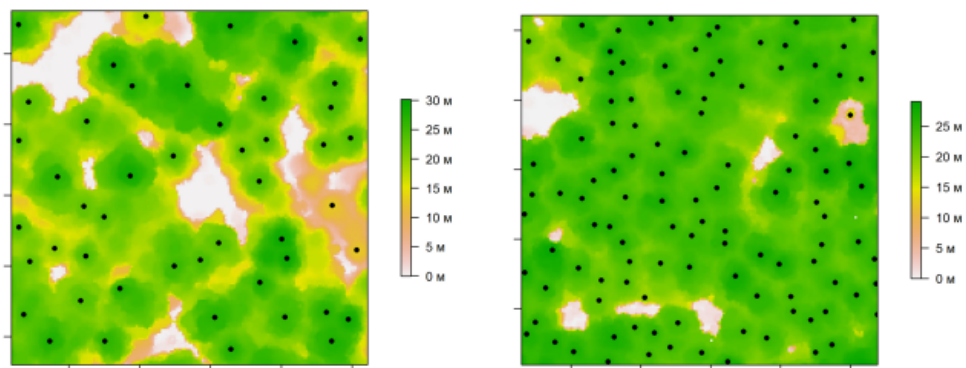


Рис. 2. Результат статистического анализа модели высоты крон

В случае работы методов машинного обучения основная сложность заключается в подготовке достаточной обучающей выборки. Для данной задачи классификации использовалась модель R-CNN, позволяющая достаточно быстро осуществлять классификацию визуальных образов. Данный подход является более гибким и быстрым (если не брать в учет время, необходимое на обучение нейронной сети). В работах [3, 4] проводится анализ точности работы данного подхода. При достаточной обучающей выборке и дополнительных настройках результат (рис. 3) совпадает с реальными данными на 90...92 %.

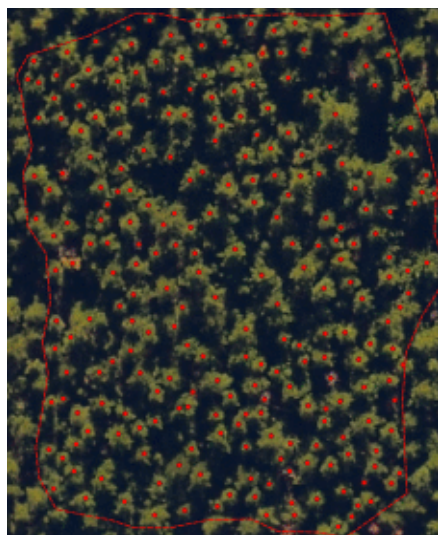


Рис. 3. Результат детекции в области

Технология детекции, основанная на методах искусственного интеллекта является более перспективной так как в дальнейшем способна осуществлять гораздо более сложную идентификацию объектов. Например, в работе [5] осуществляется анализ древесных пород, произрастающих на изучаемой территории, что в значительной мере может упростить планирование вырубок лесных массивов в хозяйственных нуждах, а в работе [1] дополнительно осуществляется поиск пораженных болезнью деревьев. Однако для таких исследований может потребоваться дополнительная информация (снимки в инфракрасном диапазоне, гиперспектральные снимки).

## Литература

- [1] Иванова Н.В., Шашков М.П., Шанин В.Н. Исследование структуры древостоев сосновых лесов Приокско-Тerrasного биосферного заповедника (Россия) по материалам аэрофото-съемки с квадрокоптера. *Nature Conservation Research. Заповедная наука*, 2021, т. 6 (4), с. 1–14. <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2021.042>
- [2] Windrim L., Carnegie A.J., Webster M., Bryson M. Tree Detection and Health Monitoring in Multispectral Aerial Imagery and Photogrammetric Pointclouds Using Machine Learning. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2020, vol. 13, pp. 2554–2572. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.2995391>
- [3] Pulido D., Salas J., Rös M., Puettmann K., Karaman S. Assessment of Tree Detection Methods in Multispectral Aerial Images. *Remote Sens*, 2020, vol. 12, art. 2379. <https://doi.org/10.3390/rs12152379>
- [4] Wu X., Shen X., Cao L., Wang G., Cao F. Assessment of Individual Tree Detection and Canopy Cover Estimation using Unmanned Aerial Vehicle based Light Detection and Ranging (UAV-LiDAR) Data in Planted Forests. *Remote Sens*, 2019, vol. 11, art. 908. <https://doi.org/10.3390/rs11080908>
- [5] Beloiu M., Heinzmann L., Rehus N., Gessler A., Griess V.C. Individual Tree-Crown Detection and Species Identification in Heterogeneous Forests Using Aerial RGB Imagery and Deep Learning. *Remote Sens*, 2023, vol. 15, art. 1463. <https://doi.org/10.3390/rs15051463>

## Methods of Spot Determination of Trees on Aerial Photographs

© | Filyanin N.S.  
Belov Yu.S.

nikita@ns-filyanin.ru  
ysbelov@bmstu.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*Spot recognition of trees on aerial photographs is a promising direction that can greatly facilitate the tasks of specialized agencies, as well as help in assessing the overall environmental situation in the region. The use of shooting from small commercial drones or small unmanned aircraft for this purpose can significantly reduce the cost of using this technology. The study presents an analysis of point recognition methods and methods of data preparation for the operation of these methods. The work is devoted to the analysis of methods for classifying point objects in remote images.*

**Keywords:** *neural network training, point recognition, classification of forestry images, orthophotomap*

УДК 621.391.15

## Пропускная способность канала без памяти

© Крицкая Анна Рудольфовна	anna_kritskaya@list.ru
Силаева Наталья Альбертовна	silaeva1968@list.ru
Горбунов Александр Константинович	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Логонова Алла Юрьевна	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Сваталова Вероника Сергеевна	sv270504@gmail.com
Илюхина Ирина Владиславовна	ilykhinaira8@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассмотрен канал с дискретным временем. Исследована пропускная способность канала в случае малой мощности сигнала и большим аддитивным шумом. Установлено асимптотическое поведение пропускной способности канала в этих условиях. Кроме того, рассмотрена ситуация быстрого убывания на бесконечности плотности распределения шума.*

**Ключевые слова:** однородный канал, пропускная способность, информационная матрица, сигнал

Рассмотрим однородный канал без памяти с дискретным временем, сигналы на входе  $X$  и выходе  $Y$  которого принимают значения в  $N$ -мерном евклидовом пространстве  $R^N$ , задаваемый переходной функцией  $P(x, \circ), x \in R^N$ . Будем предполагать, что  $P(x, \circ)$ , задающая условное распределение сигнала на выходе канала в каждый момент времени  $t$  при условии, что входным сигналом в этот момент времени был  $x$ , обладает плотностью  $f(x, y)$ , так что

$$P(x, \Gamma) = \int_{\Gamma} f(x, y) dy$$

для всякого  $x \in R^N$  и борелевского множества  $\Gamma \in R^N$ .

Обозначим через  $C(d, \gamma)$  пропускную способность рассматриваемого канала при следующих ограничениях на входной сигнал:

$$E\varphi(|x|) \leq a; \quad (1)$$

$$(|x|) \leq \gamma, \quad (2)$$

где  $a$  и  $\gamma$  — данные неотрицательные числа, а  $\varphi(t)$ ,  $t \in [0, \infty]$  — заданная неотрицательная функция такая, что  $\varphi(0) = 0$ ,  $\varphi(t) > 0$  при  $t \neq 0$ ; обозначим также  $C_1(a) = C(a, \infty)$ ,  $C_2(\gamma) = C(\infty, \gamma)$ .

Очевидно, что при любых  $P(x, \circ)$  и  $\varphi(t)$  справедливы равенства  $C(0, \gamma) = C_1(0) = C_2(0) = 0$ . Следующая теорема дает простые и легко проверяемые достаточно условия непрерывности  $C_2(\gamma)$  при  $\gamma = 0$  и  $C(a, \gamma)$  и  $C_1(a)$  при  $a = 0$  [1].

**Теорема 1.** Пусть плотность  $f(x, y)$  переходной функции канала удовлетворяет следующим условиям:

(А)  $\lim_{x \rightarrow 0} f(x, y) = f(0, y)$  для почти всех  $y \in R^N$ ;

(В) Существует неотрицательная функция  $g(t)$ ,  $t \in [0, \infty]$ , монотонно стремящаяся к нулю при  $t \rightarrow \infty$  такая, что

$$f(x, y) \leq g(|x - y|) \text{ и } \left| \int_0^\infty t^{N-1} g(t) \log g(t) dt \right| < \infty.$$

Тогда  $\lim_{r \rightarrow 0} C_2(\gamma) = C_2(0) = 0$ .

Если, кроме того, функция  $\varphi(t)$ ,  $t \in [0, \infty]$ , задающая ограничение (I) такова, что выполнено условие

(С)  $\varphi(0) = 0$ ,  $\varphi(t) \uparrow \infty$  при  $t \rightarrow \infty$ , то  $\lim_{a \rightarrow 0} C(a, \gamma) = C(0, \gamma) = 0$ .

Если же помимо условий (А), (В) и (С) выполнено условие

(Д)  $\lim_{t \rightarrow \infty} \varphi(t) / \log_{1+\varepsilon} t \geq c > 0$  при некотором  $\varepsilon > 0$ , то  $\lim_{a \rightarrow 0} C_1(a) = C_1(0) = 0$ .

Обозначим

$$L_\gamma = \sup_{x: \alpha |x| \leq \gamma} D(p_x \| p_0) / \varphi |x|, \quad D(p_x \| p_0) = \int_R f(x, y) \log \frac{f(x, y)}{f(0, y)} dy,$$

где  $p_x$  — условное распределение на пространстве сигналов на выходе при условии, что передавался сигнал  $x$ . Назовем действующий в канале шум регулярным, если  $D(p_x \| p_0) + D(p_0 \| p_x) < \infty$  для всех допустимых сигналов на входе [2].

**Теорема 2.** Пусть плотность  $f(x, y)$  переходной функции канала такова, что  $L_\gamma < \infty$ . Тогда справедлива следующая оценка сверху

$$C(\alpha, \gamma) \leq L_\gamma \alpha.$$

В частности, если  $L = L_\infty < \infty$ , то

$$C_1(\alpha) \leq L \alpha.$$

Более того, для регулярного шума асимптотика  $C(\alpha, \gamma)$  при  $\alpha \rightarrow 0$  линейна  $\alpha$  тогда и только тогда, когда  $L_\gamma < \infty$  и при этом

$$C(\alpha, \gamma) = L_\gamma \alpha + o(\alpha), \quad \alpha \rightarrow 0.$$

В частности, асимптотика  $C_1(\alpha)$  линейна по  $\alpha$  тогда и только тогда, когда  $L < \infty$  и

$$C_1(\alpha) = L\alpha + o(\alpha), \quad \alpha \rightarrow 0.$$

Естественно ожидать, что при одновременном стремлении к нулю параметров  $\alpha$  и  $\gamma$ , задающих ограничения на входе, асимптотика  $C(\alpha, \gamma)$  в рассматриваемом нами случае регулярного шума должна иметь вид  $\left( \lim_{x \rightarrow 0} \frac{D(p_x \| p_0)}{\varphi(|x|)\alpha} + o(\alpha) \right)$ . Следующая теорема дает достаточное условие справедливости этой асимптотической формулы и указывает явный вид коэффициента при  $\alpha$  в ней.

Предположим, что плотность  $f(x, y)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_N)$ , имеет частные производные  $f'_{x_i}(x, y)$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Матрицу

$$J(x) = \int_{R^N} \frac{f'_{x_i}(x, y)f'_{x_j}(x, y)}{f(x, y)} dy_{i,j=1}^N$$

называют информационной [3].

**Теорема 3.** Пусть

$$L_0 = \lim_{x \rightarrow 0} (D(p_x \| p_0) / \varphi(|x|)) < \infty$$

и  $\gamma = \gamma(\alpha) \rightarrow 0$  при  $\alpha \rightarrow 0$  так, что

$$\frac{\varphi(\gamma(\alpha))}{\alpha} \geq K > 1; \quad \frac{\alpha\gamma^2(\alpha)}{\varphi^2(\gamma(\alpha))} \text{ при } \alpha \rightarrow 0.$$

Тогда

$$C(\alpha, \gamma(\alpha)) = L_0\alpha + o(\alpha), \quad \alpha \rightarrow 0.$$

Если при всех  $i = 1, \dots, N$  интегралы

$$\int_{R^N} \frac{f'_{x_i}(\Theta(y), y)^2}{f(0, y)} dy$$

равномерно ограничены относительно всевозможных измеримых функций  $\Theta(y) = (\Theta_1(y), \dots, \Theta_N(y))$ ,  $y \in R^N$ , таких что  $|\Theta(y)| < r$ , где  $r$  — сколь угодно малое положительное число.

В частности, пусть плотность  $f(x, y)$  имеет всевозможные частные производные второго порядка по параметрам  $x_1, \dots, x_N$ , причем при всех  $i, j = 1, \dots, N$



$$\frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} (D(p_x \| p_0)) = \int_{R^N} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \left( f(x, y) \log \frac{f(x, y)}{f(0, y)} \right) dy$$

и интегралы, стоящие в правой части этого равенства, непрерывны в точке  $x = (0, \dots, 0)$ , а функция  $\varphi(t)$  такова, что

$$\lim_{x \rightarrow 0} \left( \frac{\varphi(t)}{t^2} \right) = m, \quad 0 < m < \infty.$$

Тогда

$$L_0 = \frac{\log e}{2m} \Omega_0,$$

так что

$$C(\alpha, \gamma(\alpha)) = \frac{\log e}{2m} \Omega_0 \alpha + o(\alpha); \quad \alpha \rightarrow 0,$$

если

$$\gamma(\alpha) \rightarrow 0; \quad \frac{\gamma^2(\alpha)}{\alpha} \rightarrow \infty; \quad \alpha \rightarrow 0,$$

где  $\Omega_0$  — максимальное собственное значение информационной матрицы Фишера  $J(0)$  [4].

Приведем в заключение некоторые достаточные условия, при выполнении которых  $C(\alpha, \gamma) = +\infty$  при любых  $\gamma \neq 0$  и  $\alpha \neq 0$ . При этом ограничимся для простоты рассмотрением канала с аддитивным шумом.

**Предложение.** Пусть для канала с независимым аддитивным шумом  $Y = X + Z$ ,  $X, Z, Y \in R^N$ , сигнал, на выходе которого  $Y$  есть сумма входного сигнала  $X$  и независящего от него шума  $Z$ , выполняется хотя бы одно из следующих условий:

- а)  $Z$  — дискретный случайный вектор;
- б)  $Z$  — дискретный вектор, такой, что  $h'(Z) = -\infty$ ;
- в)  $h^+(Z) = -\infty$

г)  $\sup_x h^+(X) = +\infty$ , где верхняя грань берется по всем допустимым сигналам на входе канала.

Тогда

$$C(\alpha, \gamma) = +\infty, \quad \alpha \neq 0, \quad \gamma \neq 0.$$

Здесь  $h(Z)$  — дифференциальная энтропия  $Z$ , а  $h^+(U) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} h(U + W_\varepsilon)$ , где  $W_\varepsilon$  — гауссовский  $N$ -мерный вектор с независимыми  $(0, \varepsilon^2)$  компонентами и не зависящий от  $U$ .

## Литература

- [1] Форни Д. *Каскадные коды*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015.
- [2] Мак-Вильямс Д. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2012.
- [3] Гихман И.И., Скороходов А.В. *Введение в теорию случайных процессов*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015.
- [4] Шеннон К.Э. *Математическая теория связи*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2017.

## Channel Bandwidth without Memory

©	Kritskaya A.R.	anna_kritskaya@list.ru
	Silaeva N.A.	silaeva1968@list.ru
	Gorbunov A.K.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Loginova A.Yu.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Svatalova V.S.	sv270504@gmail.com
	Ilykhina I.V.	ilykhinaira8@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*A channel with discrete time is considered. The bandwidth of the channel is studied in the case of low signal power and large additive noise. The asymptotic behavior of the channel bandwidth under these conditions is found. In addition, the situation of rapid decrease at infinity of the noise distribution density is considered.*

**Keywords:** *homogeneous channel, bandwidth, information matrix, signal*

УДК 621.391.15

## Количество информации и энтропия

© Крицкая Анна Рудольфовна	anna_kritskaya@list.ru
Силаева Наталья Альбертовна	silaeva1968@list.ru
Горбунов Александр Константинович	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Логонова Алла Юрьевна	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Сваталова Вероника Сергеевна	sv270504@gmail.com
Илюхина Ирина Владиславовна	ilykhinaira8@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*При прохождении сигнала через оптическую электронную систему происходит его обработка с целью извлечения необходимой информации. Предлагается для точной оценки собранной информации использовать аппарат шенноновской теории передачи и приема информации. Отдельно рассматриваются каналы дискретного времени и непрерывного времени. Применительно к задачам функционирования оптических электронных систем определяются понятия количества информации, энтропии.*

**Ключевые слова:** энтропия, атмосфера, яркость излучателя, дискретный характер

В процессе прохождения через звенья ОЭС сигнал претерпевает ряд преобразований, направленных на получение нужных нам сведений — полезной информации. С практической точки зрения целесообразно оценить информацию в количественной мере с тем, чтобы определить возможность ОЭС или отдельных ее звеньев передавать информацию без потерь.

Очевидно, что получение информации в общем случае возможно, если имеется какая-либо неопределенность в состоянии того объекта, от которого эта информация исходит. Мы уже отмечали, что, если сигнал детерминирован, т. е. все его параметры заранее известны, то никакой информации такой сигнал не несет. Только случайные сигналы могут содержать информацию, и поэтому понятия количества информации связано с вероятностными характеристиками сигналов [1]. Допустим, что сигнал может принимать два значения 1 или 0. В результате принятия реализации такого сигнала мы получим какую-то информацию, например, есть источник излучения в угловом поле ОЭС или его нет. Очевидно, что чем больше значений может принимать сигнал, например десять, тем большая информация может быть получена в результате принятия реализации такого сигнала.

В общем случае вероятность каждого из возможных значений сигналов могут быть различными. Допустим, что сигнал может принимать значения  $n_1, n_2, \dots, n_n$  с вероятностями  $p(n_1), p(n_2), \dots, p(n_n)$  соответственно. Естественно, что чем априорно (до принятия реализации) вероятность какого-либо значения  $p_i(n_i)$  меньше, чем большое количество информации сигнал  $n_i$  несет. Например, в сообщении «на соседней такая же ясная погода, как и на нашей» содержится

мало информации, поскольку вероятность того, что на расстоянии в сотни метров какая-то другая погода, мала. Если же сообщено «на соседней улице ливень», хотя в окно светит солнце и нет намека на дождь, несет значительно больше информации. Хотя такое событие маловероятно, но оно все-таки возможно, т. е. имеется конечная вероятность его появления. Оценить количественно априорную неопределенность (т. е. наше «незнание») в состоянии какого-либо объекта можно величиной, обратно пропорциональной вероятности появления значения события, т. е. как  $1/p(n_i)$ . Но такая мера неудобна, поскольку при  $p(n_i) = 1$  неопределенность оценивается конечной величиной, равной единице, хотя никакой неопределенности нет. Для количественной оценки неопределенности в состоянии объекта принято использовать логарифмическую меру, называемую частной энтропией  $H(n_i) = \log_a(1/p(n_i))$  [2].

Полную энтропию можно получить усреднением частных энтропий, т. е. как

$$H_{apr} = - \sum_{i=1}^N p(n_i) \log_a p(n_i). \quad (1)$$

Если после принятия реализации сигнала осталось какая-либо неопределенность в состоянии объекта, характеризующая апостериорной (после опыта) энтропией, то количество полученной информации  $I(n)$  определяется как  $I(n) = H_{apr} - H_{aps}$ .

Если неопределенность полностью снята, то априорная энтропия и количество полученной информации численно совпадает. Единицы измерения энтропии и количества информации зависят от выбора основания логарифма. При использовании десятичных логарифмов единица измерения называется *дит*, натуральных — *нит*, двоичных — *бит*.

Остановимся на свойствах энтропии.

Энтропия есть величина вещественная, ограниченная и неотрицательная. Это следует непосредственно из определения (1), поскольку  $0 \leq p(n_i) \leq 1$ .

Энтропия максимальна, если все события равновероятны. Максимальное значение энтропии

$$H_{max} = - \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} \log_2 \frac{1}{N} = \log_2 N.$$

Энтропия системы двух альтернативных событий может изменяться в пределах от нуля до единицы [3].

До сих пор мы предполагали, что сообщение имеет дискретный характер, т. е. сигнал может принимать определенное число конечных значений с различной вероятностью. Непрерывные сигналы характеризуются плотностью распределения вероятности  $w(n)$ , при этом вероятность нахождения значения случайной величины в интервале  $n + \Delta n$  равна

$$p[n \leq n(x) \leq n + \Delta n] = \int_{\Delta n} w(n) dn \approx w(n_i) \Delta n.$$

Если разбить функцию  $\Delta(n)$  на участке  $\Delta n$ , то величина  $p[n \leq n(x) \leq n + \Delta n]$  численно равна площади заштрихованного прямоугольника [4].

Заменим энтропию непрерывного сообщения энтропией дискретного, взяв значения  $n_i$  и соответствующие им вероятности:

$$\begin{aligned} H_{appr} &= -\sum_{i=1}^N p(n_i) \log_a p(n_i) = -\sum_{i=1}^N \omega(n_i) \Delta n \log_2 [\omega(n_i) \Delta n] = \\ &= \sum_{i=1}^N \omega(n_i) \Delta n \log_2 \omega(n_i) - \sum_{i=1}^N \omega(n_i) \Delta n \log_2 \Delta n. \end{aligned}$$

Переход к энтропии непрерывного сообщения возможен при  $\Delta n \rightarrow 0$ , т. е.

$$\begin{aligned} \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left\{ -\sum_{i=1}^N \omega(n_i) \Delta n \log_2 \omega(n_i) - \sum_{i=1}^N \omega(n_i) \Delta n \log_2 \Delta n \right\} = \\ = -\int_{-\infty}^{\infty} \omega(n) \log_2 \omega(n) dn - \lim_{\Delta n \rightarrow 0} \log_2 \Delta n. \end{aligned}$$

Здесь учтено, что

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \sum_{i=1}^N \omega(n) \Delta n = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(n) dn = 1.$$

Второй член в формуле (2) является константой, поскольку несет конечную величину, определяемую разрешением системы, например по уровню яркости или в пространстве. В связи с этим этот член исключается из рассмотрения, а мерой энтропии непрерывного сигнала принимается величина

$$h(n) = -\int_{-\infty}^{\infty} \omega(n) \log_2 \omega(n) dn,$$

называемая дифференциальной энтропией. В отличие от энтропии дискретных сообщений величина  $h(n)$  зависит от выбора единиц измерения  $n$ , поэтому как абсолютная мера неопределенности использована быть не может.

## Литература

- [1] Шеннон К. *Работы по теории информации и кибернетике*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2018.
- [2] Мак-Вильямс Д. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2012.
- [3] Гихман И.И., Скороходов А.В. *Введение в теорию случайных процессов*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015.
- [4] Шеннон К.Э. *Математическая теория связи*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2017.

## Amount of Information and Entropy

©	Kritskaya A.R.	anna_kritskaya@list.ru
	Silaeva N.A.	silaeva1968@list.ru
	Gorbunov A.K.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Loginova A.Yu.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Svatalova V.S.	sv270504@gmail.com
	Ilykhina I.V.	ilykhinaira8@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*When a signal passes through an optical electronic system, it is processed in order to extract the necessary information. It is proposed to use the apparatus of the Shannon theory of transmission and reception of information for an accurate assessment of the collected information. Discrete-time and continuous-time channels are considered separately. In relation to the problems of the functioning of optical electronic systems, the concepts of the amount of information and entropy are defined.*

**Keywords:** *entropy, atmosphere, emitter brightness, discrete character*

УДК 621.391.15

## Оптимальная линейная фильтрация

© Крицкая Анна Рудольфовна	anna_kritskaya@list.ru
Силаева Наталья Альбертовна	silaeva1968@list.ru
Горбунов Александр Константинович	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Логонова Алла Юрьевна	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Сваталова Вероника Сергеевна	sv270504@gmail.com
Илюхина Ирина Владиславовна	ilykhinaira8@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*При прохождении сигналов через оптическую электронную систему они изменяются. Эти изменения обусловлены свойствами сигнала и звена. Возникают основные задачи: прямая-нахождение выходного сигнала по заданным свойствам звена и характеристикам сигнала, и обратная-восстановление входного сигнала по параметрам выходного сигнала и заданным свойствам звена, через который прошел сигнал. Решению этих задач посвящена работа.*

**Ключевые слова:** оптимальность зерна, дисперсия, сигнал и шум, согласованный фильтр

Сигналы на входе линейных звеньев, как правило, действуют в смеси с помехой (шумом). Поскольку выходной сигнал определяется свойствами линейного звена, через которое сигнал проходит, то естественной является постановка вопроса: а нельзя ли определить такие свойства звена, которые бы обеспечивали наилучшие (оптимальные) условия для прохождения полезного сигнала и подавление шума. Непосредственно структуру звена при этом можно не рассматривать, а считать его «черным ящиком» со свойствами, заданными частотой или импульсной характеристиками. При нахождении оптимальной импульсной или частотной характеристики важно определить критерий оптимальности зерна. В рамках теории оптимальной линейной фильтрации наибольшее распространение получили два критерия оптимальности: минимум дисперсии помехи на выходе звена и максимум отношения сигнал/шум на выходе звена [1].

Для систем, служащих для измерения параметров сигнала, критерием оптимальности является минимум дисперсии помехи. Собственно помехой на выходе линейного фильтра будет отклонение истинного значения сигнала  $s_0(x)$  от принятой реализации  $s(x)$ , т. е.

$$\varepsilon(x) = s_0(x) - s(x).$$

Дисперсией помехи будет величина

$$D[\varepsilon(x)] = [s_0(x) - s(x)]^2.$$

Частотная характеристика оптимального по этому критерию фильтра описывается функцией

$$H(j\omega) = \frac{W_{\text{вх}}(\omega)}{W_{\text{вх}}(\omega) + W_{\text{п}}(\omega)} \exp(-j\omega x_0), \quad (1)$$

где  $W_{\text{вх}}(\omega)$  и  $W_{\text{п}}(\omega)$  — энергетические спектры полезного сигнала и помехи соответственно;  $x_0$  — начальная координата (запаздывание) сигнала относительно выбранной системы отсчета. Здесь предполагается, что сигнал и помеха являются стационарными случайными процессами. Таким образом, частотная характеристика оптимального фильтра определяется только параметрами сигнала и помехи. Можно показать, что дисперсия помехи на выходе такого оптимального фильтра, имеющего частотную характеристику минимальна и равна

$$D[n(\varepsilon)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W_{\text{п}}(\omega) |H(j\omega)|^2 d\omega. \quad (2)$$

Остановимся на физическом толковании частотной характеристики. Пусть заданы  $W_{\text{вх}}(\omega)$  и  $W_{\text{п}}(\omega)$  в нормированном виде. Построим график модуля  $H(j\omega)$ , т. е. функцию

$$H(\omega) = \frac{W_{\text{вх}}(\omega)}{W_{\text{п}}(\omega) + W_{\text{вх}}(\omega)}.$$

Отметим, что при  $W_{\text{вх}}(\omega) \gg W_{\text{п}}(\omega)$   $H(\omega) = 1$ , т. е. на частотах, где сигнал значительно превышает помеху, пропускание оптимального фильтра максимально. Напротив, на частотах, при которых  $W_{\text{п}}(\omega) \gg W_{\text{вх}}(\omega)$ ,  $H(\omega) = 0$ , т. е. фильтр не пропускает сигнал на этих частотах. Характерной точкой является значение частоты, при которой  $W_{\text{вх}}(\omega) \gg W_{\text{п}}(\omega)$ . На этой частоте пропускание оптимального фильтра  $H(\omega) = 1/2$  [2, 3]. Таким образом, оптимальный фильтр обеспечивает подавление спектральных составляющих, на которых отношение сигнала к помехе мало, и пропускает составляющие с высоким отношением мощности сигнала к мощности помехи. Из формулы (2) следует, что мощность выходной помехи при  $W_{\text{вх}}(\omega) \gg W_{\text{п}}(\omega)$

$$D[\varepsilon(x)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W_{\text{п}}(\omega) d\omega,$$

т. е. равна мощности входной помехи.

При  $W_{\text{п}}(\omega) \gg W_{\text{вх}}(\omega)$  мощность помехи на выходе оптимального фильтра равна



$$D[\varepsilon(x)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} W_{\text{вх}}(\omega) d\omega = P_c,$$

т. е. равна средней мощности сигнала (сигнал будет замаскирован помехой).

Перейдем к критерию оптимальности в виде максимального отношения сигнал/шум на выходе фильтра. Этот критерий используют для систем, решающих задачу обнаружения сигнала, например для определения, есть излучатель в угловом поле оптической системы или его нет. В этом случае считается, что сигнал является детерминированным и задается функцией  $s_{\text{вх}}(x)$  или спектральной плотностью амплитуд  $s_{\text{вх}}(j\omega)$ . Помеха же случайна и задается энергетическим спектром  $W_{\text{п}}(\omega)$ . Частотная характеристика оптимального фильтра, на выходе которого отношение амплитудного значения сигнала к среднеквадратическому значению шума максимально, описывается функцией

$$H(j\omega) = C \frac{S^*(j\omega)}{W_{\text{п}}(\omega)} \exp(-j\omega x_0), \quad (3)$$

где  $S^*(j\omega)$  — комплексно-сопряженная функция к спектру  $S(j\omega)$ ;  $x_0$  — запаздывание сигнала;  $C$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от нормировки, увеличения и т. д. При  $W_{\text{п}}(\omega) = \text{const}$  (белый шум)

$$H(j\omega) = C'S^*(j\omega) \exp(-j\omega x_0),$$

где  $C' = C/W_{\text{п}}(\omega)$ .

Таким образом, частотная характеристика такого фильтра как бы повторяет частотную характеристику сигнала, поскольку  $H(\omega) = |S(j\omega)|C'$ .

Говорят, что функции  $H(\omega)$  и  $|S(j\omega)|$  согласованы. Поэтому фильтр с частотной характеристикой (4) называют согласованным. Физический смысл согласованного фильтра очевиден — увеличение коэффициента передачи на тех частотах, на которых спектральная плотность сигнала увеличивается [4].

Можно показать, что импульсная характеристика согласованного фильтра  $g(x)$  определяется как  $g(x) = C'S_{\text{вх}}(-x)$ , т. е. с точностью до множителя является зеркальной копией входного сигнала.

Отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра максимально и равно

$$\mu = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|S(j\omega)|^2}{W_{\text{п}}(\omega)} d\omega.$$

## Литература

- [1] Мак-Картни Э. *Оптика атмосферы*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015.
- [2] Мак-Вильямс Д. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2012.
- [3] Гихман И.И., Скороходов А.В. *Введение в теорию случайных процессов*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015.
- [4] Шеннон К.Э. *Математическая теория связи*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2017.

## Optimal Linear Filtering

© Kritskaya A.R.	anna_kritskaya@list.ru
Silaeva N.A.	silaeva1968@list.ru
Gorbunov A.K.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Loginova A.Yu.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Svatalova V.S.	sv270504@gmail.com
Ilykhina I.V.	ilykhinaira8@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*When signals pass through an optical electronic system, they change. These changes are caused by the properties of the signal and the link. The main tasks arise: the direct one is to find the output signal according to the specified properties of the link and the characteristics of the signal, and the reverse one is to restore the input signal according to the parameters of the output signal and the specified properties of the link through which the signal passed. The work is devoted to solving these problems.*

**Keywords:** *grain optimality, dispersion, signal and noise, matched filter*

УДК 621.391.15

## Случайный оператор Шредингера

© Крицкая Анна Рудольфовна	anna_kritskaya@list.ru
Силаева Наталья Альбертовна	silaeva1968@list.ru
Горбунов Александр Константинович	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Логонова Алла Юрьевна	kf_mgtu_fiz@mail.ru
Сваталова Вероника Сергеевна	sv270504@gmail.com
Илюхина Ирина Владиславовна	ilykhinaira8@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Рассматривается возможность использования аналитических методов при решении задачи совместной оптимизации параметров кодера и декодера. Показано, что для каналов со сложной композиционной картиной помех для поиска оптимальных параметров сигнала, методов приема и помех для защиты может успешно использоваться статистическое моделирование.*

**Ключевые слова:** потенциал, размерность пространства, информационная матрица

Рассмотрим разностный оператор Шредингера в  $L_2(Z^n)$ , где  $Z^n$  —  $n$ -мерная целочисленная решетка:

$$H = -\Delta + \delta q.$$

Здесь  $\Delta$  — разностный аналог лапласиана;  $q$  — потенциал;  $\delta$  — числовой параметр. Таким образом, если  $y = \{y(x)\} \in L_2(Z^n)$  (и  $x$  —  $n$ -мерный целочисленный вектор), то

$$(Hy)(x) = - \sum_{V:|V-x|=1} y(v) + \delta q(x)y(x). \quad (1)$$

Основное предположение о потенциале, которое мы всюду ниже будем считать выполненным, состоит в следующем:  $q(x)$  — система независимых случайных величин, имеющих непрерывную плотность распределения с компактным носителем.

**Теорема I.** При достаточно больших значениях параметра  $\delta$  вектор оператора с вероятностью 1 чисто точечный, т. е. в  $L_2(Z^n)$  существует полная ортонормированная система собственных функций оператора  $H$ , а соответствующие собственные значения расположены всюду плотно в (неслучайном) спектре оператора [1].

*Замечание.* Независимость (с вероятностью 1) спектра как множества от реализации потенциала хорошо известна и структура этого множества очень просто описывается.

Вывод теоремы I основан на результате, касающемся поведения показателя Ляпунова для уравнения

$$Hy = \lambda y. \quad (2)$$

В цилиндрической подобласти  $D$  (с нулевыми граничными условиями) [2]. Опишем его более подробно.

Пусть  $D = \Pi \cdot Z^1$ , т. е.  $D$  состоит из точек вида  $x = (\bar{x}, n)$ , где  $\bar{x}$  —  $(x-1)$ -мерный вектор с  $|\bar{x}| \leq m$  ( $m \geq 1$ ),  $n$  — целое,  $n \in Z^1$ ,  $\Pi = \left\{ \bar{x} : |\bar{x}| \leq m \right\} \left( |\bar{x}| = \sum_{i=1}^{m-1} |x_i| \right)$ . Через  $H_n$  обозначим оператор  $L_2(\Pi)$ , действующий по правилу:

$$(H_n y)(\bar{x}) = - \sum_{V: |V-x|=1} y(v) + \delta q(\bar{x}, n) y(\bar{x}), \text{ если } |\bar{x}| \leq m-1; \quad (3)$$

$$(H_n y)(\bar{x}) = 0, \text{ если } |\bar{x}| = m. \quad (4)$$

Очевидно, что уравнение (2) эквивалентно следующей бесконечной системе:

$$-y_{n+1} + H_n + y_n - y_{n-1} = \lambda y_n, \quad -\infty < n < \infty, \quad (5)$$

где  $y_n$  — вектор,  $y_n = \{y(\bar{x}, n) : \bar{x} \in \Pi\} \in L_2(\Pi)$ , причем  $y(\bar{x}, n) = 0$ , если  $|\bar{x}| = m$ .

Если  $y = \{y_n\}$  — решение уравнений (5), то положим

$$\alpha(y) = \lim_{n \rightarrow +\infty} \frac{1}{n} \ln(y_n + y_{n+1}).$$

Число  $\alpha(y)$  называется показателем Ляпунова решения  $y$  (при  $n \rightarrow +\infty$ ). Как следует  $\alpha(y)$  существует с вероятностью  $I$  для всех  $y$  [3].

Положим

$$\alpha = \min \alpha(y),$$

где  $\min$  берется по тем  $y$ , для которых  $\alpha(y) \geq 0$ . Оказывается (та же теорема В. Оселедца), что определенное таким образом число  $\alpha$  с вероятностью  $I$  не зависит от реализации  $q$ , но, разумеется, зависит от размерности пространства  $L_2(\Pi)$ , т. е. от  $m$ :

$$\alpha = \alpha(m).$$

**Теорема II.** При достаточно больших значениях  $\delta$  существует такое строго положительное число  $\alpha_0(\delta)$ , что

$$\alpha = \alpha(m) \geq \alpha_0(\delta) \quad (6)$$

(причем неравенство (6) выполняется равномерно относительно значений спектрального параметра  $\lambda$  и размерности  $m$ ) [4].

Результаты теорем 1 и 2 обобщаются и на тот случай, когда  $\delta = 1$ , а потенциал  $q$  не ограничен (при определенных требованиях на моменты). В этой ситуации дискретность спектра удается доказать вообще говоря, при достаточно больших значениях параметра  $|\lambda|$ .

Доказательство теоремы 1 следует схема с учетом некоторых упрощений, предположенных для одномерного случая. Результаты типа теоремы 2 могут быть получены только с учетом специфики матриц  $H_n$  и являются следствием своеобразной теории возмущений показателей Ляпунова для случайных матриц.

## Литература

- [1] Кларк Дж. *Кодирование с исправлением ошибок*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2011.
- [2] Мак-Вильямс Д. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2012.
- [3] Гихман И.И., Скороходов А.В. *Введение в теорию случайных процессов*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015.
- [4] Шеннон К.Э. *Математическая теория связи*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2017.

## Random Schrodinger operator

©	Kritskaya A.R.	anna_kritskaya@list.ru
	Silaeva N.A.	silaeva1968@list.ru
	Gorbunov A.K.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Loginova A.Yu.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Svatalova V.S.	sv270504@gmail.com
	Ilykhina I.V.	ilykhinaira8@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The possibility of using analytical methods in solving the problem of joint optimization of encoder and decoder parameters is considered. It is shown that for channels with a complex composite interference pattern, statistical modeling can be successfully used to find optimal signal parameters, reception methods and interference for protection.*

**Keywords:** *potential, dimension of space, information matrix*

УДК 621.391.15

## Линейное преобразование случайных величин

©	Крицкая Анна Рудольфовна	anna_kritskaya@list.ru
	Силаева Наталья Альбертовна	silaeva1968@list.ru
	Горбунов Александр Константинович	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Логонова Алла Юрьевна	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Сваталова Вероника Сергеевна	sv270504@gmail.com
	Илюхина Ирина Владиславовна	ilykhinaira8@mail.ru

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

*Даны определения гауссовского сообщения и источника. Изложены свойства линейных операторов, определяемых корреляционными функциями случайных величин и процессов. Асимптотика собственных значений некоторых линейных операторов позволяет находить асимптотику распределений квадратичных функционалов многомерных гауссовских случайных процессов.*

**Ключевые слова:** гауссовская случайная величина, дисперсии, линейное многообразие

Основными элементами определений гауссовского сообщения и гауссовского источника являются понятия гауссовской случайной величины и корреляционной функции. Напомним определения этих понятий.

Пусть  $\xi$  — случайная величина, принимающая значения в измеримом пространстве  $(X, S_X) = (\times_{t \in N} X(t), \times_{t \in N} S_{X(t)})$ ,  $(X(t), S_{X(t)})$  — вещественные прямые, а  $N$  — некоторое множество. При естественном отображении пространства  $X$  на пространство  $X(t)$  случайная величина  $\xi$  порождает одномерные вещественные случайные величины  $\xi(t)$  со значениями в пространствах  $(X(t), S_{X(t)})$ .

Случайная величина  $\xi$  называется гауссовской, если при любом конечном наборе  $t_1, \dots, t_m$  значений параметра  $t$  случайная величина  $(\xi(t_1), \dots, \xi(t_m))$  имеет конечно-мерное нормальное распределение. Если при любых  $t \in N$  одномерные случайные величины  $\xi(t)$  имеют дисперсии, то говорят, что  $\xi$  случайная величина с конечными дисперсиями. В этом случае определена функция  $\rho_\xi = \{\rho_{\xi(t_1)\xi(t_2)}; t_1, t_2 \in N\}$  [где  $\rho_{\xi(t_1)\xi(t_2)} = M(\xi(t_1) - M\xi(t_1))(\xi(t_2) - M\xi(t_2))$ ] пары аргументов  $(t_1, t_2)$ , называемая корреляционной функцией случайной величины  $\xi$ .

Сообщение  $(W)$  с пространствами  $(X, S_X) = (\times_{t \in N} X(t), \times_{t \in N} S_{X(t)})$  и  $(\dot{X}, S_{\dot{X}}) = (\times_{t \in N} \dot{X}(t), \times_{t \in N} S_{\dot{X}(t)})$  [где  $(X(t), S_{X(t)})$  и  $(\dot{X}(t), S_{\dot{X}(t)})$  — вещественные прямые, а  $N$  и  $\dot{N}$  — некоторые множества] значений на входе и выходе

$\xi$  — гауссовская случайная величина, а  $W$  состоит из всевозможных распределений случайных величин  $(\xi, \bar{\xi})$ , корреляционные функции которых принадлежат заданному множеству  $\cup [1]$ .

Таким образом, гауссовость ( $W$ ) предполагает гауссовость  $\xi$ , а ограничения на точность воспроизведения сводятся к ограничениям на центральные вторые моменты распределения пары  $(\xi, \bar{\xi})$ .

Заметим, что данное определение предполагает, что сообщение на входе может быть любой вещественной функцией аргумента  $t$ . Однако возможны ситуации, когда функции, представляющие собой сообщения на входе, необходимо должны обладать определенными свойствами, например:

1) если  $N$  — множество всех целых чисел, то ряд  $\sum_{t=-\infty}^{\infty} x^2(t)$  сходится; 2)

если  $N$  — отрезок  $[S, T]$  вещественной прямой, то  $x = \{x(t)\}$  — непрерывная функция. В этих случаях: а) множество  $X$  является линейным многообразием, т. е. если  $x_1 = \{x_1(t)\}$ ,  $x_2 = \{x_2(t)\} \in X$ , то при любых вещественных  $c_1$  и  $c_2$   $x = \{x(t)\} = \{c_1 x_1(t) + c_2 x_2(t)\} \in X$ ; б)  $\sigma$ -алгебра  $S_x$  образована из множеств вида  $E = XE'$ , где  $E' \in \times_{t \in N} S_{x(t)}$ , а  $S_{x(t)}$  —  $\sigma$ -алгебра борелевских множеств вещественной прямой.

Линейный функционал  $x(t) = \varphi_t(x)$ ,  $x = \{x(t)\} \in X$ , определенный на  $X$ , представляет собой функцию, измеримую относительно  $S_x$ , при этом любая случайная величина  $\xi$  со значениями в  $(X, S_x)$  переходит в одномерную вещественную случайную величину  $\xi(t)$ . Очевидно, что вещественные случайные величины  $\xi$  и  $\bar{\xi} = \{\xi(t); t \in N\}$  подчинены друг другу. Таким образом, заменяя в случае необходимости случайную величину  $\xi$  на случайную величину  $\bar{\xi}$ , мы всегда можем считать, что случайную величину  $\xi$  также принято называть гауссовской, если гауссовской является случайная величина  $\bar{\xi} = \{\bar{\xi}(t); t \in N\}$ .

Источник сообщений  $\mathfrak{M}$  называется гауссовским, если при любых  $s < t$  сообщение  $(W_s^t)$  — гауссовское [2].

В дальнейшем всюду на протяжении настоящей статьи, не оговаривая этого особо, мы будем считать, что среднее значение одномерных распределений и одномерных случайных величин равно нулю. Для гауссовских сообщений и источников это ограничение совершенно несущественно, ибо замена случайной величины  $\xi - M\xi$  не меняет ни информационных, ни корреляционных соотношений.

Пусть  $\xi = (\xi(1), \dots, \xi(l))$  —  $l$ -мерная вещественная величина, со значениями в  $l$ -мерном евклидовом пространстве  $X = X(1) \times \dots \times X(l)$ , составленная из

одномерных вещественных случайных величин  $\xi(1), \dots, \xi(l)$  с конечными дисперсиями, и пусть  $\rho_\xi = \{\rho_{\xi(i)\xi(j)}; i, j = 1, \dots, l\}$  — корреляционная функция  $\xi$ .

Рассмотрим ортогональное преобразование координат в  $X$ , определяемое ортогональной матрицей  $\|\alpha_{ij}\|$ :

$$x^*(i) = \sum_{j=1}^l \alpha_{ij} x(j), \quad (1)$$

где

$$\sum_{k=1}^l \alpha_{ik} \alpha_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{при } i = j, \\ 0 & \text{при } i \neq j. \end{cases}$$

В новой системе координат случайная величина  $\xi$  запишется в виде  $\xi = \xi^* = (\xi^*(1), \dots, \xi^*(l))$ , где

$$\sum_{i=1}^l \alpha_{ij} \xi(j), \quad i = 1, \dots, l, \quad (2)$$

причем

$$\xi(j) = \sum_{i=1}^l \alpha_{ij} \xi^*(i) \quad (3)$$

и

$$\sum_{i=1}^l \xi^{*2}(i) = \sum_{i=1}^l \xi^2(i). \quad (4)$$

Как известно, самосопряженный оператор

$$\alpha_j^* = \sum_{k=1}^l \alpha_{ik} \rho_{\xi(j)\xi(k)}, \quad (5)$$

отображающий вещественный вектор  $(\alpha_1, \dots, \alpha_i)$  в вектор  $(\alpha_1^*, \dots, \alpha_i^*)$ , имеет ортонормированных собственных векторов  $(\alpha_{11}, \dots, \alpha_{1j}), \dots, (\alpha_{l1}, \dots, \alpha_{ll})$  с неотрицательными собственными числами  $\lambda^{\circ} \geq \dots \geq \lambda^{\circ} \geq 0$ , соответственно, т. е.

$$\lambda_i^{\circ} \alpha_{ij} = \sum_{k=1}^l \alpha_{ik} \rho_{\xi(i)\xi(k)}. \quad (6)$$

Для случайных величин  $\xi^*(i)$ , определяемых формулой (2) с ортогональной матрицей  $\|\alpha_{ij}\|$ , строками которой служат собственные вектора оператора (5), имеем



$$\begin{aligned} \rho_{\xi^*(i)\xi^*(j)} &= M \xi^*(i) \xi^*(j) = M \left[ \sum_{k=1}^l \alpha_{ik} \xi(k) \right] \left[ \sum_{m=1}^l \alpha_{jm} \xi(m) \right] = \\ &= \sum_{k=1}^l \alpha_{ik} \sum_{m=1}^l \alpha_{jm} \rho_{\xi(k)\xi(m)} = \sum_{k=1}^l \alpha_{ik} \lambda_j \alpha_{jk} = \begin{cases} 1 \text{ при } i = j \\ 0 \text{ при } i \neq j \end{cases}, \end{aligned} \quad (7)$$

т. е.  $\xi^*(1), \dots, \xi^*(l)$  — некоррелированные случайные величины с дисперсиями, равным собственным числам оператора (5). Эти собственные числа являются корнями уравнения

$$\det \begin{vmatrix} \rho_{\xi(1)\xi(1)} - \lambda & \dots & \rho_{\xi(1)\xi(l)} \\ \dots & \dots & \dots \\ \rho_{\xi(l)\xi(1)} & \dots & \rho_{\xi(l)\xi(l)} - \lambda \end{vmatrix} = 0. \quad (8)$$

Отметим, что (1) можно рассматривать как ортогональное преобразование (а не преобразование координат) в  $l$ -мерном пространстве  $X$ , а (2) как ортогональное преобразование случайной величины  $\xi = (\xi(1), \dots, \xi(l))$  в случайную величину  $\xi^*(1), \dots, \xi^*(l)$  [3]. С этой точки зрения обобщим теперь выписанные формулы на случай бесконечно-мерных случайных величин.

Пусть  $\xi = (\xi(1), \xi(2), \dots)$  — вещественная случайная величина, составленная из одномерных случайных величин  $\xi(1), \xi(2), \dots$ , и пусть

$$\sum_{i,j=1}^{\infty} \left| \rho_{\xi(i)\xi(j)} \right| < \infty. \quad (9)$$

Рассмотрим ортогональное преобразование в гильбертовом пространстве последовательностей вещественных чисел  $x = (x(1), x(2), \dots)$  с  $\sum_{i=1}^{\infty} x^2(i) < \infty$ ,

определяемое ортогональной матрицей  $\|a_{ij}\|$ , строки которой образуют полную систему ортонормированных векторов

$$x^*(i) = \sum_j a_{ij} x(j), \quad (10)$$

где

$$\sum_k a_{ik} a_{jk} = \begin{cases} 1 \text{ при } i = j; \\ 0 \text{ при } i \neq j. \end{cases}$$

Полагая

$$\xi^*(i) = \sum_j a_{ij} \xi(j), \quad \xi^* = (\xi^*(1), \xi^*(2), \dots), \quad (11)$$

очевидно, имеет место с вероятностью единица:

$$\xi(j) = \sum_i a_{ij} \xi^*(i) \quad (12)$$

и

$$\sum_i \xi^{*2}(i) = \sum_i \xi^{*2}(i). \quad (13)$$

Самосопряженный оператор

$$a_j^* = \sum_k a_k \rho_{\xi(j)\xi(k)}, \quad (14)$$

с корреляционной функцией  $\rho_\xi = \{\rho_{\xi(i)\xi(j)}; i=1, 2, \dots\}$ , удовлетворяющей условию (9), определенный в гильбертовом пространстве последовательностей вещественных чисел  $(a_1, a_2, \dots)$  с  $\sum_i a_i^2 < \infty$  есть оператор Гильберта-

Шмидта, а следовательно, вполне непрерывен. Этот оператор имеет полную систему ортонормированных собственных векторов  $(a_{11}, a_{12}), (a_{21}, a_{22}, \dots), \dots$ , соответствующих собственным числам  $\lambda_1^\circ \geq \lambda_1^\circ \geq \lambda_1^\circ \geq 0$ . Для случайных величин  $\xi^*(i)$ , определяемых формулой (11) с ортогональной матрицей  $a_{ij}$ , строками которой служат собственные векторы оператора (14), остается в силе формула (7), т. е.  $\xi^*(1), \xi^*(2), \dots$  — некоррелированные случайные величины с дисперсиями, соответственно равными собственным числам оператора (14).

Пусть  $\xi = \{\xi(t); 0 \leq t \leq T\}$  — вещественная из одномерных вещественных случайных величин  $\xi(t)$  с конечными дисперсиями, и корреляционная функция  $\rho_\xi = \{\rho_{\xi(t)\xi(\tau)}; 0 \leq t \leq \tau \leq T\}$  непрерывна. Пусть непрерывные на отрезке  $[0, T]$  функции  $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots$  образуют полную систему ортонормированных функций в пространстве  $L^2 [0, T]$ -вещественных функций с суммируемым квадратом на отрезке  $[0, T]$ .

Положим

$$\xi^*(i) = \int_0^T \varphi_i(t) \xi(t) dt. \quad (15)$$

Покажем, что с вероятностью единица

$$\sum_{i=1}^{\infty} \xi^{*2}(i) = \int_0^T \xi^2(t) dt \quad (16)$$

и случайные величины  $\xi^* = (\xi^*(1), \xi^*(2), \dots)$  и линейно подчинены друг другу.

Имеем

$$\sum_{i=1}^{\infty} \int_0^T \int_0^T \varphi_i(t) \varphi_i(\tau) \rho_{\xi(t)\xi(\tau)} dt d\tau = \int_0^T \rho_{\xi(t)\xi(\tau)} dt; \tag{17}$$

$$\left. \begin{aligned} M \int_0^T \xi^2(t) dt &= \int_0^T M \xi^2(t) dt = \int_0^T \rho_{\xi(t)\xi(\tau)} dt; \\ M \xi^{*2}(i) &= M \left( \int_0^T \varphi_j(t) \xi(t) dt \right)^2 = \int_0^T \int_0^T \varphi_i(t) \varphi_i(\tau) \rho_{\xi(t)\xi(\tau)} dt d\tau; \end{aligned} \right\} \tag{18}$$

$$\begin{aligned} \int_0^T (\xi(t) - \sum_{i=1}^m \varphi_i(t) \xi^*(i))^2 dt &= \int_0^T \xi^2(t) dt - 2 \sum_{i=1}^m \xi^*(i) \int_0^T \varphi_i(t) \xi(t) dt + \\ &+ \sum_{i=1}^m \xi^{*2}(i) \int_0^T \varphi_i^2(t) dt - 2 \sum_{i,j=1}^m \xi^*(i) \xi^*(j) \int_0^T \varphi_i(t) \varphi_j(t) dt = \\ &= \int_0^T \xi^2(t) dt - 2 \sum_{i=1}^m \xi^{*2}(i) + \sum_{i=1}^m \xi^{*2}(i) = \int_0^T \xi^2(t) dt - \sum_{i=1}^m \xi^{*2}(i). \end{aligned} \tag{19}$$

Из сравнения соотношений (17)–(19) следует равенство (16) и линейная подчиненность  $\xi = \{\xi(t); 0 \leq t \leq T\}$  случайной величине  $\xi^* = (\xi^*(1), \xi^*(2), \dots)$ .

Как известно, самосопряженный оператор

$$\varphi^*(t) = \int_0^T \varphi(\tau) \rho_{\xi(t)\xi(\tau)} d\tau, \tag{20}$$

определенный в пространстве  $L^2[0, T]$ , есть оператор Гильберта — Шмидта [4]. Этот оператор имеет полную в  $L^2[0, T]$  систему непрерывных ортонормированных собственных функций  $\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots$ , соответствующих собственным числам  $\lambda_1^\circ \geq \lambda_1^\circ \geq \lambda_1^\circ \geq 0$ , т. е.

$$\lambda_i^\circ \varphi_i(t) = \int_0^T \varphi_i(\tau) \rho_{\xi(t)\xi(\tau)} d\tau, \int_0^T \varphi_i(t) \varphi_j(t) dt = \begin{cases} 1 & \text{при } i = j, \\ 0 & \text{при } i \neq j. \end{cases} \tag{21}$$

Если в формуле (15)  $\varphi_i(t)$  являются собственными функциями оператора (20), то для  $\xi^*(i)$  остаются в силе (при  $l = \infty$ ) формулы (7), т. е.  $\xi^*(1), \xi^*(2), \dots$  — некоррелированные случайные величины с дисперсиями, равными соответственно собственным числам оператора (20).

## Литература

- [1] Шеннон К. *Работы по теории информации и кибернетике*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2018.
- [2] Мак-Вильямс Д. *Теория кодов, исправляющих ошибки*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2012.
- [3] Гихман И.И., Скороходов А.В. *Введение в теорию случайных процессов*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2015.
- [4] Шеннон К.Э. *Математическая теория связи*. Москва, ФИЗМАЛИТ, 2017.

## Linear Transformation of Random Variables

©	Kritskaya A.R.	anna_kritskaya@list.ru
	Silaeva N.A.	silaeva1968@list.ru
	Gorbunov A.K.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Loginova A.Yu.	kf_mgtu_fiz@mail.ru
	Svatalova V.S.	sv270504@gmail.com
	Ilykhina I.V.	ilykhinaira8@mail.ru

*Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University*

*The paper defines the Gaussian message and the source. The properties of linear operators determined by correlation functions of random variables and processes are described. The asymptotics of the eigenvalues of some linear operators allows us to find the asymptotics of distributions of quadratic functionals of multidimensional Gaussian random processes.*

**Keywords:** *gaussian random variable, variances, linear manifold*

***Секция 11. Химия***  
**и технология**



УДК 621.794.61: 629.78

## Исследование химического состава и эксплуатационных характеристик наплавов из титановых сплавов, сформированных прутками, обработанными плазменным электролитическим оксидированием

© Шаталов Валерий Константинович<sup>1</sup>  
Штокал Александр Олегович<sup>2</sup>  
Лысенко Леонид Васильевич<sup>1</sup>  
Рыков Евгений Валентинович<sup>2</sup>  
Жуков Андрей Александрович<sup>3</sup>  
Сергеев Даниил Владимирович<sup>4</sup>  
Баженова Ольга Петровна<sup>4</sup>  
Демина Виктория Денисовна<sup>4</sup>

vkshatalov@yandex.ru  
cuauthemoc1@yandex.ru  
baldprice@mail.ru  
RykovEV@laspacespace.ru  
and\_zhukov@mail.ru  
SergeevDV@laspacespace.ru  
bazhenova\_laspacespace@mail.ru  
vishnj10100@mail.ru

<sup>1</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

<sup>2</sup> Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга

<sup>3</sup> Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

<sup>4</sup> АО «НПО Лавочкина»

*Рассмотрены методы регулирования содержания кислорода в титановых наплавках. Изучено влияние технологических режимов при получении наплавочных прутков с оксидным покрытием, сформированным плазменным электролитическим оксидированием (ПЭО), на функциональные характеристики и износостойкость металла наплавленного слоя. Исследован химический состав выполненных различными прутками наплавов. Отмечены перспективные направления применения рассматриваемого метода регулирования содержания кислорода в титановых наплавках.*

**Ключевые слова:** твердость, титан, кислород, наплавка, электролит

**Введение.** Известно, что надежность работы запорной арматуры изделий судостроения, эксплуатируемой в условиях агрессивной среды и высоких контактных напряжений, определяется в первую очередь состоянием уплотнительных поверхностей узла затвора [1]. В последние десятилетия в судостроительной, химической промышленности, одним из основных материалов для деталей узлов затвора служат титановые сплавы, обладающие рядом уникальных свойств. Для формирования контактных поверхностей таких деталей обычно применяют наплавку ручным аргонодуговым способом неплавящимся электродом присадочных материалов на основе титана, главным образом, наплавкой с применением присадочных порошковых материалов высокопрочных титановых сплавов, разработанных ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», а также наплавкой термически оксидированными прутками из сплава ПТ-7св [2]. В настоящее время для решения подобных задач активно используются различные способы изготовления присадочных материалов, позволяющие полу-

чить искомые характеристики. Специальные оксидные покрытия наносят на наплавочные прутки и детали с целью повышения твердости, износостойкости, улучшения антикоррозионных, противозадирных и других свойств изделий.

Актуальной остается задача разработки новых технологий и способа получения наплавочных прутков, обеспечивающих получение металла шва высокой твердости, сохраняя при этом технологическую трещиностойкость. Соответственно, настоящая работа направлена на изучение влияния технологических режимов при получении наплавочных прутков с оксидным покрытием, сформированным плазменным электролитическим оксидированием (ПЭО), на функциональные характеристики и износостойкость металла наплавленного слоя.

Механические свойства титана и его сплавов в значительной степени зависят от содержания в них кислорода. О положительном влиянии кислорода на механические свойства показывают результаты работ [3, 4].

В эксперименте с использованием наплавочных оксидированных ПЭО прутков рабочим веществом служит сформированный оксидный слой на поверхности известной наплавочной проволоки ВТ6св. При этом параметры рабочего вещества можно изменять и тем самым регулировать функциональные свойства наплавленного слоя на детали узла затвора.

В данном способе изготовления запорной арматуры, легирование титана кислородом осуществляется непосредственно при наплавке прутков на деталь. Поскольку в качестве конструкционного материала применяют наплавленный сплав, важным является разработка технологии, обеспечивающей контролируемое содержание кислорода в наплавочных прутках.

Таким образом, получение наплавочных прутков с заданным содержанием кислорода, востребовало разработку принципиально новых технологий, подходов, направленных на получение необходимых характеристик сплава [5]. В качестве кислородсодержащего материала предложено использовать тонкий оксидный слой, сформированный на поверхности наплавочных прутков путем электрохимического формирования, состоящий в основном из  $TiO_2$ . Оксидный слой на поверхности наплавочных прутков, наряду с хорошо управляемыми энергетическими и временными характеристиками процесса, позволяет обеспечить химическую и структурную однородность сплава вследствие равномерного плавления наплавочного прутка с покрытием и одновременной кристаллизацией шва в контролируемой атмосфере аргона. Данный метод позволяет вводить необходимые концентрации кислорода в сплав (от 0,15 до 0,5 % вес) и обеспечивать химическую однородность наплавленного слоя сплава.

**Методика проведения эксперимента.** Рассмотрим применение способа ПЭО при изготовлении наплавочных прутков. В настоящей работе применяли присадочные материалы из титановой сварочной проволоки композиций  $Ti-Al-V$ , подвергнутые оксидированию в электролите специального состава [6]. Важным преимуществом способа является относительная простота и короткий цикл изготовления наплавочных прутков.



В условиях микроплазменного разряда, на поверхности прутков формируется прочное сцепление с основной оксидной пленки. ПЭО, при этом, в отличие от термического оксидирования, не приводит к повышению содержания водорода в проволоке, что позволяет исключить вакуумную дегазацию (операцию весьма трудоемкую и энергоемкую) вместе с закалкой в воду и последующей механической доочисткой. Другим преимуществом ПЭО является возможность его осуществления в условиях единичного производства.

Прутки для наплавки изготавливали из проволоки марки ВТ6св в состоянии поставки по ГОСТ 27265–87, произведенной на предприятии ВИЛС. Наплавки выполняли ручным аргонодуговым способом с неплавящимся вольфрамовым электродом присадочными прутками диаметром 4 и длиной 400 мм. Одни прутки перед наплавкой были подвергнуты плазменному электролитическому оксидированию в электролите с тринатрийфосфатом  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , концентрация 14 г/л (из них получены образцы № 2-1 и № 2-2). Другие прутки перед наплавкой были подвергнуты плазменному электролитическому оксидированию в сложном электролите — водный раствор алюмината натрия  $\text{NaAlO}_2$  концентрацией 2 г/л и тринатрийфосфата  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  концентрацией 14 г/л (из них получены образцы № 3-1 и № 3-2). Сформированная толщина оксидного слоя составляла 10–12 мкм. Толщину слоя измеряли прибором «Константа К-5». Для сравнения наплавки выполняли также из прутков ВТ6св, подготовленных из сварочной проволоки по действующей технологии (обезжиривание, травление, промывка), без оксидирования (образцы № 1-1 и № 1-2).

Наплавки высотой и шириной 8–10 мм на пластину из титанового сплава получали в несколько слоев. Каждый слой наплавлялся при силе тока 190–200 А, с расходом аргона через горелку ГСН-1 и приставку — 18 л/мин.

Результаты химического анализа сформированных наплавки приведены в сводной таблице.

**Химический состав наплавки прутками из сплава ВТ6св**

№ образца	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2
Al	3,873	3,733	3,865	3,871	3,509	3,776
V	2,628	2,670	2,630	2,600	2,700	2,700
Mo	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Sn	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Zr	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fe	0,048	0,040	0,044	0,061	0,041	0,041
Cu	< 0,005	< 0,008	< 0,007	< 0,008	< 0,005	< 0,005
Cr	0,018	0,018	0,173	0,018	0,021	0,021
Mn	0,009	0,010	0,011	0,011	0,009	0,009
Ni	0,017	0,024	0,025	0,025	0,025	0,025
O <sub>2</sub>	0,140	0,150	0,450	0,450	0,510	0,250

Таким образом, установлено, что химический состав основных элементов наплавленного металла, определенный с применением спектрометра «Foundry Master», соответствует сплаву ВТ6св ГОСТ 27265–87.

Установлено также, что в наплавках отсутствуют видимые дефекты в виде несплошностей и пор. Наплавленный аргонодуговым способом неплавящимся электродом с присадочными прутками, обработанными ПЭО, металл по структуре, качеству и твердости соответствовал заданным в эксперименте требованиям. При этом выявлено важное преимущество перед применяющимся много лет способом термического оксидирования сварочной проволоки ПТ-7Мсв, поскольку получение металла наплавкой оксидированной проволокой не сопровождается образованием трещин даже при реализации процесса без подогрева заготовки и последующего отжига.

Подтвердилось, что твердость наплавки исследуемых образцов повышается с увеличением содержания в них кислорода (рис. 1). Твердость наплавленного слоя оксидированными прутками, измеренная по методу Виккерса, составляет 380–450 НВ и зависит от материала электрода, состава электролита, режима ПЭО. Общий наплавленный слой состоит из верхнего высокопрочного слоя и нижнего переходного диффузионного слоя с переменной концентрацией легирующих примесей и кислорода, с сильно измененной исходной структурой, постепенно переходящей в структуру основного металла (рис. 2).

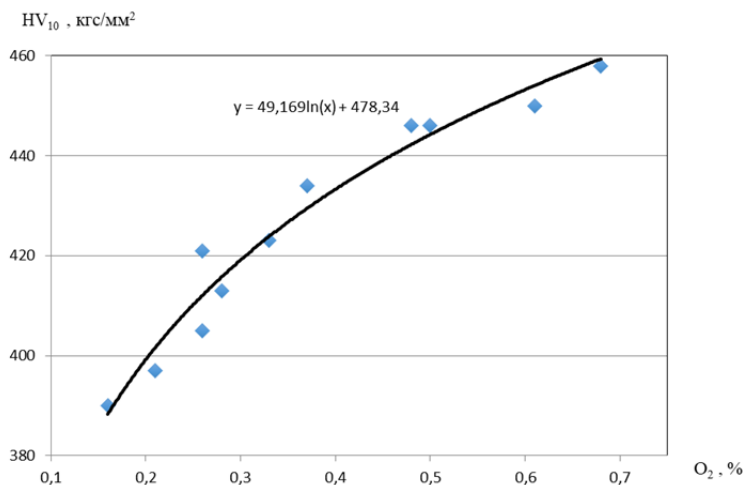


Рис. 1. Зависимость твердости наплавки от содержания кислорода

Упрочненный слой имеет высокую твердость и износостойкость. Подтверждено, что твердость наплавки исследуемых образцов повышается с увеличением содержания в них кислорода [7, 8]. Так, наибольшая твердость характерна для образцов с содержанием 0,5 мас. % кислорода в наплавке прутками, подвергнутыми ПЭО, а наименьшая — с 0,12 мас. % кислорода в наплавке прутками в состоянии поставки ВТ6св, без ПЭО.



Рис. 2. Макроструктура наплавленного слоя

**Заключение.** Показано, что для получения заданной твердости сформированный плазменным электролитическим оксидированием на поверхности наплавочных прутков оксидный слой  $TiO_2$  дает возможность при наплавке такими прутками путем долегирования вводить необходимое количество кислорода в сплав, позволяя управлять такими значимыми эксплуатационными свойствами, как твердость, износостойкость и трещиностойкость.

Рассмотренный в данной статье метод применим в различных отраслях промышленности в разных типах производства. Особенно актуален в ракетно-космической отрасли, где значительна номенклатура деталей из титановых сплавов, основной тип производства — единичный и мелкосерийный, а эксплуатационные характеристики рабочих поверхностей деталей оказывают решающее значение на надежность работы узлов космических аппаратов на целевой орбите.

### Литература

- [1] Козлов Р.А. Влияние водорода на свойства наплавленного коррозионно-стойкого хромистого металла. *Сварочное производство*, 2006, № 2, с. 8–11.
- [2] Гинсбург С.К., Прокофьев С.Н., Штернин Л.А. Условия образования прочного соединения при сварке трением алюминия со сталью. *Сварочное производство*, 1962, № 12, с. 12–14.
- [3] Корнилов И.И. *Титан. Источники, составы, свойства, металлохимия и применение*. Москва, Наука, 1975, 307 с.
- [4] Байбеков М.К., Попов В.Д., Чепрасов И.М. *Производство четыреххлористого титана*. Москва, Металлургия, 1987, 128 с.

- [5] Козлов И.В., Михайлов В.И., Семенов В.А., Хромушкин К.Д., Фатиев И.С. Исследование качества оксидированного титанового сплава ПТ-7М, наплавленного с применением высокотемпературной прокатки. *Вопросы материаловедения*, 2007, № 3 (51), с. 214–217.
- [6] Шаталов В.К., Фатиев И.С., Михайлов В.И., Грошев А.Л. Антифрикционные накладки на титановые сплавы. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 2012, № 5, 30 с. <https://doi.org/10.7463/0512.0383721>
- [7] Фатиев И.С., Шаталов В.К., Михайлов В.И., Васин С.А., Грошев А.Л. Свойства антифрикционных наплавов на титановые сплавы оксидированными присадочными прутками. *Наукоемкие технологии*, 2013, № 7, с. 35–42.
- [8] Шаталов В.К., Коржавый А.П., Лысенко Л.В., Михайлов В.И., Блатов А.А. Повышение прочности наплавов из титановых сплавов прутками, обработанными микродуговым оксидированием. *Сварочное производство*, 2017, № 3, с. 8–13.

## Investigation of the Chemical Composition and Performance Characteristics of Titanium Alloy Surfacing Formed by Rods Treated with Plasma Electrolytic Oxidation

© Shatalov Valeriy Kostantinovich<sup>1</sup>

Shtokal Alexandr Olegovich<sup>2</sup>

Lysenko Leonid Vasilievich<sup>1</sup>

Rykov Evgeniy Valentinovich<sup>2</sup>

Zhukov Andrey Alexandrovich<sup>3</sup>

Sergeev Daniil Vladimirovich<sup>4</sup>

Bazhenova Olga Petrovna<sup>4</sup>

Demina Viktoriya Denisovna<sup>4</sup>

vkshatalov@yandex.ru

cuauthemoc1@yandex.ru

baldprice@mail.ru

RykovEV@laspace.ru

and\_zhukov@mail.ru

SergeevDV@laspace.ru

bazhenova\_laspace@mail.ru

vishnj10100@mail.ru

<sup>1</sup> Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University

<sup>2</sup> The branch of PC "Lavochkin Association" in the town of Kaluga

<sup>3</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University)"

<sup>4</sup> PC "Lavochkin Association"

*Methods for regulating the oxygen content in titanium surfacing are considered. The influence of technological conditions during the production of surfacing rods with an oxide coating formed by plasma electrolytic oxidation (PEO) on the functional characteristics and wear resistance of the metal of the deposited layer has been investigated. The chemical composition of surfacing made with various rods was studied. Promising areas of application of the considered method for regulating the oxygen content in titanium surfacing are noted.*

**Keywords:** *hardness, titanium, oxygen, surfacing, electrolyte*

# Содержание

<b>Секция 1. Прогрессивные технологии, оборудование и инструментальные системы .....</b>	<b>3</b>
<i>Борисов С.А., Бысов С.А.</i> Производство хирургических сверл и анализ влияния получаемой геометрии на процесс обработки костных тканей .....	5
<i>Германов Д.А., Малышев Е.Н.</i> Мобильные приложения для решения технологических задач .....	10
<i>Малышев А.Н., Бысов С.А.</i> Развитие конструкции исходных листовых заготовок переменной толщины для вытяжки корпусных деталей в отечественной промышленности .....	13
<b>Секция 2. Технологии и машины сварочного производства .....</b>	<b>17</b>
<i>Орлик А.Г., Орлик Г.В., Глебов С.А., Петровичев М.А., Пономарев О.И.</i> Выбор оптимальной технологии восстановления и упрочнения поврежденных поверхностей деталей машин, работающих в условиях гидрабразивного износа .....	19
<i>Царьков А.В., Чирков В.А.</i> Дуговой разряд с полым катодом как перспективный технологический инструмент для ремонта лопаток газотурбинных двигателей .....	22
<i>Орлик А.Г., Орлик Г.В., Глебов С.А., Петровичев М.А., Пономарев О.И., Никулин К.Д.</i> Современные способы повышения износостойкости деталей .....	27
<i>Орлик А.Г., Орлик Г.В., Глебов С.А., Петровичев М.А., Возилкин И.С., Пономарев О.И.</i> Разработка технологии снижения гидрабразивного износа ...	31
<i>Бузырева Д.А., Громов А.А., Зыбин И.Н., Царьков А.В.</i> Анализ геометрии инструмента для сварки трением с перемешиванием .....	34
<i>Машин И.С., Зыбин И.Н.</i> Особенности изготовления интегрированных панелей жесткости сваркой трением с перемешиванием .....	39
<i>Громов А.А., Бузырева Д.А., Зыбин И.Н.</i> Методы определения остаточных напряжений в сварных изделиях .....	43
<b>Секция 3. Физика конденсированного состояния и электронная техника .....</b>	<b>49</b>
<i>Чубурков А.Е., Кузнецов В.В.</i> Влияние паразитных компонентов формируемых на резисторах при измерении временных параметров .....	51
<i>Платошин В.О., Андреев В.В.</i> Изготовление волноводов устройств сверхвысокочастотного излучения с полимерными углекомпонитными каркасами и металлическими проводящими оболочками .....	54
<i>Ломакин С.А., Кузнецов В.В., Андреев В.В.</i> Калибровка установки, предназначенной для измерения вольтамперной характеристики устройств, защищающих от электростатического разряда .....	58
<i>Власовский А.И., Андреев В.В.</i> Некоторые сведения о численных методах параметрического синтеза робототехнических систем .....	63

<i>Силаев Н.И., Андреев Д.В.</i> Программируемая логическая интегральная схема для многоканального устройства приема-передачи информации .....	67
<i>Карпухина М.В., Андреев Д.В.</i> Применение генератора гетеродин в спутниковой аппаратуре .....	70
<i>Крамар М.И., Андреев В.В., Кузнецов В.В.</i> Разработка схемы защиты КМОП интегральных схем от электростатического разряда .....	73
<i>Петрухин К.А., Кузнецов В.В.</i> Набор инструментов Python для моделирования систем электропривода (GEM) .....	77
<i>Двухшерстнова Я.В., Андреев В.В.</i> Особенности формирования $p-n-p$ -транзисторов с двумя скрытыми слоями .....	81
<i>Наврцова А.А., Андреев В.В.</i> Снижение скорости изменения выходного напряжения микросхемы устройства выборки и хранения .....	85
<i>Гришин Г.К., Борисов Е.О., Ботов А.Н., Андреев Д.В.</i> Разработка источника опорного тока малой амплитуды с широким диапазоном питающего напряжения .....	89
<i>Корнев С.А., Андреев В.В.</i> Применение ПЛИС для обработки изображений с камер, использующих фильтр Байера .....	93
<i>Пушовский А.Р., Адарчин С.А.</i> Процесс деградации оптронов .....	97
<i>Жинов А.А., Романенко А.В.</i> Определение усредненных расходных характеристик геотермальных скважин при оптимизации параметров геотермальной энергоустановки .....	102
<i>Обидина А.С., Кузнецов В.В.</i> Моделирование фильтра с конечной импульсной характеристикой с использованием MATLAB .....	107
<b>Секция 4. Тепловые двигатели и гидромашины .....</b>	<b>113</b>
<i>Киселев Д.А., Жинов А.А.</i> Особенности конструкции турбины энергоустановки на органическом цикле Ренкина .....	115
<i>Ганков М.С., Ильичев В.Ю.</i> Сравнение методов получения теплофизических свойств веществ, используемых в качестве рабочих тел .....	119
<i>Афонин К.Р., Юрик Е.А.</i> Исследование способов увеличения мощности действующих электростанций на базе ПТУ .....	123
<i>Макаров П.В., Шевелев Д.В.</i> Анализ методик расчета и проектирования центробежных насосов .....	126
<i>Киселев Е.М., Шитохина О.Г.</i> Основные направления совершенствования систем маслоохлаждения паротурбинных установок .....	129
<i>Новоселов М.К., Савин В.Ю.</i> Подходы к проектированию многосекционных шестеренных насосов .....	132
<i>Шевелев Д.В., Ганков М.С., Сказочкин А.В., Картусева А.Ю.</i> Исследование эффективности рабочего процесса соплового аппарата центробежной турбины методами численного эксперимента .....	135
<i>Родионов Н.Г., Каширин Д.С.</i> Современные тенденции развития газоперекачивающих агрегатов для магистральных газопроводов ПАО «Газпром» .....	140

<i>Шевелев Д.В., Жинов А.А., Юрик Е.А.</i> Исследование влияния густоты расчетной сетки при численном моделировании коэффициента теплоотдачи с поверхности цилиндра при его поперечном обтекании .....	143
<i>Ващенко А.В., Савин В.Ю.</i> Особенности построения меридионального сечения рабочего колеса центробежного насоса для перекачивания гидроабразивных смесей .....	148
<b>Секция 5. Методы теории автоматического управления; автоматизация и управление технологическими процессами и производствами .....</b>	<b>155</b>
<i>Решетников Г.А., Порываев О.П., Милосердов В.О.</i> Построение предиктивной модели сухой вентиляторной градирни методами нейросетевого моделирования .....	157
<i>Мартынов Н.А., Финошин А.В.</i> Разработка системы контроля и диагностики оптимального состояния среды газораспределительной станции .....	162
<i>Бунина В.В., Минин И.К.</i> Исследование возможности использования датчиков движения и освещенности для повышения эффективности автоматизированных систем управления наружным освещением .....	166
<i>Безлюдов М.Д., Финошин А.В.</i> Разработка системы управления светодиодной матрицей .....	171
<i>Минин И.К., Бунина В.В.</i> Разработка электронного журнала куратора для автоматизации образовательного процесса .....	176
<i>Корлякова М.О., Литовченко Д.М.</i> Анализ методов коллаборативной фильтрации в рекомендательных системах .....	181
<i>Безлюдов М.Д., Корлякова М.О.</i> Анализ качества распознавания речи фреймворка Vosk .....	188
<b>Секция 6. Экология и безопасность .....</b>	<b>193</b>
<i>Заверткин Е.А., Анфилов К.Л.</i> Возможности технологических решений по снижению воздействия теплоэлектростанций .....	195
<i>Готвальд Е.Д., Никулина С.Н.</i> Анализ переработки макулатуры в Калужской области за последние 5 лет .....	198
<i>Шульга С.С., Никулина С.Н.</i> Экологические проблемы города Калуга .....	201
<i>Жуков Я.Д., Жукова Ю.М., Ильичев В.Ю.</i> Использование современной техники в защите окружающей среды .....	204
<i>Никишкина А.А., Никулина С.Н.</i> Разрушение озонового слоя во время пандемии COVID-19 .....	208
<i>Тютюнькова М.В., Сиваев И.Д.</i> Накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах при применении осадков сточных вод .....	211
<i>Брулева В.А., Карпунин Е.А., Тютюнькова М.В.</i> Технологии уменьшения количества активного ила в аэротенках .....	215
<i>Зубарев Д.Ю., Жукова Ю.М.</i> Методический подход для разработки мероприятий при неблагоприятных метеоусловиях для предприятий Калужской области .....	222
<i>Барабанов А.В., Жукова Ю.М., Ильичев В.Ю.</i> Расчет содержания компонентов биомассы для осуществления пиролиза .....	226

<i>Леонтьева А.С.</i> Характеристика поверхностно-активных веществ как ингибиторов кислотной коррозии .....	230
<i>Емельянова Я.Г., Морозенко М.И.</i> Изучение метаногенеза на полигонах твердых коммунальных отходов .....	233
<i>Шарков И.П.</i> Способы утилизации отходов животноводства .....	239
<b>Секция 7. Современные технологии в наземных транспортно-технологических системах .....</b>	<b>245</b>
<i>Иванов М.А., Савин В.Ю.</i> Прикладные проблемы механики барабана экспериментальной установки для исследования процессов перемещения очесанного вороха .....	247
<i>Славкина Е.В., Астахов М.В.</i> К вопросу проектирования квазиуправляемых систем .....	251
<i>Сорокина И.И., Касымов Н.Д.</i> Динамическое исследование исполнительного механизма машинного агрегата, работающего в режиме «пуск-останов» .....	254
<i>Носов В.А., Булычев В.В., Васильев А.А., Мнацаканян Т.Д.</i> Тяговый расчет малогабаритной коммунальной техники для различных режимов работы .....	257
<i>Носов В.А., Голубина С.А., Васильев А.А., Мнацаканян Т.Д.</i> Эргономический анализ интерьера малогабаритной коммунальной техники .....	261
<i>Иванов М.А., Савин В.Ю.</i> Выбор угла установки гребенок очесывающего барабана при работе его как элемента вентилятора .....	264
<i>Крупнов Д.А., Нахабин И.И., Иванов Р.Ю., Сидоров В.Н.</i> Исследование трансмиссии трактора с раздаточной коробкой. Определение основных параметров трансмиссии .....	268
<i>Сидоров В.Н., Фомин В.И.</i> Расчет и моделирование изменения угла крена автомобиля .....	272
<i>Голубина С.А., Фадеева М.Э., Фадеев Д.Н.</i> Использование композиционных материалов для кабин тракторов .....	277
<i>Голубина С.А., Фадеева М.Э., Афанасьев И.А.</i> Концепция и дизайн кабины колесного трактора .....	280
<i>Плахов С.А., Чудаков Д.А., Котков А.С.</i> Особенности конструкции снегоуборочных отвалов .....	283
<i>Носов В.А., Зезюля В.В., Маташнев А.А.</i> Обзор современного состояния автомобилей с манипуляторной уборочно-моечной установкой .....	286
<i>Плахов С.А., Котков А.С., Чудаков Д.А.</i> Седелный автопоезд с активным полуприцепом .....	290
<i>Алакин В.М., Костин М.С.</i> Научно-производственные предпосылки и разработка комплексной оснастки управления процессом холодного газодинамического напыления .....	294
<i>Сидоров В.Н., Фадеев Д.Н., Алексеичкин К.А., Мочалов И.А.</i> Моделирование механической трансмиссии для колесной машины 4×2 с задней ведущей осью .....	297
<i>Сидоров В.Н., Никонов С.Н., Шутов А.А., Каретин А.В.</i> Моделирование работы антиблокировочной системы тормозов .....	302



<i>Козлов В.А., Касымов М.С., Волков М.А., Сидоров В.Н., Пономарев А.И.</i> Исследование взаимодействия колеса с опорным основанием при движении по криволинейной траектории .....	305
<b>Секция 8. Защита информации .....</b>	<b>311</b>
<i>Борисов Н.С., Белов Ю.С.</i> Анализ методов для управления персональным компьютером жестами .....	313
<i>Космынин Д.С., Белов Ю.С.</i> Аналитика социальных сетей: обзор инструментов с открытым исходным кодом .....	317
<i>Носов А.В., Гагарин Ю.Е.</i> Интернет-форматы изображений в стеганографии .....	320
<i>Шеститка А.В., Белов Ю.С.</i> Анализ методов обнаружения сетевых атак .....	324
<b>Секция 9. Динамика, прочность и надежность подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования .....</b>	<b>327</b>
<i>Карпов А.А., Витчук П.В.</i> Влияние параметров кранового колеса на величину контактного напряжения между колесом и рельсом .....	329
<i>Логинов Д.И., Шубин А.А.</i> Повышение эффективности работы снегоуборочных машин на станционных путях .....	333
<i>Баранов К.А., Витчук П.В.</i> Разработка автоматизированного противоугонного захвата грузоподъемного крана .....	336
<i>Илюхин С.О., Габьев Ю.С., Шубин А.А.</i> Разработка универсального модуля для удаления растительности вдоль железнодорожных путей .....	340
<b>Секция 10. Математическое моделирование и физико-математические проблемы проектирования сложных технических систем .....</b>	<b>345</b>
<i>Белоножко П.Е., Белов Ю.С.</i> Анализ работы вокодера на базе модели WaveRNN в системе преобразования текста в речь .....	347
<i>Левин А.О., Белов Ю.С.</i> Применение гиперсетей совместно с моделями генерации изображений по текстовым описаниям, основанными на диффузионных моделях .....	351
<i>Сергеев Л.А., Белов Ю.С.</i> Переобучение нейронной сети Inception-v3 в качестве бинарного классификатора .....	354
<i>Дроздов Д.С., Белов Ю.С.</i> Анализ результата генерации изображений по текстовым описаниям с помощью многоэтапной генеративно-состязательной нейронной сети .....	357
<i>Петров А.И., Белов Ю.С.</i> Обнаружение и классификация опухоли головного мозга с использованием архитектуры VGG-16 .....	361
<i>Панина Е.А., Белов Ю.С.</i> Этапы фотограмметрической обработки серии изображений для 3D-реконструкции .....	365
<i>Чикишев А.Д., Белов Ю.С.</i> Повышение эффективности больших языковых моделей с использованием fine-tuning на примере GPT-3 .....	370
<i>Вялых С.А., Белов Ю.С.</i> Предварительная обработка данных и извлечение признаков в системе анализа голосовых данных с использованием нейронных сетей .....	374
<i>Крицкая А.Р., Силаева Н.А., Горбунов А.К., Логинова А.Ю., Сваталова В.С., Илюхина И.В.</i> Поле излучения как источник информации .....	378

<i>Крицкая А.Р., Силаева Н.А., Горбунов А.К., Логинова А.Ю., Сваталова В.С., Илюхина И.В.</i> Общая характеристика влияния атмосферы на сигналы .....	383
<i>Филянин Н.С., Белов Ю.С.</i> Методы точечного определения деревьев на аэрофотоснимках .....	386
<i>Крицкая А.Р., Силаева Н.А., Горбунов А.К., Логинова А.Ю., Сваталова В.С., Илюхина И.В.</i> Пропускная способность канала без памяти .....	390
<i>Крицкая А.Р., Силаева Н.А., Горбунов А.К., Логинова А.Ю., Сваталова В.С., Илюхина И.В.</i> Количество информации и энтропия .....	395
<i>Крицкая А.Р., Силаева Н.А., Горбунов А.К., Логинова А.Ю., Сваталова В.С., Илюхина И.В.</i> Оптимальная линейная фильтрация .....	399
<i>Крицкая А.Р., Силаева Н.А., Горбунов А.К., Логинова А.Ю., Сваталова В.С., Илюхина И.В.</i> Случайный оператор Шредингера .....	403
<i>Крицкая А.Р., Силаева Н.А., Горбунов А.К., Логинова А.Ю., Сваталова В.С., Илюхина И.В.</i> Линейное преобразование случайных величин .....	406
<b>Секция II. Химия и технология .....</b>	<b>413</b>
<i>Шаталов В.К., Штокал А.О., Лысенко Л.В., Рыков Е.В., Жуков А.А., Сергеев Д.В., Баженова О.П., Демина В.Д.</i> Исследование химического состава и эксплуатационных характеристик наплавов из титановых сплавов, сформированных прутками, обработанными плазменным электролитическим окислением .....	415

*Научное издание*

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

Всероссийская научно-техническая конференция

(Калуга, 14–16 ноября 2023 года)

Материалы конференции

В двух томах

Том 1

Художник *Я.М. Асинкритова*  
Компьютерная верстка *С.А. Серебряковой*

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты  
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 27.02.2024. Формат 70×100/16.  
Усл. печ. л. 34,78. Тираж 50 экз.

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.  
[press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
<https://press.bmstu>

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.  
[baumanprint@gmail.com](mailto:baumanprint@gmail.com)