

# **Машины и Установки**

## **проектирование, разработка и эксплуатация**

*Сетевое издание*  
**МОО "Стратегия объединения"**  
<http://maplants-journal.ru>

*Ссылка на статью:*  
//Машины и установки: проектирование,  
разработка и эксплуатация.  
Электрон. журн. 2025. № 1. С. 1 – 8

**DOI:**

Представлена в редакцию: 25.04.2025  
Принята к публикации: 28.04.2025  
© МОО «Стратегия объединения»

**УДК 378**

## **Итоги круглого стола «Актуальные вопросы подготовки инженеров подъемно-транспортного профиля»**

**Тропин С. Л.**

[tropin@spectyazh.ru](mailto:tropin@spectyazh.ru)

МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

---

В статье представлены результаты работы круглого стола «Актуальные вопросы подготовки инженеров подъемно-транспортного профиля». Изложены обобщенные предложения участников, включенные в принятую резолюцию.

---

**Ключевые слова:** круглый стол, инженерные кадры, контрольные цифры приема, рынок труда.

---

В рамках деловой части 16-ой международной специализированной выставки спецтехники и подъемно-транспортного оборудования СПТО.Краны 19 марта 2025 г. на территории ЦВК «Экспоцентр» состоялся круглый стол «Актуальные вопросы подготовки инженеров подъемно-транспортного профиля».

В работе круглого стола приняли участие 48 представителей из 9 университетов, 11 предприятий промышленности, двух федеральных органов, двух общественных объединений и одного средства массовой информации. Их перечень представлен в таблице 1.

В ходе работы круглого стола были сделаны 16 докладов, которые содержали оценку качества и необходимого количества подготовки инженеров подъемно-транспортного профиля, а также рекомендации по совершенствованию учебного процесса.

По результатам обсуждения участники круглого стола приняли резолюцию, в которой отмечается следующее.

Подъёмно-транспортные операции являются неотъемлемой частью технологических процессов во всех отраслях и подотраслях машиностроительного комплекса, промышленного и гражданского строительства. В настоящее время на рынке труда отмечается высокий спрос на инженеров по подъемно-транспортным машинам. Для них в России, по данным сайта «ГородРабота.ру», открыты более 135 тысяч вакансий<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> ([https://russia.gorodrabot.ru/инженер\\_гpm](https://russia.gorodrabot.ru/инженер_гpm))

**Таблица 1. Участники круглого стола**

| <b>Образовательные учреждения</b>  | <b>Предприятия промышленности</b>         | <b>Гос. органы и СМИ</b>   | <b>Общественные объединения</b> |
|--|---|--|---------------------------------|
| МГТУ им. Н.Э. Баумана  | АО "Ковровский электромеханический завод" | Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (РОСТЕХНАДЗОР) | Национальный лифтовый союз      |
| МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал  | ООО «Интернет Решения»                    | Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экономики РАН            | Ассоциация СРО «РОСМА»          |
| НИУ МГСУ   | ООО "Руслёт"                              | Журнал «Лифтингформ»   |                                 |
| РУТ МИИТ   | ГК «LIFT-IMPORT»                          |  |                                 |
| Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого                         | ООО «РусАтомЭкспертиза»                   |  |                                 |
| ГБОУ Школа № 1538  | ООО "Грузоподъем"                         |  |                                 |
| ГБОУ Школа № 1575  | АО "Селект"                               |  |                                 |
| Центр развития профессионального образования Московского политехнического университета | ОАО "Молед"<br>Республика Беларусь        |  |                                 |
| Международная академия транспорта  | АО "Ярославль-водоканал"                  |  |                                 |
|  | АО "Компания КОНА"                        |  |                                 |

Число вакансий по направлению «Транспортный инжиниринг» в январе – июле 2024 г. в России выросло на 23% по сравнению с аналогичным периодом 2023 года <sup>2</sup>

Вместе с тем, контрольные цифры приема для обучения по программам специалитета, относящимся к укрупненной группе специальностей 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» на 2025/2026 учебный год сокращены на 2,4%. по отношению к периоду 2023 – 2024 гг.

Очевидно, чтобы сбалансировать рыночный спрос на инженеров, необходимо увеличить их предложение и, соответственно, количество обучаемых студентов.

Однако рост количественных показателей должен сопровождаться повышением качества подготовки специалистов, способных обеспечить не только импортозамещение, но возродить отечественную школу конструирования грузоподъемной техники, вывести ее на передовые рубежи и формировать мировые тренды.

Таким образом, для технологического суверенитета страны и реализации государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» [1] принципиально важно скорейшее удовлетворение потребностей промышленности в высококвалифицированных инженерных кадрах подъемно-транспортного профиля.

С этой целью участниками круглого стола выработаны предложения по трем основным направлениям.

<sup>2</sup> [https://www.vedomosti.ru/industry/industrial\\_policy/articles/2024/08/14/1055851-vostrebovannost-spetsialistov-v-transportnom-inzhiniringe-v-rossii-virosla-na-23](https://www.vedomosti.ru/industry/industrial_policy/articles/2024/08/14/1055851-vostrebovannost-spetsialistov-v-transportnom-inzhiniringe-v-rossii-virosla-na-23)

## **Удовлетворение потребности промышленности в инженерах подъемно-транспортного профиля**

Для подготовки высококвалифицированных кадров в достаточном количестве и оперативного реагирования на изменение ситуации на рынке труда представляются необходимыми следующие меры.

1. Университетам, имеющим в своем составе кафедры, осуществляющие подготовку инженеров по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», направить установленным порядком [2, 3] в Минтранс и Минпромторг России, предложение об увеличении на 5% контрольных цифр приема для обучения по программам специалитета, относящимся к укрупненной группе специальностей 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта», для учета при формировании предложений для Минобрнауки на 2026/2027 учебный год. При этом представляется целесообразным увеличение КЦП не только на очную, но и на очно-заочную и заочную формы обучения, которые представляются эффективными способами увеличения численности инженерного корпуса и реализации подготовки инженеров по системе « завод – втуз».

2. Направить в Минобрнауки России обращение о дополнении «Перечня ... общероссийских объединений работодателей и иных организаций, ... , предоставляющих предложения об общих объемах контрольных цифр приема ...» [3] в части укрупненной группы специальностей 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» Общероссийским отраслевым объединением работодателей "Союз машиностроителей России".

3. Профильным кафедрам участвовать в формировании заявок, подаваемых Университетами на конкурс [4], проводимый Минобрнауки с целью установления образовательным организациям контрольных цифр приема на 2026/2027 учебный год по образовательным программам высшего образования, а также по группам научных специальностей и (или) научным специальностям для обучения по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.

4. Профильным кафедрам Университетов в связи с вступлением в силу с 01.09.2026 приказа Минобрнауки от 01.02.2022 № 89 «Об утверждении перечня специальностей и направлений подготовки высшего образования по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, программам ординатуры и программам ассистентуры-стажировки» [5, 6] проанализировать достаточность номенклатуры специальностей, входящих в укрупненную группу специальностей и направлений подготовки 35 «Эксплуатация и инфраструктура наземного транспорта», с точки зрения полноты учета разнообразия типов подъемного оборудования, строительных и дорожных средств, а также реализации процессов конструирования, производства и эксплуатации, включая обслуживание и ремонт.

## **Повышение качества инженерного образования**

Участники круглого стола полагают целесообразным рекомендовать профильным кафедрам образовательных учреждений высшего образования:

- при зачислении абитуриентов учитывать результаты дополнительного вступительного испытания (кроме ЕГЭ), проводимого по профилирующим школьным предметам, информация о которых должна быть заранее опубликована на сайте ВУЗа;

- развивать сетевую форму реализации образовательных программ, предусмотренную статьей 15 федерального закона «Об образовании в Российской Федерации», взаимодействуя с профильными предприятиями (система « завод – втуз»), а также с ведущими ВУЗами с идентичной учебной программой, что позволяет использовать ресурсы нескольких организаций;

- при составлении учебных планов теоретической и практической подготовки будущих инженеров учитывать требования профессиональных стандартов к знаниям и умениям;
- практиковать на младших курсах освоение студентами профильной рабочей профессии;
- при подготовке инженеров по укрупненной группе специальностей 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» формировать навыки конструирования на цифровых платформах при выполнении курсового проектирования подъемного оборудования;
- включить в программу специалитета курсы «Вертикальный транспорт, лифты» и «Подвесные канатные дороги»;
- практиковать создание в учебных заведениях профильных научно-образовательных (конструкторских) студенческих структур, выполняющих работы по заказу предприятий – потребителей инженерных кадров;
- участвовать в конкурсах на гранты, предоставляемые Агентством технологического развития и(или) другими ведомствами, привлекая профильные предприятия в качестве индустриальных партнеров;
- при формировании плана стажировок и практик рассматривать промышленную площадку ООО «РУСЛЕТ»;
- участвовать в создании профильных инженерных кафедр в школах России на основе опыта кафедры инженерной предпрофессиональной подготовки ГБОУ Школы № 1538 г. Москвы с привлечением на эти кафедры преподавателей, имеющих опыт подготовки инженеров подъемно-транспортного профиля;
- пропагандировать в школах привлекательность инженерного труда, что укрепит престиж инженерных профессий и позволит увеличить количество выпускников, поступающих в технические университеты.

### **Сопряжение университетов и промышленных предприятий**

Участие работодателей в формировании профессиональных компетенций «под заказчика» обеспечит быстрое включение выпускников в деятельность предприятий. Для этого участники круглого стола полагают целесообразным рекомендовать предприятиям-партнерам:

- участвовать в сетевом обучении студентов по системе « завод – втуз»;
- приглашать студентов на производственную практику;
- для повышения интереса молодежи к инженерным специальностям проводить совместные мероприятия и реализовывать проекты;
- совместно с кафедрами ВУЗов подъемного транспортного профиля наладить взаимодействие со школами, в которых имеются инженерные классы, для популяризации профессии инженера и введения в специальность.
- производить отбор студентов на целевое обучение по окончанию ими второго и последующих курсов, что повысит мотивацию претендентов к овладеванию знаниями на младших курсах и уровень их подготовленности;
- рассмотреть возможность вынесения отдельных работ на аутсорсинг в университеты с привлечением к работе студентов;
- рассмотреть предложение ведущего специалиста УМЦ Минобрнауки при МГТУ им. Н.Э. Баумана о разработке профессионального стандарта «Инженер-наставник при обучении профессиональной специализации подъемно-транспортного профиля в организациях», а также создания постоянно действующей «Школы-наставничества инженеров подъемно-транспортного профиля».

## Список литературы

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 328 (с изменениями и дополнениями).
2. «Правила установления организациям, осуществляющим образовательную деятельность, контрольных цифр приема по профессиям, специальностям и направлениям подготовки и (или) укрупненным группам профессий, специальностей и направлений подготовки для обучения по образовательным программам среднего профессионального и высшего образования, а также по группам научных специальностей и (или) научным специальностям для обучения по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета», утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 10.06.2023 № 964.
3. «Перечень федеральных органов исполнительной власти, осуществляющих функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в установленных сферах деятельности, других главных распорядителей средств федерального бюджета, общероссийских объединений работодателей и иных организаций, осуществляющих деятельность в соответствующей сфере, предоставляющих предложения об общих объемах контрольных цифр приема для обучения по программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета», утвержденный приказом Минобрнауки от 07.07.2023 № 682
4. «Порядок проведения конкурса по распределению контрольных цифр приема по специальностям и направлениям подготовки и (или) укрупненным группам специальностей и направлений подготовки для обучения по образовательным программам высшего образования, а также по группам научных специальностей и (или) научным специальностям для обучения по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) за счет бюджетных ассигнований федерального бюджета», утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 августа 2023 г. № 824.
5. «Перечень специальностей и направлений подготовки высшего образования по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, программам ординатуры и программам ассистентуры-стажировки», утвержденный приказом Минобрнауки от 01.02.2022 № 89.
6. «Соответствие специальностей и направлений подготовки высшего образования по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, программам ординатуры и программам ассистентуры-стажировки, перечень которых утвержден приказом министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 1 февраля 2022 г. № 89, специальностям и направлениям подготовки высшего образования по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, программам ординатуры и программам ассистентуры-стажировки, перечни которых утверждены приказами министерства образования и науки Российской Федерации от 12 сентября 2013 г. № 1060 и № 1061», утвержденное приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 4 марта 2022 г. № 197.

## АВТОР

**Тропин Сергей Львович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой РК4 «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

---

# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal*  
*International Public Organization*  
*“Integration strategy”*  
<http://maplants-journal.ru>

*Link to the article:*  
//Machines and Plants:Design and Exploiting.  
2025. № 1. pp. 1 – 8

DOI:

Received: 25.04.2025  
Accepted for publication: 28.04.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

## Results of the round table "Topical issues of training lifting and transport engineers"

Sergey L. Tropin

[tropin@spectyazh.ru](mailto:tropin@spectyazh.ru)

Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

---

The article presents the results of the round table "Topical issues of training lifting and transport engineers". The generalized proposals of the participants included in the adopted resolution are outlined.

---

**Keywords:** round table, engineering personnel, admission control figures, labor market.

---

### References

1. The State Program of the Russian Federation "Development of Industry and increasing its Competitiveness", approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated April 15, 2014 No. 328 (with amendments and additions).
2. "Rules for setting admission control figures for professions, specialties and areas of study and (or) enlarged groups of professions, specialties and areas of study for training in educational programs of secondary vocational and higher education, as well as for groups of scientific specialties and (or) scientific specialties for training in scientific training programs and scientific and pedagogical staff in postgraduate (adjunct) studies at the expense of budget allocations from the federal budget", approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 964 dated June 10, 2023.
3. "A list of federal executive authorities responsible for developing state policy and regulatory regulation in established fields of activity, other main managers of federal budget funds, all-Russian employers' associations and other organizations active in the relevant field, providing proposals on the total volume of admission control figures for bachelor's degree programs, specialty programs, etc. master's degree programs at the expense of budget allocations from the federal budget", approved by the order of the Ministry of Education and Science dated 07.07.2023 No. 682
4. "The procedure for conducting a competition for the distribution of admission control figures by specialties and areas of study and (or) enlarged groups of specialties and areas of study for higher education educational programs, as well as by groups of scientific specialties and (or) scientific specialties for training programs for scientific and scientific-pedagogical personnel in graduate school (adjunct) at the expense of budget allocations from the federal budget", approved by Order No. 824 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation dated August 28, 2023.

5. "List of specialties and areas of higher education training in bachelor's degree programs, specialty programs, master's degree programs, residency programs and internship programs," approved by Order of the Ministry of Education and Science of 02/01/2022 No. 89.

6. "Compliance of specialties and areas of higher education training in bachelor's degree programs, specialty programs, master's degree programs, residency programs and internship programs, the list of which was approved by order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation dated February 1, 2022. No. 89, specialties and areas of higher education training in bachelor's degree programs, specialty programs, master's degree programs, residency programs and internship programs, the lists of which are approved by Orders of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated September 12, 2013 No. 1060 and No. 1061", approved by Order of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation dated September 4 March 2022, No. 197.

---

#### AUTHOR

**Sergey L. Tropin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the RC4 Department "Lifting and Transport Systems" Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, building 1.

# **Машины и Установки**

## **проектирование, разработка и эксплуатация**

*Сетевое издание*  
**МОО "Стратегия объединения"**  
<http://maplants-journal.ru>

*Ссылка на статью:*

//Машины и установки: проектирование,  
разработка и эксплуатация.

Электрон. журн. 2025. № 1. С. 9 – 19

**DOI:**

Представлена в редакцию: 17.04.2025

Принята к публикации: 21.04.2025

© МОО «Стратегия объединения»

**УДК 378**

## **Новый взгляд на подготовку инженерных кадров в области подъемно-транспортного машиностроения**

**Сладкова Л.А.**

[rich.cat2012@yandex.ru](mailto:rich.cat2012@yandex.ru)

Российский университет транспорта  
(Москва, Россия)

---

Рассматривается вопрос возрождения школы конструирования грузоподъемной техники, основными тенденциями развития которой являются:

- создание качественно новых видов подъемно-транспортных машин и механизмов, а также широкая модернизация существующих машин и установок для обеспечения механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ во всех областях транспортного строительства;
- повышение грузоподъемности и надежности машин при одновременном значительном снижении их металлоемкости благодаря применению новых кинематических схем, более совершенных методов расчета, использованию рациональных облегченных профилей проката, новых материалов (легированные стали, легкие сплавы и пластмассы), а также прогрессивной технологии машиностроения (новые методы термообработки, нанесение упрочняющих покрытий и др.);
- увеличение производительности оборудования вследствие применения широкого регулирования скоростей механизмов, автоматического, полуавтоматического и дистанционного управления с использованием микропроцессорной и электронно-вычислительной техники, как для управления работой машин, так и для расчетов и проектирования;
- создание специальных захватных и других подъемных агрегатов, а также обеспечение комфортных условий труда крановщика.

Для обеспечения указанных показателей требуется подготовка специалистов в области конструирования конкурентоспособных грузоподъемных машин.

---

**Ключевые слова:** подготовка инженерных кадров, конструирование, подъемно-транспортное машиностроение.

---

### **Введение**

Значимость создания новых и усовершенствования существующих образцов грузоподъемной техники для всех областей народного хозяйства России не подлежит отрицанию. Без грузоподъемной техники не обходилось ни строительство пирамид, ни возведение шедевров архитектуры, ни обычных жилых домов, ни промышленных объектов от мала до велика.

Во времена развитого социализма советская автокрановая отрасль была одной из самых мощных в сфере производства строительной и дорожной техники [1] (табл. 1), работа которой регулировалась Минстройдормашем.

**Таблица 1.** Основные предприятия по производству автомобильных кранов производственным объединением «Автокран»

| № | Наименование предприятия по производству автокранов  | Производство кранов, шт/год |
|---|--|-----------------------------|
| 1 | Ивановский   | Более 4500                  |
| 2 | Дрогобычский   | Более 2500                  |
| 3 | Балашихинский  | Более 2500                  |
| 4 | Ставропольский   | Более 1200                  |
| 5 | Галичский автокрановый   | Более 500                   |
| 6 | Камышинский крановый   | Более 2500                  |
|   | Всего:   | Более 14000                 |
| 7 | Одесский завод им. Январского восстания и Никопольский краностроительный завод им. Ленина. | Около 300                   |

После ликвидации Минстройдормаша (1989 г) производство кранов значительно сократилось (рис. 1). Отметим, что после 2013 года эта тенденция сохранилась.

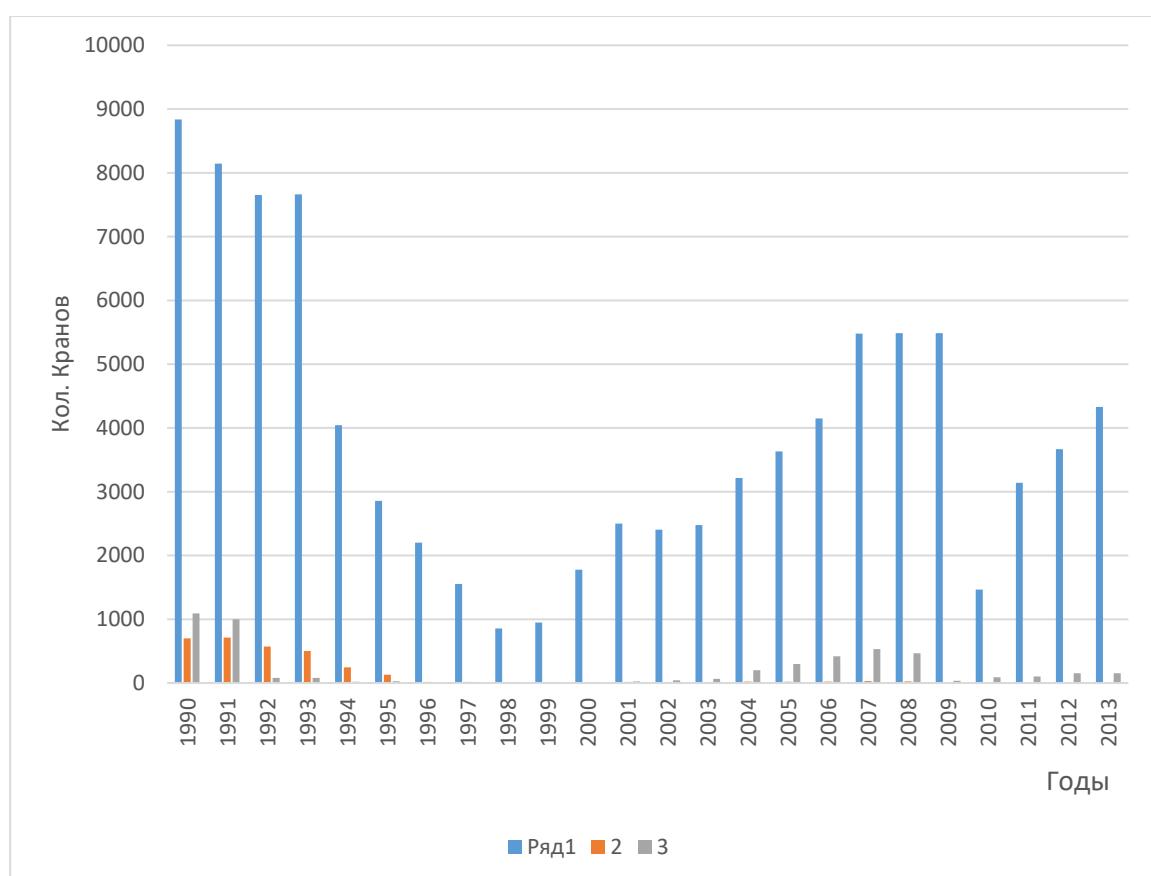


Рис. 1. Динамика выпуска автокранов различными организациями:  
Ряд 1 – объединение «Автокран»; 2 – Одесский завод;  
3 – Ржевский завод (башенные краны)

В момент перехода к рыночной экономике государство предоставило полную свободу предпринимателям и предприятиям взамен экономической поддержки. Российские предприятия в первые же годы перестройки лишились не только господдержки, но и внутреннего рынка сбыта (из-за падения покупательной способности в период кризиса), и что самое главное – лишились поддержки всех участников жизненного цикла, поскольку не имели возможности оплачивать их работы. Поэтому на это время пришлось закрытие большинства промышленных предприятий.

## Анализ рынка грузоподъемной техники в период 1990-2020 гг. и концепции его развития

В течение нескольких лет после начала такой «перестройки» была потеряна большая часть (по оценке Президента РФ В.В. Путина – половина) технического, технологического и интеллектуального потенциала промышленных предприятий.

Объективная потребность в грузоподъемной технике стала восполняться поставками из-за рубежа. В рыночных условиях крупные и средние предприятия потеряли прямое управление со стороны государства, были нарушены структурные связи взаимодействия хозяйственных комплексов. Вновь образованные независимые акционерные общества (табл. 2) были вынуждены приспосабливаться к условиям открытого рынка.

**Таблица 2.** Характеристика основных производителей российского рынка автокрановой техники

| Производители  | Россия  |   |   |   |   | СНГ   | Зарубежье   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Логотип  |      |  |  |  |  |  |  |  |
| Название   | ООО «РМ-Терекс»   | ОАО «Промтрактор»   | УРАЛ ТРАК   | Ивановск марка  | Клинцовский крановый завод  | АМКАДОР   | Катерпиллер Тосно   | ООО «Либхерр-Н. Новгород»   |
| Кол-во производств./сборочных предпр. на территории РФ | 4/0   | 1/0   | 1/0   | 1/0   | 1/0   | 0/1   | 0/1   | 0/1   |
| <b>Краны</b>   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| автомобильные  |   | 0   |   | 13  | 17  |   |   |   |
| башенные   |   |   |   | 2   |   |   |   | 3   |
| манипуляторы автомобильные                             |   | 0   |   | 3   | 4   |   |   |   |
| погрузчики (фронтальные и т.д.)                        | 12  | 1   | 3   |   |   |   | 3   |   |
| трубоукладчики   |   | 4   | 2   |   |   |   | 1   |   |

После кризиса 2008-2009 гг. российское производство башенных кранов не восстановилось. В 2012 году общий объем производства данной продукции составил всего 149 шт.

Для преодоления кризисных явлений и определения путей социально-экономического развития страны разработана Концепция [2], основным направлением которой являлось «...достижение уровня экономического и социального развития, соответствующего статусу России как ведущей мировой державы XXI века, занимающей передовые позиции в глобальной экономической конкуренции и надежно обеспечивающей национальную безопасность...». На основании Концепции по заказу Минпромторга (шифр «АВТ-13-021») была разработана «Стратегия развития строительной, дорожной, коммунальной и наземной аэродромной техники».

В перспективе в 2015-2020 годах Россия должна была войти в пятерку стран-лидеров по объему валового внутреннего продукта (по паритету покупательной способности).

Целями Концепции были:

1. Снижение зависимости России от импорта техники за счет удовлетворения внутреннего спроса высококачественной продукцией собственного производства (импортозамещение).

2. Обеспечение роста экспортных поставок из России конкурентоспособной техники для транспортного, промышленного и гражданского строительства в страны ближнего и дальнего зарубежья как фактора развития национальной экономики с предоставлением 270 тыс. рабочих мест [3, 4].

Предполагалось, что к 2020 году выпуск современной строительной, дорожной и аэродромной техники с необходимыми техническими и технологическими требованиями можно будет провести в несколько этапов:

1. Стабилизация уровня производства современной строительной, дорожной, коммунальной и наземной аэродромной техники на предприятиях России (2013-2015 гг.).

2. Начало внедрения программы локализации производства техники, узлов и агрегатов (2013-2016 гг.).

3. Расширение внедрения техники, отвечающей рекомендуемым требованиям (2016-2020 гг.).

Но жизнь распорядилась по-своему. Доля импорта и экспорта резко изменилась в 2022 г (табл. 3). Введение санкций со стороны недружественных стран привело к удорожанию работ по техническому обслуживанию и ремонту техники (учитывая, что численность стреловых самоходных кранов грузоподъемностью свыше 50 т составляет 98% от их общей численности, занятых на производстве) [5].

**Таблица 3.** Рынок кранов в России в 2007-2022 гг. [6]

|                |                   | 2007         | 2008         | 2009         | 2010         | 2011         | 2012         | 2022         |
|----------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Автокраны      | Производство, шт. | 6 862        | 6 362        | 1 363        | 2 912        | 4 085        | 4 741        | 4 986        |
|                | Импорт            | 1 203        | 1 219        | 141          | 210          | 542          | 901          | 95           |
|                | Экспорт           | 896          | 573          | 554          | 342          | 183          | 190          | -            |
|                | Доля импорта, %   | 15%          | 16%          | 9%           | 7%           | 12%          | 16%          |              |
|                | <b>Баланс</b>     | <b>8 064</b> | <b>7 580</b> | <b>1 503</b> | <b>3 121</b> | <b>4 626</b> | <b>5 641</b> | <b>5 081</b> |
| Краны башенные | Производство, шт. | 546          | 487          | 58           | 62           | 93           | 149          | 180          |
|                | Импорт            | 814          | 975          | 62           | 106          | 360          | 531          | 35           |
|                | Экспорт           | 90           | 55           | 36           | 36           | 15           | 15           | -            |
|                | Доля импорта, %   | 64%          | 69%          | 74%          | 80%          | 82%          | 80%          |              |
|                | <b>Баланс</b>     | <b>1 270</b> | <b>1 407</b> | <b>84</b>    | <b>132</b>   | <b>438</b>   | <b>665</b>   | <b>215</b>   |

Решение поставленных задач возможно только в условиях конкурентоспособности предприятий, т.е. выпуска продаваемой продукции для удовлетворения комплекса внутренних потребностей исполнителей, участвующих во всех этапах полного жизненного цикла продукции дальнейшего развития возможностей предприятия, направленных на удержание лидерства в производстве конкретной продукции.

## **О необходимости возрождения конструкторской школы**

Для конкурентных преимуществ требуется формирование на предприятии специальных служб, которые будут разрабатывать свои ноу-хау и адаптировать ноу-хау конкурентов для своей продукции. То есть, любому предприятию для производства конкурентоспособной продукции, необходимо создавать эффективные подразделения, которые будут качественно выполнять работы на всех этапах жизненного цикла продукции:

- 1) маркетинг и изучение рынка;
- 2) проектирование и разработка технических требований, разработка машины (НИОКР);
- 3) материально-техническое снабжение (МТС);
- 4) технологическая подготовка производства (ТПП) – подготовка и разработка производственных процессов (технологий производства, эксплуатации, ремонта и утилизации);
- 5) конструирование и производство машины;
- 6) контроль, проведение испытаний;
- 7) упаковка и хранение;
- 8) реализация машин (сбыт);
- 9) монтаж и эксплуатация;
- 10) техническая помощь и обслуживание;
- 11) переработка (утилизация) в конце полезного срока службы.

Для реализации поставленной цели необходима подготовка высококвалифицированных кадров в достаточном количестве. Естественно, что подготовить специалистов, обладающих всеми этими знаниями одновременно невозможно. Предлагается вести подготовку специалистов в области конструирования машин по следующим направлениям:

1. Анализ потребительского рынка на продукцию.
2. Конструирование и испытания техники.
3. Эксплуатация машин.
4. Утилизация техники.

Например, при производстве подъемно-транспортной, строительно-дорожной и прочей мобильной техники, гарантийное обслуживание требует от производителя развития, кроме всего прочего, сложной инфраструктуры, обеспечивающей грамотное проведение технической эксплуатации. Так, если затраты на производство условной машины принять за единицу, то затраты производителя на остальных этапах жизненного цикла составят примерно 4...6 единиц стоимости производства (для справки).

К сожалению, большинство российских предприятий, выпускающих сложную технику, не смогло при переходе на рыночные отношения наладить качественное выполнение работ.

СССР создал оригинальную структуру формирования конкурентоспособности, которую не смогла пока создать ни одна страна в мире. Была сформирована тотальная система жизнеобеспечения, основанная на государственной собственности.

При этой системе все виды работ, кроме использования продукции по назначению, проводили госструктуры, работу которых оплачивало государство. Владелец платил только за производство машин. Цена любой техники (продукции), определялась только по себестоимости её изготовления на машиностроительном предприятии. Расходы на проектирование и др. этапы жизненного цикла оплачивало государство. «Дешёвые» машины реализовывались (т.е. были конкурентоспособны) не только на внутреннем, но и на внешнем рынках, обеспечивая все жизненные циклы продукции.

Закрытие предприятий в период рыночной экономики привело к тому, что особенно пострадали промышленные предприятия, выпускающие сложную технику, которую нужно было не только проектировать и производить, но и реализовывать и, что самое неприятное для новоиспечённых предприятий, развивать собственную сервисную базу, которую необходимо было обеспечить ремонтным оборудованием и технологиями, а также квалифицированным персоналом, способным проводить обслуживание и ремонт техники. Отраслевые технологические институты, которые раньше решали эти вопросы практически «вымерли», потеряв кадровый потенциал (который раньше проектировал, обслуживал и ремонтировал машины, разрабатывал новые технологии и пр.).

Тенденции развития подъемно-транспортного машиностроения известны всем: создание качественно новых видов подъемно-транспортных машин и механизмов, а также широкая модернизация существующих машин и установок для обеспечения механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ во всех областях транспортного строительства.

Огромную роль здесь играет выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). А это требует подготовки специалистов-конструкторов, которые должны уметь обеспечивать все этапы конструирования машин, которые отвечали бы:

- условиям конструктивной преемственности;
- прочности и надежности;
- эргономичности;
- условиям дизайна.

Выпускаемые изделия должны быть продаваемы, а это требует подготовки специалистов, владеющими вышеуказанными компетенциями.

Эта задача сопряжена с отдельным риском – кадровым, связанным с несоответствием квалификации персонала потребностям, необходимым для реализации мероприятий, а также физическим отсутствия квалифицированных специалистов на предприятиях отрасли. Нехватку инженерных кадров могут восполнить выпускники по специальности «Грузоподъемные средства».

Сокращение численности приема на эту специальность, и соответственно выпуска, с одной стороны, грамотно обосновано и связано с сокращением производства кранов (табл. 1, 2 и рис. 1).

Удалось определить динамику набора специалистов по направлению «Грузоподъемные средства» в отдельных вузах РФ (табл. 4).

**Таблица 4.** Динамика набора специалистов по направлению «Грузоподъемные средства» в отдельных ВУЗах РФ

| № | Учебное заведение | Годы      |           |
|---|-------------------|-----------|-----------|
|   |                   | 1970-1987 | 2022-2024 |
| 1 | МАДИ (Москва)     | 250       | 25        |
| 2 | ТулГУ (Тула)      | 125       | 25        |
| 3 | НИИ (Норильск)    | 100       | 15        |
| 4 | РУТ (Москва)      | 125       | 25        |
| 5 | МГТУ им. Баумана  | 100       | 45        |
| 6 | ТГТУ              | 100       | 20        |

В настоящее время ведется подготовка специалистов по направлению эксплуатации. Полностью исключены группы, ведущие подготовку конструкторов. Для подготовки грамотных конструкторов для освоения всех компетенций необходимо более длительное обучение (6 лет).

По прогнозам Института статистических исследований и экономики знаний НИУ «Высшая школа экономики» закрытие конструкторского дефицита можно ожидать только в среднесрочной перспективе.

Проведенный экспресс анализ по результатам опроса руководителей 12 предприятий, связанных не с производством, а обслуживанием кранов, было выявлено, что там работают

люди, занимающиеся покупкой, в основном, зарубежных кранов в количестве до 10 ед. с последующей сдачей их в аренду. Причем число инженерно-технических работников, имеющих специальное базовое образование в области подъемно-транспортного оборудования, колеблется от 0 до 20 % (максимум), куда были отнесены специалисты по профилю «Строительные и дорожные машины». Заметим, что сама по себе аренда сторонними организациями исключает бережное отношение к арендуемой технике, что сказывается на ее эксплуатационных показателях.

Для обоснования необходимости популяризации подготовки инженеров-конструкторов, приведем следующую статистику.

Образование в современном мире, особенно в России, играет ключевую роль и оказывает большое влияние на экономику в целом. В работе [7], отмечено, что численность рабочей силы (76000 тыс. чел) и лиц, имеющих высшее образование (24000 тыс. чел) за период с 2015 по 2023 годы, не претерпели существенных изменений и составляют около 32 %.

В табл. 5 приведен индекс численности обучающихся на 1000 занятых в Российской Федерации.

**Таблица 5.** Индекс численности обучающихся на 1000 занятых в Российской Федерации

| Регион  | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   | 2023   | 2022-2023/<br>2015-2016,<br>пп. |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------------------------|
| <b>Занятые на производстве в возрасте 15 лет и старше с высшим образованием</b> |        |        |        |        |        |        |        |        |                                 |
| РФ  | 23867  | 24252  | 24732  | 24819  | 24632  | 25023  | 24917  | 25046  | 104,9                           |
| Москва  | 3318   | 3447   | 3484   | 3566   | 3636   | 3979   | 3707   | 3900   | 117,5                           |
| Санкт-Петербург   | 1238,0 | 1257,0 | 1286,0 | 1313,0 | 1265,0 | 1338,0 | 1334,0 | 1360,0 | 109,9                           |
| Новосибирская обл.  | 451    | 421    | 484    | 464    | 453    | 415    | 456    | 423    | 93,8                            |
| Ростовская обл.   | 618,0  | 584,0  | 605,0  | 617,0  | 622,0  | 754,0  | 675,0  | 710,0  | 114,9                           |
| Республика Татарстан  | 667    | 674    | 693    | 694    | 705    | 703    | 714    | 726    | 108,8                           |
| Приморский край   | 312    | 316    | 329    | 326    | 277    | 295    | 288    | 285    | 91,3                            |
| <b>Индекс численности обучающихся на 1000 занятых с высшим образованием</b>     |        |        |        |        |        |        |        |        |                                 |
| РФ  | 199,7  | 181,4  | 171,7  | 167,7  | 165,2  | 161,8  | 162,3  | 164,9  | 82,6                            |
| Москва  | 229,0  | 213,6  | 205,3  | 198,0  | 192,5  | 181,6  | 204,8  | 209,1  | 91,3                            |
| Санкт-Петербург   | 245,0  | 233,4  | 228,3  | 225,7  | 239,2  | 232,1  | 236,7  | 237,8  | 97,1                            |
| Новосибирская обл.  | 244,6  | 250,8  | 208,5  | 208,4  | 212,6  | 235,2  | 211,6  | 232,4  | 95,0                            |
| Ростовская обл.   | 241,4  | 237,3  | 222,3  | 221,1  | 214,1  | 175,5  | 192,3  | 183,8  | 76,1                            |
| Республика Татарстан  | 244,7  | 227,0  | 216,3  | 211,7  | 204,1  | 202,0  | 198,0  | 198,2  | 81,0                            |
| Приморский край   | 173,7  | 162,7  | 148,0  | 146,0  | 163,2  | 146,4  | 146,2  | 150,2  | 86,4                            |
| Составлено автором на основе [8]  |        |        |        |        |        |        |        |        |                                 |

## **Заключение**

Для удовлетворения возрастающих потребностей в кадрах высокой квалификации, система образования должна учитывать критерии подготовки востребованных сегодня специалистов соответствующего уровня. С одной стороны, современные выпускники вузов имеют завышенные ожидания при устройстве на работу. А с другой стороны, работодатели имеют ряд других проблем: они не могут найти квалифицированных специалистов с высшим образованием для своих предприятий [7].

Прохождение практики на профильном предприятии во время обучения в университете, должно стать неотъемлемой частью подготовки специалиста с высшим образованием. Данные мероприятия должны способствовать максимальной готовности молодежи к началу трудовой деятельности.

В 2024 году строительная отрасль России сталкивается с серьёзными кадровыми проблемами, что существенно осложняет выполнение намеченных государственных и частных проектов. По прогнозам, дефицит квалифицированных кадров может достигнуть 15% от потребности.

Дефицит кадров с конструкторским образованием начал набирать обороты ещё в 2020 году и продолжает нарастать. Например, в области развития кранов в России [8].

К основным причинам кадрового дефицита относятся:

- рост объемов строительства;
  - призыв работников на военную службу. Примерно 5...7% строительных специалистов были мобилизованы в 2022...2023 годах;
  - низкие заработные платы (на 10% ниже, чем в других отраслях народного хозяйства).
- Для преодоления кадрового кризиса в отрасли в 2024 году эксперты предлагают следующие решения:
- повышение заработных плат и социальных гарантий, который является основным инструментом борьбы за кадры (Российская газета);
  - развитие профессионального образования;
  - государственные меры поддержки;
  - организация мероприятий для популяризации профессий в отрасли среди школьников и студентов;
  - внедрение льгот для сотрудников отрасли по аналогии с ИТ-сектором.

### Прогнозы на будущее.

Основным вызовом для отрасли будет удержание сотрудников и привлечение новых специалистов, имеющих конструкторскую подготовку в условиях высокой конкуренции с другими секторами экономики.

Государственные меры поддержки и улучшение условий труда смогут частично смягчить этот кризис, но для полного его решения потребуется комплексный подход.

Кадровый дефицит – серьёзный вызов для отрасли в 2024 году. Для успешного выполнения проектов необходимы не только повышение зарплат и улучшение условий труда, но и модернизация системы профессионального образования.

Государственные меры поддержки и активная работа самих компаний по подготовке кадров могут помочь справиться с проблемой, но для этого потребуется время и значительные усилия.

### Предложения.

Увеличение числа бюджетных мест по направлениям подготовки специалистов, магистров аспирантов.

Введение дополнительной аттестации (кроме ЕГЭ) при зачислении абитуриентов по профилирующим дисциплинам.

Увеличение учебного времени на подготовку специалистов по специальным дисциплинам.

Популяризация специальности в средствах массовой информации.

Создание лабораторных баз и испытательных полигонов для вновь создаваемых видов техники.

---

### **Список литературы**

1. Последние автокраны СССР / Строительная техника и транспорт. 12 февраля 2024 г. URL: [https://dzen.ru/a/Z6xH4c\\*fIERNJXlw](https://dzen.ru/a/Z6xH4c*fIERNJXlw) [Электронный ресурс]
  2. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 г. N 1662-р «О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» (вместе с «Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года»).
  3. «Концепция развития государственной финансовой (гарантийной) поддержки экспорта промышленной продукции в Российской Федерации». Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 14 октября 2003 г. N 1493-р
  4. Оценка СРО НП «Производители строительно-дорожной, коммунальной и наземной аэродромной техники» // Научный форум. Технические и физико-математические науки. 2024.
  5. Сладкова Л. А., Фокин Ф.В. Анализ рынка зарубежной строительной и дорожной техники в современном производстве Научный форум. Технические и физико-математические науки. 2024. С. 16-27.
  6. Global reach consultingftc, Росстат, Минэкономразвития. – РФ, Global Reach Consulting (GRC). URL: <https://marketing.rbc.ru/author/99/> [Электронный ресурс]
  7. Рыбакова И. С. Динамика занятости молодежи с высшим образованием в России / И. С. Рыбакова // Экономика труда. – 2024. – Т. 11, № 11. – С. 1861-1880. – DOI 10.18334/et.11.11.121925.
  8. Рабочая сила, занятость и безработица в России (по результатам выборочных обследований рабочей силы). - М.: Росстат, 2022. – 151 с.
- 

### **АВТОР**

**Сладкова Любовь Александровна**, профессор Российского университета транспорта, доктор технических наук, профессор, [rich.cat2012@yandex.ru](mailto:rich.cat2012@yandex.ru).

---

# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal*  
*International Public Organization*  
*"Integration strategy"*  
<http://maplants-journal.ru>

*Link to the article:*  
//Machines and Plants:Design and Exploiting.  
2025. № 1. pp. 9 – 19.

DOI:

Received: 17.04.2025  
Accepted for publication: 21.04.2025

© International Public Organization "Integration strategy"

## A new look at the training of engineering personnel in the field of lifting and transport engineering

Lyubov A. Sladkova

[rich.cat2012@yandex.ru](mailto:rich.cat2012@yandex.ru)

Russian University of Transport, Moscow,  
Russian Federation

The issue of reviving the school of design of lifting equipment is being resolved, the main trends in the development of which are:

- creation of qualitatively new types of lifting and transport machines and mechanisms, as well as extensive modernization of existing machines and installations to ensure mechanization and automation of loading and unloading, transport and storage operations in all areas of transport construction;
- increase in the carrying capacity and reliability of machines with a simultaneous significant reduction in their metal intensity due to the use of new kinematic schemes, more advanced calculation methods, the use of rational lightweight profiles of rolled products, new materials (alloy steels, light alloys and plastics), as well as advanced engineering technology (new methods of heat treatment, application of strengthening coatings, etc.);
- increase in the productivity of equipment due to the use of wide regulation of the speed of mechanisms, automatic, semi-automatic and remote-control using microprocessor and computer technology, both for controlling the operation of machines and for calculations and design;
- creation of special gripping and other lifting units, as well as ensuring comfortable working conditions for the crane operator.

To ensure these indicators, it is necessary to train specialists in the field of designing competitive lifting machines.

**Keywords:** substantiation, analysis, trends, training of engineering personnel, design, lifting and transport engineering.

## References

1. The last cranes of the USSR / Construction machinery and transport. February 12, 2024  
URL: [https://dzen.ru/a//Z6xH4c\\*fIERNJXlw](https://dzen.ru/a//Z6xH4c*fIERNJXlw) [Electronic resource]
2. Decree of the Government of the Russian Federation No. 1662-r dated 17.11.2008 "On the Concept of Long-term Socio-economic Development of the Russian Federation for the period up to 2020" (together with the "Concept of Long-term Socio-economic development of the Russian Federation for the period up to 2020").
3. "The concept of development of state financial (guarantee) support for the export of industrial products in the Russian Federation." Approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 1493-r of October 14, 2003

4. Evaluation of the SRO NP "Manufacturers of road construction, municipal and ground-based airfield equipment" // Scientific Forum. Technical and physico-mathematical sciences. 2024.
  5. Sladkova L. A., Fokin F.V. Market analysis of foreign construction and road equipment in modern production Scientific Forum. Technical and physico-mathematical sciences. 2024. pp. 16-27.
  6. Global reach consultingfts, Rosstat, Ministry of Economic Development. – Russian Federation, Global Reach Consulting (GRC). URL: <https://marketing.rbc.ru/author/99> / [Electronic resource]
  7. Rybakova I. S. Dynamics of youth employment with higher education in Russia / I. S. Rybakova // Labor economics. – 2024. – Vol. 11, No. 11. – pp. 1861-1880. – DOI 10.18334/et.11.11.121925.
  8. Labor force, employment and unemployment in Russia (based on the results of sample surveys of the labor force). Moscow: Rosstat, 2022. 151 p.
- 

#### AUTHOR

**Lyubov A. Sladkova**, Professor of the Russian University of Transport, Doctor of Technical Sciences, Professor, [rich.cat2012@yandex.ru](mailto:rich.cat2012@yandex.ru)

# **Машины и Установки**

## **проектирование, разработка и эксплуатация**

*Сетевое издание*  
**МОО "Стратегия объединения"**  
<http://maplants-journal.ru>

*Ссылка на статью:*  
//Машины и установки: проектирование,  
разработка и эксплуатация.  
Электрон. журн. 2025. № 1. С. 20 – 30

*DOI:*

Представлена в редакцию: 13.04.2025

Принята к публикации: 15.04.2025

© МОО «Стратегия объединения»

**УДК 378**

## **Результаты конкурса выпускных квалификационных работ специалистов по направлению 23.05.01 в 2024 году**

**Иванов С. Д.,  
Медведева Ю. Н.\***

**\*[uly8686@mail.ru](mailto:uly8686@mail.ru)  
МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)**

---

В 2024 году кафедра «Подъемно-транспортные системы» достигла значимого рубежа — столетия со дня основания. Этот юбилей стал поводом не только для подведения итогов, но и для демонстрации достижений в области подготовки специалистов. За прошедшие десятилетия кафедра сформировала уникальную образовательную среду, где сочетаются преемственность традиций и внедрение современных подходов к обучению.

---

**Ключевые слова:** кафедра РК4 «Подъемно-транспортные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, промышленная безопасность.

---

В 2024 году кафедра "Подъемно-транспортные системы" отметила свое 100-летие — значимое событие, которое подчеркивает богатую историю и традиции подготовки высококвалифицированных специалистов в области подъемно-транспортных систем. За вековую историю своего существования кафедра зарекомендовала себя как один из ведущих образовательных центров, обеспечивая студентов не только фундаментальными знаниями, но и практическими навыками, необходимыми для успешной профессиональной деятельности.

Кафедра гордится своей способностью сохранять традиции, которые были заложены ее основателями, и одновременно активно развивать новые подходы к обучению. Под руководством опытных преподавателей, многие из которых посвятили свою работе не один десяток лет, студенты получают всестороннее развитие, что позволяет им уверенно входить в мир профессиональной деятельности. Эти замечательные педагоги не только передают свои знания, но и вдохновляют молодое поколение на достижения.

Юбилейный выпуск кафедры стал знаковым событием, на котором 4 выпускника были удостоены красных дипломов. Это свидетельствует о высоком уровне подготовки и стремлении студентов к знаниям. В 2024 году в пятый раз были подведены итоги конкурса выпускных квалификационных работ (ВКР) специалистов, который традиционно проводится

на кафедре, в части определения лучших работ и вручения почетных дипломов отличившимся выпускникам. В конкурсе участвуют все выпускные квалификационные работы, и в этом году было представлено 32 работы. Жюри конкурса составили все члены государственно аттестационной комиссии. Среди них - преподаватели кафедры и представители промышленных предприятий под председательством Кознякова И.П. главного инженера-конструктора ООО «РусАтомЭкспертиза». Комиссия оценила практическую направленность дипломных проектов и их актуальность. Победители кафедрального конкурса были определены голосованием жюри. Ими стали: Агейчева Мария Михайловна – первое место, Йылмаз Михаил Юминович, Лизунов Александр Сергеевич – вторые места, Александров Роман Сергеевич – третье место (рис. 1, 2). Отдельно была отмечена работа Кваши Андрея Андреевича, имеющая обширную экспериментальную базу и представляющую интерес для дальнейших исследований.



**Рис. 1.** Дипломы победителей кафедрального конкурса ВКР.



**Рис. 2.** Фото выпускников (первые четверо победители конкурса (слева направо): Лизунов Александр Сергеевич, Агейчева Мария Михайловна, Йылмаз Михаил Юминович, Александров Роман Сергеевич)

Традиционно конкурс ВКР на кафедре является первым (отборочным) туром Всероссийского смотра-конкурса выпускных квалификационных работ (дипломных проектов) по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» (специализация - подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование). Второй (заключительный) тур проводится Федеральным учебно-методическим объединением в системе высшего образования по укрупненной группе

специальностей и направлений подготовки 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта». В 2024 году второй тур конкурса в 13-й раз проходил в Белгородском государственном технологическом университете им. В. Г. Шухова (г. Белгород). Жюри конкурса состояло из выдающихся деятелей науки, среди которых заслуженные профессора, доктора наук и заведующие кафедрами, ведущих вузов России под председательством Зорина В.А., заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин», ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет». Жюри допустило к участию 72 выпускные квалификационные работы из 13 кафедр, занимающихся подъемно-транспортными системами и строительно-дорожными машинами. Наши выпускники завоевали призовые места в различных номинациях (рис.3):

«Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных и коммунальных машин» – Лизунов А.С., I место;

«Проектирование учебного, научного оборудования и лабораторных стендов» – Йылмаз М.Ю., I место;

«Обеспечение безопасности человека и природы» – Агейчева М.М., I место;

«Моделирование технических систем ПТСДМ» – Кваша А.А., II место.



**Рис. 3.** Дипломы победителей второго тура всероссийского смотр-конкурса выпускных квалификационных работ

Все дипломные проекты, представленные на всероссийском смотр-конкурсе, выполнены на высоком уровне, отличаются актуальностью и оригинальностью тематики. Ниже представлены краткие сведения о работах, удостоенных особого внимания комиссии.

В дипломном проекте **Агейчевой М.М.** (руководитель – к.т.н., доцент Иванов С.Д.) «Обеспечение безопасности использования козлового контейнерного крана на основе оценки выработки ресурса» предоставлен обоснованный подход и проработаны конкретные решения по разработке методики расчета интенсивности работы контейнерного крана в условиях переменного грузопотока. Предложенная автором методика, основанная на принципах подготовки и проверки данных классических регистраторов работы, позволяет значительно повысить точность оценки выработки ресурса таких кранов (рис. 4).

На практике это означает повышение уровня безопасности кранов, оснащенных лишь регистраторами параметров, до уровня систем дистанционного мониторинга. ПАО «ТрансКонтейнер» планирует внедрить результаты работы М.М. Агейчевой в процесс информационного обеспечения эксплуатации грузоподъемных контейнерных кранов, использующихся в их эксплуатации. По теме дипломного проекта имеются публикации [1-6].

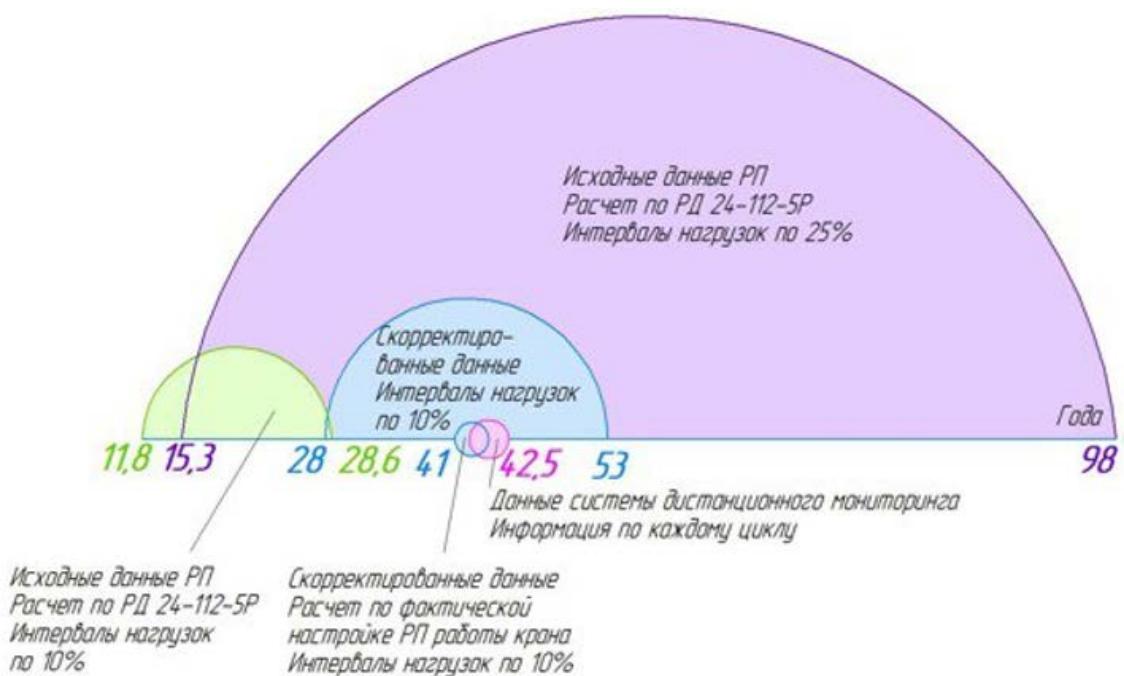


Рис. 4. Остаточный ресурс крана

В дипломном проекте **Александрова Р.С.** (руководитель – к.т.н., доцент Ромашко А.М.) «Разработка испытательного комплекса для фрикционных узлов подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин» разработаны алгоритмы и принципиальная схема системы управления триботехническим комплексом (рис. 5). Расчетным путем подтверждена экономическая эффективность выполненной разработки, обеспеченная возможностью испытания одновременно двух тормозов.

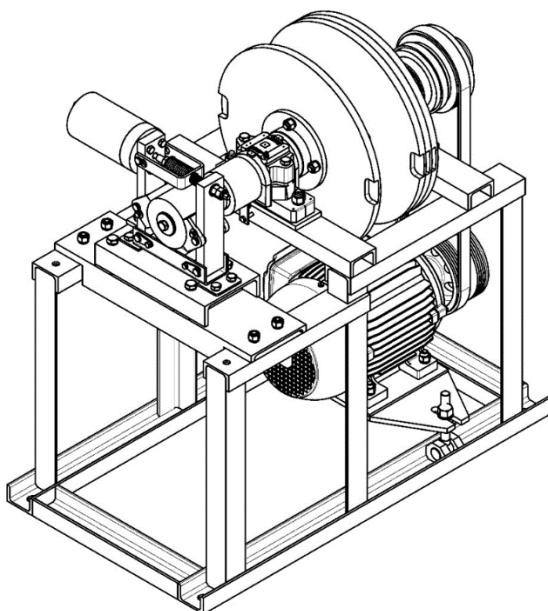


Рис. 5. Испытательный стенд

Сформированы требования к обеспечению безопасности при эксплуатации испытательного комплекса, выполнен расчет защитного заземления и предложены наиболее эффективные способы утилизации использованных фрикционных материалов после испытаний.

В дипломном проекте **Йылмаза М.Ю.** (руководитель – к.т.н., доцент Иванов С.Д.) «Оборудование лабораторного крана системой получения и обработки информации о характере его работы» спроектировано лабораторное оборудование на основе перспективной системы безопасности кранов мостового типа, опытный образец которой изготовлен ООО «ИТК «КРОС». Таким образом, в учебный и исследовательский процесс кафедры внедряется наиболее современное и перспективное оборудование, отвечающее передовому научно-техническому уровню (рис. 6).

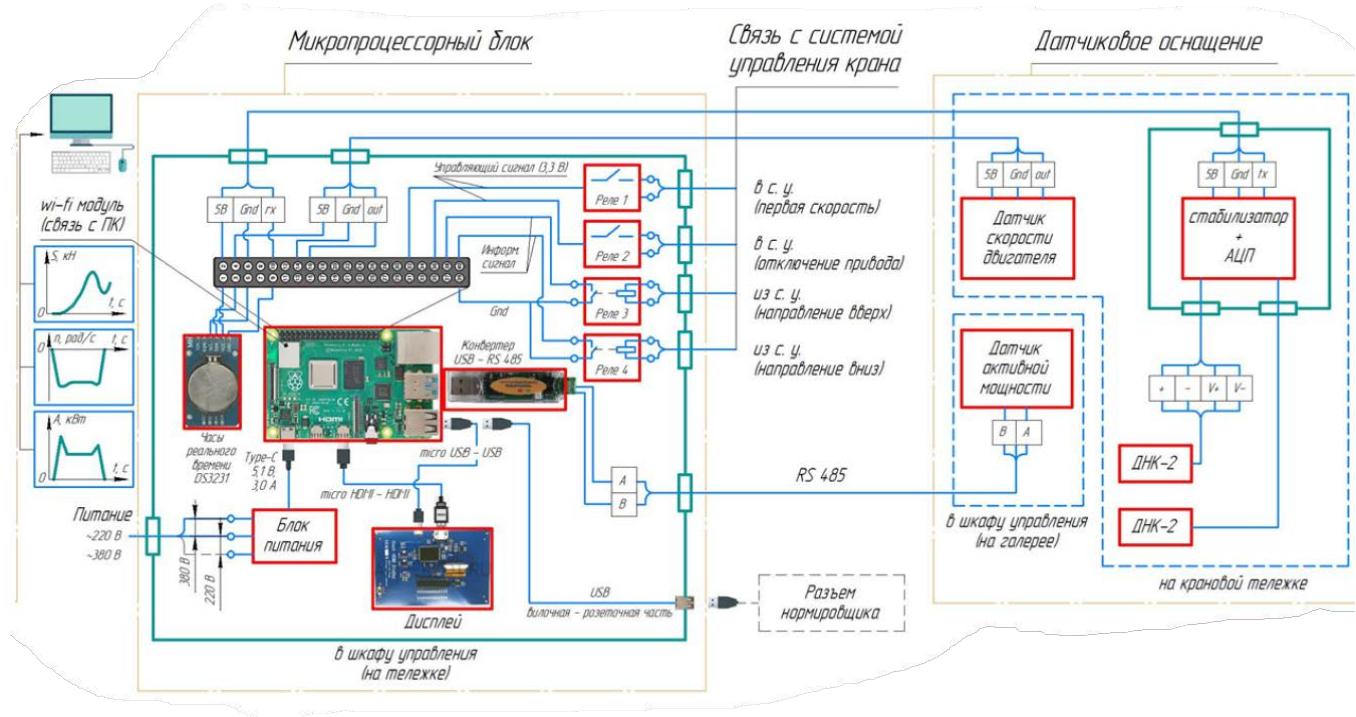


Рис. 6. Структурная схема прибора безопасности нового поколения

Применение разработанного оборудования в учебном процессе позволит знакомить студентов с наиболее современными образцами приборов безопасности, что обеспечит подготовку современных инженеров-разработчиков грузоподъемной техники. Так же разработанный стенд представляет большой интерес для совершенствования конструкции и повышения эффективности самих систем безопасности. По теме дипломного проекта имеются публикации [7-10].

В дипломном проекте **Кваси А.А.** (руководитель – к.т.н., доцент Ромашко А.М.) «Пневмопривод для транспортно-технологических средств, работающих в специальных условиях» разработан оригинальный пневмопривод для малогабаритных транспортно-технологических средств (рис. 7). Представлены результаты компьютерного моделирования потоков в разработанном автором пневмодвигателе (турбине), результаты расчета методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния корпуса двигателя, чертежи пневмодвигателя (в том числе 3D-модели), технология его изготовления. Проведены испытания модели транспортного средства и представлены их результаты. По теме дипломного проекта имеются публикации [11].

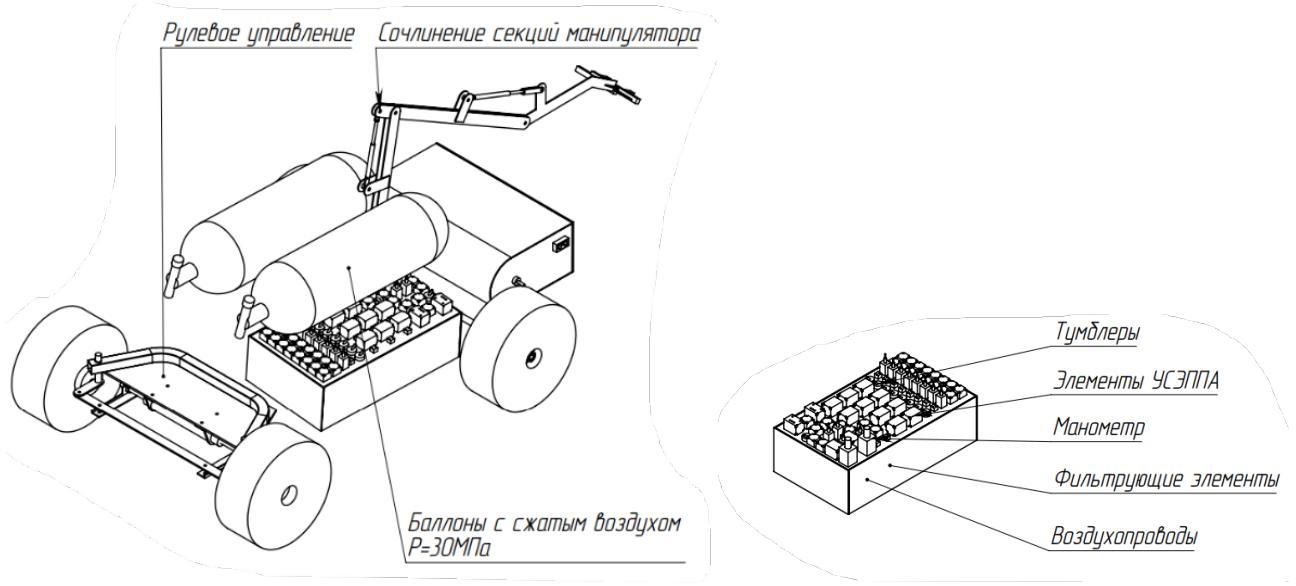


Рис. 7. Транспортно-технологическое средство

В дипломном проекте **Лизунова А.С.** (руководитель – к.т.н., доцент Иванов С.Д.) «Модель для расчета параметров интенсивности эксплуатации козлового контейнерного крана на контейнерном терминале» разработана математическая модель работы козлового крана на контейнерном терминале, выполнена оценка точности расчетных параметров на основе реальных данных, разработана методика оценки эффективности использования возможностей контейнерного терминала и эксплуатируемой техники (рис. 8). Отдельно стоит отметить предложенный автором подход, нацеленный не только на повышение грузооборота терминала, но и учитывающий требования безопасной эксплуатации используемых кранов. ПАО «ТрансКонтейнер» заинтересовано в развитии данной работы и внедрении ее результатов. По теме дипломного проекта имеются публикации [12-15].

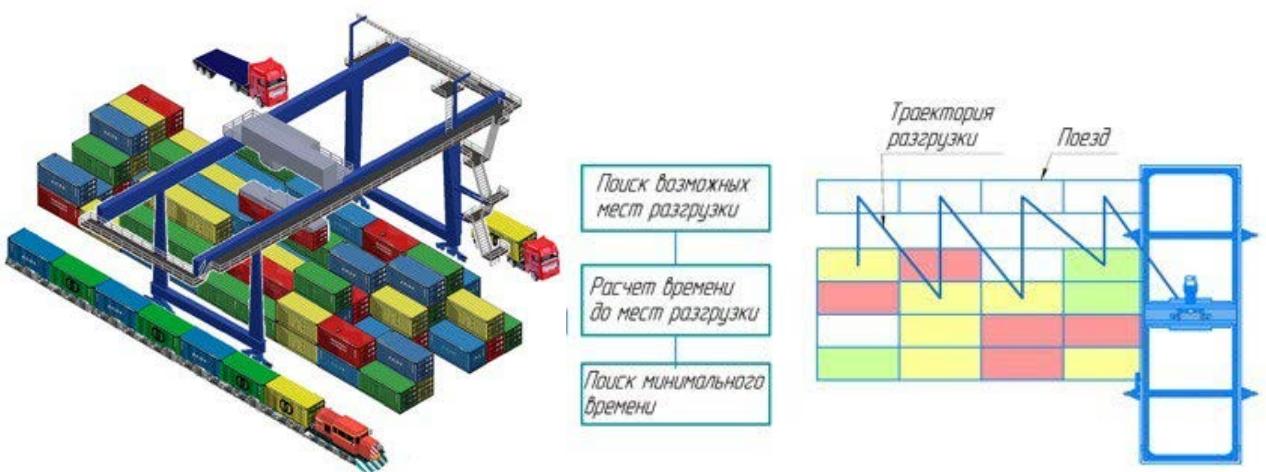


Рис. 8. Алгоритм работы контейнерного терминала

Большинство из упомянутых выпускников активно участвовали в научно-исследовательской деятельности кафедры, в последние годы принимали участие в ежегодной Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые

машины и робототехнические комплексы». Агейчева М.М. была удостоена стипендии ученого совета МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2023-2024 учебном году.

Подготовка высококвалифицированных, ответственных и творческих специалистов является ключевой задачей университетского образования. Формирование этих качеств у студентов возможно только при наличии высокого профессионализма преподавателей, осознания ими важности своей работы и воспитания аналогичного отношения к будущей профессии у студентов. Кафедра сталкивается с серьезной задачей обеспечения устойчивого и стабильного развития коллектива в предстоящие годы, который создает новые знания и передает их студентам следующих поколений.

---

## Список литературы

1. Агейчева М.М., Иванов С.Д. Оценка интенсивности работы контейнерного крана на основе обработки информации системы дистанционного мониторинга / Сборник материалов семьдесят шестой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. – Ярославль. – 2023. – С.417 – 420.
  2. Агейчева М.М., Иванов С.Д. Повышение точности расчета остаточного ресурса контейнерного крана на основе подготовки исходных данных / Сборник материалов семьдесят седьмой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. – Ярославль. – 2024. – С.560 – 563.
  3. Агейчева М.М., Иванова Н.Ю. Повышение точности информационных данных в контроллинге производства на примере транспортно-логистических процессов / Сборник научных трудов X международной конференции по контроллингу: контроллинг в экономике, организации производства и управлении. Москва, 17 ноября 2023 г. НП «Объединение контроллеров», 2023 г. с. 97 – 104. <http://controlling.ru/files/202.pdf>
  4. Агейчева М.М., Иванов С.Д. Учет реальных условий работы крана при расчете остаточного ресурса по данным регистратора параметров / Научное сообщество студентов XXI столетия. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: сборник статей по материалам СXXXI международной студенческой научно-практической конференции № 11(129).– Новосибирск. –2023г. -с. 85-93 [https://sibac.info/archive/technic/11\(129\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/11(129).pdf)
  5. Агейчева М.М., Иванов С.Д. Оценка остаточного ресурса козлового контейнерного крана на основе качественной подготовки исходных данных о его фактических условиях работы / Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы: сборник докладов XXVIII-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (Молодой инженер) / МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2024 г.
  6. Потапов В.А., Рошин В.А., Агейчева М.М. Расшифровка исходных данных регистратора параметров работы грузоподъемного крана для уменьшения аварийности и травматизма при работе грузоподъемных машин // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. Электрон. журн. 2024. N 1. С. 14 – 25. <https://www.maplants-journal.ru/jour/article/view/120>
  7. Yilmaz, M. Yu. Experimental assessment of the use of an encoder of various resolutions to obtain information about transient processes in a crane electric drive / M. Yu. Yilmaz, S. D. Ivanov // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration : Proceedings of the International Conference, Beijing, 17 января 2024 года. – Beijing: ООО "Инфинити", 2024. – Р. 143-147. – DOI 10.34660/INF.2024.11.22.136. – EDN QGHMZI
-

8. Йылмаз М.М., Иванов С.Д. Анализ влияния разрешающей способности датчика скорости на погрешность определения скорости электродвигателя в крановом электроприводе механизма подъема/ Подъемно–транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы: сборник докладов XXVIII-ой Московской международной межвузовской научно–технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (Молодой инженер) / МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2024 г.

9. Йылмаз М.Ю., Иванов С.Д. Экспериментальное исследование погрешности определения скорости электродвигателя от разрешающей способности энкодера / Сборник материалов семьдесят седьмой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. – Ярославль. – 2024. – С.594 – 598.

10. Configuring the algorithm of the load limiter with intermediate threshold Aleksandr Nazarov, Sergey Ivanov and Mikhail Yilmaz, E3S Web Conf., 515 (2024) 02015 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451502015>.

11. Кваша А.А., Артамонов А.Е. Моделирование микротурбины для струйно-мембранный системы управления колесным транспортным средством / Труды 19-ой Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами» (УБС'2023, Воронеж). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский государственный технический университет, 2023. С. 295-301.

12. Лизунов А. С., Иванов С.Д. Разработка имитационной модели размещения контейнеров на складе/ Сборник материалов семьдесят шестой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. – Ярославль. – 2023. – С.417 – 420.

13. Лизунов А. С., Иванов С.Д. Валидация и верификация имитационной модели работы козлового контейнерного крана на терминале/ Сборник материалов семьдесят седьмой всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием. – Ярославль. – 2024. – С.560 – 563.

14. Лизунов А. С., Иванов С.Д. Оценка работоспособности имитационной модели контейнерного терминала/ Подъемно–транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы: сборник докладов XXVIII-ой Московской международной межвузовской научно–технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (Молодой инженер) / МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2024 г.

15. Потапов В.А., Рошин В.А., Лизунов А. С. Разработка имитационной модели для поддержки его безопасной эксплуатации // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. Электрон. журн. 2024. N 1. С. 14 – 25. <https://www.maplants-journal.ru/jour/article/view/120>.

---

## АВТОРЫ

**Иванов Сергей Дмитриевич**, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), кандидат технических наук, доцент, [ptm-diagnostika@yandex.ru](mailto:ptm-diagnostika@yandex.ru) .

**Медведева Юлия Николаевна**, старший преподаватель кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, 105005, Россия, [uly8686@mail.ru](mailto:uly8686@mail.ru) .

---

# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal  
International Public Organization  
“Integration strategy”  
<http://maplants-journal.ru>*

*Link to the article:  
//Machines and Plants:Design and Exploiting.  
2025. № 1. pp. 20 – 30.*

DOI:

Received: 13.04.2025

Accepted for publication: 15.04.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

## The results of the competition of final qualification works of specialists in the field of 05/23/2011 in 2024

Sergey D. Ivanov,  
Yulia N. Medvedeva \*

\*[uly8686@mail.ru](mailto:uly8686@mail.ru)

Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

---

In 2024 the department of “Lifting and Transportation Systems” reached a significant milestone - the centenary of its foundation. This anniversary has become an occasion not only to summarize the results, but also to demonstrate the achievements in the field of training specialists. Over the past decades, the department has formed a unique educational environment, which combines the continuity of traditions and the introduction of modern approaches to learning.

---

**Keywords:** Department RK4 “Lifting and Transportation Systems”, Bauman Moscow State Technical University, industrial safety.

---

### References

1. Akeycheva M.M., Ivanov S.D. Estimation of container crane work intensity on the basis of remote monitoring system information processing / Collection of materials of the seventy-sixth All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates with international participation. - Yaroslavl. - 2023. - C.417 - 420.
2. Akeycheva, M.M.; Ivanov, S.D. Increase of accuracy of calculation of residual resource of the container crane on the basis of preparation of initial data / Collection of materials of the seventy-seventh All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates with international participation. - Yaroslavl. - 2024. - C.560 - 563.
3. Akeycheva M.M., Ivanova N.Y. Increasing the accuracy of information data in production controlling on the example of transport and logistics processes / Collection of scientific papers of the X international conference on controlling: controlling in economics, production organization and management. Moscow, November 17, 2023 NP “Association of Controllers”, 2023, p. 97 - 104. <http://controlling.ru/files/202.pdf> <http://controlling.ru/files/202.pdf>.
4. Akeycheva, M.M.; Ivanov, S.D. Accounting of the real conditions of the crane operation at calculation of the residual resource according to the data of the parameter recorder / Scientific community of students of the XXI century. TECHNICAL SCIENCES: collection of articles on materials of CXXXI international student scientific-practical conference № 11(129).- Novosibirsk. -2023г. -с. 85-93 [https://sibac.info/archive/technic/11\(129\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/11(129).pdf)
5. Akeycheva, M.M.; Ivanov, S.D. Estimation of residual resource of a gantry container crane on the basis of qualitative preparation of initial data on its actual working conditions / Lifting-transport, construction, road, track, reclamation machines and robotic complexes: collection of

reports of the XXVIII-th Moscow international interuniversity scientific and technical conference of students, undergraduates, postgraduates and young scientists (Young Engineer) / Bauman Moscow State Technical University. 2024 г.

6. Potapov, V.A.; Roshchin, V.A.; Ageicheva, M.M. Deciphering of the initial data of the parameter recorder of the hoisting crane operation for the accident and traumatism reduction at the hoisting machines operation (in Russian) // Machines and installations: design, development and operation. Electron. journal. 2024. N 1. C. 14 - 25.

<https://www.maplants-journal.ru/jour/article/view/120>.

7. Yilmaz, M. Yu. Experimental assessment of the use of an encoder of various resolutions to obtain information about transient processes in a crane electric drive / M. Yu. Yu. Yilmaz, S. D. Ivanov // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration : Proceedings of the International Conference, Beijing, January 17, 2024. - Beijing: Infinity Ltd., 2024. - P. 143-147. - DOI 10.34660/INF.2024.11.22.136. - EDN QGHMZI

8. Yilmaz, M.M.; Ivanov, S.D. Analysis of the influence of the speed sensor resolution on the error of determining the speed of the electric motor in the crane electric drive of the lifting mechanism / Lifting and transporting, construction, road, track, reclamation machines and robotic complexes: collection of reports of the XXVIII-th Moscow international interuniversity scientific and technical conference of students, undergraduates, postgraduates and young scientists (Young Engineer) / Bauman Moscow State Technical University. 2024 г.

9. Yilmaz, M.Y.; Ivanov, S.D. Experimental study of the error in determining the speed of the electric motor from the resolution of the encoder / Collection of materials of the seventy-seventh All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and graduate students with international participation. - Yaroslavl. - 2024. - C.594 - 598.

10. Configuring the algorithm of the load limiter with intermediate threshold Aleksandr Nazarov, Sergey Ivanov and Mikhail Yilmaz, E3S Web Conf., 515 (2024) 02015 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451502015>.

11. Kvasha, A.A.; Artamonov, A.E. Modeling of a microturbine for a jet-membrane control system of a wheeled vehicle / Proceedings of the 19th All-Russian School-Conference of Young Scientists "Management of Large Systems" (UBS'2023, Voronezh). Voronezh: FGBOU VO Voronezh State Technical University, 2023. C. 295-301.

12. Lizunov A.S., Ivanov S.D. Development of simulation model of container placement in the warehouse / Collection of materials of the seventy-sixth All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates with international participation. - Yaroslavl. - 2023. - C.417 - 420.

13. Lizunov A.S., Ivanov S.D. Validation and verification of the imitation model of the gantry container crane at the terminal / Collection of materials of the seventy-seventh All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates with international participation. - Yaroslavl. - 2024. - C.560 - 563.

14. Lizunov, A.S.; Ivanov, S.D. Performance evaluation of the simulation model of the container terminal / Lifting and transporting, construction, road, track, reclamation machines and robotic complexes: Collection of reports of the XXVIII-th Moscow international interuniversity scientific and technical conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists (Young Engineer) / Bauman Moscow State Technical University. 2024 г.

15. Potapov, V.A.; Roshchin, V.A.; Lizunov, A.S. Development of the simulation model to support its safe operation (in Russian) // Machines and installations: design, development and operation. Electron. journal. 2024. N 1. C. 14 - 25. <https://www.maplants-journal.ru/jour/article/view/120>.

## AUTHORS

**Sergey D. Ivanov**, Associate Professor of the Department of Lifting and Transport Systems at Bauman Moscow State Technical University, (105005, Moscow, 2nd Bauman str., 5), Candidate of Technical Sciences, [ptm-diagnostika@yandex.ru](mailto:ptm-diagnostika@yandex.ru).

**Yulia N. Medvedeva**, Senior Lecturer at the Department of Lifting and Transport Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, building 1, 105005, Russia, e-mail: [uly8686@mail.ru](mailto:uly8686@mail.ru)

---

# **Машины и Установки**

## **проектирование, разработка и эксплуатация**

*Сетевое издание*  
**МОО "Стратегия объединения"**  
<http://maplants-journal.ru>

*Ссылка на статью:*  
//Машины и установки: проектирование,  
разработка и эксплуатация.  
Электрон. журн. 2025. № 1. С. 31 – 42.

**DOI:**

Представлена в редакцию: 17.01.2025

Принята к публикации: 13.02.2025

© МОО «Стратегия объединения»

**УДК 621.865.8**

## **Определение динамических нагрузок механизма стабилизации грузовой платформы шагающего робота**

**Гончаренко Д.А.,\***  
**Шамахов Л.М.**

\*[goncharenko.danila03@bk.ru](mailto:goncharenko.danila03@bk.ru)  
Ярославский Государственный Технический  
Университет (Ярославль, Россия)

В данной работе решается задача определения рациональной схемы расположения механизма стабилизации грузовой платформы шагающего робота. Целью исследования является анализ воздействия нагрузок, возникающих при фиксации грузовой платформы в заданном положении, в зависимости от конфигурации стабилизирующего механизма. Для решения задачи проведен динамический анализ механизма стабилизации с использованием системы автоматического проектирования SolidWorks Motion. В ходе работы были рассмотрены различные варианты расположения стабилизирующего механизма, что позволило выявить наиболее эффективные варианты его размещения. Полученные результаты позволяют повысить надежность механизма стабилизации и устойчивость грузовой платформы шагающего робота. В дальнейшем планируется провести экспериментальные исследования для верификации полученных данных и оптимизации конструкции стабилизирующего механизма грузовой платформы. Это позволит расширить функциональные возможности шагающего робота, что является важным шагом в развитии мобильных систем.

**Ключевые слова:** механизм стабилизации, шагающий робот, грузовая платформа, динамический анализ, схема размещения.

### **Введение**

При проектировании шагающего робота с грузовой платформой возникли вопросы, связанные с установкой механизма стабилизации. Таким образом, требуется решить задачу расположения механизма стабилизации грузовой платформы для достижения максимальной грузоподъемности при наименьшем крутящем моменте возникающем на валах сервоприводов стабилизирующего механизма. Для решения поставленной задачи, был спроектирован лабораторный стенд для испытания схемы расположения механизма стабилизации. На первом этапе, описанном в данной работе, было принято решение о проведении динамического анализа в системе автоматизированного проектирования SolidWorks Motion.

Динамический анализ конструкции — это процесс, который позволяет определить и спрогнозировать ожидаемые амплитуды перемещений конструкции, внутренние усилия и напряжения, сравнить вынужденные колебания с допустимыми значениями, а также провести анализ свободных колебаний. Такой анализ, позволяет оценить поведение конструкции под действием различных условий.

Например, автором работы [1] рассматривается динамический анализ различных геометрических форм исполнения звеньев робота. Автор предлагает четыре различных формы звена робота-манипулятора для исследования влияния формы звена робота на его динамические характеристики. В качестве элемента робототехнической системы используется консольная балка, выступающая объектом анализа. Для дискретизации уравнений движения и моделирования различных форм робота манипулятора используется метод конечных элементов. Представлены результаты, иллюстрирующие параметры звена робота-манипулятора для каждой из четырёх форм. В работе исследованы такие параметры как момент инерции, собственная частота и внутреннее вязкое трение материала. Исследование включает расчёт динамической реакции на начальный крутящий момент, задаваемый приводом, а также анализ вибрации схватов. Результаты моделирования показывают, что вибрация конца схвата как на протяжении траектории, так и в конечной точке движения меньше у элемента, выполненного в форме сужающейся балки. В работе Кашлакова И.В. [2] рассматриваются вопросы моделирования сил взаимодействия при управлении движением шагающего робота. В результате исследования автору удалось определить силы взаимодействия, возникающие в процессе управления движением шагающего робота. Кроме того, была разработана математическая модель, позволяющая вычислять реакции опоры при контакте стопы робота с поверхностью. На основе предложенной модели возможно провести анализ энергетических затрат, связанных с движением шагающего робота, с последующей апробацией разрабатываемых алгоритмов управления.

Авторы Гончаренко В.И. и Данилов В.А. [3] рассмотрели основные типы конструкций шестиногих роботов и обосновали выбор конструкции реализованного макета робота. В результате работы авторы разработали математическую модель шестиногого шагающего робота, а также реализовали базовый алгоритм его передвижения. На основе вычислительного эксперимента было установлено, что геометрический подход является более предпочтительным для решения задач кинематического анализа шагающего аппарата с инсектоморфным типом конечностей. Работоспособность и эффективность разработанного алгоритмического обеспечения подтверждены экспериментально в ходе управления лабораторным макетом шагающего робота.

Работа [4] посвящена изучению динамики движения опорной конечности шагающего робота бионического типа. По результатам исследования установлено, что звенья механизма конечностей шагающего робота могут быть описаны различными моделями, например: абсолютно жёсткими телами, упруго деформируемыми телами или пластиично деформируемыми телами. В процессе движения звенья могут испытывать незначительные деформации, что необходимо учитывать при моделировании. В любой механической системе на движение звеньев накладываются связи, которые по сути являются кинематическими парами. Изучение динамики шагающего робота должно начинаться с разработки динамической модели его исполнительных систем. Для этого следует абстрагироваться от некоторых частных особенностей разрабатываемой системы, которые могут считаться несущественными, и сосредоточить внимание на тех конструктивных элементах, свойства которых наиболее важны для решения поставленной задачи. В данном случае была решена обратная задача динамики, которая заключалась в определении значений крутящих

моментов и требуемых мощностей, реализуемых приводами исполнительных звеньев, на основе параметрических уравнений, описывающих траекторию движения стопы конечности шагающего робота.

В следующей работе [5] исследовались способы стабилизации двуногих роботов в положении стоя на подвижной опоре. В результате получены два способа стабилизации двуногих шагающих роботов в положении стоя на нестационарной поверхности. В первом алгоритме управления используется как кинематическая, так и динамическая модель робота. Данный подход основан на методе инверсной динамики, при котором исходная нелинейная динамическая модель линеаризуется обратной связью. Второй способ стабилизации базируется на использовании кинематической модели робота. Для данного подхода разработан гибридный регулятор. При малых угловых скоростях подвижной поверхности управление происходит ПД-регулятором. На высоких угловых скоростях при управлении дополнительно используются показания гироскопа, установленного в торсе робота. В ходе сравнительного анализа были выявлены условия, при которых каждый из предложенных способов стабилизации при реализации на практике будет эффективнее. Полученные результаты могут быть использованы для стабилизации подобных роботов, осуществляющих перешагивания во время балансирования на подвижной поверхности или шагающих по ней. Направления дальнейших исследований заключаются в экспериментальной апробации разработанных алгоритмов стабилизации, а также в повышении числа звеньев и степеней свободы робота.

Теоретические основы проектирования роботизированных шагающих шасси описаны в работе [6]. Приведены нагрузочные характеристики, демонстрирующие параметры приводов и их зависимость от величины управляющих сигналов. Для шагающих машин требуется сервоприводы с удельным крутящим моментом (отношение крутящего момента к массе сервопривода) не менее 29,4 Н·м/кг при скорости вращения выходного вала 300 °/с. Практический эксперимент показал, что шагающая машина способна развивать тяговое усилие до 98 Н при быстром движении и 324 Н при медленном, равномерно распределяя нагрузку на все приводы. Моделирование движения опытной шагающей машины массой 5 кг продемонстрировало максимальную скорость по ровной поверхности 1,12 м/с (4 км/ч) при высоком энергопотреблении — 850 Вт·ч. Снижение скорости вдвое позволяет сократить энергозатраты до 320 Вт·ч. При создании тяги (например, для преодоления сопротивления движению) или транспортировке груза энергопотребление существенно возрастает. Кроме того, разработана методика проектирования шагающих машин с динамической устойчивостью, позволяющая использовать два подхода: определение параметров машины на основе характеристик приводов или подбор приводов по заданным характеристикам машины.

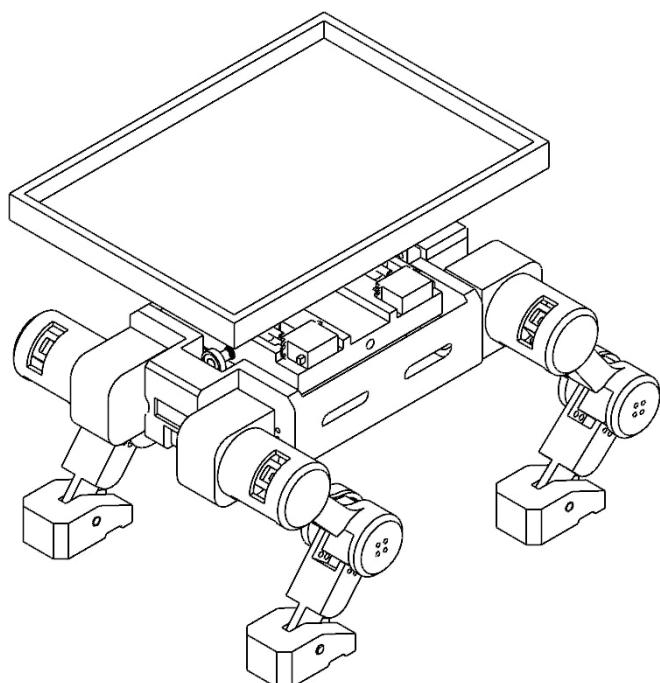
Работа Чернышева В. В. [7] объясняет структуру энергозатрат шагающих машин и роботов при реализации больших тяговых усилий. Автор говорит о том, что имеется принципиальная возможность разработки шагающего движителя на базе цикловых механизмов в котором различные затраты мощности обусловленные самим шагающим способом передвижения и затраты мощности на прессование грунта и на реализацию полезного тягового усилия будут лежать в противофазе, либо их максимумы будут смещены во времени. Тем самым можно решить задачу повышения энергоэффективности движения шагающих робототехнических систем. За счет управления законом движения опорной точки по траектории можно несколько уменьшить неравномерность требуемой мощности на движение лишь в случае сравнительно небольшого тягового усилия. Дополнительные затраты мощности, обусловленные шагающим способом передвижения, в этом случае мало влияют на общие энергозатраты на передвижение. Результаты работы могут быть

востребованы при разработке как простейших шагающих машин, например шагающих тракторов, так и для сложных шагающих робототехнических систем предназначенных для проведения грунтовых работ при дефиците сцепного веса, например, в подводных условиях либо в условиях ослабленной гравитации.

Исследование генерации задающих воздействий для шагающего робота с упругими элементами описано в работе [8]. Автор рассматривает вопросы генерации последовательности шагов и задания траектории центра масс для шагающих роботов с упругими элементами. Также исследуется точность позиционирования робота, включая локализацию его стоп и центра масс. Необходимо уточнение критерия сохранения роботом вертикальной устойчивости, поэтому требуется использование процедур коррекции передвижения робота с целью избежать накопления ошибки его позиционирования. Распределение значений ошибки позиционирования робота после выполнения заданного движения может рассматриваться как целевая функция при решении задачи оптимального выбора параметров передвижения робота. Предложены подходы к решению обратной задачи кинематики, основанные на использовании информации о динамике механизма для построения реализуемых траекторий в конфигурационном пространстве робота.

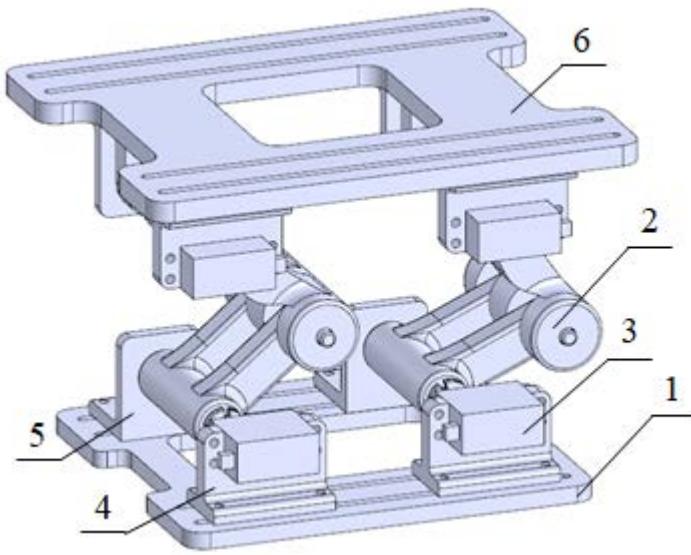
## 1. Материалы и методы

Проанализировав существующие работы, было решено спроектировать лабораторный стенд для проведения испытаний стабилизирующего механизма грузовой платформы шагающего робота (рис.1) [9,10].



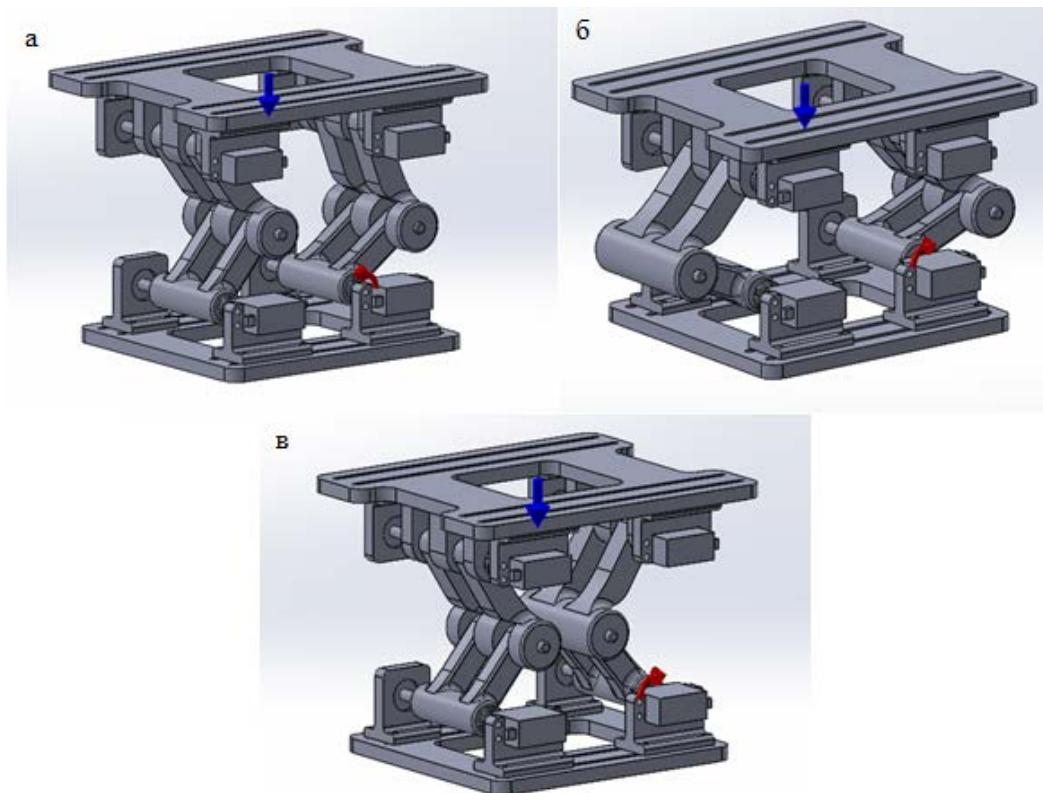
**Рис.1.** Шагающий робот с грузовой платформой

Стенд (рис.2) позволит решить вопрос, связанный со схемой расположения стабилизирующего механизма с целью достижения максимальной грузоподъемности при минимальном крутящем моменте на выходных валах сервоприводов механизма стабилизации грузовой платформы в двух осях из трех возможных.



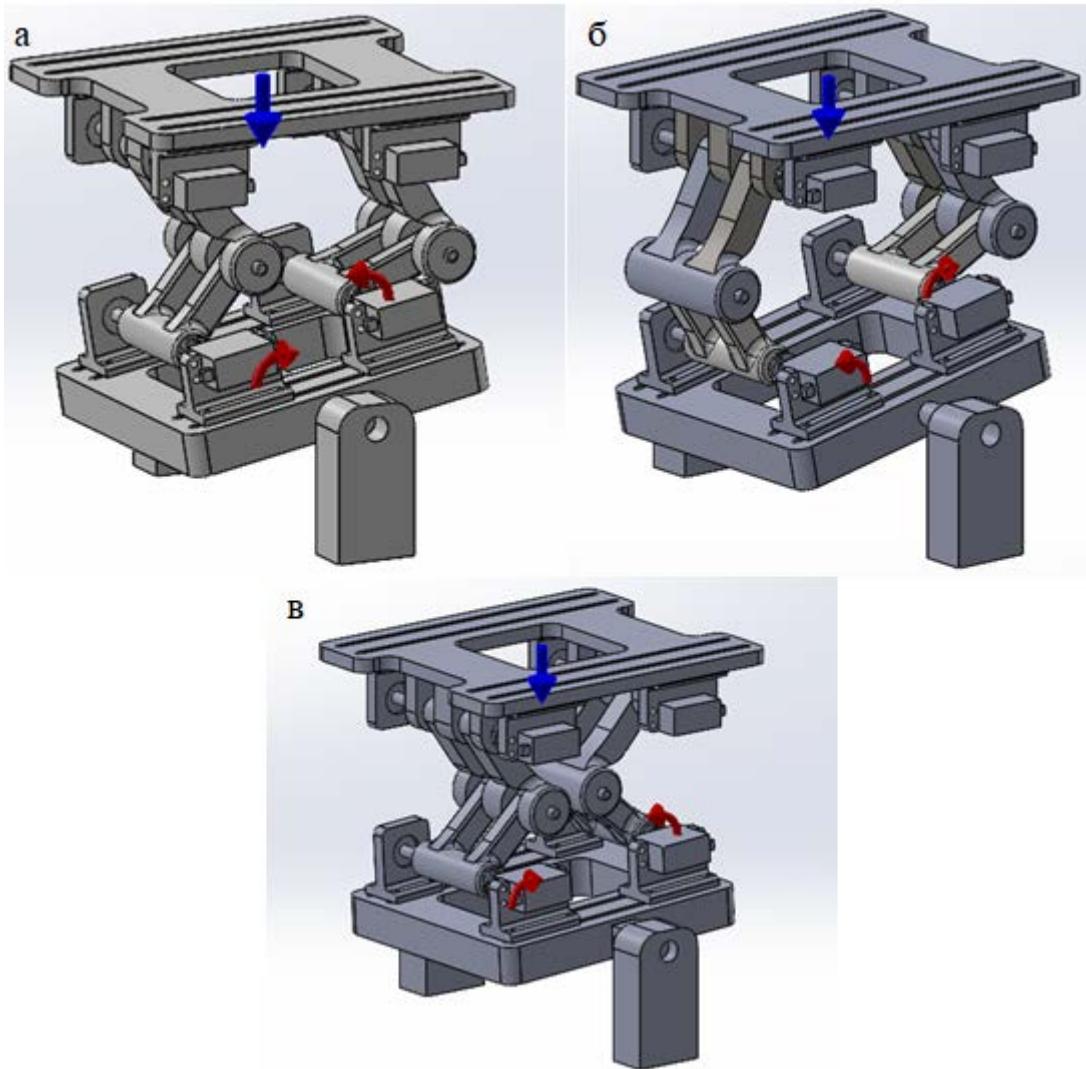
**Рис.2.** Испытательный стенд: 1 – Основание, 2 – Механизм подъема-опускания, 3 – Серводвигатель, 4 – Основание серводвигателя, 5 – Опора, 6 – Грузовая платформа

В процессе компьютерного моделирования, ко всем схемам расположения механизмов подъема-опускания приложена одинаковая и постоянная нагрузка в 50Н. Во время испытаний, механизмы подъема-опускания совершают возвратно-поступательные движения вверх и вниз с частотой 0,3 Гц. Первый опыт проводился, когда основание стенда находилось в статическом положении при трех разных расположениях механизмов подъема-опускания (рис.3).



**Рис. 3.** Испытуемые положения механизмов подъема-опускания: а – расположены одинаково, б – «снаружи», в – «внутри»

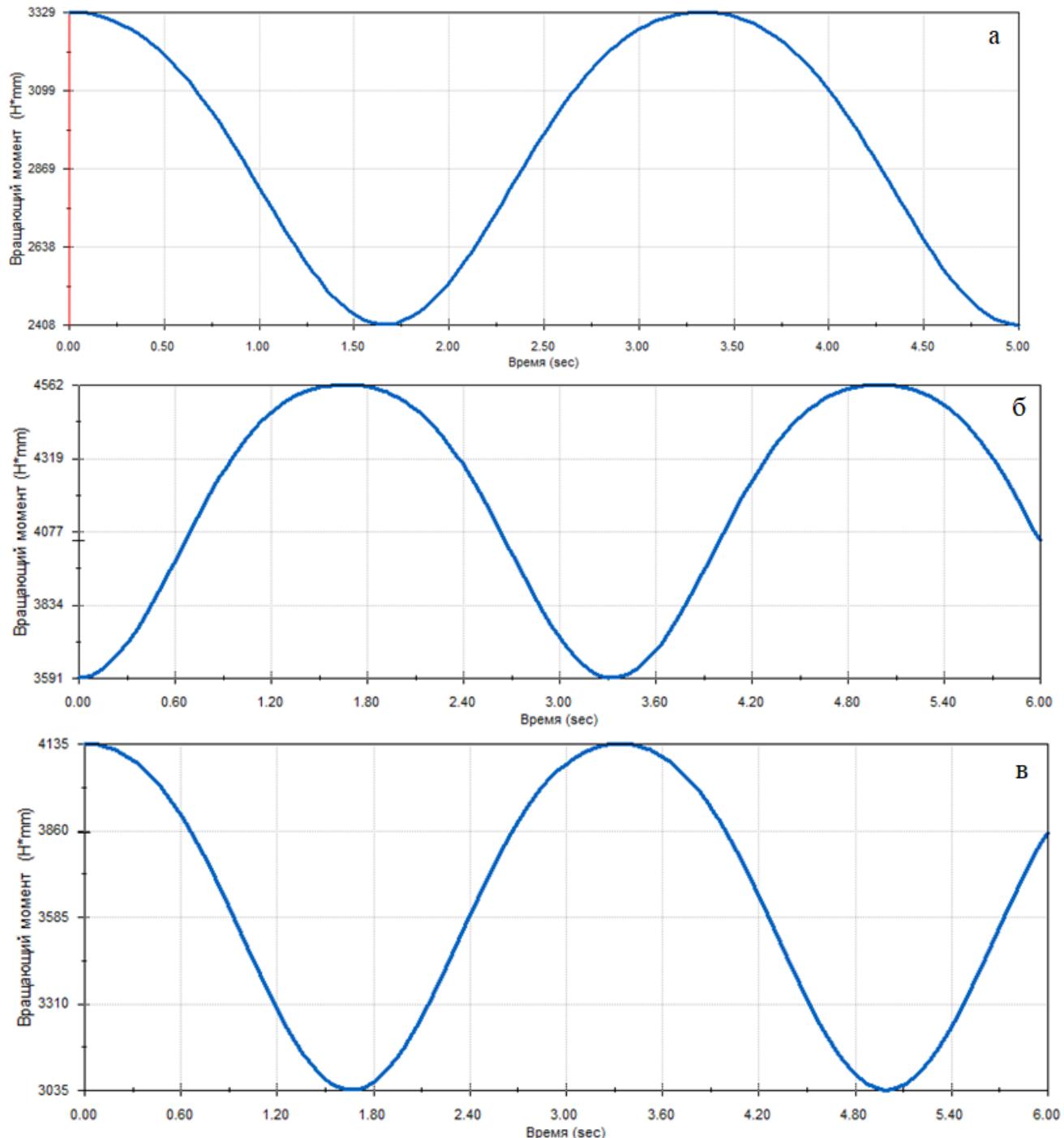
Особый интерес, представляют крутящие моменты возникающие в процессе подъема или спуска шагающего робота при стабилизации грузовой платформы в горизонтальном положении. С этой целью, компьютерное моделирование проводилось с дополнительной осевой нагрузкой имитирующей вращение «корпуса», относительно грузовой платформы. Корпусом же выступало основание лабораторного стенда (рис.4).



**Рис. 4.** Испытуемые положения механизмов подъема-опускания с дополнительной осевой нагрузкой:  
а – при одинаковом расположении, б – «снаружи», в – «внутрь»

## 2. Результаты

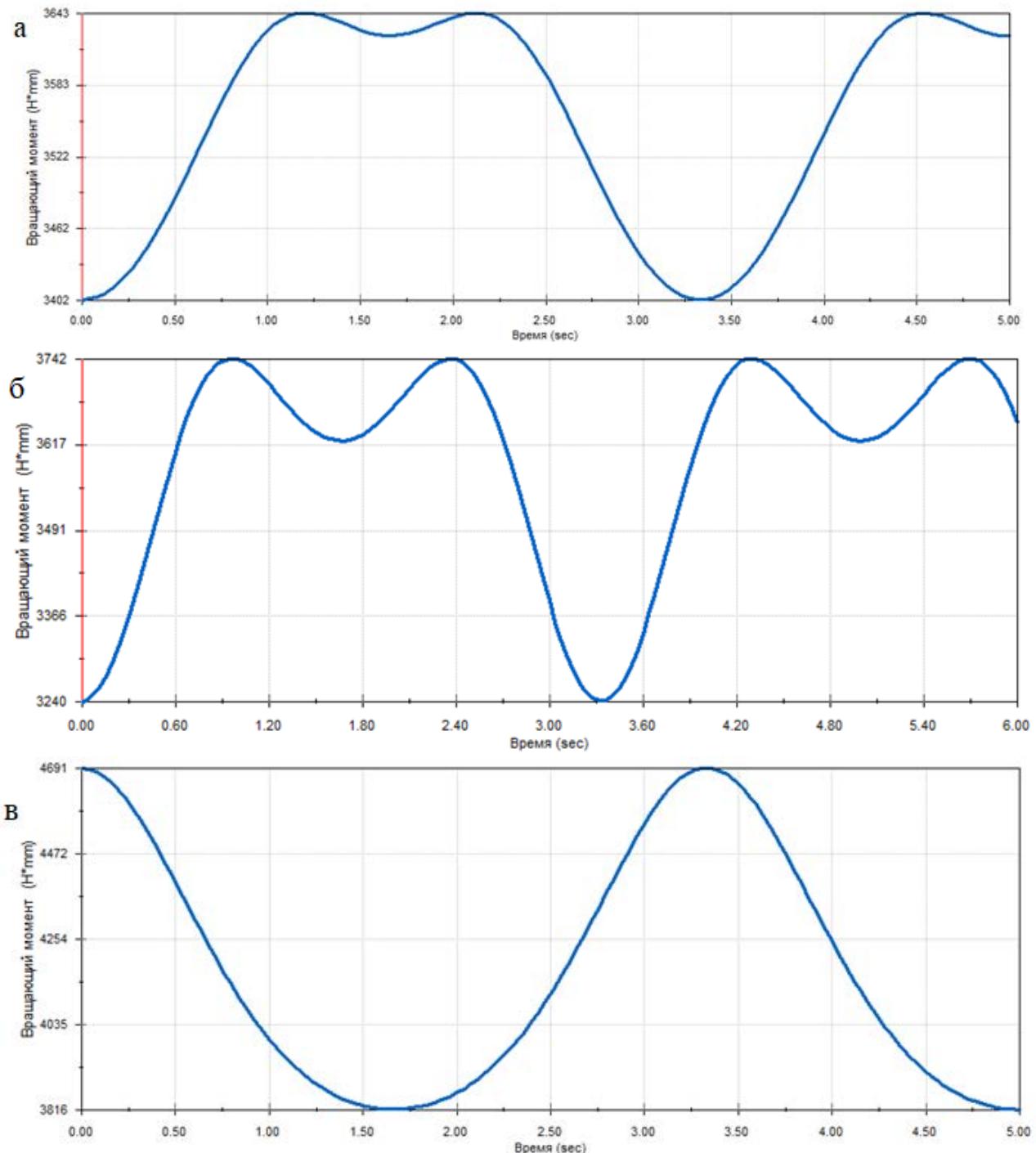
В результате проведения испытаний получены графики зависимости врачающего момента от времени (рис. 5) для одного из сервоприводов испытательного стенда при различном расположении механизмов подъема-опускания. Так, при одинаковом расположении механизмов подъема-опускания максимальный момент составил  $3329 \text{ Н}\times\text{мм}$ , что меньше по сравнению со схемой расположения «снаружи», где врачающий момент достигает  $4562 \text{ Н}\times\text{мм}$ . Это объясняется тем, что возможный ход механизма подъема-опускания по схеме «снаружи» является наибольшим.



**Рис. 5.** Графики зависимости врачающих моментов от времени: а – при одинаковом расположении механизмов подъема-опускания, б – по схеме «снаружи», в – по схеме «внутри»

Полученные графики зависимости врачающих моментов от времени позволяют определить максимальные напряжения и деформации в реальный момент времени. Исходя из этого, становится возможным выявление элементов конструкции механизма подъема-опускания подвергающихся наибольшим нагрузкам, что, в свою очередь, позволит внести изменения в конструкцию еще на этапе проектирования. Также, полученные данные позволяют в дальнейшем провести топологическую оптимизацию испытуемого механизма с целью уменьшения массы с сохранением прочностных характеристик изделия.

На рис.6 где схемы механизмов подъема-опускания расположены одинаково максимальное значение крутящего момента составило 3643 Н×мм. При этом на эпюре можно заметить, что возникает дополнительный скачок до максимального крутящего момента. Это связано с тем, что для стабилизации грузовой платформы в горизонтальном положении увеличивается ход одного из механизмов подъема-опускания, и когда механизм проходит горизонтальное положение, крутящий момент уменьшается. При расположении механизмов подъема-опускания по схеме «снаружи» максимальный момент составит 3742 Н×мм. В таком случае нагрузки увеличиваются, но рабочий ход механизма подъема-опускания значительно возрастает.



**Рис. 6.** Графики зависимости вращающих моментов от времени с дополнительной осевой нагрузкой:  
а – при одинаковом расположении механизмов подъема-опускания, б – по схеме «снаружи», в – по схеме «внутри»

## **Выводы**

Таким образом, проанализировав полученные графики зависимости вращающих моментов от времени крутящих моментов, можно оценить возможности механизма стабилизации грузовой платформы при подъеме и опускании шагающего робота. Вместе с тем, результаты динамического моделирования механизма стабилизации позволяют обосновать такие характеристики как максимальный и минимальный угол наклона звеньев механизма подъема-опускания, скорость движения и максимально возможную массу, которую сможет удерживать в горизонтальном положении механизм стабилизации.

Также, полученные результаты нужны для разработки алгоритма управления, который позволит адаптироваться системе к изменяющимся условиям. Это может включать в себя изменение крутящего момента в зависимости от текущей нагрузки и положения робота.

---

## **Список литературы**

1. Саад Загхлюл, С. А. К. Динамический анализ различных геометрических форм исполнения звеньев робота / С. А. К. Саад Загхлюл // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – № 3(151). – С. 14-18. – EDN KWLCXB.
2. Кашлаков, И. В. Моделирование контактных сил в системе управления шагающим роботом / И. В. Кашлаков, Ю. А. Жуков // Журнал передовых исследований в области естествознания. – 2024. – № 20. – С. 4-8. – DOI 10.26160/2572-4347-2024-20-4-8. – EDN TRSZWM.
3. Гончаренко, В. И. Проектирование шестиногих шагающих роботов в среде CAD-системы / В. И. Гончаренко, В. А. Данилов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2017) : ТРУДЫ XVII МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Москва, 12–14 декабря 2017 года / Под ред. А.В. Толока, Институт проблем упр. им. В.А. Трапезникова. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2017. – С. 176-179. – EDN YWDIHM.
4. Рукавицын, А. Н. Исследование динамики движения опорной конечности шагающего робота бионического типа / А. Н. Рукавицын, П. В. Чжо // Транспортное машиностроение. – 2023. – № 1(13). – С. 14-23. – DOI 10.30987/2782-5957-2023-1-14-23. – EDN VDJYWH.
5. Способы стабилизации двуногих роботов в положении стоя на подвижной опоре / Д. Н. Базылев, А. А. Пыркин, А. А. Маргун [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 418-425. – DOI 10.17586/2226-1494-2015-15-3-418-425. – EDN TWCSUX.
6. Алейников, Ю. Г. Теоретические основы проектирования роботизированных шагающих шасси / Ю. Г. Алейников, Г. Е. Митягин, Я. Г. Митягина. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью "Мегаполис", 2023. – 166 с. – ISBN 978-5-605-12900-4. – EDN JNAHOP.
7. Чернышев, В. В. Структура энергозатрат шагающих машин и роботов при реализации больших тяговых усилий / В. В. Чернышев, В. В. Арыканцев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 1(203). – С. 6-18. – DOI 10.23683/2311-3103-2019-1-6-18. – EDN ZZKYGL.
8. Савин, С. И. Генерация задающих воздействий для шагающего робота с упругими элементами / С. И. Савин, Л. Ю. Ворочаева // Cloud of Science. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 144-168. – EDN BWJNDQ.

9. Гончаренко, Д. А. Шагающий робот как доставщик малых грузов на стройплощадке / Д. А. Гончаренко, Л. М. Шамахов // Семьдесят шестая Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием : Сборник материалов конференции. В 3-х частях, Ярославль, 19–20 апреля 2022 года. Том 76. – Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2023. – С. 464-467. – EDN JIEQHN.

10. Гончаренко, Д. А. Кинематика движения конечности шагающего робота / Д. А. Гончаренко // XVII Ежегодная научная сессия аспирантов и молодых ученых : материалы Всероссийской научной конференции, Вологда, 20–24 ноября 2023 года. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. – С. 703-706. – EDN QJLNQU.

---

## АВТОРЫ

**Гончаренко Данила Алексеевич**, студент каф. «Строительные и дорожные машины», Ярославский Государственный Технический Университет, г. Ярославль, пр-кт Московский д. 88, 150023, Российская Федерация, [goncharenko.danila03@bk.ru](mailto:goncharenko.danila03@bk.ru)

**Шамахов Леонид Михайлович**, ассистент каф. «Строительные и дорожные машины», Ярославский Государственный Технический Университет, г. Ярославль, пр-кт Московский, д. 88, 150023, Российская Федерация, [leonid.shamakhov@yandex.ru](mailto:leonid.shamakhov@yandex.ru)

# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal  
International Public Organization  
“Integration strategy”  
<http://maplants-journal.ru>*

//Machines and Plants:Design and Exploiting.  
2025. № 1. pp. 31 – 42.

DOI:

Received: 17.01.2025

Accepted for publication: 13.02.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

## Determination of dynamic loads of the load platform stabilization mechanism of a walking robot

Danila A. Goncharenko,\*  
Shamakhov Leonid M.

\*[goncharenko.danila03@bk.ru](mailto:goncharenko.danila03@bk.ru)

Yaroslavl State Technical University,  
Yaroslavl, Russian Federation

In this paper, the problem of determining the rational layout of the mechanism for stabilizing the cargo platform of a walking robot is solved. The study is aimed at determining the effect of various loads that occur when holding the cargo platform in a given position, depending on the location of the stabilizing mechanism. To solve the problem, a dynamic analysis of the stabilization mechanism was carried out using the SolidWorks Motion automatic design system. In the course of the work, various options for the location of the stabilizing mechanism were considered, which made it possible to identify the most effective options for its placement. The results obtained make it possible to increase the reliability of the stabilization mechanism and the stability of the cargo platform of the walking robot. In the future, it is planned to conduct experimental studies to verify the data obtained and optimize the design of the stabilizing mechanism of the cargo platform. This will expand the functionality of the walking robot, which is an important step in the development of mobile systems.

**Keywords:** Stabilization mechanism, walking robot, cargo platform, dynamic analysis, placement scheme.

## References

1. Saad Zaglyul, S. A. K. Dynamic analysis of various geometric shapes of robot links / S. A. K. Saad Zaglyul // News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Technical sciences. – 2009. – № 3(151). – Pp. 14-18. – EDN KWLCXB.
2. Kashlakov, I. V. Modeling of contact forces in the control system of a walking robot / I. V. Kashlakov, Yu. A. Zhukov // Journal of Advanced Research in the field of Natural Sciences. – 2024. – No. 20. – pp. 4-8. – DOI 10.26160/2572-4347-2024-20-4-8. – EDN TRSZWM.
3. Goncharenko, V. I. Design of six-legged walking robots in the CAD system environment / V. I. Goncharenko, V. A. Danilov // Systems of design, technological preparation of production and management of stages of the life cycle of an industrial product (CAD/CAM/PDM – 2017): PROCEEDINGS OF the XVII INTERNATIONAL SCIENTIFIC and PRACTICAL CONFERENCE, Moscow, December 12-14, 2017 / Edited by A.V. Toloka, V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems. Moscow: Trapeznikov Institute of Management Problems of

the Russian Academy of Sciences, 2017. pp. 176-179. EDN YWDIHM.

4. Rukavitsyn, A. N. Investigation of the dynamics of movement of the supporting limb of a walking bionic robot / A. N. Rukavitsyn, P. V. Zho // Transport engineering. – 2023. – № 1(13). – Pp. 14-23. – DOI 10.30987/2782-5957-2023-1-14-23. – EDN VDJYWH.

5. Methods of stabilizing bipedal robots in a standing position on a movable support / D. N. Bazylev, A. A. Pyrkin, A. A. Margun [et al.] // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. - 2015. – Vol. 15, No. 3. – pp. 418-425. – DOI 10.17586/2226-1494-2015-15-3-418-425. – EDN TWCSUX.

6. Aleynikov, Yu. G. Theoretical foundations of the design of robotic walking chassis / Yu. G. Aleynikov, G. E. Mityagin, Ya. G. Mityagina. – Moscow : Megapolis Limited Liability Company, 2023. – 166 p. – ISBN 978-5-605-12900-4. – EDN JAHOP.

7. Chernyshev, V. V. The structure of energy consumption of walking machines and robots when implementing large traction forces / V. V. Chernyshev, V. V. Arykantsev // Izvestiya SFU. Technical sciences. – 2019. – № 1(203). – Pp. 6-18. – DOI 10.23683/2311-3103-2019-1-6-18. – EDN ZZKYGL.

8. Savin, S. I. Generation of control actions for a walking robot with elastic elements / S. I. Savin, L. Yu. Vorochaeva // Cloud of Science. – 2019. – Vol. 6, No. 1. – pp. 144-168. – EDN BWJNDQ.

9. Goncharenko, D. A. A walking robot as a deliverer of small loads on a construction site / D. A. Goncharenko, L. M. Shamakhov // Seventy-sixth All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, undergraduates and postgraduates with international participation : A collection of conference materials. In 3 parts, Yaroslavl, April 19-20, 2022. Volume 76. Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, 2023. pp. 464-467. EDN JIEQHN.

10. Goncharenko, D. A. Kinematics of limb movement of a walking robot / D. A. Goncharenko // XVII Annual scientific session of graduate students and young scientists : proceedings of the All-Russian Scientific Conference, Vologda, November 20-24, 2023. Vologda: Vologda State University, 2023. pp. 703-706. EDN QJLNQU.

---

## AUTHORS

**Danila A. Goncharenko**, Student of the Department "Construction and Road Machines", Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Moskovsky Prospekt, 88, 150023, Russian Federation, [goncharenko.danila03@bk.ru](mailto:goncharenko.danila03@bk.ru)

**Leonid M. Shamakhov**, Assistant of the Department "Construction and Road machines", Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Moskovsky ave., 88, 150023, Russian Federation, [leonid.shamakhov@yandex.ru](mailto:leonid.shamakhov@yandex.ru)

# **Машины и Установки**

## **проектирование, разработка и эксплуатация**

*Сетевое издание*  
**МОО "Стратегия объединения"**  
<http://maplants-journal.ru>

*Ссылка на статью:*  
//Машины и установки: проектирование,  
разработка и эксплуатация.  
Электрон. журн. 2025. № 1. С. 43 – 54.

**DOI:**

Представлена в редакцию: 10.04.2025

Принята к публикации: 27.04.2025

© МОО «Стратегия объединения»

**УДК 621.86**

## **Обзор и анализ конструкций гравитационных стеллажей для паллет**

**Алексеев В.И.,\***  
**Носко А.Л.,**  
**Сафонов Е.В.**

**\*[Vada\\_smol@mail.ru](mailto:Vada_smol@mail.ru)**

МГТУ им. Н.Э Баумана (Москва, Россия)

В статье представлен обзор и проведён анализ конструкций отечественных и зарубежных производителей гравитационных стеллажей для паллет. Приведены основные критерии сравнения и рассмотрены преимущества компактных систем хранения. Описана конструкция и принцип работы гравитационных стеллажей для паллет. Проведён сравнительный анализ гравитационных стеллажей для паллет с шатловыми и фронтальными стеллажами для паллет. Выявлены основные преимущества гравитационных стеллажей для паллет, которые по сравнению с другими компактными системами хранения обеспечивают высокую производительность, плотность хранения и являются более рентабельными по сравнению с шатловыми стеллажами при глубине канала менее 15 паллет. Определены основные конструктивные параметры металлоконструкции гравитационных стеллажей для паллет. Полученные результаты предполагается использовать в методике расчёта металлоконструкции гравитационных стеллажей для паллет.

**Ключевые слова:** гравитационный стеллаж для паллет, металлоконструкция, конструкция стеллажей, компактные системы хранения, стеллажное оборудование.

### **Введение**

При выборе стеллажей для хранения и транспортировки грузов на поддонах рассматривают два основных подхода. В первом случае приоритет отдается доступности каждой паллеты (системы хранения с фронтальными стеллажами), а во втором – эффективному использованию пространства склада (компактные системы хранения) [1-3]. В условиях постоянно растущей конкуренции, высоких расходов на содержание и обслуживание складской площади в последнее время наиболее востребован второй подход с использованием компактных систем хранения.

## Гравитационные стеллажи для паллет

Одной из наиболее эффективных компактных систем хранения грузов являются гравитационные стеллажи для паллет [4, 5] (рис. 1), в которых для хранения и транспортировки используется гравитационный роликовый конвейер (ГРК), размещененный на металлоконструкции стеллажа. Широкое распространение гравитационные стеллажи для паллет получили в холодильных складах, поскольку позволяют существенно уменьшить издержки на содержание и обслуживание холодильного склада.

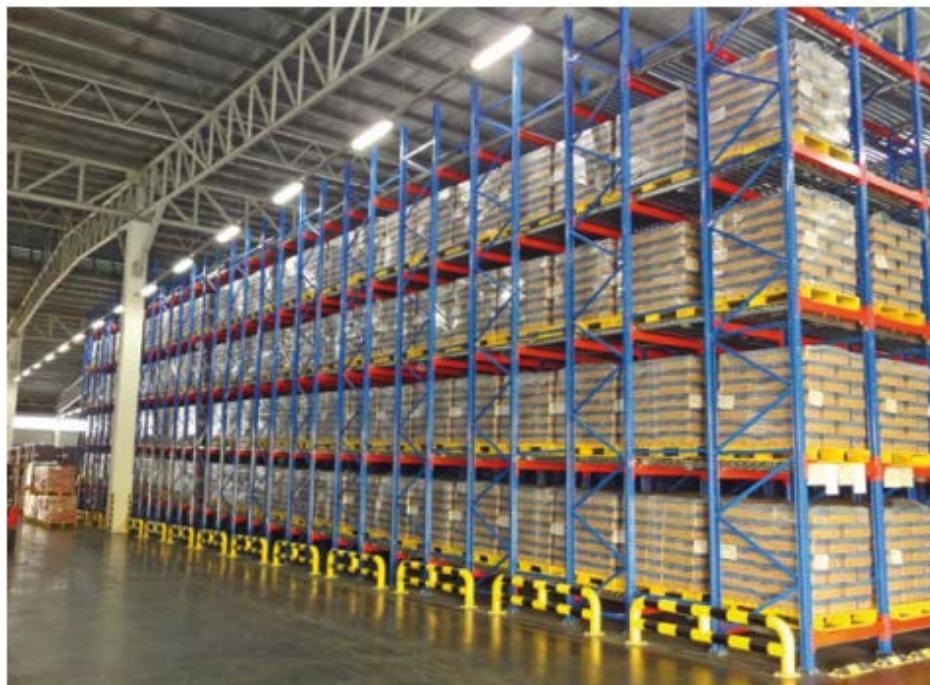


Рис.1. Гравитационные стеллажи для паллет

В работе [2] определены основные критерии компактных систем хранения грузов, к которым относятся:

- количество SKU (stock keeping unit – уникальная товарная позиция, принимаемая к хранению) на систему хранения;
- глубина канала системы хранения;
- скорость оборачиваемости товаров по группе товаров (ABC – анализ [6]);
- способ загрузки/выгрузки паллеты (FIFO, LIFO);
- производительность отгрузки товара (паллет в час);
- безопасность при взаимодействии с системой хранения;
- рентабельность и окупаемость инвестиций.

По сравнению с другими системами компактного хранения грузов (набивными и шаттловыми стеллажами, передвижными стеллажами, push-back стеллажами) [2-4], гравитационные стеллажи для паллет обладают: большим количеством SKU на систему хранения (каждый канал вмещает один SKU); большой глубиной канала (до 28 паллет); большей скоростью оборачиваемости товаров (группа товаров А типа [6]); существенным увеличением производительности труда на складе; высокой безопасностью (требуется минимальное и простое взаимодействие стеллажа с техникой и персоналом); среднесрочной окупаемостью инвестиций (первоначальные инвестиции высоки, при этом минимальны эксплуатационные затраты).

Кроме этого, гравитационные стеллажи для паллет позволяют производить загрузку/выгрузку двумя способами (рис. 2):

FIFO (First-In / First-Out) – способ загрузки/выгрузки при котором паллета поступившая в зону разгрузки стеллажа первой, будет первой извлечена со стороны выгрузки (рис. 2, а). Канал стеллажа при данном способе вмещает до 28 паллет;

LIFO (Last-In / First-Out) – способ загрузки/выгрузки при котором паллета, загруженная в стеллаж последней, будет первой извлечена на выгрузку (при этом зоны разгрузки и выгрузки не разделяются, рис. 2, б). Канал стеллажа при данном способе вмещает до 6 паллет.

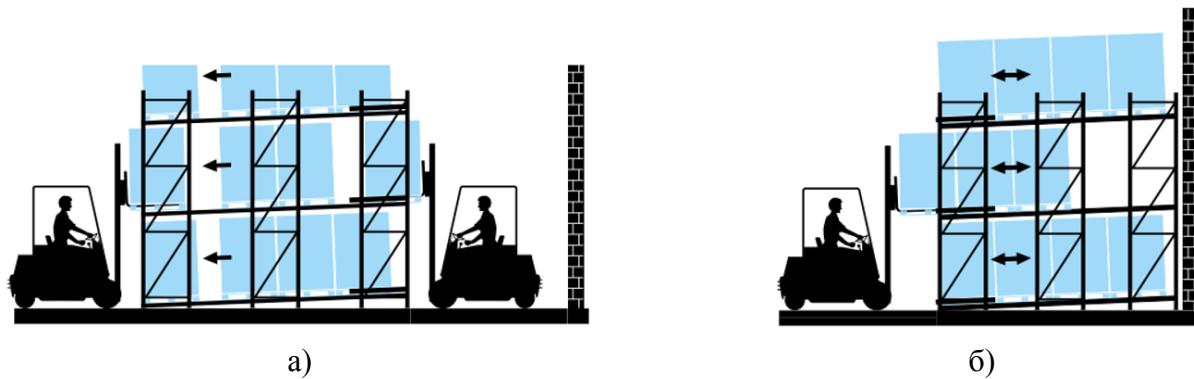


Рис. 2. Гравитационные стеллажи по способу загрузки/выгрузки:  
а - LIFO; б – FIFO

На рынке РФ гравитационные стеллажи для паллет являются продукцией предприятий [7-9], однако изготовителями ГРК для этих стеллажей являются зарубежные производители [10-14].

Устройство гравитационного стеллажа для паллет, на основе анализа их конструкций [7-14], представлено на рис. 3.

Загрузочная зона (рис. 3) предназначена для загрузки паллеты при помощи погрузчика в канал гравитационного стеллажа, который имеет ГРК и направляющие для центрирования паллеты на конвейере. Уклон ГРК составляет 3...4%.

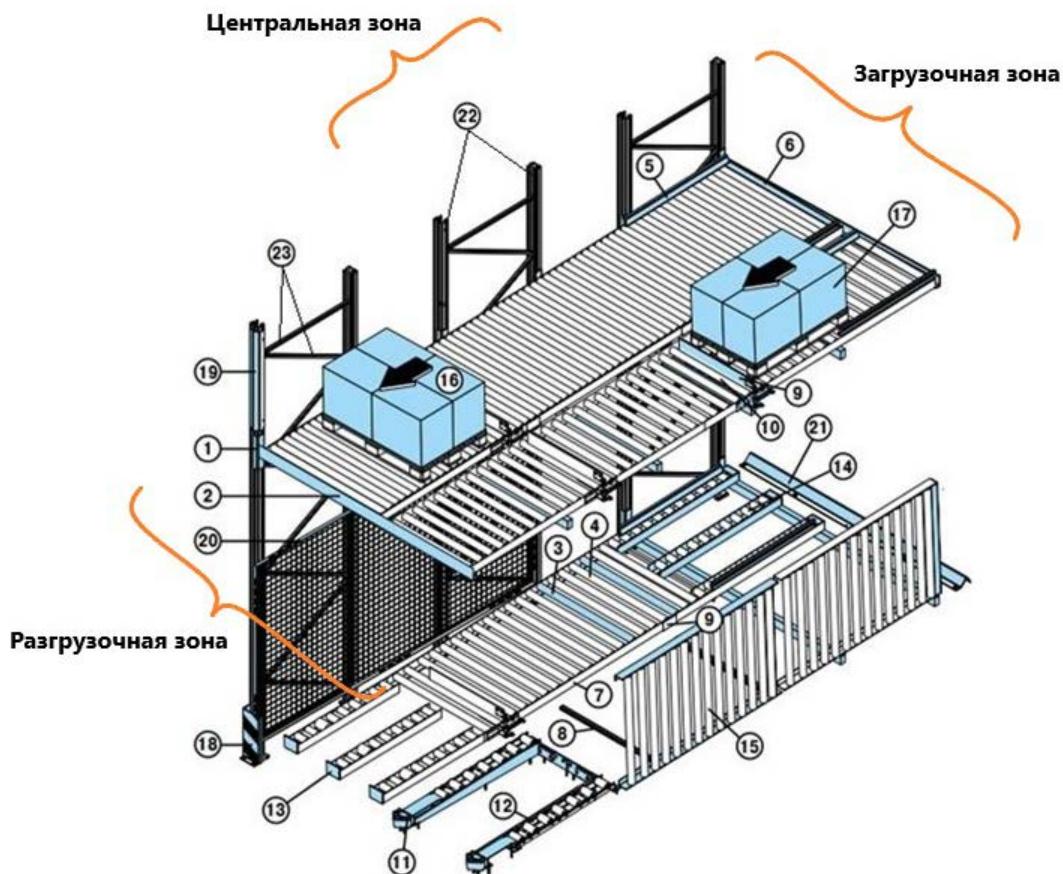
Центральная зона (рис. 3) гравитационного стеллажа для паллет является основной для хранения и транспортировки паллет, оснащена тормозными роликами, позволяющими обеспечить движением паллет с безопасной скоростью [15].

В разгрузочной зоне (рис. 3) происходит выгрузка паллет из канала стеллажа при помощи погрузчика. Оборудована устройством остановки и разделения паллет, обеспечивающим возможность снятия первой паллеты со стороны разгрузки без давления на нее паллет, следующих за ней.

Металлоконструкция гравитационного стеллажа для паллет представлена элементами 1, 2, 6, 8, 19, 22, 23 (рис. 3).

При рассмотрении гравитационных стеллажей для паллет, как компактных систем хранения, часто приводят сравнительную характеристику с шаттловыми стеллажами [16].

Основным показателем для сравнения с шаттловыми системами является производительность, на которую влияют различные факторы (такие как глубина канала, количество уровней хранения, количество шаттлов и др.).



**Рис. 3.** Гравитационный стеллаж для паллет:

1 – кронштейн крепления балки; 2 – концевая балка со стороны разгрузки; 3 – тормозной ролик; 4 – несущий ролик; 5 – направляющие подачи паллеты; 6 – концевая балка со стороны загрузки; 7 – гравитационный роликовый конвейер; 8 – опорная балка; 9, 10 – устройство остановки и разделения паллет; 11, 12 – сегмент для разгрузки ручной гидравлической тележкой; 13, 14 – сегмент для загрузки/разгрузки паллет техникой с ненаклоняемыми вилами; 15 – откидной роликовый конвейер; 16 – поперечное перемещение паллеты; 17 – продольное перемещение паллеты; 18 – защита стоек стеллажа; 19 – стойка стеллажа; 20 – боковая защита стеллажа; 21 – отбойник; 22 – рама стеллажа; 23 – раскосная система рамы стеллажа

Гравитационные стеллажи для паллет показывают максимальную производительность в сравнении с шаттловыми стеллажами, поскольку позволяют непрерывно транспортировать паллеты по ГРК. Производительность гравитационного стеллажа для паллет зависит лишь от количества погрузчиков, используемых для загрузки/выгрузки.

При использовании шаттловых стеллажей, помимо количества погрузчиков, необходимо учитывать время ожидания перемещения шаттла и количество шаттлов. При проведении исследования производительности стеллажей от глубины канала [16] было установлено, что производительность шаттловых стеллажей падает при малой (8 – 15 паллет) и большой (23 – 33 паллеты) глубине канала ввиду необходимости перемещения шаттла. У гравитационных стеллажей для паллет производительность постоянна вне зависимости от глубины канала и на 9 – 15% выше, чем у шаттловых стеллажей (рис. 4).

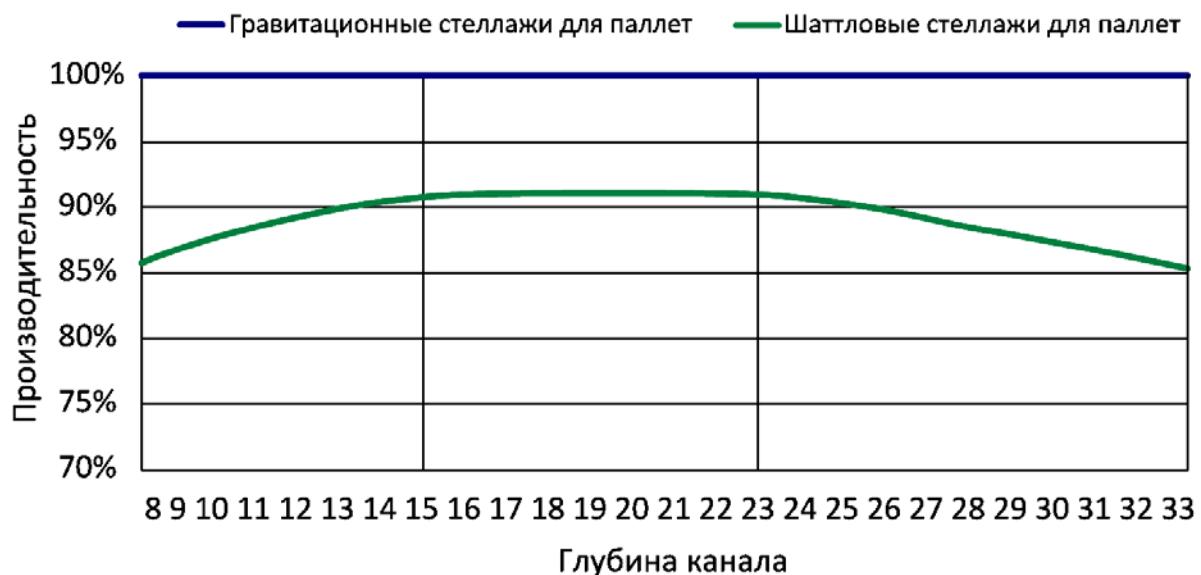


Рис. 4. Сравнение производительности гравитационных и шаттловых стеллажей для паллет

Ещё одним важным фактором при сравнении являются инвестиционные затраты (стоимость паллетоместа). У гравитационных стеллажей для паллет они относительно высокие, ввиду наличия роликового гравитационного конвейера. У шаттловых стеллажей определяющим фактором инвестиционных затрат, в сравнении с гравитационными стеллажами, являются стоимость и количество шаттлов. Если учитывать затраты при обеспечении одинаковой производительности, то в соответствии с исследованием [16] гравитационные стеллажи для паллет являются более рентабельными по сравнению с шаттловыми при глубине канала менее 15 паллет.

Гравитационные стеллажи для паллет по сравнению с фронтальными стеллажами способны обеспечить экономию до 60% складской площади и до 40% сократить затраты на транспортировку груза (рис. 5), [17].

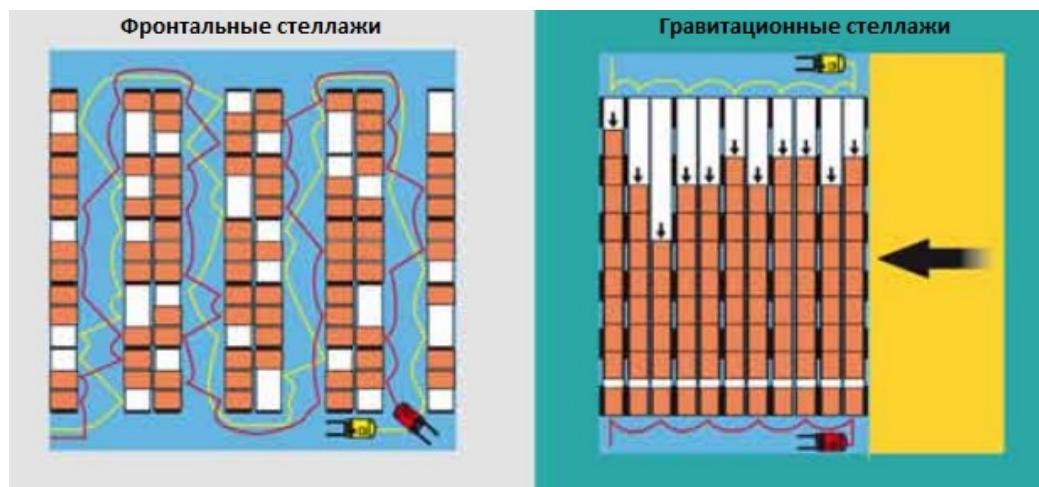
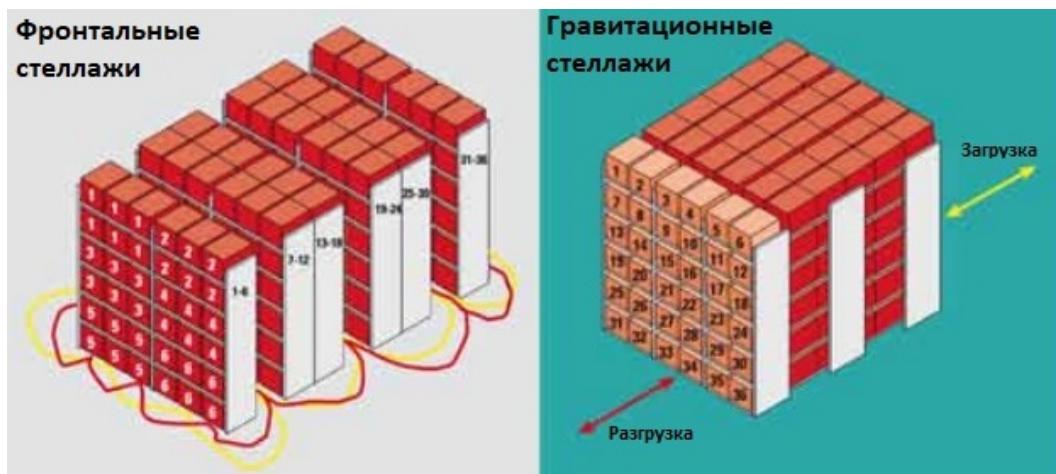


Рис. 5. Транспортировка и хранение груза при использовании гравитационных и фронтальных стеллажей для паллет

Благодаря упорядоченному хранению при использовании гравитационных стеллажей обеспечивается мгновенный доступ к ячейке с отдельным SKU (рис. 6).



**Рис. 6.** Сравнение типа хранения SKU при использовании гравитационных и фронтальных стеллажей для паллет

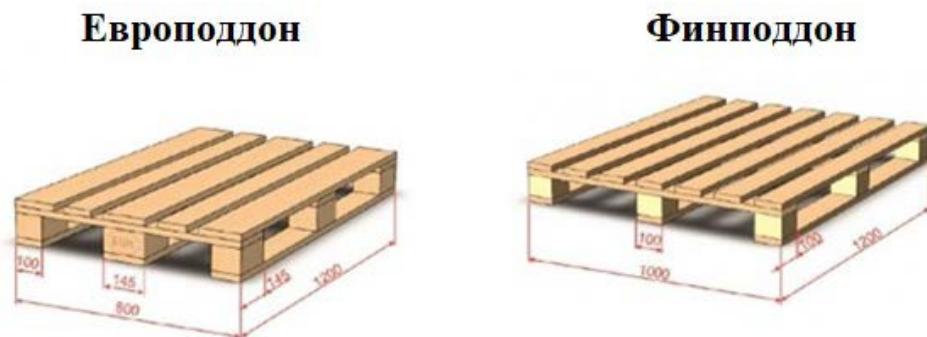
### Конструктивные параметры металлоконструкции

При исследовании металлоконструкции гравитационных стеллажей для паллет важно учитывать её конструктивные параметры, формирующие металлоконструкцию под обработку необходимых типов грузов и определяющие габаритные размеры стеллажа.

Рассмотренная нормативная документация, регулирующая общие технические условия сборно-разборных стеллажей в РФ представлена ГОСТом 55525-2017 [18]. Однако согласно данному стандарту выделено всего 3 вида сборно-разборных стеллажей: фронтальные, набивные и консольные. Стандартом не предусмотрено описание параметров конструкции гравитационного стеллажа для паллет. Таким образом, в РФ отсутствуют стандарты, регламентирующие конструктивные параметры гравитационных стеллажей для паллет.

Важное значение на размеры гравитационного стеллажа для паллет оказывают габаритные размеры паллеты, которые определяются типом применяемых поддонов.

Основными типами поддонов, используемых в РФ, являются деревянные евро- и финподдоны [19], представлены на рис. 7.



**Рис. 7.** Основные типы поддонов, используемые в РФ

По результатам анализа конструкций гравитационных стеллажей для паллет [7-14] определены основные конструктивные параметры их металлоконструкций, учитывающие глубину, ширину и высоту гравитационных стеллажей для паллет.

Конструктивные параметры металлоконструкции гравитационных стеллажей для паллет представлены на рис. 8-11 и в табл. 1 с учётом размеров паллеты: длины  $L_p$  (рис. 8), высоты  $H_p$  (рис. 10) и ширины  $W_p$  (рис. 11).

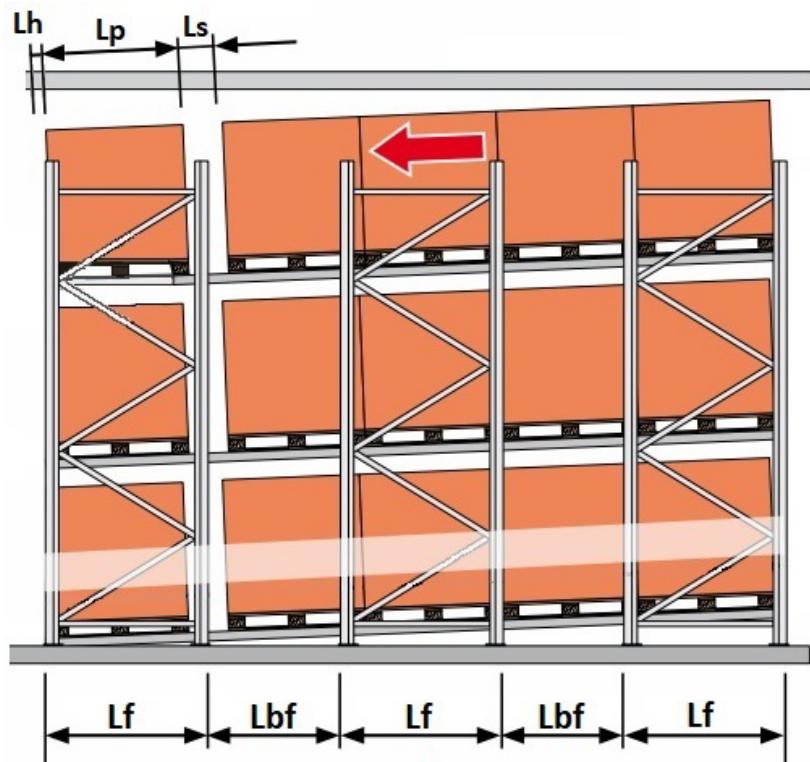


Рис. 8. Схема конструктивных параметров учёта глубины гравитационного стеллажа для паллет

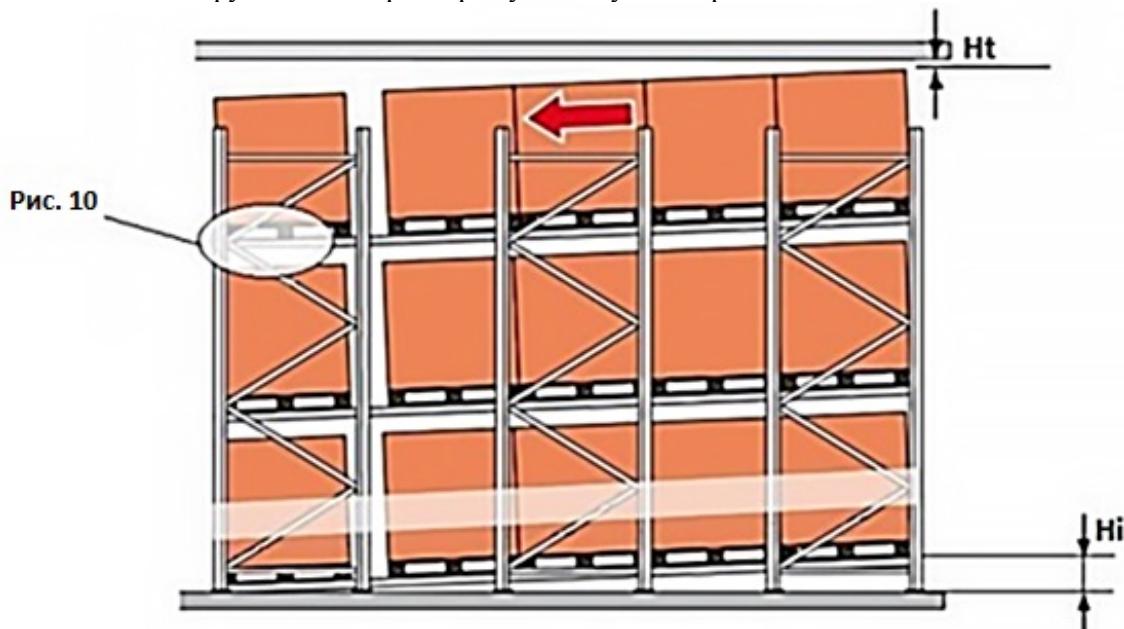
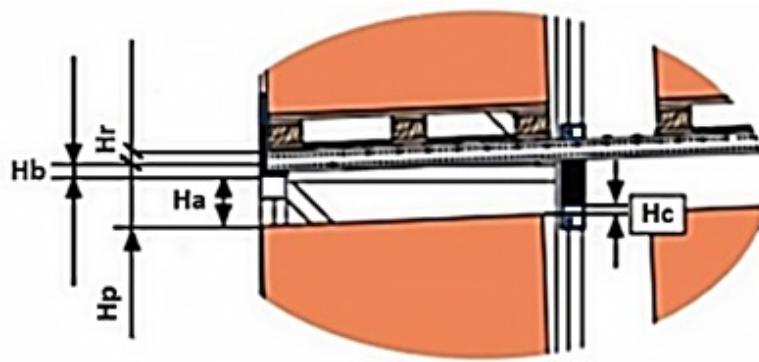
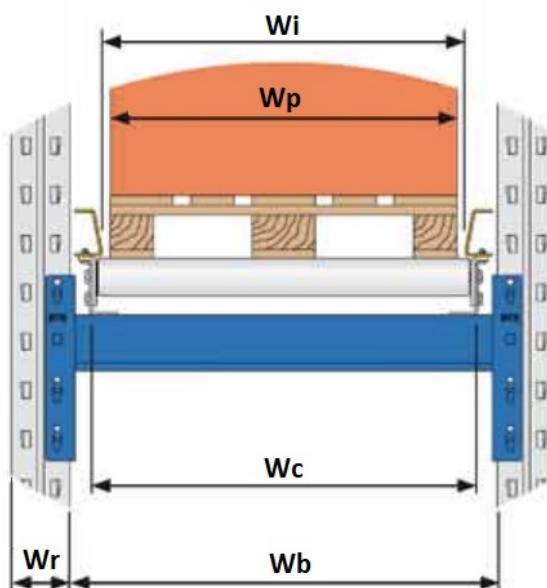


Рис. 9. Схема конструктивных параметров учёта высоты гравитационного стеллажа для паллет (общий вид)



**Рис. 10.** Схема конструктивных параметров учёта высоты гравитационного стеллажа для паллет (приближенный вид)



**Рис. 11.** Схема конструктивных параметров учёта ширины гравитационного стеллажа для паллет

**Табл. 1.** Конструктивные параметры металлоконструкции гравитационных стеллажей для паллет

| Обозначение | Наименование                                  |
|-------------|---|
| Lf          | Длина рамы                                    |
| Lbf         | Расстояние между рамами                       |
| Ls          | Зазор разделителя паллет                      |
| Lh          | Зазор безопасности обработки паллеты          |
| Ha          | Зазор безопасности над паллетой для обработки |
| Hc          | Зазор безопасности в канале движения          |
| Ht          | Зазор безопасности перед потолком             |
| Hb          | Высота сечения балки                          |
| Hr          | Высота роликового конвейера                   |
| Hi          | Высота подъёма роликового конвейера           |
| Wi          | Ширина между направляющими подачи паллеты     |
| Wc          | Ширина канала                                 |
| Wb          | Расстояние между стойками                     |
| Wr          | Ширина стойки                                 |

## **Выводы**

1. Представлен обзор и проведён анализ конструкций отечественных и зарубежных производителей гравитационных стеллажей для паллет.
  2. Приведены основные критерии сравнения компактных систем хранения.
  3. Рассмотрены преимущества компактных систем хранения.
  4. Описана конструкция и принцип работы гравитационных стеллажей для паллет.
  5. Проведён сравнительный анализ гравитационных стеллажей для паллет с шаттловыми стеллажами и фронтальными стеллажами для паллет.
  6. Выявлены основные преимущества гравитационных стеллажей для паллет, которые по сравнению с другими компактными системами хранения обеспечивают высокую производительность, плотность хранения и являются более рентабельными по сравнению с шаттловыми стеллажами при глубине канала менее 15 паллет.
  7. Определены основные конструктивные параметры металлоконструкции гравитационных стеллажей для паллет.
- 

## **Список литературы**

1. Рахилин К., Сафонов Е., Чеканов А. Подходы к выбору оборудования в складской интрапогистике // Логистика. – 2017. – №11. – С. 16-19.
  2. Comparing compact storage systems: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mecalux.com/blog/comparison-compact-storage-systems> (дата обращения: 10.04.2025).
  3. Compact Pallet Rack Storage Systems: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ar-racking.com/en/blog/compact-pallet-rack-storage-systems/> (дата обращения: 10.04.2025).
  4. Eo J. Structured comparison of pallet racks and gravity flow racks // IIE Annual Conference and Expo. – 2015. – Р. 1971-1980.01.
  5. Гравитационные стеллажи для паллет и коробок: [Электронный ресурс]. URL: <https://skladovoy.ru/gravitacionnye-stellazhi-dlya-pallet-i-korobok.html> (дата обращения: 10.04.2025).
  6. Землянская В.Н. Классический метод ABC-анализа и его современная модификация // Евразийский Союз Ученых. – 2017. – №9-2 (42). – С. 15-19.
  7. First: [Электронный ресурс]. URL: <https://1logistik.ru/> (дата обращения: 10.04.2025).
  8. Comitas: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.comitas.ru/> (дата обращения: 10.04.2025).
  9. Стеллажи Медведь: [Электронный ресурс]. URL: <https://medved1.ru/> (дата обращения: 10.04.2025).
  10. Bito: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bito.com/ru-ru/> (дата обращения: 10.04.2025).
  11. Interroll: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.interroll.com/> (дата обращения: 10.04.2025).
  12. Mecalux: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mecalux.com/> (дата обращения: 10.04.2025).
  13. Euroroll: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.euroroll.de/> (дата обращения: 10.04.2025).
-

14. SSI schaefer: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ssi-schaefer.com/en-us> (дата обращения: 10.04.2025).
15. Сафонов Е.В., Носко А.Л. Шарифуллин И.А. Тормозные ролики для паллетных гравитационных стеллажей. Конструкция. Теория. Методы расчета. Эффективность применения: монография // М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2024. – 115 с.
16. Franke S., Manemann J. Efficient solutions for high-density pallet storage: A detailed comparison of Pallet Flow and Pallet Shuttle Rack Systems // Fraunhofer IML. – 2024. – 20 p.
17. Pallet live storage system User manual: [Электронный ресурс]. URL: [https://www.bito.com/fileadmin/user\\_upload/Pallet\\_Live\\_Storage\\_System\\_-\\_User\\_Manual.pdf](https://www.bito.com/fileadmin/user_upload/Pallet_Live_Storage_System_-_User_Manual.pdf) (дата обращения: 10.04.2025).
18. ГОСТ 55525-2017. Складское оборудование СТЕЛЛАЖИ СБОРНО-РАЗБОРНЫЕ Общие технические условия // М.: Стандартинформ. – 2017. – 44 с.
19. Носко А.Л., Сафонов Е.В., Потапов В.А. Система паллетных модулей для складской интрапогистики // Вестник машиностроения. – 2016. – №8. – С. 10-12.

---

## АВТОРЫ

**Алексеев Вадим Игоревич**, аспирант каф. «Подъемно-транспортные системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), [Vada\\_smol@mail.ru](mailto:Vada_smol@mail.ru).

**Носко Андрей Леонидович**, профессор кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), доктор технических наук, доцент, [dr.nosko@mail.ru](mailto:dr.nosko@mail.ru).

**Сафонов Евгений Викторович**, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), кандидат технических наук, доцент, [safronov@bmstu.ru](mailto:safronov@bmstu.ru).

# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal*  
*International Public Organization*  
*“Integration strategy”*  
<http://maplants-journal.ru>

//Machines and Plants:Design and Exploiting.  
2025. № 1. pp. 43 – 54.

DOI:

Received: 10.04.2025  
Accepted for publication: 27.04.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

## Review and analysis of live pallet racking design

Vadim I. Alekseev,\*  
Andrey L. Nosko,  
Evgeny V. Safronov

\*[vada\\_smol@mail.ru](mailto:vada_smol@mail.ru)

Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

The article presents an overview and analysis of the designs of domestic and foreign manufacturers of live pallet racking. The main comparison criteria are given and the advantages of compact storage systems are considered. The design and operating principle of live pallet racking are described. A comparative analysis of live pallet racking with shuttle and frontal pallet racks was conducted. The main advantages of live pallet racking are identified, which, compared to other compact storage systems, provide high productivity, storage density and are more cost-effective than shuttle racks at channel depths of less than 15 pallets. The main design parameters of the metal construction of live pallet racking are determined. The obtained results are supposed to be used in the calculation method of the metal construction of live pallet racking.

**Keywords:** live pallet racking, metal construction, racks structures, racks design parameters, compact storage systems, racks equipment.

## References

1. Rakhilin K., Safronov E., Chekanov A. Approaches to the selection of equipment in warehouse intralogistics // Logistics. – 2017. – no. 11. – pp. 16-19.
2. Comparing compact storage systems: [Electronic resource]. URL: <https://www.mecalux.com/blog/comparison-compact-storage-systems> (accessed 10.04.2025).
3. Compact Pallet Rack Storage Systems: [Electronic resource]. URL: <https://www.ar-racking.com/en/blog/compact-pallet-rack-storage-systems/> (accessed 10.04.2025).
4. Eo J. Structured comparison of pallet racks and gravity flow racks // IIE Annual Conference and Expo. – 2015. – pp. 1971-1980.01.
5. Live pallet racking and boxes: [Electronic resource]. URL: <https://skladovoy.ru/gravitacionnye-stellazhi-dlya-pallet-i-korobok.html> (accessed 10.04.2025).
6. Zemlyanskaya V.N. Classical method of ABC analysis and its modern modification // Eurasian Union of Scientists. – 2017. – no. 9-2 (42). – pp. 15-19.
7. First: [Electronic resource]. URL: <https://1logistik.ru/> (accessed 10.04.2025).
8. Comitas: [Electronic resource]. URL: <https://www.comitas.ru/> (accessed 10.04.2025).
9. Racks Bear: [Electronic resource]. URL: <https://medved1.ru/> (accessed 10.04.2025).

10. Bito: [Electronic resource]. URL: <https://www.bito.com/ru-ru/> (accessed 10.04.2025).
  11. Interroll: [Electronic resource]. URL: <https://www.interroll.com/> (accessed 10.04.2025).
  12. Mecalux: [Electronic resource]. URL: <https://www.mecalux.com/> (accessed 10.04.2025).
  13. Euroroll: [Electronic resource]. URL: <https://www.euroroll.de/> (accessed 10.04.2025).
  14. SSI Schaefer: [Electronic resource]. URL: <https://www.ssi-schaefer.com/en-us> (accessed 10.04.2025).
  15. Safronov E.V., Nosko A.L. Sharifullin I.A. Brake rollers for live pallet racking. Design. Theory. Calculation methods. Application efficiency: monograph // Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University. – 2024. – 115 p.
  16. Franke S., Manemann J. Efficient solutions for high-density pallet storage: A detailed comparison of Pallet Flow and Pallet Shuttle Rack Systems // Fraunhofer IML. – 2024. – 20 p.
- 

#### AUTHORS

**Vadim I. Alekseev**, Postgraduate student, Department of Lifting and Transport Systems, Bauman Moscow State Technical University, (5, 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105005), [Vada\\_smol@mail.ru](mailto:Vada_smol@mail.ru).

**Andrey L. Nosko**, Professor of the Department of Lifting and Transport Systems at Bauman Moscow State Technical University, (105005, Moscow, 2nd Bauman str., 5), Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, [dr.nosko@mail.ru](mailto:dr.nosko@mail.ru).

**Evgeny V. Safronov**, Associate Professor of the Department of Lifting and Transport Systems at Bauman Moscow State Technical University, (105005, Moscow, 2nd Bauman str., 5), Candidate of Technical Sciences, [saftronov@bmstu.ru](mailto:saftronov@bmstu.ru).

# **Машины и Установки**

## **проектирование, разработка и эксплуатация**

*Сетевое издание*  
**МОО "Стратегия объединения"**  
<http://maplants-journal.ru>

*Ссылка на статью:*

//Машины и установки: проектирование,  
разработка и эксплуатация.  
Электрон. журн. 2025 № 1. С. 55 – 69.

**DOI:**

Представлена в редакцию: 27.04.2025  
Принята к публикации: 03.05.2025

© МОО «Стратегия объединения»

**УДК 621. 437.3**

## **Развитие технологий роторного двигателестроения в интересах повышения эксплуатационных характеристик транспортных средств**

**Зайцев А.А.**

[a.zaitsev@list.ru](mailto:a.zaitsev@list.ru)

ООО «АЗАРТ» (ОРН Сколково 1123493),  
Российская Федерация

---

Статья посвящена обзору проблем развития двигателестроения, связанных с ограничением вредных выбросов транспортных средств, и констатации необходимости применения инновационных подходов к совершенствованию двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены принципиальные преимущества роторно-лопастных двигателей и описаны проектные решения по конструкции перспективного образца такого типа. Изложены факты, подтверждающие новизну подхода, и результаты исследований, обосновывающие высокую вероятность достижения высоких показателей эффективности инновационной конструкции нового роторно-лопастного двигателя.

---

**Ключевые слова:** роторно-лопастной двигатель, снижение вредных выбросов, транспорт, эффективность, дифференциально-кулачковый механизм.

---

В настоящее время мир столкнулся с серьёзной проблемой загрязнения окружающей среды. Ожидается, что к 2050 году население планеты вырастет на 2 млрд человек и вслед за этим мировой автопарк увеличится примерно на 1 млрд автомобилей. Кроме того, прогнозируется увеличение на 500% количества ближне- и среднемагистральных авиаперевозок [1-3]. Эти факторы могут негативно повлиять на ситуацию с экологическим фоном на планете из-за увеличения количества вредных выбросов в атмосферу.

Двигатели внутреннего сгорания (далее – ДВС) все труднее укладываются в постоянно ужесточающиеся нормы экологичности, но при этом мы все чаще слышим доводы в пользу того, что именно гибридные силовые установки на базе ДВС являются наиболее эффективным типом привода для транспортных средств [4, 5].

Несмотря на стремительное развитие технологий электротранспорта, по прогнозам специалистов к 2050 году силовые установки на базе ДВС по-прежнему будут актуальны для оснащения большегрузного коммерческого транспорта и другой техники, предназначенной для работы в тяжелых условиях. Наиболее востребованными они останутся и в авиаотрасли. По данным аналитических агентств дальнемагистральная авиация будет продолжать использовать традиционные (усовершенствованные) двигатели, переходя на потребление синтетического топлива (Sustainable aviation fuel – SAF), которое придёт на смену керосину, а на маршрутах с дальностью полетов 500–1500 км в основном будут преобладать авиасредства как с SAF-двигателями, так и с гибридными и водородными силовыми установками [6]. Стоит предположить, что малая авиация будет продолжать использовать поршневые и роторные ДВС, приспособленные к работе на SAF (ближкому по свойствам к дизельному топливу) или на водороде. Логично, что и значительную часть наземного коммерческого и специального транспорта будет практичнее эксплуатировать с подобными силовыми установками, а не с батарейным электроприводом.

В пользу сохранения актуальности ДВС работают и трудно решаемые проблемы электромобилизации к которым относятся:

- ограничения запаса хода и времени зарядки (даже современные электромобили (далее – EV) требуют 20–40 минут для быстрой зарядки (до 80%), тогда как заправка ДВС занимает 3–5 минут, что критично в условиях дальних поездок или коммерческих перевозок);
- проблемы при экстремальных температурах (на морозе ёмкость батарей снижается на 20–40%, что ограничивает применение EV в холодных регионах);
- дефицит сырья для аккумуляторов (литий, кобальт и никель — дорогие и geopolитически уязвимые ресурсы);
- низкая энергетическая плотность источника энергии (1 кг бензина содержит ~12 кВт·ч энергии, тогда как лучшие литий-ионные аккумуляторы — лишь 0,25–0,3 кВт·ч/кг);
- низкая долговечность и ремонтопригодность (ресурс ДВС достигает 500 000 – 1 000 000 км (например, у дизелей в грузовиках), тогда как батареи деградируют через 200 000 – 400 000 км);
- экономические барьеры (стоимость перехода на EV для развивающихся стран из-за дороговизны EV и отсутствия зарядной сети);
- инфраструктурные барьеры (мировая сеть АЗС насчитывает миллионы точек, а быстрых зарядок для EV — лишь сотни тысяч);
- низкая окупаемость для коммерческого транспорта (грузовики, строительная и сельхозтехника на ДВС пока дешевле в эксплуатации, чем электрические аналоги).

Кроме того, есть ниши, где ДВС просто незаменимы:

- дальняя авиация и судоходство (батареи слишком тяжёлые для самолётов и крупных судов);
- военная техника (независимость от зарядной инфраструктуры критична в боевых условиях);
- спецтехника (для буровых установок, генераторов в удалённых районах необходим ДВС).

Энергетические установки на топливных элементах (далее – ТЭ) также пока не могут конкурировать с ДВС из-за тех же энергетических и инфраструктурных барьеров и низкой удельной мощности (мощности на единицу массы или объема) в сравнении с ДВС [7–10] (таблица 1).

**Таблица 1.** Сравнение удельных и пиковых показателей ДВС и топливных элементов

| Показатель                 | ДВС (бензин/дизель)                             | Топливные элементы ( $H_2$ )                              | Примечания  |
|----------------------------|---|---|---|
| Массовая удельная мощность | 300–1500 Вт/кг (до 2000 Вт/кг для гоночных ДВС) | 300–1000 Вт/кг (включая баки и другие компоненты системы) | ТЭ проигрывают из-за массы вспомогательных систем (компрессоры, охлаждение) |
| Объёмная удельная мощность | 500–3000 кВт/м <sup>3</sup>                     | 200–800 кВт/м <sup>3</sup>                                | ДВС компактнее, особенно версии с турбонаддувом                             |
| Пиковая мощность           | Высокая (быстрый отклик)                        | Ограничена скоростью реакции ТЭ и подачи водорода         | Для динамичных нагрузок ДВС предпочтительнее                                |

Таким образом, в обозримой перспективе можно прогнозировать повышение спроса на компактные, эффективные, но достаточно экологичные ДВС. Налицо наличие дилеммы, подталкивающей к необходимости кардинального совершенствования традиционных или создания инновационных двигателей. Для соответствия перспективным требованиям ДВС должны обеспечивать отдачу требуемой мощности при значительном сокращении количества (и стоимости) расходуемого топлива и существенном снижении количества вредных выбросов в атмосферу.

На сегодняшний день современные поршневые двигатели (далее – ПД) остаются основным средством обеспечения мобильности автотранспорта и легкомоторной авиатехники, однако они уже практически исчерпали резервы по возможности их совершенствования. Дальнейшие незначительные улучшения их характеристик, как правило, связаны со значительными усложнениями узлов и систем, а также с увеличением себестоимости производства.

Основным направлением улучшения показателей эффективности ПД остается повышение среднего индикаторного давления цикла, но последние достижения на этом направлении исследований показывают близость предела возможностей по наращиванию этого потенциала.

Еще одним из способов повышения КПД ПД является применение в его рабочих процессах циклов Аткинсона или Миллера. Эффект применения этих циклов заключается в более полном использовании энергии рабочего тела за счет большей степени его расширения в цилиндрах двигателя, однако цена такого эффекта – уменьшение его удельной (габаритной) мощности.

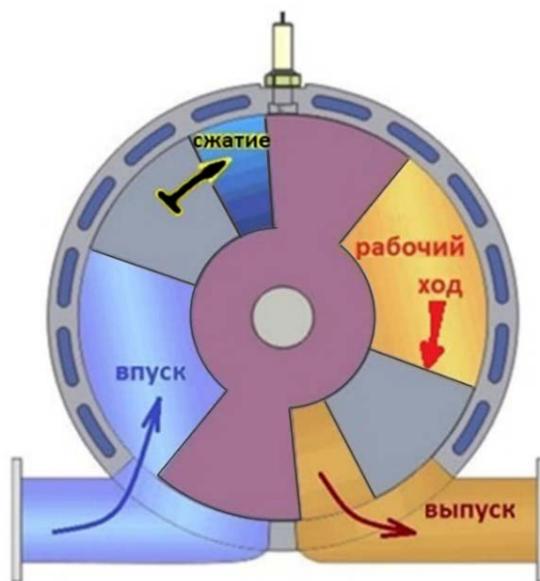
Другим направлением является использование топлив с большей, чем у традиционных видов топлива, теплотворной способностью, например, водорода, при работе на котором улучшаются еще и экологические показатели выбросов. Ведущиеся в этой области исследования показывают трудность обеспечения стабильной работы ПД на переходных режимах в связи со сложностью контролирования момента возгорания водорода и кратно более высокой скоростью его горения в сравнении с углеводородными видами топлива, что грозит разрушительными детонационными процессами. Увеличение инертности водорода смешением с другими горючими или негорючими компонентами дает положительный результат, но не является однозначно эффективным решением из-за снижения КПД [11].

Налицо необходимость поиска других, инновационных способов обеспечения транспорта эффективной мобильностью.

Один из способов решения этой задачи – довериться автору книги "Необычные двигатели" Гуськову Г.Г., заметившему в своей работе: "Роторно-лопастные двигатели,

пожалуй, самые перспективные из всех, разобранных в данной книге. И хотя в серийном промышленном производстве нет ни одного образца из этого довольно многочисленного семейства, а есть лишь буквально считанные экспериментальные модели, ещё очень далёкие от совершенства, можно ожидать, что этим двигателям внутреннего сгорания суждено большое и блестящее будущее" [12].

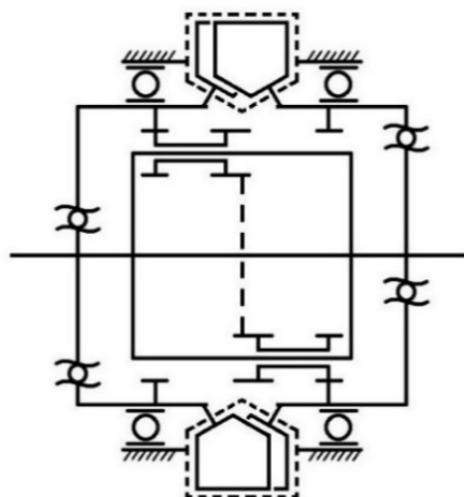
Роторно-лопастные двигатели (далее – РЛД) представляют собой одно из направлений в конструировании ДВС с высокими удельными показателями. Теоретическая принципиальная схема РЛД (рис. 1) позволяет создавать в 4-5 раз более компактные двигатели, нежели поршневые с равным рабочим объемом, что достигается реализацией четырех полноценных четырехтактных рабочих циклов за один оборот выходного вала. По этому показателю одна секция РЛД сопоставима с 8-цилиндровым ПД с соответствующим соотношением материалоемкости, количества деталей и стоимости производства.



**Рис. 1.** Принципиальная схема роторно-лопастного двигателя

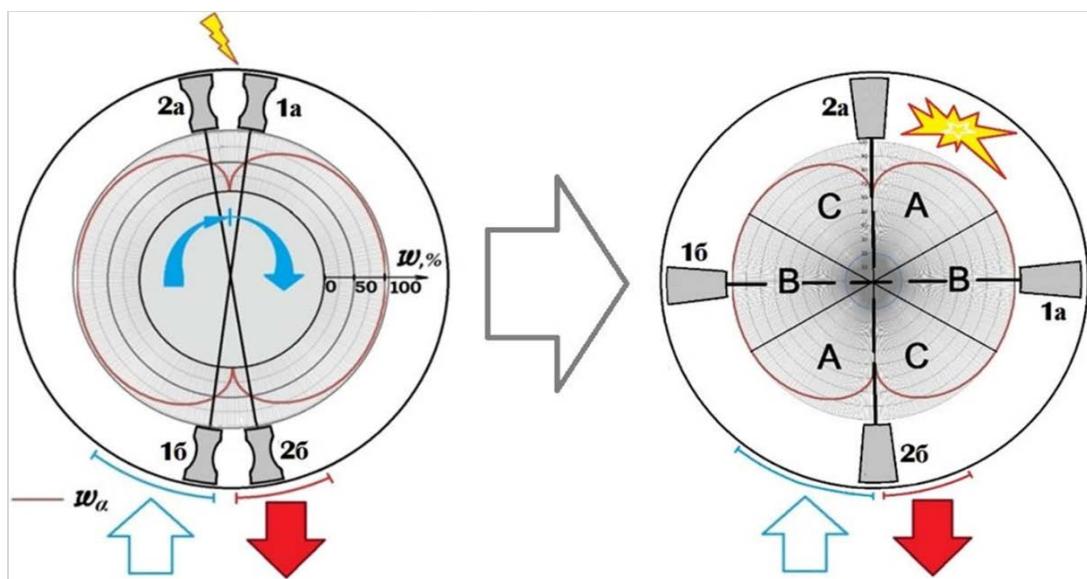
В результате проведенных исследований [13] установлено, что основная масса из предлагаемых ранее конструкций РЛД основана на использовании принципа преобразования неравномерного движения роторов в равномерное вращение выходного вала по гармонично-синусоидальной или экстремально-синусоидальной схемам синхронизации, которые не могут обеспечить в первом случае эффективность трансформации крутящего момента, а во втором случае – надежность трансформации. Доказано, что наиболее перспективным направлением совершенствования конструктивных схем РЛД является схема с останавливающими роторами. Эта схема может обеспечить оптимизацию взаимной компенсации инерционных и барических нагрузок со снижением паразитных потерь и повышением эффективности преобразования энергии рабочего тела.

Для реализации преимуществ схемы синхронизации с останавливающими роторами были проведены изыскания [14] с целью поиска эффективного решения, воплощенного в дальнейшем в конструкции механизма преобразования, состоящего из роликово-кулачкового механизма и симметричного дифференциального планетарного редуктора (защищено патентом RU 2673318). Общая кинематическая схема дифференциально-кулачкового механизма, преобразующего неравномерное вращательное движение роторов в равномерное вращение суммирующего вала, представлена на рисунке 2.



**Рис. 2.** Принципиальная кинематическая схема дифференциально-кулачкового механизма

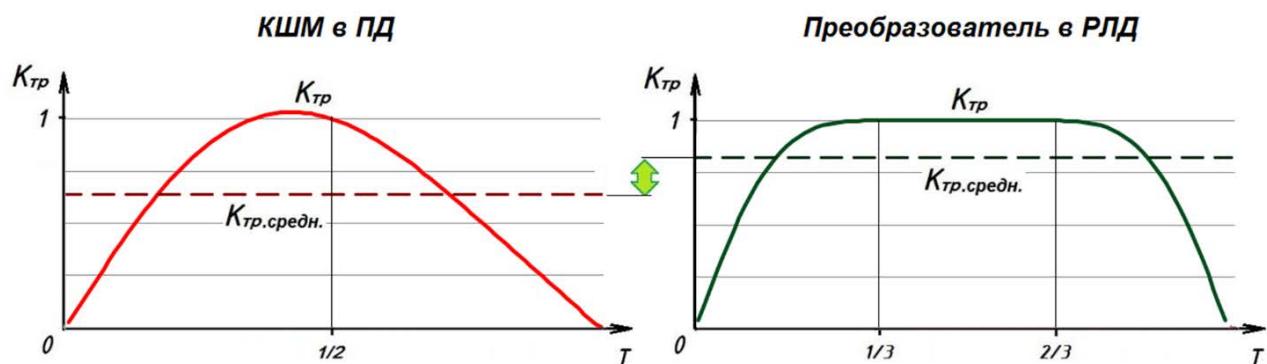
Данная схема позволяет реализовать алгоритм синхронизации (рис. 3), при котором силы инерции роторов наиболее гармонично участвуют в процессе преобразования энергии рабочего тела, а в период остановки одного из роторов с другого ротора снимается крутящий момент без лишних потерь и с максимальным коэффициентом трансформации. При этом посредством преобразователя такого типа достижимо более чем 30-ти процентное увеличение эффективности преобразования энергии сгорания топлива в механическую работу по сравнению с кривошипно-шатунным механизмом (далее – КШМ) ПД.



**Рис. 3.** Графическое отражение алгоритма синхронизации  
 $(\omega_a$  - угловая скорость вращения лопастей; 1, 1а, 2, 2а – обозначения лопастей;  
А и С – секторы разгона/торможения лопастей; В – секторы движения лопастей  
с максимальной скоростью вращения)

Увеличение эффективности преобразования связано с более высоким значением среднего коэффициента трансформации Ктр.средн. у РЛД (рис. 4). Под коэффициентом трансформации Ктр в данном случае подразумевается величина, характеризующая совершенство кинематической схемы, посредством которой суммарные силы, действующие на поршень (лопасти), трансформируются в силу, формирующую крутящий

момент на валу двигателя. Мгновенные значения коэффициента трансформации Ктр механизма преобразования неравномерного вращательного движения роторов в равномерное вращение выходного вала РЛД (далее – механизм преобразования) зависят от разности текущих коэффициентов передачи крутящих моментов с роторов на выходной вал, которые находятся в прямой зависимости от значений угловых скоростей вращения роторов, приведенных к скорости вращения выходного вала РЛД [14]. Для ПД, в котором механизмом преобразования является КШМ, крутящий момент формирует тангенциальную силу  $T$ , действующая на шейку коленчатого вала и направленная по касательной к окружности, образованной радиусом кривошипа [15]. Таким образом, применительно к ПД, коэффициенту трансформации Ктр соответствует значение множителя, выделяющего долю тангенциальной силы из величины суммарной силы, действующей на поршень и приложенной к верхней головке шатуна.



**Рис. 4.** Сравнение коэффициентов трансформации механизмов преобразования в ПД и РЛД

Еще большую важность имеет распространение диапазона действия повышенных значений Ктр в зону действия повышенных значений силы давления газов (в начальный период времени рабочего такта  $T$ ). Суммарный по этим показателям прирост эффективности преобразования ожидается более, чем на 30%.

Большое значение для повышения эффективности преобразования также имеет кратно меньшее количество кинематических связей и, соответственно, пар трения в РЛД по сравнению с сопоставляемым ПД. Кроме того, в РЛД реализуемо применение бесконтактных уплотнений газовых стыков между поверхностями периметра лопастей и стенками тороида. Эти факторы влияют на повышение механического КПД двигателя.

Кроме того, особенности динамики изменения объемов рабочих камер в РЛД предопределяют повышение степени адиабатизации рабочих циклов, а также создают намного лучшие, чем в классических ПД, условия для использования водорода в качестве топлива. Интенсивное сжатие заряда в «холодном» секторе тороида в значительной степени снизит вероятность самовоспламенения водорода, а динамичное расширение рабочего тела в рабочем такте позволит оптимизировать фронт горения водорода (скорость пламени  $\sim 3$  м/с) и избежать локальных зон перегрева за счет ускорения течения цикла.

Примером использования высокой динамики циклов для «приручения» водорода могут служить исследования, проводимые в лабораториях Porsche, Toyota, Koenigsegg. В гоночных водородных ДВС используют короткоходные цилиндкопоршневые группы (ход/диаметр = 0,8:1) для ускоренного цикла. Результатом является снижение детонации на 15% при  $\lambda=2,5$  [16].

Ускорение изменения рабочих объемов между лопастями в РЛД с применением запатентованного преобразователя на 30% больше по сравнению с ускорением изменения рабочего объема цилиндра в ПД с КШМ (при сравнении в пределах единицы такта) (рис. 5).

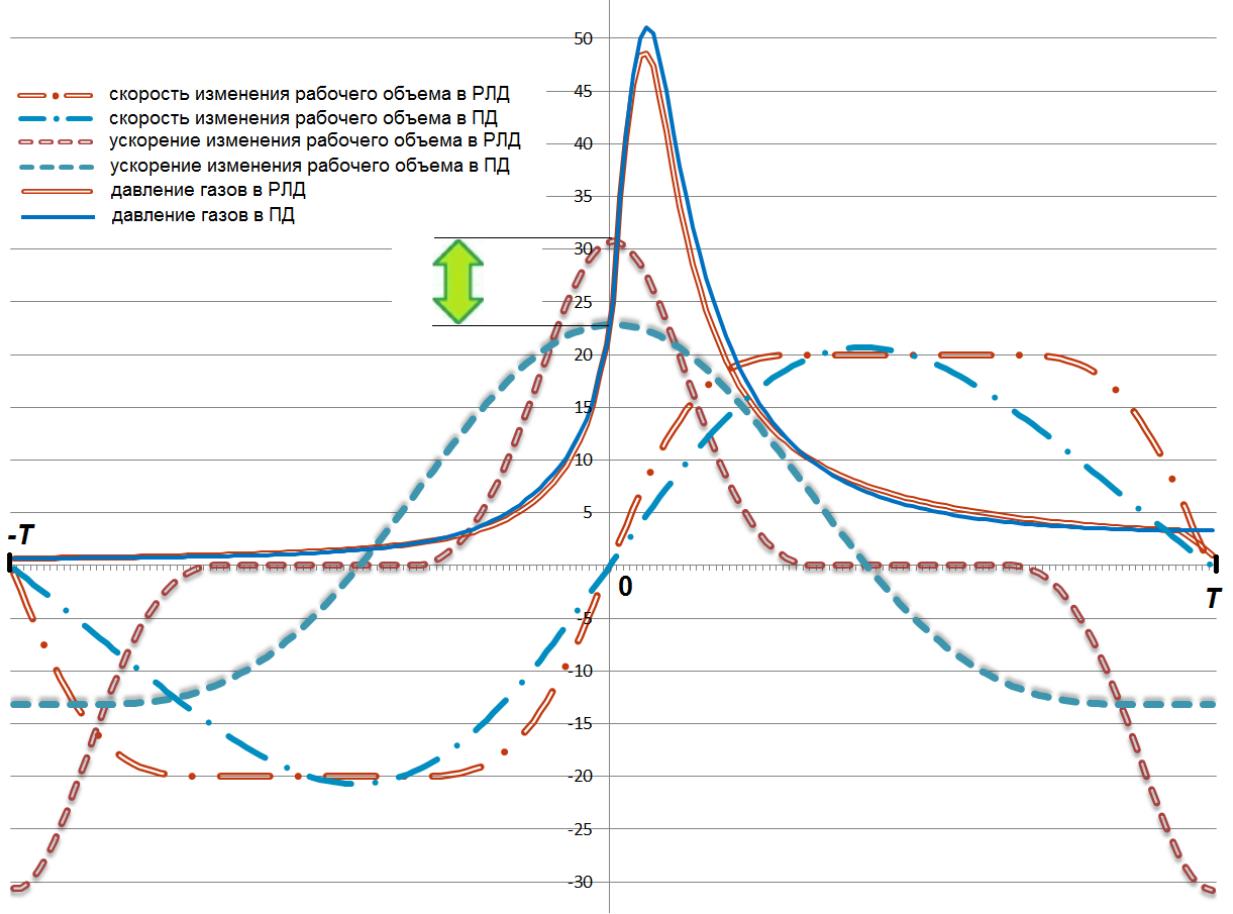


Рис. 5. Сравнение динамики процессов в ПД и РЛД (в условных единицах измерения) в зависимости от доли такта Т (д.т.)

Но, что важно, один рабочий такт в РЛД происходит за 90 градусов поворота выходного вала, а в ПД – за 180 градусов. Соответственно, при равной скорости вращения их выходных валов, рабочий цикл в ПД будет происходить в два раза медленнее (здесь для максимального ускорения изменения объема в ПД справедливо равенство  $22,5 \text{ у.е./д.т.} = 11,25 \text{ у.е./град.}$ ). Таким образом, при выборе шкалы измерения длительности процессов в углах поворота выходного вала разница в пиковых ускорениях изменения рабочих объемов получается почти трехкратная (рис. 6).



Рис. 6. Сравнение динамики процессов в ПД и РЛД (в условных единицах измерения) в зависимости от угла поворота выходного вала

Такая динамика рабочих процессов дает дополнительные преимущества для улучшения термодинамических показателей работы двигателя. Чем ближе условия расширения в ДВС к адиабатическому расширению, тем меньше тепловые потери. В предельном случае они стремятся к нулю, но в реальных двигателях снижение потерь может достигать 2–3 раза (с 30% до 10% или менее) при оптимизации процесса [17, 18]. Расчеты [19] подтверждают, что при сокращении времени расширения в 2 раза теплопотери падают на 15–20%.

Дополнительным фактором, влияющим на снижение теплопотерь в перспективном РЛД будет являться меньшая площадь ограждающих рабочее тело поверхностей. Так при сравнении односекционного РЛД с релевантным восьмицилиндровым ПД (одинакового рабочего объема) установлена более чем 5-ти кратная разница суммарной площади теплообменных поверхностей.

В соответствии с законами теплопередачи количество переданного тепла ( $Q$ ) пропорционально времени ( $t$ ) и площади ( $F$ ) поверхности теплообмена:

$$Q = k \times F \times (T_g - T_{ox}) \times t,$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, определяемый через коэффициенты теплоотдачи со стороны горячих газов и охлаждающей среды, коэффициент теплопроводности стенки и ее толщину;

$F$  – площадь поверхности теплообмена;

$T_g$  – температура горячих газов;

$T_{ox}$  – температура охлаждающей среды;

$t$  – время теплообмена.

Чем короче время  $t$  (быстрее расширение) и меньше площадь  $F$  контакта горячих газов с ограждающими конструкциями, тем меньше количество утраченного тепла  $Q$ . Теоретически в РЛД можно снизить теплопотери через стенки на 30–50% по сравнению с поршневым ДВС того же объема. Практически реальный выигрыш будет зависеть от конструктивного исполнения и примененных технологий, но снижение на 30% выглядит вполне достижимым.

Таким образом, сумма аргументов в пользу процитированного утверждения Гуськова Г.Г. о том, что «роторно-лопастные двигатели, пожалуй, самые перспективные», служит эффективным стимулом для продолжения изысканий по данной тематике.

На основании результатов проведенных исследований и выбранной принципиальной схемы выполнен предпроект РЛД, отдельные конструктивные особенности которого защищены патентом RU 2754184. Физическая реализуемость и работоспособность заданных кинематических связей апробирована на кинематическом макете (рис. 6).

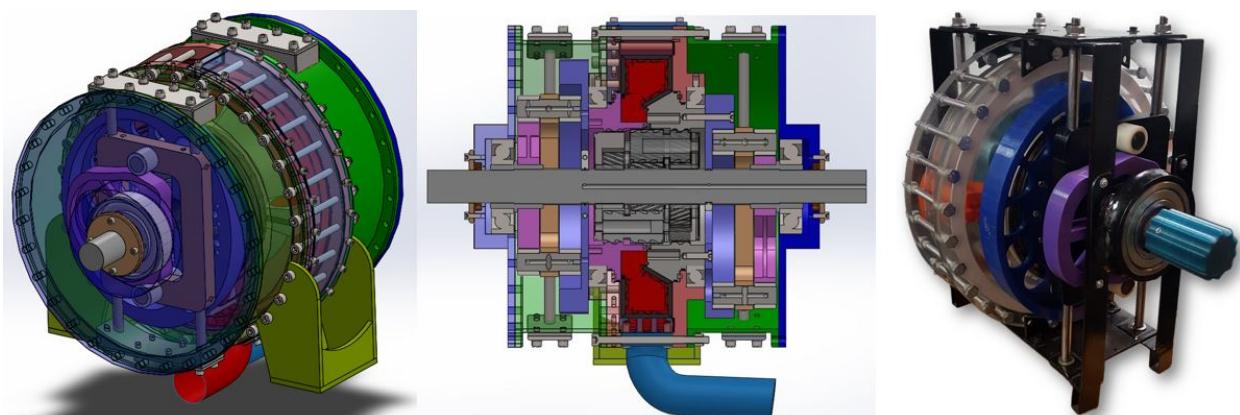


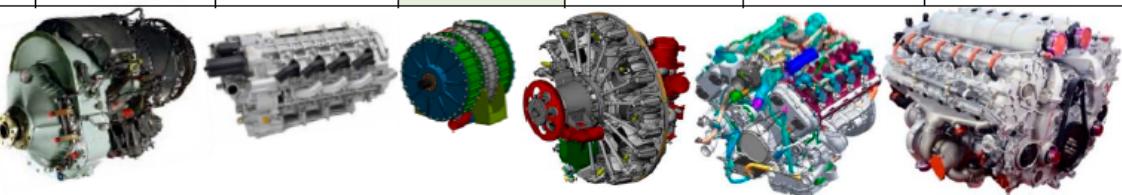
Рис. 6. Общий вид, разрез и кинематический макет РЛД (справа налево)

В среде программного комплекса SolidWorks проведена серия компьютерных тестов двигателя в рамках расчетного исследования предельных нагрузок и проверки прочности его деталей, а также работоспособности бесконтактных уплотнений газовых стыков. Также был произведен расчет дифференциального редуктора на работоспособность и ресурс под воздействием нормативной нагрузки. Результаты исследований подтверждают целесообразность практического создания РЛД [20].

В соответствии с предварительными расчетами, РЛД (при применении описанных принципиальной схемы агрегата и алгоритма синхронизации роторов) по своей компактности и удельной мощности может превосходить существующие и перспективные поршневые двигатели традиционных конструкций примерно в два раза.

Предварительные расчеты характеристик РЛД, проектируемого в формате, соответствующем его использованию в составе силовых установок для авиатехники, демонстрируют значительные преимущества такого типа двигателей в сравнении с классическими (таблица 2).

**Таблица 2.** Сравнительные характеристики РЛД и двигателей для ближнемагистральной авиации

| Двигатель  | Honeywell TPE-331-12 | Wankel KKM 504d * (High-Perf.)                 | РЛД * (расчетные данные)          | ДВ-450 *   | АПД-500 *                                  | RED A03                                     |
|--|----------------------|--|-----------------------------------|--|--|---|
| тип двигателя  | газо-турбинный       | 4-секционный роторно-поршневой с турбонаддувом | одно-секционный роторно-лопастной | 9-цилиндро-вый, звездообразный с воздушным охлаждением | 8-цилиндро-вый, V-образный с турбонаддувом | 12-цилиндро-вый, V-образный с турбонаддувом |
| вид топлива  | керосин              | много-топливный                                | много-топливный                   | бензиновый   | бензиновый                                 | много-топливный                             |
| мощность, кВт  | 810                  | 300  | 370                               | 331  | 370  | 373   |
| об/мин   | 41730                | 8000   | 5000                              | 2950   | 5500                                       | 4000  |
| сухой вес, кг  | 175                  | 121  | 137                               | 200  | 350  | 357   |
| Д x Ш x В, мм  | 1088 x 533 x 676     | 793 x 480 x 435                                | 600 x 490 x 500                   | 950 x Ø 985  | 790 x 870 x 700                            | 1114 x 870 x 712                            |
| габаритный объем, дм <sup>3</sup>  | 392                  | 166  | 147                               | 723  | 481  | 690   |
| удельная мощность, кВт/кг  | 4,6                  | 2,5  | 2,7                               | 1,65   | 1,06                                       | 1,04  |
| удельная мощность, кВт/дм <sup>3</sup>   | 2,1                  | 1,8  | 2,5                               | 0,46   | 0,8  | 0,5   |
| расход топлива, г/л.с.*ч (г/кВт *ч)  | 243 (330)            | 200 (270)                                      | 150 (204)                         | 180 (245)  | 200 (270)                                  | 154 (210)                                   |
|  |                      |  |                                   |  |  |   |

Принципиальные преимущества конструкции РЛД в части низких показателей массы и занимаемого объема имеют большое значение при рассмотрении возможности его применения в составе силовых установок коммерческого и особенно авиаотранспорта. Кроме предпосылки к повышенным значениям удельной мощности двигателя, экономия занимаемого им пространства и, соответственно, уменьшение размера моторно-трансмиссионного отсека приведет и к снижению общей массы носителя, что положительно скажется на его лётно-технических характеристиках.

Кроме того, подавляющее преимущество РЛД в компактности по сравнению с ПД дает возможность использовать часть этого резерва для повышения КПД путем реализации его работы по циклу Аткинсона. Тем более, что его конструкция, не нуждающаяся в газораспределительном механизме (далее – ГРМ) при работе по циклу Отто или Дизеля, позволяет обеспечить эффективную регулировку фаз газораспределения простым техническим решением. Регулируемая заслонка (шибер) на впуске позволяет плавно регулировать количество впускаемого воздуха (топливно-воздушной смеси) и обеспечивать переход от цикла Отто (или Дизеля) к циклу Аткинсона. Схематично на рисунке 7 показано изменение угловой величины  $\alpha$  сегмента тороида, объем которого характеризует количество сжимаемого воздуха (или топливовоздушной смеси), вследствие сдвига заслонки и соответствующего изменения формы впускного окна.

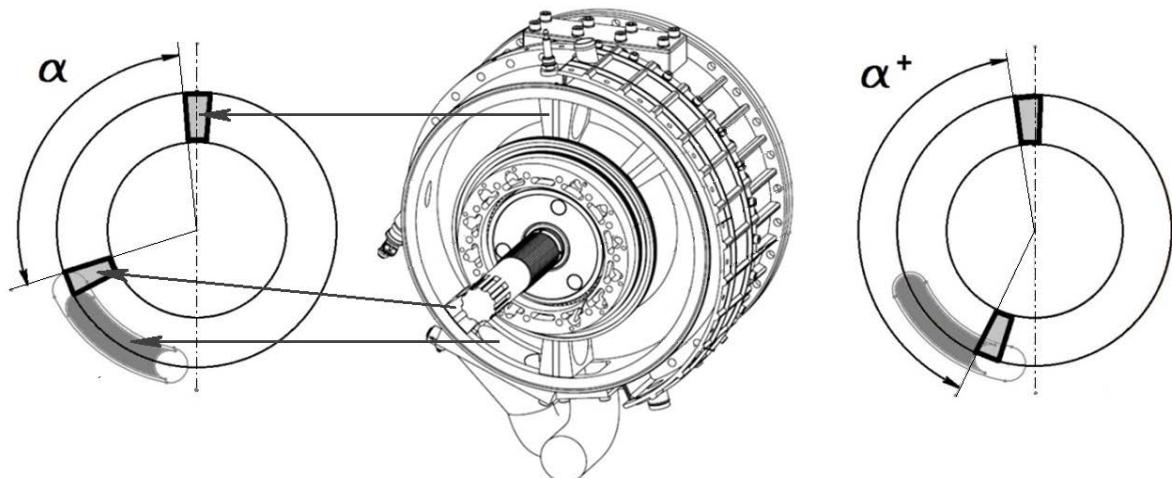


Рис. 7. Реализация способа регулировки фаз газораспределения

Проиллюстрированное конструктивное решение, реализующее (в том числе) возможность непрерывного и плавного изменения степени сжатия в процессе работы двигателя, позволяет проектировать РЛД многотопливным, с обеспечением возможности динамичного перехода на питание керосином, *SAF*, газом и другими видами обычного или экологичного топлива. Такое качество при использовании РЛД на специальной технике позволит также успешно ее эксплуатировать в условиях жесткой логистики обеспечения определенными видами топлива.

Кроме того, применение такого конструктивного решения позволит повысить эффективности работы двигателя на технике, эксплуатирующейся в условиях постоянно меняющейся степени разреженности атмосферы.

Еще больше преимуществ дает такое техническое решение для реализации эффективного использования водорода в качестве топлива в дополнение к уже рассмотренным преимуществам особой динамичности рабочих циклов рассматриваемого РЛД. Об этом свидетельствуют результаты исследований, проводимых дочерней компанией Koenigsegg — FreeValve AB. Технология FreeValve кардинально меняет принцип работы

газораспределительного механизма, что особенно критично для водородных ДВС [21-23]. Эта технология существенно облегчает решение следующих проблем.

1. Борьба с детонацией: точный контроль фаз исключает самовоспламенение.
2. Многотопливность: один двигатель может работать на водороде, бензине и синтетическом топливе.
3. КПД: на 15–20% выше, чем у аналогов с обычным ГРМ.

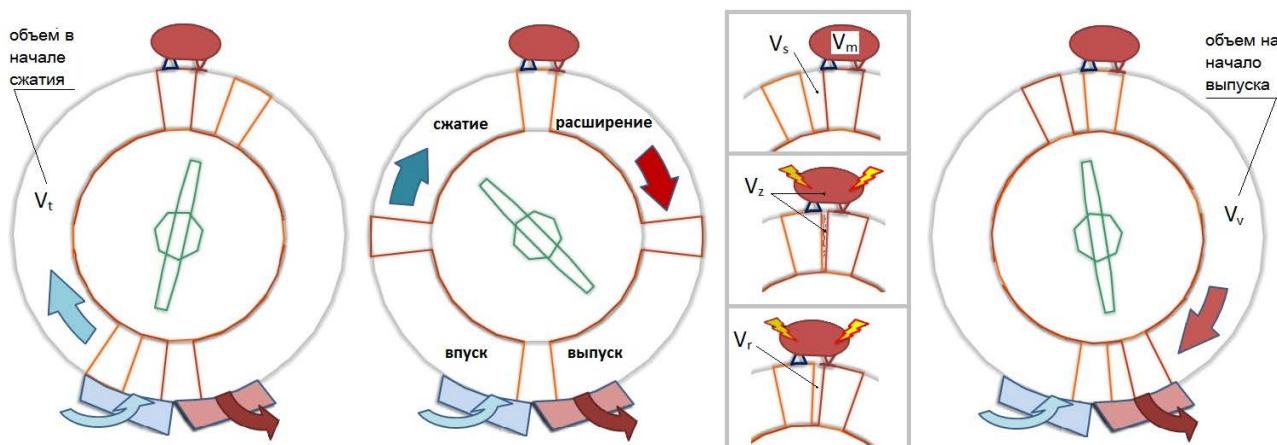
Достигается это реализацией следующих преимуществ.

1. Подавление обратных вспышек. Проблема в том, что водород легко воспламеняется во впускном коллекторе при контакте с горячими клапанами. FreeValve решает эту проблему поздним открытием впускных клапанов (после прохождения поршнем ВМТ) и ступенчатым закрытием выпускных для предотвращения обратного выброса смеси.

2. Адаптивное управление степенью сжатия. Водород требует низкой степени сжатия для предотвращения детонации. FreeValve позволяет динамически менять эффективный объем камеры сгорания на низких оборотах ранним закрытием впускных клапанов (имитация степени сжатия 8:1), а на высоких оборотах – полным наполнением цилиндров (для максимальной мощности).

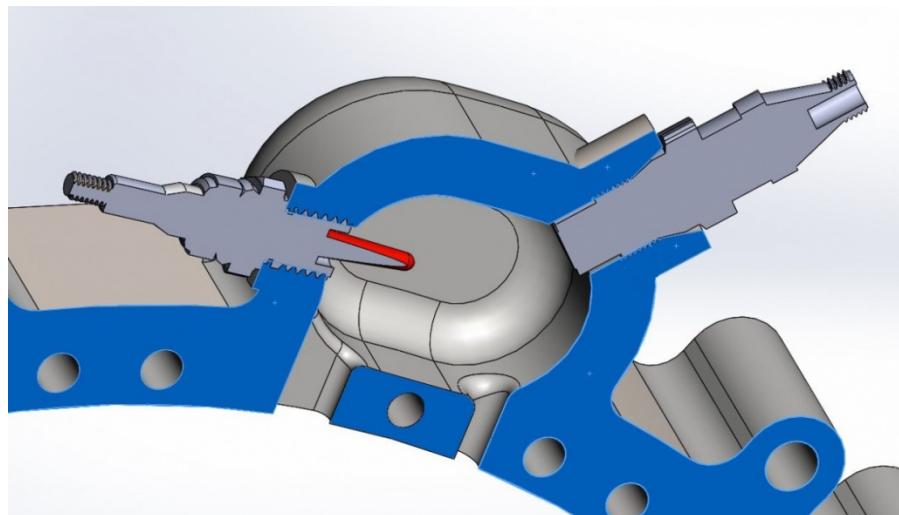
3. Оптимизация турбулентности смеси. Водород имеет низкую плотность и плохо смешивается с воздухом. FreeValve создает управляемые вихревые потоки асимметричном открытием клапанов (один клапан открывается на 2–3 мс раньше) и импульсным режимом (серия из 3–5 быстрых открытий/закрытий за такт).

В описываемом РЛД первое преимущество реализуемо за счет впуска и сжатия заряда воздуха в «холодном» секторе тороида и полной непересекаемостью рабочих объемов разных тактов (рис. 8). Второе преимущество обеспечивается возможностью динамичного и адаптивного сдвига заслонки впускного окна. Третье – конструктивным исполнением с обособленным «горячим» отсеком камеры сгорания, в который предварительно сжатый заряд поступает импульсно, создавая круговые завихрения навстречу впрыскиваемому топливу в близком к сферическому объеме (рис. 9).



**Рис. 8. Графическое отражение рабочего цикла**

- ( $V_t$  – объем воздуха в начале сжатия;  
 $V_s$  – объем сжатого воздуха в начале импульса наполнения «горячего» отсека камеры сгорания;  
 $V_m$  – объем «горячего» отсека камеры сгорания;  
 $V_z$  – суммарный минимальный объем сжатого заряда;  
 $V_r$  – межлопастной объем в начале рабочего хода;  
 $V_v$  – межлопастной объем в начале выпуска)



**Рис. 9.** Вариант исполнения «горячего» отсека камеры сгорания

Таким образом, результаты разработок и проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что реализация суммы заложенных в проекте РЛД решений предоставляет возможность для создания многотопливных (в том числе водородных) двигателей с высокими удельными характеристиками для оснащения самоходных (самолетных, мореходных) технических средств коммерческого и специального назначения с сохранением курса на декарбонизацию транспортной отрасли.

---

### Список литературы

1. Интернет-ресурс: <https://www.un.org/development/desa/pd/content/WPP2022> (Доклад ООН «World Population Prospects 2022»).
2. Интернет-ресурс: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/cities-and-mobility> (Отчет «Cities and Mobility 2022»).
3. Интернет-ресурс: [www.iea.org/reports/the-future-of-trucks-2023](http://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks-2023) (Отчет IEA «The Future of Trucks 2023» (раздел «Passenger Vehicles»)).
4. Интернет-ресурс: <https://about.bnef.com/hybrid-vehicles-outlook> (Анализ BloombergNEF «Hybrid Vehicles Outlook 2024»).
5. Интернет-ресурс: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-hybrid-vehicles> (Отчет IEA «The Role of Hybrid Vehicles in the Energy Transition» (2023)).
6. Интернет-ресурс: <https://www.iea.org/reports/aviation-and-hydrogen> (Отчет IEA «Aviation and Hydrogen» (2023)).
7. Интернет-ресурс: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2019-01-0032/> (Доклад SAE International «Specific Power Optimization of Turbocharged ICEs»).
8. Интернет-ресурс: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/advanced-combustion-engine-research-and-development> (Отчет «U.S. DOE Report on Advanced Combustion Engines»).
9. Интернет-ресурс:  
[https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/19001\\_fuel\\_cell\\_system\\_cost\\_2020.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/19001_fuel_cell_system_cost_2020.pdf) (Отчет "Fuel Cell System Cost – 2020").
10. Интернет-ресурс: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20220015489> (NASA Technical Memorandum (2022): "Energy Density Comparison: ICE vs Fuel Cells").

11. Интернет-ресурс: [https://www.porsche-engineering.com/fileadmin/processed/4/6/csm PEM\\_02\\_2024\\_Hydrogen\\_Combustion\\_ENG\\_7a8e8e9f4e.pdf](https://www.porsche-engineering.com/fileadmin/processed/4/6/csm PEM_02_2024_Hydrogen_Combustion_ENG_7a8e8e9f4e.pdf) ("Hydrogen Combustion in High-Performance Engines").
  12. Гуськов Г.Г. Необычные двигатели. — М.: Знание, 1974. 64 с.
  13. Зайцев А.А. Обзор и анализ мировых разработок роторно-лопастных двигателей. Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2023. № 3. С. 16-33.
  14. Зайцев А.А. Синтезирование механизма преобразования неравномерного вращательного движения роторов в равномерное вращение выходного вала роторно-лопастного двигателя. Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2023. № 4. С. 30-42.
  15. Артамонов М.Д., Морин М.М., Скворцов Г.А. Основы теории и конструирования автотракторных двигателей: Конструирование и расчет автомобильных и тракторных двигателей. Учебник для вузов.— М.: Выssh. школа, 1978. С. 11.
  16. Интернет-ресурс: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2023-01-1467/>
  17. Интернет-ресурс: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/670931/> (A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine/ Woschni, G. (1967)).
  18. Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1036/007028637X> (Internal Combustion Engine Fundamentals/ Heywood, J.B. (McGraw-Hill, 2018, 2nd ed.)).
  19. Интернет-ресурс: <https://doi.org/10.1016/j.aplthermaleng.2020.116407> ("Transient Heat Transfer Analysis in Rapid Expansion Processes of IC Engines". Applied Thermal Engineering, Vol. 185).
  20. Зайцев А.А. Предварительная оценка работоспособности роторно-лопастного двигателя. Двигатель. 2024. № 3-4. С. 2-5.
  21. Интернет-ресурс: <https://www.freevalve.com/insights/cam-less-valve-train-opportunities>.
  22. Интернет-ресурс: <https://www.motor1.com/news/706523/koenigsegg-freevalve-hydrogen-engine> (Интервью с инженерами Koenigsegg о тестах 2.0L 3-цилиндрового водородного двигателя).
  23. Интернет-ресурс: <https://patents.google.com/patent/US20230296007A1> (Описание к патенту «Детали управления клапанами для минимизации детонации в водородных ДВС»).
- 

## АВТОР

**Зайцев Андрей Алексеевич**, [a.zaitsev@list.ru](mailto:a.zaitsev@list.ru), руководитель проекта РЛД ООО «АЗАРТ» (ОРН Сколково 1123493).

# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal  
International Public Organization  
“Integration strategy”  
<http://maplants-journal.ru>*

## Development of rotary engine technologies in the interests of improving the performance characteristics of vehicles

Andrey A. Zaytsev

//Machines and Plants:Design and  
Exploiting.  
2025 № 1. pp. 55 – 69.

DOI:

Received: 27.04.2025  
Accepted for publication: 03.05.2025

© International Public Organization  
“Integration strategy”

[a.zaitsev@list.ru](mailto:a.zaitsev@list.ru) AZART LLC (ID  
Skolkovo 1123493), Russian  
Federation

---

The article is devoted to a review of engine design problems related to the limitation of harmful emissions from vehicles, and to a statement of the need to apply innovative approaches to the improvement of internal combustion engines. The main advantages of the rotary-vane engine are considered and the design solutions for the construction of a promising model of this type are described. Facts confirming the novelty of the approach are presented, as well as the results of research demonstrating the high probability of achieving high performance indicators of the innovative design of a new rotary-vane engine.

---

**Keywords:** rotary vane engine, reduction of harmful emissions, transport, efficiency, differential cam mechanism.

---

### References

1. Online resource: <https://www.un.org/development/desa/pd/content/WPP2022> (UN Report "World Population Prospects 2022").
2. Online resource: <https://www.worldbank.org/en/topic/transport/publication/cities-and-mobility> (Report "Cities and Mobility 2022").
3. Online resource: [www.iea.org/reports/the-future-of-trucks-2023](http://www.iea.org/reports/the-future-of-trucks-2023) (IEA report "The Future of Trucks 2023" (section "Passenger Vehicles")).
4. Online resource: <https://about.bnef.com/hybrid-vehicles-outlook> (Analysis of BloombergNEF "Hybrid Vehicles Outlook 2024").
5. Online resource: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-hybrid-vehicles> (IEA Report "The Role of Hybrid Vehicles in the Energy Transition" (2023)).
6. Online resource: <https://www.iea.org/reports/aviation-and-hydrogen> (IEA Aviation and Hydrogen Report (2023)).
7. Online resource: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2019-01-0032/> (SAE International Report "Specific Power Optimization of Turbocharged ICEs").
8. Online resource: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/advanced-combustion-engine-research-and-development> (Report "U.S. DOE Report on Advanced Combustion Engines").

9. Online resource:

[https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/19001\\_fuel\\_cell\\_system\\_cost\\_2020.pdf](https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/19001_fuel_cell_system_cost_2020.pdf) (The report "Fuel Cell System Cost – 2020").

10. Online resource: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20220015489> (NASA Technical Memorandum (2022): "Energy Density Comparison: ICE vs Fuel Cells").

11. Online resource: [https://www.porsche-engineering.com/fileadmin/processed/4/6/csm PEM\\_02\\_2024\\_Hydrogen\\_Combustion\\_ENG\\_7a8e8e9f4e.pdf](https://www.porsche-engineering.com/fileadmin/processed/4/6/csm PEM_02_2024_Hydrogen_Combustion_ENG_7a8e8e9f4e.pdf) ("Hydrogen Combustion in High-Performance Engines").

12. Guskov G.G. Unusual engines. Moscow: Znanie Publ., 1974. 64 p.

13. Zaitsev A.A. Review and analysis of world developments of rotary-blade engines. Machines and installations: design, development and operation. 2023. No. 3. pp. 16-33.

14. Zaitsev A.A. Synthesis of a mechanism for converting uneven rotational motion of rotors into uniform rotation of the output shaft of a rotary-blade engine. Machines and installations: design, development and operation. 2023. No. 4. pp. 30-42.

15. Artamonov M.D., Morin M.M., Skvortsov G.A. Fundamentals of theory and design of automotive engines: Design and calculation of automotive and tractor engines. Textbook for universities. Moscow: Higher School, 1978. pp.

16. Online resource: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2023-01-1467/>

17. Online resource: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/670931/> (A Universally Applicable Equation for the Instantaneous Heat Transfer Coefficient in the Internal Combustion Engine/ Woschni, G. (1967)).

18. Online resource: <https://doi.org/10.1036/007028637X> (Internal Combustion Engine Fundamentals/ Heywood, J.B. (McGraw-Hill, 2018, 2nd ed.)).

19. Internet resource: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116407> ("Transient Heat Transfer Analysis in Rapid Expansion Processes of IC Engines". Applied Thermal Engineering, Vol. 185).

20. Zaitsev A.A. Preliminary assessment of the performance of a rotary-blade engine. Engine. 2024. No. 3-4. pp. 2-5.

21. Online resource: <https://www.freevalve.com/insights/cam-less-valve-train-opportunities>.

22. Online resource: <https://www.motor1.com/news/706523/koenigsegg-freevalve-hydrogen-engine> (Interview with Koenigsegg engineers about the 2.0L 3-cylinder hydrogen engine tests).

23. Online resource: <https://patents.google.com/patent/US20230296007A1> (Description to the patent "Valve control details for minimizing detonation in hydrogen internal combustion engines").

---

## AUTHOR

**Andrey A. Zaytsev**, a.zaitsev@list.ru, project manager of the RVE of "AZART" LLC (ID Skolkovo 1123493).