

# 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. № 4. С. 1 – 12

DOI:

Представлена в редакцию: 01.12.2025

Принята к публикации: 06.12.2025

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 330

## Итоги второго международного форума «Инновационное развитие подъёмно-транспортного машиностроения "Подъёмная сила"»

Тропин С. Л.

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

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

---

Статья информирует читателей о состоявшемся в Конгресс-центре Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана втором международном форуме «Инновационное развитие подъёмно-транспортного машиностроения "Подъёмная сила"».

---

**Ключевые слова:** форум, выставка, конференция, МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра «Подъемно-транспортные системы».

---

14 ноября 2025 на площадке Конгресс-центра Московского Государственного Технического Университета имени Н.Э. Баумана уже во второй раз состоялся международный форум «Инновационное развитие подъёмно-транспортного машиностроения "Подъёмная сила"».

Первый раз Форум стартовал в 2024 году, в год 100-летия кафедры РК4 «Подъемно-транспортные системы». Итоги Форума 2024 года показали высокую заинтересованность участников в реализации данного формата, который зарекомендовал себя как эффективная площадка для конструктивного диалога технических университетов с реальным сектором экономики.

В текущем году в работе Форума «Подъемная сила» приняли участие представители 17 учебных заведений (16 университетов и 1 школа) и 29 промышленных предприятий и организаций, всего 140 человек, в том числе граждане Республики Беларусь, Республики Кыргыстан и Республики Казахстан. Перечень университетов и предприятий представлен в таблицах 1 и 2.

Цель проведения Форума – поиск решений актуальных проблем технологического развития подъемно-транспортной отрасли и повышения качества инженерного образования, формирование карты инноваций для промышленного внедрения.

Согласно цели, программа Форума включала выставку подъемно-транспортного оборудования и научно-практическую конференцию, а также два круглых стола и мастер-класс для студентов. Подробно с программой Форума «Подъемная сила» можно ознакомиться по ссылке: [https://disk.yandex.ru/i/gaDtLPI\\_7tNm7w](https://disk.yandex.ru/i/gaDtLPI_7tNm7w).

Таблица 1. Учебные заведения, участвовавшие в Форуме «Подъемная сила»

Москва	Санкт-Петербург	Другие регионы РФ	Зарубежные страны
МГТУ им. Н.Э. Баумана	Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II	Тульский государственный университет	КГТУ им. И. Раззакова (Республика Кыргызстан)
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)	Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет	Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина	Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова (Республика Казахстан)
Российский университет транспорта (МИИТ)	Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова	Ярославский государственный технический университет	
Национальный исследовательский университет "МЭИ"		Дальневосточный государственный университет путей сообщения	
Московский государственный строительный университет (МГСУ)		Балаковский инженерно-технологический институт - филиал НИЯУ «МИФИ»	
Московский педагогический государственный университет			
Московская школа № 1538			

Таблица 2. Предприятия и организации, участвовавшие в Форуме «Подъемная сила»

Москва	Московская обл.	Другие регионы России	Зарубежные страны
Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН)	ООО «Завод СТЕЛКОН» (г. Орехово-Зуево)	Холдинг «Агро-Альянс» (Санкт-Петербург)	АО «Национальный центр космических исследований и технологий» (Республика Казахстан, г. Алматы)
Национальный лифтовый союз	АО «Ивантеевский Элеватормельмаш» (г.о. Пушкино)	ООО «Кран» (г. Хабаровск)	ЧУП "Витстройтехмаш" (Республика Беларусь, г. Витебск)
ООО фирма «СОПиГ»	ООО "ИТЦ «КРОС» (г.о. Пушкино)	ООО "ПКБ "Сокол" (г. Октябрьский, Республика Башкортостан, РФ)	
ГК «Спецтяжавтотранс»	ООО «ВекторЭко» (г.о. Лотошино)	ООО «КранКомпани» (Санкт-Петербург)	
ООО «ТопСолюшнз»		ООО ПК Крантехмаш (г.Орёл)	
Российский Союз научных и инженерных общественных объединений		Центр научно-технологического партнерства и целевой подготовки СПбПУ Петра Великого (Санкт-Петербург)	
ООО «РУСЛЕТ»			
АО «Топрендж»			
ООО «Корона-Лифт»			
МОО «Стратегия объединения»			
ООО «М Кран»			
ООО ГК «Альянс»			
ПАО "ДВМП"   FESCO			
Центр «КРЕАТЕХ»			
ООО «Яндекс»			
ООО «Интернет Решения» Ozon			
Фонд содействия развитию химической промышленности			

На выставке подъемно-транспортного оборудования свои разработки, технологии и продукцию продемонстрировали кафедра РК4 «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, ГК «Спецтяжавтотранс», ООО «СОПиГ», ООО «РУСЛЕТ» и Белорусское предприятие «Витстройтехмаш». Также в выставке приняла участие московская школа № 1538.



Школьники представили действующий макет роботизированного склада для маркетплейса, который был спроектирован и создан под руководством заведующего школьной кафедрой инженерной предпрофессиональной подготовки доктора технических наук, профессора Фролова Михаила Ильича.

Юные изобретатели, Кирилл Генрихсен и Федор Козлов, увлеченно поясняли технические особенности своей разработки и демонстрировали ее в действии.



Пристальное внимание профессора Суюнбекова Ислама Эсенкуловича из Киргизии привлекли многочисленные экспонаты кафедры РК4 «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Среди них – современные приборы безопасности грузоподъемной техники, в числе которых ограничители грузоподъемности, устройства защиты от обрыва фаз и защиты от опасного приближения к ЛЭП, а также ролик тормозной для гравитационных паллетных стеллажей.



Генерального директора белорусской машиностроительной компании «Витстройтехмаш» Сидорова Андрея Александровича заинтересовал модуль датчика нагрузки поворотный, который применяется на автомобильных и прицепных подъемниках, оснащенных поворотными люльками, и служит для измерения полезной нагрузки.



В свою очередь компания «Витстройтехмаш» продемонстрировала на выставке свои технологии и выпускаемую продукцию, в числе которой крановые манипуляторные установки, терминальные полуприцепы, грейферы, спредеры, грузоподъемные краны для речных и морских судов. Также компания выполняет проектирование и изготовление грузоподъемных устройств по индивидуальным заказам. Комментарии на стенде давал Резанов Владимир Иванович, заместитель начальника отдела маркетинга и сбыта «Витстройтехмаш».



ООО «Руслёт» является единственным в России локализованным производителем скоростных высокопроизводительных канатно-транспортных систем. На заводах ООО «Руслёт» в Москве и в Тверской области с применением новейших технологий осуществляется производство комплектующих и финальная сборка изделий. Мощности заводов позволяют производить до 15 канатных дорог в год. Компанию на выставке представляли Аксенова Дарья Владимировна и Кружакова Елена Николаевна



ООО фирма "СОПиГ" (Строительство Объектов Промышленности и Города) – специализированная монтажная организация профессионально предоставляет услуги по транспортировке и монтажу в проектное положение крупногабаритного тяжеловесного оборудования, металлоконструкций и технологических трубопроводов. На территории России и стран СНГ компания "СОПиГ" занимает лидирующую позицию по объемам работ и охвату рынка. На стенде "СОПиГ" представлены технологии и модели части кранового оборудования, которым располагает компания. На выставке компанию представляли Бережной Роман Сергеевич, директор по развитию, и Дегасюк Ричард Львович, специалист по перспективным проектам.



группу компаний представлял руководитель проектов Спасенко Владислав Вячеславович.



своего возраста.



На стенде Группы компаний «Спецтяжавтотранс» была представлена информация о комплексе инженерных услуг в нефтяной, газовой, химической, энергетической и других отраслях промышленности, включая полный цикл транспортной логистики и экспедиторского сопровождения. ГК «Спецтяжавтотранс» располагает уникальным оборудованием и технологиями высокоточного монтажа, которые применялись на Балтийском заводе при строительстве ледоколов «Арктика», «Сибирь», «Якутия», «Урал» и «Чукотка». На выставке

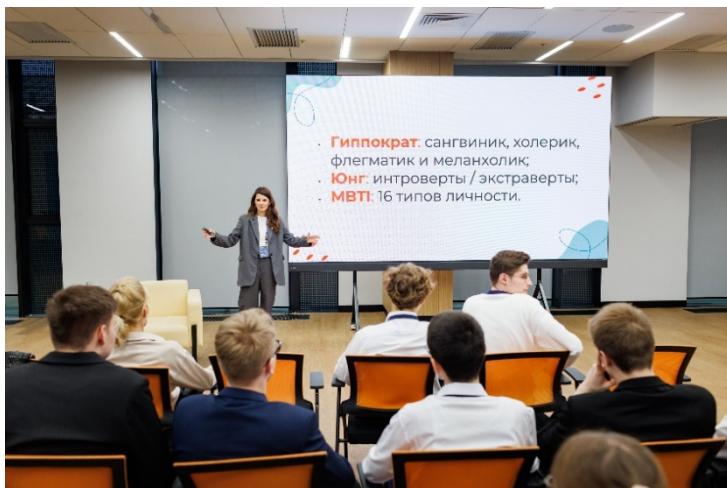
На выставке также были продемонстрированы современные гребные тренажеры, на которых можно было проверить свои силы под руководством бронзового призёра Олимпийских игр, чемпионки мира, неоднократного победителя кубка мира, заслуженного мастера спорта России Федотовой Ирины Михайловны. Многие участники Форума не преминули воспользоваться этой возможностью в перерывах между заседаниями и включились в Спортмарафон «Все – Вместе», независимо от

Утолить жажду и пополнить запас энергии, затраченной на тренажерах или в научных дискуссиях можно было напитками, приготовленными компанией «ВекторЭко» из натуральных продуктов по традиционной русской технологии.

В рамках Форума особое внимание было уделено молодым участникам.



Со студентами и аспирантами были организованы два круглых стола, которые провели директор и учредитель ООО «СОПиГ» Ахметов Ильдар Хаметович и технический директор ООО «М Кран» Кононов Роман Валерьевич. В рамках этих мероприятий состоялось прямое общение будущих выпускников с потенциальными работодателями.



Для студенческой молодежи был проведен мастер-класс на тему «Успешное прохождение собеседования с работодателем». Его провела Федорова Вероника Максимовна, преподаватель кафедры иноязычного образования Московского педагогического государственного университета. Данное мероприятие, несомненно, поможет студентам подготовиться к старту карьеры.

Торжественное открытие Форума началось с исполнения Гимна Российской Федерации, после чего слово было предоставлено приглашенным спикерам.

Проректор по науке и цифровому развитию МГТУ им. Н.Э. Баумана Дрогозов Павел Анатольевич выступил с приветствием к участникам Форума.



«Приветствую всех, чья профессия – поднимать тяжести, тех, кто учит, как правильно выполнять эти действия, и тех, которые ещё только учатся и начинают свой путь в этом крайне интересном деле. Сегодняшний Форум – это второй «подход к снаряду». Он уже приобрёл значимую весомость, вышел на мировую арену. Его организатор, кафедра РК4, – одна из старейших, системообразующих в Бауманке, – является той подъёмной силой, которая выводит наше инженерное образование и наши разработки на новый уровень».

Советник вице-президента Российского Союза научных и инженерных общественных объединений, исполнительный директор Ассоциации технических университетов Фёдоров Владимир Георгиевич подчеркнул значимость традиций и преемственности в науке.



«Традиции Бауманского университета в области подъёмно-транспортных систем опираются на высокий уровень инженерной школы, где соединяются глубокие фундаментальные знания и практическая направленность исследований. Форум объединяет представителей образования, науки и промышленности, способствует развитию взаимодействия студентов, учёных и инженеров, укреплению преемственности поколений».

Декан факультета «Робототехника и комплексная автоматизация» Шашурин Георгий Вячеславович обратил внимание на роль кафедры РК4 в реализации планов по реформированию системы высшего образования.



«Сейчас мы фактически переходим к возрождению той системы, которая была построена в советской высшей школе, которая подверглась определенным испытаниям в нулевые годы. Очень хорошо, что оставались и остаются такие кафедры, которые сохранили соответствующие монопрограммы и сохранили традиции подготовки инженеров по монопрограммам». Он выразил надежду, что, опираясь на эти традиции, все кафедры Университета вернутся к классическому инженерному образованию, а кафедра подъемно-транспортных систем будет одним из методических центров такого перехода.

Заведующий кафедрой РК4 «Подъёмно-транспортные системы» Тропин Сергей Львович поздравил всех участников с открытием Форума «Подъемная сила», пожелал творческих успехов и отметил роль Форума как платформы для соединения теории и практики.



«В прошлом году наша кафедра РК4 праздновала 100-летний юбилей. Это событие позволило консолидировать наши прошлые достижения и наметить вектор движения в будущее». Следуя этому вектору, продолжил С.Л. Тропин, на кафедре реализуется программа шестилетнего бакалавриата «Работы для гибких производственных систем», а также открыт четырёхлетний бакалавриат по новой специальности «Инженеры креативных индустрий». Высшая школа должна не только отвечать вызовам современности, но и быть на шаг или два впереди. Такая поступь во многом обеспечивается прямыми контактами и взаимодействием университетов и промышленных предприятий на площадке Форума «Подъемная сила».

Выражением глубокой благодарности партнерам Форума стало награждение памятными призами. Награды получили:



Группа компаний «Спецтяжавтотранс» – генеральный партнер;  
МОО «Стратегия объединения» – официальный партнер;  
ООО «М Кран» – официальный партнер;  
ООО «СОПиГ» – официальный партнер;  
ООО «Руслёт» – партнер;  
АО «Ивантеевский Элеватормельмаш» – партнер мероприятия;  
ООО «ТопСолюшнз» – информационный партнер;  
Журнал «Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация» – информационный партнер;

Фонд содействия развитию химической промышленности – информационный партнер;  
АНО «Здоровье 360» – информационный партнер.



Девиз «Бауманки» – «Инженеры создают будущее – мы создаем инженеров». Традиционно образ российского инженера сочетает в себе научно-технические, социально-экономические и культурно-личностные компетенции. Неотъемлемой частью последних является физическая культура и спорт. На кафедре РК4 это хорошо понимают и создают условия для вовлечения студентов в регулярные занятия двигательной активностью. Особой популярностью среди студентов пользуются гребные виды спорта. За вклад в популяризацию этого вида спорта заведующий кафедрой Сергей Львович Тропин награжден Благодарственной грамотой Федерации гребного спорта России. Грамоту вручил Президент Федерации Олимпийский чемпион, заслуженный мастер спорта России Алексей Владимирович Свирин.

Торжественное открытие Форума подчеркнуло авторитетность, ценность и необходимость мероприятия.

Современный мир стремительно меняется, возникают новые вызовы, на которые необходимо быстро и эффективно реагировать. Форум стал своеобразной «лакмусовой бумажкой» болевых и горячих точек развития российской инженерии. Одной из них является подготовка специалистов подъемно-транспортного профиля. Именно поэтому данное направление было вынесено на пленарное заседание, в ходе которого было сделано 8 докладов. Выступающие отметили ряд ключевых моментов в решении кадровых проблем отрасли. Среди них:



- сквозная проектная деятельность школьников 1 – 11 классов в рамках предпрофессиональной подготовки;
- применение паттернов в обучении инженеров;
- выделение ключевых моментов при преподавании специальных технических дисциплин;
- совершенствование методов проектного обучения для подготовки высококвалифицированных инженерных кадров
- эффективное сотрудничество ВУЗов и предприятий.

Конкретные результаты сотрудничества науки и промышленности были продемонстрированы кафедрой РК4 на примере прикладных исследований и внедрений в области складской автоматизации.

Важной составляющей образовательной деятельности должно стать активное участие университетов в инновационном процессе. Студенты должны получить практический опыт работы на всех стадиях технологического цикла: от исследований и разработок до серийного производства и эксплуатации. Для этого нужна особая «экосистема», в которой знания и инновации станут основой для устойчивого развития и экономического роста.

«Наша общая цель: не догонять тренды, а задавать их», – резюмировал общее мнение в финале пленарного заседания Савинский Кирилл Евгеньевич, менеджер по развитию компании «Корона-лифт».

На технологических секциях Форума были рассмотрены результаты исследований и инженерных разработок по следующим направлениям:

- Методы расчета и проектирования транспортно-технологических средств.
- Математическое моделирование рабочих процессов транспортно-технологических средств.
- Экспериментальные исследования, испытания и техническая эксплуатация транспортно-технологических средств.
- Оптимизация конструкций транспортно-технологических средств и их отдельных функциональных узлов, механизмов и систем.
- «НОУ-ХАУ» перевозки и установки в монтажное положение крупногабаритного тяжеловесного оборудования.

По данным направлениям было сделано 29 докладов, основное содержание которых будет опубликовано в сборнике материалов Форума.

Отклики на Форум представлены в списке литературы [1 – 7].

## Список литературы

1. В Бауманке прошёл II Международный форум «Подъёмная сила» // интернет-сайт МГТУ им. Баумана, 14 ноября 2025 г. URL: <https://bmstu.ru/news/v-baumanke-proshol-ii-mezhdunarodnyi-forum-podyomnaya-sila> .
  2. Новая глава «ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ» // интернет-сайт кафедры РК4 МГТУ им. Баумана, 14 ноября 2025 г. URL: <https://rk4.bmstu.ru/13220-2/> .
  3. Ассоциация СРО «РОСМА» приняла участие во II Международном форуме «Подъемная сила» // интернет-сайт Ассоциации СРО «РОСМА», 19 ноября 2025 г. URL: <https://nprosma.ru/2025/11/19/assocziacziya-sro-rosma-prinyala-uchastievo-ii-mezhdunarodnom-forume-podemnaya-sila/> .
  4. II Международный форум «Подъёмная сила» для промышленности страны // интернет-сайт Российского союза химиков. URL: [http://www.ruschemunion.ru/news/lastest\\_news/id4565.html](http://www.ruschemunion.ru/news/lastest_news/id4565.html) .
  5. II Международный форум «Подъёмная сила» объединил: здоровье и спорт для людей, инновации - для промышленности. URL: <https://health-360.ru/media/news/116> .
  6. [https://vk.com/wall-217450501\\_483](https://vk.com/wall-217450501_483)
  7. [https://vk.com/wall728197433\\_143](https://vk.com/wall728197433_143)
- 

## 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. № 4. pp. 01 – 12

DOI:

Received: 01.12.2025  
Accepted for publication: 06.12.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

## Results of the second international forum «Innovative development of lifting and transport engineering "Lifting force"»

Sergey L. Tropin

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

Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

---

The article informs readers about the second international forum "Innovative development of lifting and transport engineering "Lifting Force" held in the Congress Center of the Bauman Moscow State Technical University.

---

**Keywords:** forum, exhibition, conference, Bauman Moscow State Technical University, Department of Lifting and Transport Systems.

---

### References

1. The II International Lifting Force Forum was held in Bauman // Bauman Moscow State Technical University website, November 14, 2025. URL: <https://bmstu.ru/news/v-baumanke-proshyol-ii-mezhdunarodnyi-forum-podyomnaya-sila> .
2. The new chapter of "LIFTING FORCE" // website of the RC4 Department of Bauman Moscow State Technical University, November 14, 2025 URL: <https://rk4.bmstu.ru/13220-2/> .
3. The Association of SRO "ROSMA" participated in the II International Forum "Lifting force" // website of the Association of SRO "ROSMA", November 19, 2025 URL: <https://nprosma.ru/2025/11/19/assocziacziya-sro-rosma-prinyala-uchastievo-ii-mezhdunarodnom-forume-podemnaya-sila/> .
4. II International Forum "Lifting force" for the country's industry // website of the Russian Union of Chemists. URL: [http://www.ruschemunion.ru/news/lastest\\_news/id4565.html](http://www.ruschemunion.ru/news/lastest_news/id4565.html) .
5. The II International Forum "Lifting Force" brought together: health and sport for people, innovation for industry. URL: <https://health-360.ru/media/news/116> .
6. [https://vk.com/wall-217450501\\_483](https://vk.com/wall-217450501_483)
7. [https://vk.com/wall728197433\\_143](https://vk.com/wall728197433_143)

## 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. № 4. С. 13 – 18.

DOI:

Представлена в редакцию: 19.11.2025

Принята к публикации: 06.12.2025

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 629.369

## Предложения по оптимизации конструкции подвески самоходного модульного транспортного средства

Пузров М.А.

[puzrov.m.a@yandex.ru](mailto:puzrov.m.a@yandex.ru)

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

---

Статья посвящена совершенствованию конструкции подвески самоходного модульного транспортного средства (СМТС) с применением методов оптимизации. На основании проведенных исследований напряженно-деформированного состояния подвески СМТС и математического моделирования усилий в элементах подвески СМТС предлагаются: 1) уточненные координаты оси крепления штока гидроцилиндра; 2) вырезы в верхних рычагах и металлическом корпусе подвески; 3) локальные усиления в узлах крепления нижних рычагов; 4) скругления в зонах резких переходов. Указанные конструктивные изменения позволяют снизить средние и максимальные напряжения в конструкции подвески СМТС на 4–10%, а также уменьшить массу конструкции на 6–8%, не изменяя материал деталей подвески СМТС.

---

**Ключевые слова:** СМТС, самоходное модульное транспортное средство, гидравлическая подвеска, напряженно-деформированное состояние, совершенствование конструкции подвески.

---

Создание новых отечественных аналогов СМТС и оптимизация конструкции существующих СМТС зарубежного производства являются перспективными направлениями развития подъемно-транспортных систем. Благодаря возможности транспортировать неделимые крупногабаритные и тяжеловесные грузы (КТГ) массой от нескольких десятков тонн до нескольких тысяч тонн, производить погрузочно-разгрузочные работы (ПРР) с КТГ бескрановым методом за счет относительно большого вертикального хода подвески (как правило до 750 мм) СМТС нашли широкое применение при транспортировании промышленного оборудования, судов, блоков модульных заводов и т.д. [1].

Надежность подобных систем непосредственно зависит от прочности подвесочных узлов СМТС. Подвески семейства Cometto MSPE представляют собой маятниковые гидравлические системы со сдвоенными рычагами и гидроцилиндром (без классических пружин и амортизаторов), что обеспечивает необходимый диапазон подъема и опускания КТГ. Однако, конструктивные особенности такой подвески, включая локальные концентраторы напряжений и острые сопряжения, создают риски пластической деформации и усталостного разрушения.

---

Целью исследования ставилось определение напряженно-деформированного состояния (НДС) подвески данного типа, выявление наиболее нагруженных зон и разработка предложений, обеспечивающих снижение пиковых напряжений, уменьшение массы подвески и возможность быстрого внедрения изменений на действующих и вновь создаваемых образцах СМТС.

**Материалы и методы.** Для достижения поставленной цели решались задачи анализа и синтеза (оптимизации). При этом использовались методы математического моделирования, включая нелинейное программирование, методы проектирования и расчетов машин и механизмов, методы теоретической механики.

Математическое моделирование изменения усилий в конструкции подвески СМТС в зависимости от положения точек закрепления гидроцилиндра производилось в Microsoft Excel по методике, изложенной в источнике [2], с использованием функции «Поиск решения нелинейных задач методом общего понижающего градиента (ОПГ)».

Исследуемые 3D модели подвески СМТС были созданы в программном комплексе «SolidWorks» по аналогии с конструкцией подвески СМТС «Cometto MSPE EVO2 60T». Были смоделированы несколько вариантов: исходный вариант, вариант со скруглениями, вариант со смещением оси крепления гидроцилиндра и комбинированные варианты.

Для оценки напряженно-деформированного состояния в программном обеспечении «Ansys» [3] использовался метод конечных элементов (МКЭ) с применением следующих допущений: материал элементов подвески – конструкционная сталь; нагрузка – статическая, величиной 294000 Н, приложенная распределённо к фланцам корпуса приводной оси; корпус подвески жестко закреплен к опорно-поворотному устройству (ОПУ) и раме СМТС [4].

**Результаты.** Анализ исходной конструкции, основанный на расчетных данных, полученных МКЭ, показал, что максимальные напряжения возникают в трёх зонах подвески СМТС: а) в корпусе приводной оси рядом с местом приложения нагрузки; б) в металлическом корпусе подвески рядом с местом крепления гидроцилиндра; в) в середине нижних рычагов подвески в районе отверстия крепления штока гидроцилиндра [5]. В числовом выражении максимальные напряжения в критических точках достигали 552 МПа при статической нагрузке  $F = 294$  кН. Это значение напряжений составляет примерно 80% от предела текучести используемых материалов в конструкции подвески СМТС.

Далее на основании проведенного анализа напряженно-деформированного состояния были предложены следующие изменения в конструкции подвески СМТС. Наибольший эффект, по мнению автора статьи, может быть достигнут при введении комплекса изменений, представленных на рис. 1:

1) смещение верхнего места крепления гидроцилиндра к металлическому корпусу подвески на 5 мм вверх по оси Y и на 10 мм в сторону по оси X. Исходное положение места крепления гидроцилиндра показано на рис. 1 штриховой розовой линией (позиция «1»).

2) вырезы в верхних рычагах и металлическом корпусе подвески, выполненные в местах с относительно низким уровнем напряжений, для снижения массы (позиция «2») на рис. 1);

3) добавление локальных усилий в узлах крепления нижних рычагов (позиция «3») на рис. 1);

4) введение скруглений в зонах резких переходов (позиция «4») на рис. 1).

Смещение верхнего места крепления гидроцилиндра было выполнено в программном комплексе «SolidWorks». Затем был проведен расчет НДС в «Ansys». Сравнение напряженно-деформированных состояний исходной и обновленной конструкций показало, что уровень средних и максимальных напряжений в обновленной конструкции снизился на 4-10% по сравнению с исходной конструкцией подвески.

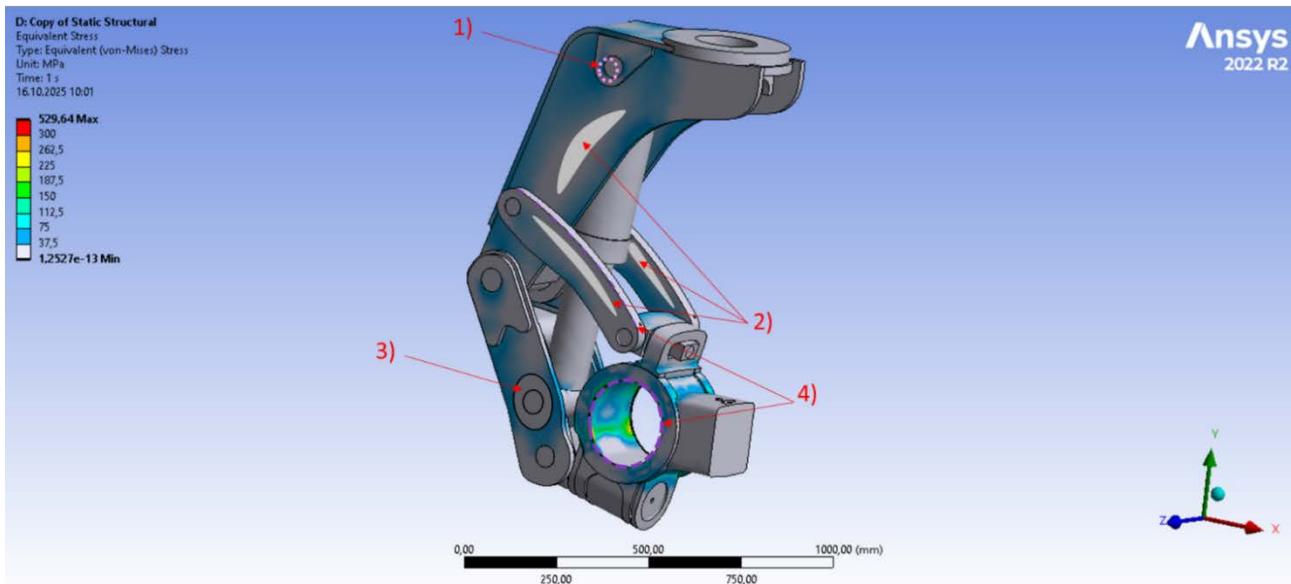


Рис. 1. Предлагаемые изменения в конструкции подвески СМТС

Реализация полного комплекса выше указанных предложений, по оценке автора, позволит не только снизить уровень средних и максимальных напряжений в обновленной конструкции на 4–10% по сравнению с исходной, но и позволит уменьшить совокупную массу конструкции на 6–8% при сохранении общей жёсткости и без появления новых критических концентраций в соседних узлах.

**Обсуждение.** Смещение оси крепления штока гидроцилиндра позволяет уменьшить плечо силы относительно центральной части нижних рычагов, что снижает изгибающий момент. Острые углы представляют собой классические концентраторы напряжений, поэтому увеличение радиуса сопряжения деталей увеличивает кривизну перехода и тем самым позволяет снизить локальные напряжения. Добавление локальных усилий у отверстий шарнирного крепления уменьшает локальные напряжения за счёт увеличения момента сопротивления сечения. Однако чрезмерное усиление перенесёт пиковые напряжения в соседние зоны. Поиск минимально необходимого усиления является отдельной задачей, которая не рассматривалась в настоящей статье.

Следует отметить, что вышеизложенные результаты получены для статического режима нагружения и отсутствия горизонтальных и вертикальных ускорений СМТС. Поэтому представляется целесообразным продолжить исследование напряженно-деформированного состояния деталей усовершенствованной подвески при динамических нагрузках, вызванных ударным и плавным принятием груза, движением по неровностям, разгоном и торможением СМТС. Требуется также оценить влияние смещения оси крепления штока гидроцилиндра на ход штока и углы поворота рычагов. Самостоятельным направлением исследований может стать оценка долговечности подвески в зависимости от числа циклов нагружения при различных запасах прочности. В итоге, результаты проведенных и предстоящих расчетно-теоретических исследований необходимо будет подтвердить проведением натурных экспериментов.

**Заключение.** Таким образом, проведенное исследование напряженно-деформированного состояния деталей подвески СМТС позволило выявить новое направление совершенствования конструкции, которое достигается относительно небольшими геометрическими изменениями (ввод радиусов сопряжений, смещение оси крепления штока гидроцилиндра, локальные усиления) и позволяет снизить уровень средних и максимальных

напряжений на 4–10%. Кроме того установлено, что верхние рычаги и корпус подвески могут быть облегчены на 6–8% путем вырезов относительно ненагруженных участков металла.

Предложенные конструктивные изменения технологичны и могут быть относительно легко внедрены в производство СМТС. Вместе с тем, представляется необходимым убедиться в том, что динамические процессы, реализуемые при эксплуатации СМТС, не изменят результаты, полученные в статике, и будут подтверждены опытным путем.

## Список литературы

1. Варламов Л.А., Пузров М.А. Анализ существующих схем подвесок самоходных модульных транспортных средств с электронным управлением поворотом осей (серии «MSPE») компании «Cometto». Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2023; 1(1): 53-64.
2. Пузров М.А., Варламов Л.А., Тропин С.Л., Мисинев А.Н. Методика определения усилий, возникающих в узлах конструкции подвески самоходного модульного транспортного средства // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2025. № 3(45).
3. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Шамраева М.А. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / Каплун А. Б., Морозов Е. М., Шамраева М. А.; авт. предисл. Шадский А. С. - Изд. стер. - М. : URSS : ЛИБРОКОМ, 2016. - 269 с.
4. Пузров М.А., Мидаков А.В. Оценка нагруженности подвески самоходного модульного транспортного средства методом конечных элементов. Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта: V Всероссийская научно-практическая конференция: сборник статей (Екатеринбург, 15 декабря 2023 года) / Изд-во Урал. ун-та, 2024. — 253 с. — РИНЦ.
5. Пузров М.А., Ереван С.Р.П. Оценка напряженно-деформированного состояния элементов подвески самоходного модульного транспортного средства. Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы (Молодой инженер). Материалы XXVIII Московской международной межвузовской научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Москва, 2024. С. 239-243. – РИНЦ.

---

## АВТОР

**Пузров Михаил Александрович**, аспирант кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), [puzrov.m.a@yandex.ru](mailto:puzrov.m.a@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. № 4. pp. 13 – 18.

DOI:

Received: 19.11.2025  
Accepted for publication: 06.12.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

## Suggestions for optimizing the suspension design of a self-propelled modular vehicle

Mikhail A. Puzrov

[puzrov.m.a@yandex.ru](mailto:puzrov.m.a@yandex.ru)

Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

The article is devoted to improving the suspension design of a self-propelled modular transporter (SPMT) using optimization methods. Based on the conducted studies of the stress-strain state of the SPMT suspension and mathematical modeling of forces in the elements of the SPMT suspension, the following are proposed: 1) updated coordinates of the hydraulic cylinder rod mounting axis; 2) cutouts in the upper levers and the metal suspension body; 3) localized reinforcements in the lower arm mounting assemblies; 4) rounding in areas of sharp transitions. These design changes will reduce the average and maximum stresses in the SPMT suspension design by 4-10%, as well as reduce the weight of the suspension by 6-8%, without changing the material of the SPMT suspension components.

**Keywords:** SPMT, self-propelled modular transporter, hydraulic suspension, stress-strain condition, suspension design improvement.

### References

1. Varlamov L.A., Puzrov M.A. Analysis of existing suspension schemes for self-propelled modular vehicles with electronic axle rotation control ("MSPE" series) by Cometto. Machines and installations: design, development and operation. 2023; 1(1): 53-64.
2. Puzrov M.A., Varlamov L.A., Tropin S.L., Misinev A.N. Methodology for determining the forces arising in the suspension components of a self-propelled modular vehicle. Road. Infrastructure. 2025. № 3(45).
3. Kaplun A.B., Morozov E.M., Shamraeva M.A. ANSYS in the hands of an engineer: a practical guide / Kaplun A. B., Morozov E. M., Shamraeva M. A.; author's preface. Shadsky A. S. - Ed. ster. - M. : URSS : LIBROCOM, 2016. - 269 p.
4. Puzrov M.A., Midakov A.V. Assessment of the suspension load of a self-propelled modular vehicle by the finite element method. Innovative development of land transport equipment and technologies: V All-Russian Scientific and Practical Conference: collection of articles (Yekaterinburg, December 15, 2023) / Ural Publishing House. University, 2024. — 253 p. — RSCI.
5. Puzrov M.A., Yerevan S.R.P. Evaluation of the stress-strain state of suspension elements of a self-propelled modular vehicle. Lifting and transport, construction, road, track, reclamation machines and robotic complexes (Young engineer). Proceedings of the XXVIII Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. Moscow, 2024. pp. 239-243. — RSCI.

## AUTHOR

**Mikhail A. Puzrov**, postgraduate student of the Department of Lifting and Transport Systems at Bauman Moscow State Technical University, (105005, Moscow, 2nd Bauman str., 5),  
[puzrov.m.a@yandex.ru](mailto:puzrov.m.a@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. № 4. С. 19 – 26.

DOI:

Представлена в редакцию: 01.12.2025

Принята к публикации: 06.12.2025

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.867

## Условия транспортирования штучных грузов на импульсном инерционном роликовом конвейере с траповым расположением концевой опоры

Лускань О.А.

[oa-luskan@yandex.ru](mailto:oa-luskan@yandex.ru)

БИТИ НИЯУ МИФИ (г. Балаково, Россия)

---

В статье представлено решение вопросов определения необходимых и достаточных условий транспортирования штучных грузов на импульсном инерционном роликовом конвейере, концевая опора которого имеет возможность перемещения по наклонной плоскости. По сравнению с горизонтально установленным конвейером, работающим в качестве самостоятельной единицы или в составе технологических машин разных отраслевых производств, предлагаемое конструктивное решение позволит расширить границы варьирования параметрами конвейера на 20% наряду с повышением производительности и даст возможность выполнения им дополнительных операций, связанных с загрузкой-разгрузкой других транспортно-технологических машин и складского оборудования.

---

**Ключевые слова:** груз, ролик, конвейер, условия движения, угол наклона, инерция, сила тяжести.

---

### Введение

Одним из показателей эффективности работы конвейера может являться повышение его производительности за счёт увеличения скорости движения транспортируемого груза [1-5]. Известные исследования импульсных инерционных роликовых конвейеров (ИИРК) [6, 7], проводимых ранее, справедливы для качания рамы конвейеров только для абсолютно горизонтальной плоскости. Однако при эксплуатации этого семейства конвейеров было установлено, что при определённой конструктивной модернизации возможно увеличение скорости движения груза.

Таковыми изменениями, помимо тех конструктивных особенностей ИИРК, которые детально описаны и подробно изложены в опубликованных результатах исследований [6, 8], может являться качание рамы как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, посредством установки концевой опоры качающейся рамы на наклонную плоскость, с углом наклона вниз в сторону транспортирования, т.е. расположением качающейся рамы по типу «трапа». Однако нужно понимать, что трап будет подвижным и совершающими движения рамы, помимо возвратно-поступательного, будут переходящими из горизонтального положения в наклонное и обратно.

Это конструктивное решение позволит дополнительно придать импульс к увеличению скорости движения груза относительно рамы конвейера за счёт его силы тяжести. При этом важно определить параметры качания рамы, обеспечивающие движение штучного груза без подбрасывания груза и одновременно установить при каких углах поворота кривошипа достигается максимальное значение средней скорости движения груза по роликовому настилу при прямом и обратном ходах качающейся рамы.

Важными основными задачами являются установление факта, при каких фазах вращательного движения кривошипа наиболее целесообразно перемещать качающуюся раму «условно вниз», например, при прямом ходе рамы или «условно вверх», при обратном ходе рамы, сократив время её разгона с одновременным увеличением скорости рамы ИИРК; увеличение скорости движения груза и обеспечение работоспособности конвейера, описанных в работах[6]. Перечисленные задачи будут частью результатов, которые необходимо подтвердить теоретическими и экспериментальными исследованиями.

### Определение условий движения штучного груза

На первоначальном этапе необходимо выявить достаточные и критические условия, при которых возможно движение штучного груза с плоской опорной поверхностью по роликоопорам, оснащёнными механизмами свободного хода (МСХ) в соответствие с траповой установкой рамы ИИРК в пространстве (рис. 1) при разных положениях кривошипа, полагая, что головная опора конвейера будет совершать возвратно-поступательные перемещения только в горизонтальной плоскости, а концевая – по наклонной плоскости, при этом в крайнем левом положении кривошипа, соответствующему 1800 рама ИИРК будет находиться в горизонтальном положении, а в крайнем правом (00) – в максимально наклонном. В положениях кривошипа 900 и 2700 рама ИИРК будет занимать одинаковые серединные значения по углу наклона.

Важно заметить, что в семействе ИИРК переменные кинематические характеристики качающейся раме обеспечиваются гармоническим приводом, выполненного кривошипно-шатунным механизмом, позволяющим создать абсолютное движение груза со скоростью рамы и движение груза по роликам отличающееся по кинематическим характеристикам от движения рамы как при прямом, так и при обратном ходах.

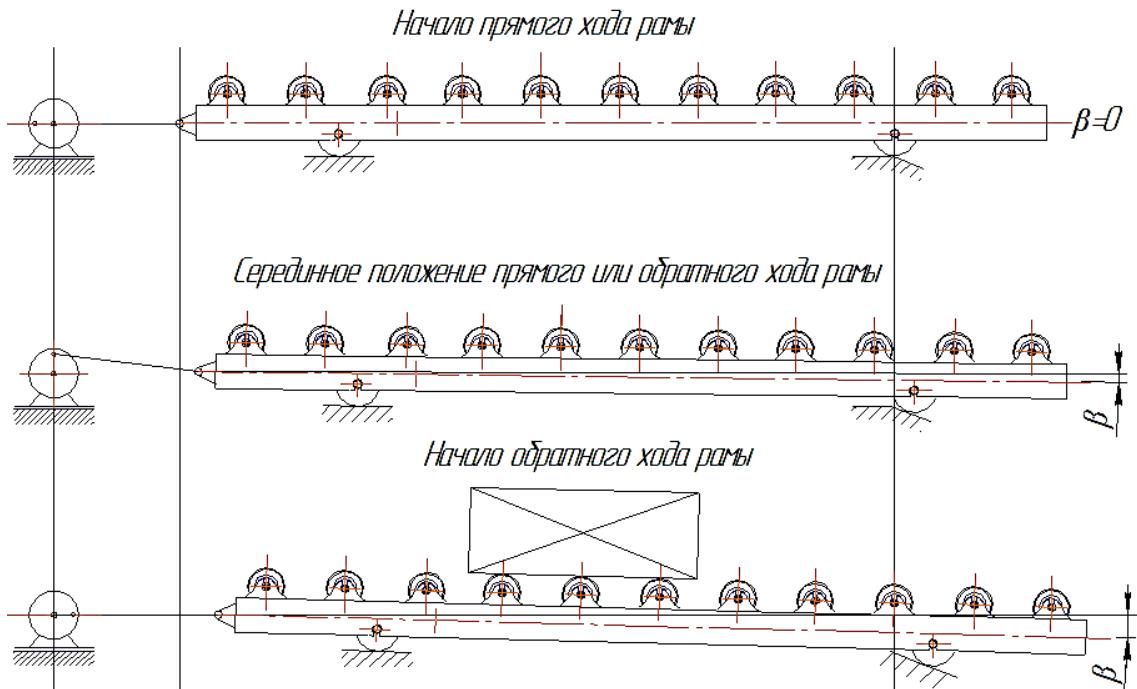
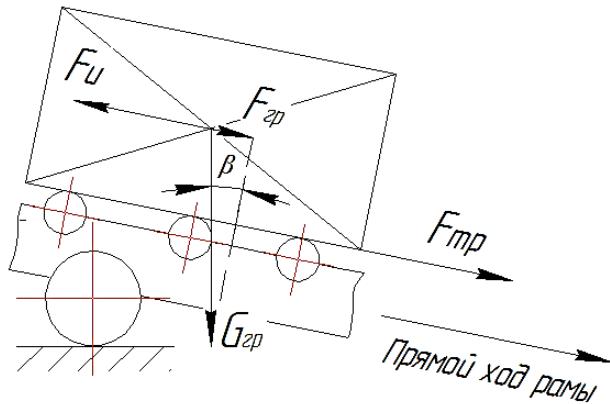


Рис. 1. Схемы расположения ИИРК в разных положениях кривошипа

Одним из ограничительных условий совместного движения рамы с грузом будет являться возникновение силы трения между опорной поверхностью груза и неподвижными (за счёт заторможенными МСХ) роликами, что справедливо для переходных процессов, например, запуска конвейера, с установленными на роликовом полотне грузами. Однако при установившемся режиме работы конвейера, необходимо учесть составляющую силы тяжести груза, которая будет положительно влиять на расширение граничных технических характеристик ИИРК, что показано на рисунке 2 и отражено выражениями (1-4).



**Рис. 2.** Расчётная схема определения условия движения груза при прямом ходе рамы установившегося режима работы конвейера

$$F_u - F_{2p} \leq F_{mp}, \quad (1)$$

где  $F_u$  – сила инерции груза;

$F_{2p}$  – составляющая силы тяжести;

$F_{mp}$  – сила трения груза о ролики;

$$F_u = m_{2p} a_{2p}^{отн}, \quad (2)$$

где  $m_{2p}$  – масса груза;

$a_{2p}^{отн}$  – ускорение груза относительно рамы;

$$F_{2p} = m_{2p} g \sin \beta, \quad (3)$$

$\beta$  – угол наклона рамы конвейера,

$$F_{mp} = m_{2p} g f, \quad (4)$$

где  $f$  – коэффициент трения.

Ускорение движения груза при прямом ходе рамы установившегося режима работы конвейера будет ограничиваться условием отсутствия скольжения груза относительно роликов:

$$a_{2p}^{отн} \leq g(f + \sin \beta). \quad (5)$$

После корректировки закономерностей движения груза на конвейере, изложенных в работах [6] согласно выражению (5) определится одна из границ выбора режима качания рамы ИИРК.

При достижении рамой ИИРК абсолютной скорости меньшей абсолютной скорости груза, сила инерции груза поменяет направление на противоположное (рис. 3), и груз, преодолевая сопротивление движению по роликам, начнет перемещаться со скоростью относительно рамы в сторону транспортирования, при этом составляющая силы тяжести будет способствовать её увеличению.

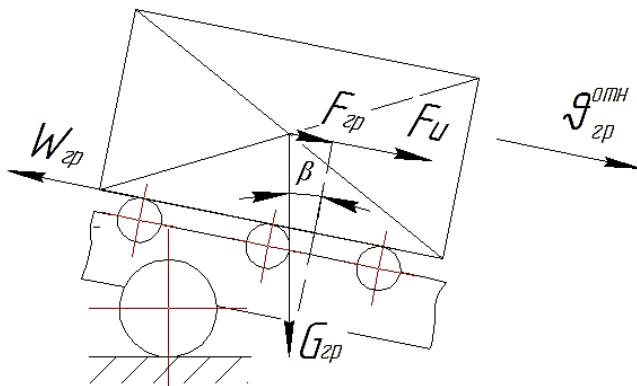


Рис. 3. Расчёчная схема определения условия относительного движения груза при прямом и обратном ходах рамы ИИРК

В соответствии с рис. 3 вторым условием работоспособности ИИРК с траповой установкой является относительное движение груза как при прямом, так и при обратном ходах рамы конвейера, описываемое выражениями (6-8):

$$F_u + F_{sp} > W_{sp}, \quad (6)$$

где  $W_{sp}$  – сила сопротивления свободного движения груза по роликам;

$$W_{sp} = m_{sp} g \delta_{sp}, \quad (7)$$

где  $\delta_{sp}$  – приведенный коэффициент сопротивления движению груза по роликам, подробно определяется в работах [6, 9, 10].

Т.е. выражение (6) запишется в виде:

$$a_{sp}^{omn} > g(\delta_{sp} - \sin \beta). \quad (8)$$

Таким образом, выражения 5 и 8 представляют собой граничные условия, достаточные для обеспечения работоспособности ИИРК. По сравнению с ИИРК, рама которого располагается в горизонтальной плоскости, ИИРК с траповой установкой позволяет расширить границы выбора рациональных параметров качания рамы.

Однако, для исключения подбрасывания груза относительно роликов и, тем самым, снижения динамических нагрузок на основные элементы ИИРК, необходимо оговорить максимальный критический угол установки концевой опоры.

Максимальный критический угол в  $\beta_{max}$  можно определить, полагая, что отрыв движущегося груза от роликов возможен, когда его сила инерции будет больше силы тяжести и направлена параллельно горизонтальной оси (рис. 4), поэтому для исключения этого события необходимо выполнение ещё одного условия (9).

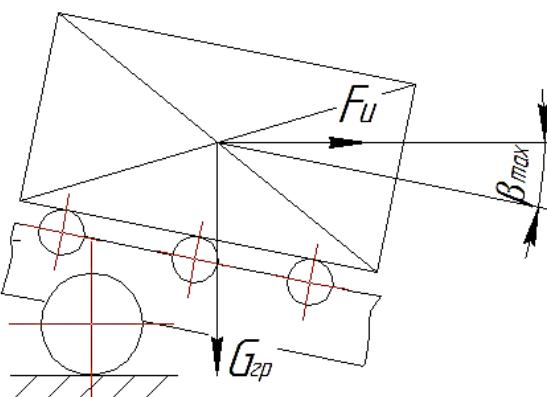


Рис. 4. Схема к определению максимального критического угла наклона конвейера

$$\frac{F_u}{\cos \beta_{\max}} \leq G_{zp}, \quad (9)$$

где  $G_{zp}$  – сила тяжести груза.

Отсюда значение максимального критического угла установки концевой опоры конвейера определится как

$$\beta_{\max} \leq \arccos \frac{a_{zp}^{отн}}{g}. \quad (10)$$

При невыполнении условия (10) будет наблюдаться подброс груза и возможен его срыв с роликового полотна.

## Заключение

По сравнению с ИИРК, работающего в горизонтальной плоскости, при его траповой установке расширяются границы выбора рациональных параметров качания рамы (по предварительным расчетам до 20%), дополнительные технологические возможности при выполнении смежных операций, например, по загрузке других транспортирующих машин, стеллажей [11] и т.д.

Дальнейшие исследования позволят определить кинематические закономерности движения груза, динамические характеристики работающего конвейера и разработать детальные рекомендации по инженерному расчету.

## Список литературы

1. Зенков Р.Л. и др. Машины непрерывного транспорта: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование»/ Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков, Л.Н. Колобов, – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
2. Фомин Н.А., Носко А.Л., Сафонов Е.В., Шарифуллин И.А. Накопительные роликовые конвейеры. Обзор конструкций и особенности работы // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2024. № 12. С. 47-57.
3. Ивановский К.Е., Раковщик А.Н., Цоглин А.Н. Роликовые и дисковые конвейеры и устройства. М. Машиностроение, 1973 – 216 с.
4. Ромакин Н.Е. Машины непрерывного транспорта: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Е.Ромакин. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 432 с.
5. Теоретические основы перемещения штучных грузов. Ивановский К.Е. М.: Машиностроение, 1969 – 166 с.
6. Лускань О.А. Теоретические основы перемещения грузов импульсными конвейерами: монография / О.А. Лускань. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 99 с. ISBN 978-5-7433-2345-6.
7. Лускань О.А. Инженерный расчет импульсных конвейеров: монография / О.А. Лускань. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2011. – 80 с. ISBN 978-5-7433-2388-3.
8. Патент №2406674 РФ. Инерционный роликовый конвейер. / О.А.Лускань, Н.Е.Ромакин, В.И.Кутейкин. Бюл. №35, 2010.
9. Хлопков В.П., Носко А.Л. Экспериментальная оценка коэффициента трения качения деревянных поддонов различной влажности по металлическим роликам // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. XXI Международная научно-практическая конференция. В 3 ч. Чита, 2021. С. 205-212.

10. Хлопков В.П., Алексеев В.И. Обзор методик расчета сопротивлений перемещению деревянных паллет по приводному роликовому конвейеру // Подъёмно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы. Сборник докладов 27-й Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 95-летию подготовки инженеров-механиков МИСИ-МГСУ. Москва, 2023. С. 292-295.
11. Алексеев В.И., Носко А.Л., Сафонов Е.В. Обзор и анализ конструкций гравитационных стеллажей для паллет // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2025. №1. С. 43-54.
- 

#### АВТОР

**Лускань Олег Александрович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Атомная энергетика» БИТИ НИЯУ МИФИ (413840, г. Балаково, ул. Чапаева, 140),  
[oa-luskan@yandex.ru](mailto:oa-luskan@yandex.ru); SPIN-код [9316-8929](#).

---

# 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. № 4. pp. 19 – 26.

DOI:

Received: 01.12.2025  
Accepted for publication: 06.12.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

## Conditions for transportation of bulk cargoes on a pulsed inertial roller conveyor with a trapezoidal end support

Oleg A. Luskan

[oa-luskan@yandex.ru](mailto:oa-luskan@yandex.ru)

BITI National Research Nuclear University  
MEPhI, Russian Federation

The article presents a solution to the issues of determining the necessary and sufficient conditions for transporting bulk goods on a pulsed inertial roller conveyor, the end support of which has the ability to move along an inclined plane. Compared with a horizontally mounted conveyor operating as an independent unit or as part of technological machines of different industry productions, the proposed design solution will expand the boundaries of variation in conveyor parameters by 20% along with increased productivity and will enable it to perform additional operations related to loading and unloading of other transport and technological machines and warehouse equipment.

**Keywords:** load, roller, conveyor, driving conditions, tilt angle, inertia, gravity.

### References

1. Zenkov R.L. and others. Continuous transport machines: A textbook for university students studying in the specialty "Lifting and transport machines and equipment" / R.L. Zenkov, I.I. Ivashkov, L.N. Kolobov, 2nd ed., revised. and add. – M.: Mechanical Engineering, 1987. – 432 p.
2. Fomin N.A., Nosko A.L., Safronov E.V., Sharifullin I.A. Accumulative roller conveyors. Overview of structures and work features // Transport: science, technology, management. Scientific information collection. 2024. No. 12. pp. 47-57.
3. Ivanovsky K.E., Rakovshchik A.N., Tsoglin A.N. Roller and disc conveyors and devices. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973– 216 p.
4. Romakin N.E. Continuous transport machines: textbook. student's handbook. higher. studies. institutions / N.E.Romakin. – M.: Publishing center "Academy", 2008. – 432 p.
5. Theoretical foundations of the movement of unit loads. Ivanovsky K.E. M.: Mechanical Engineering, 1969 – 166 p.
6. Luskan O.A. Theoretical foundations of moving goods by pulsed conveyors: a monograph / O.A. Luskan. – Saratov: Sarat. State Technical University. Univ., 2010. – 99 p. ISBN 978-5-7433-2345-6.
7. Luskan O.A. Engineering calculation of pulse conveyors: a monograph / O.A. Luskan. – Saratov: Sarat. State Technical University. Univ., 2011. – 80 p. ISBN 978-5-7433-2388-3.
8. Patent No.2406674 of the Russian Federation. Inertial roller conveyor. / O.A.Luskan, N.E.Romakin, V.I.Kuteikin. Byul. No. 35, 2010.

9. Khlopkov V.P., Nosko A.L. Experimental evaluation of the coefficient of rolling friction of wooden pallets of various humidity on metal rollers // Kulaginsky readings: technique and technology of production processes. XXI International Scientific and Practical Conference. At 3 a.m. Chita, 2021. pp. 205-212.
10. Khlopkov V.P., Alekseev V.I. Review of methods for calculating the resistance to movement of wooden pallets along a drive roller conveyor // Lifting and transport, construction, road, track, reclamation machines and robotic complexes. Collection of reports of the 27th Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, Undergraduates, postgraduates and Young scientists dedicated to the 95th anniversary of the training of mechanical engineers at MISI-MGSU. Moscow, 2023. pp. 292-295.
11. Alekseev V.I., Nosko A.L., Safronov E.V. Review and analysis of structures of gravity racks for pallets // Machines and installations: design, development and operation. 2025. No. 1. pp. 43-54.
- 

#### AUTHOR

**Oleg A. Luskan**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Atomic Energy at the BITI National Research Nuclear University MEPhI (140 Chapaev St., Balakovo, 413840), [oa-luskan@yandex.ru](mailto:oa-luskan@yandex.ru) ; SPIN code 9316-8929.

---

# 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. № 4. С. 27 – 44

DOI:

Представлена в редакцию: 01.12.2025

Принята к публикации: 06.12.2025

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.86

## Информация о характере работы ПТМ как основа метода поддержания работоспособности на этапе эксплуатации

Иванов С.Д.,  
Назаров А.Н. \*

[alexnazavr@yandex.ru](mailto:alexnazavr@yandex.ru)

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

Предложен метод поддержания работоспособного состояния крана, предполагающий переход от календарного к основанному на анализе интенсивности эксплуатации скользящему планированию технических обслуживаний и ремонтов. Реализация метода базируется на обработке актуальной, объективной, достоверной и полной информации о реальном характере использования крана и его механизмов. В качестве источников информации предлагается использовать приборы безопасности нового поколения, объективность информации которых достигается путем совместной обработки данных альтернативных источников, достоверность обеспечивается за счет совершенствования алгоритмов обработки, адаптированных к особенностям измеряемых процессов. Для защиты от разрушения по критерию прочности предлагается использовать алгоритмы прогнозирования силовых факторов, учитывающие характеристики крана, условия эксплуатации и возможные команды управления. Для оценки технического состояния крана и его механизмов предлагается использовать критерий энергии привода. Описаны примеры практико-ориентированных методик и перспективных приборов безопасности, реализующих представленные принципы.

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, приборы безопасности, эксплуатация кранов, ограничитель грузоподъемности, регистратор параметров работы, скользящее планирование.

### Введение

Современная промышленная безопасность представляет собой совокупность организационных мероприятий и технических средств [1-3]. Но на сегодняшний день необходимого единства этих двух составляющих не достигнуто.

Система производственного контроля вписана в организационную структуру предприятия в целом и, в основном, ориентирована на организационные мероприятия (инструкции, регламенты безопасности и. т.д.).

Современным уровнем применения технических средств в отечественной практике считается оснащение машин набором приборов и устройств безопасности, основные недостатки которых являются следствием отсутствия единой системы безопасности (в отличие от современных западных машин) и ограниченности применения в рамках одной машины [4-6]. Метод «один риск – один прибор» локализует данные об отслеживаемом эксплуатационном параметре в соответствующем приборе, что не позволяет повысить достоверность информации каждого отдельного источника и реализовать более сложные алгоритмы безопасности. Изолированность же данных технических средств от системы производственного контроля влечет принятие решений, направленных на поддержание крана в работоспособном состоянии, на основе унифицированных рекомендаций и инструкций без учета реального характера работы.

Несмотря на то, что каждый прибор безопасности сочетает в себе защитную, сигнальную и информационную функцию [7-9], вопрос их применения в конкретном кране решается путем дооснащения уже готовой конструкции, даже если речь идет не о находящемся в эксплуатации кране, а вновь изготавливаемом. Информационная функция безопасности часто остается невостребованной, так как ее считают вспомогательной. В связи с этим, несмотря на наличие возможности, информация о реальном характере работы крана не доходит до инженерно-технических работников.

Как результат, практика проектирования кранов без использования всех возможностей современных приборов безопасности приводит к двум проблемам: во-первых, к росту эксплуатационных расходов предприятия по причине организации неэффективной системы обеспечения работоспособности кранов, а во-вторых, к отсутствию вложений в развитие перспективных приборов безопасности. Всё это обуславливает проблемы поддержания работоспособного технического состояния кранов как основы их безопасной эксплуатации.

Актуальным является создание более точных инструментов для функционирования системы технических обслуживаний и ремонтов (ТОиР) с целью применения внутри службы производственного контроля. Для разработки таких инструментов необходим комплексный подход, действующий организационные мероприятия и технические средства, что и позволяет обеспечить разрабатываемый метод поддержания работоспособности крана в целом и всех его механизмов на этапе эксплуатации.

## Материалы и методы

Необходимыми условиями безопасной эксплуатации оборудования являются нахождение его в работоспособном состоянии и использование в рамках паспортных характеристик.

Согласно нормативной документации<sup>1</sup>, организация, эксплуатирующая опасный производственный объект, на котором используются подъемные сооружения, должна поддерживать их в работоспособном состоянии, соблюдая графики технических освидетельствований, технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов. Следовательно, основной задачей по обеспечению промышленной безопасности является такое планирование сроков и объемов организационно-технических мероприятий (ТОиР), при котором в течение всего нормативного срока службы кран находится в работоспособном состоянии, а риски поломок и внеплановых ремонтов минимизированы и являются управляемыми.

<sup>1</sup> Приказ Ростехнадзора от 26.11.2020 N 461 (ред. от 22.01.2024) "Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61983)

Основным фактором, приводящим к исчерпанию ресурса крана, является действие рабочих нагрузок, совокупное влияние которых за время эксплуатации крана в целом и каждого его механизма способно привести к разрушению элементов конструкции по усталостному принципу [10-12]. Производителем гарантируется, что если кран работает с номинальной интенсивностью (по верхней границе паспортного режима работы), то в течение нормативного срока службы он будет сохранять работоспособное состояние при условии проведения ТОиР с указанной в руководстве по эксплуатации периодичностью и в указанных объемах.

Однако, составленный на основе требований руководства по эксплуатации крана календарный график планово-предупредительных ремонтов и технических обслуживаний не учитывает реального характера работы крана [13,14]. Характеристическое число, являющееся мерой ресурса крана, зависит от количества поднятых грузов и их масс, поэтому его, с некоторым допущением, можно считать пропорциональным грузопотоку. Так как грузопоток на большинстве предприятий непостоянен, то и исчерпание ресурса крана происходит неравномерно.

Наиболее эффективным из известных способов организации системы ТОиР является система скользящего планирования, преимущество которой заключается в своевременном проведении обслуживаний, основываясь на реальной наработке оборудования и интенсивности его эксплуатации в течение межсервисного интервала [15].

Несмотря на то, что скользящее планирование предполагает корректировку межсервисных интервалов в сравнении с требованиями руководства по эксплуатации, нарушения последних не происходит, так как в основе и методики планирования, и при разработке требований руководства по эксплуатации лежит общий подход классификации условий работы ГОСТ34017-2016<sup>2</sup> (адаптация международного стандарта ISO-4301<sup>3</sup>).

Необходимым условием, которое позволит организациям, эксплуатирующим краны, перейти от календарной к скользящей системе планирования ТОиР, является получение актуальной, объективной, достоверной и достаточной информации о реальном характере использования крана [16]. В рамках данного подхода основой для получения такой информации должны стать приборы безопасности нового поколения [17].

Устоявшейся практикой в отечественном крановом приборостроении является сочетание в одном приборе трех функций безопасности – защитной (автоматическое отключение привода или крана в целом в случае возникновения аварийно опасной ситуации), сигнальной (привлечение внимания оператора при превышении контролируемыми параметрами паспортных характеристик машины) и информационной (информирование оператора и обслуживающего персонала о текущих значениях контролируемых параметров).

Прибором, реализующим информационную функцию безопасности в части информирования персонала о степени выработки ресурса, является регистратор параметров работы крана (РП). Считка и расшифровка данных РП должна проводиться в сроки, установленные руководствами по эксплуатации крана и РП (для чего они должны быть согласованы). На практике к данным РП обращаются при проведении технических освидетельствований крана (в большинстве случаев один раз в год) [18,19]. Учитывая, что межсервисные интервалы в 4-6 раз короче, чем периодичность технических освидетельствований, на момент считки данные, накопленные РП, теряют актуальность и для скользящего планирования ТОиР использоваться не могут.

В последние годы прослеживается тренд на внедрение систем дистанционного мониторинга кранов и переход от периодичной обработки накопленной информации к

<sup>2</sup> ГОСТ 34017—2016. Классификация режимов работы. Москва. Стандартинформ. 2017

<sup>3</sup> ISO-4301/1. Краны и подъемные устройства. Классификация. Часть 1. Общие положения. 1987

получению ее в реальном времени [20-22]. Приобретение значительно более дорогих систем мониторинга (в сравнении с РП) эксплуатирующими организациями обусловлено пониманием значимости удобного доступа (удаленный доступ через облачные сервисы) к актуальной информации о рабочих параметрах машины. Однако вопрос о качестве предоставляемой информации остаётся открытым.

Переход на более экономически целесообразную методику скользящего планирования ТОиР (предполагающую корректировку сроков межсервисных интервалов и объемов работ) должен сопровождаться обоснованным расчетом интенсивности работы машины, в основе которого должно лежать использование объективной информации. Отечественные приборы безопасности и системы мониторинга собирают данные по принципу «один параметр – один датчик». Полученную таким образом информацию можно назвать условно субъективной. Датчик фиксирует отклик крана (элементов механизма, металлоконструкции, привода) на интересующий эксплуатационный параметр – измерение косвенное (например, вычисление массы груза по изменению усилия в канате за цикл). Изменение характеристик объекта измерения (крана) и средства измерения (прибора безопасности), что неминуемо происходит в процессе эксплуатации, приводит к возникновению ошибки, выявить и оценить которую можно только имея дополнительный источник информации о том же параметре, использующий альтернативный способ получения данных (пользуясь тем же примером, вычисление массы груза на основе анализа усилия в канате и активной мощности привода) [23-25]. В этом случае объективность достигается за счет совместной обработки нескольких источников информации и сопоставления показаний, подтверждающих качество определения эксплуатационного параметра или показывающих необходимость переналадки измерительного оборудования.

Практическая применимость объективной информации (не подверженной влиянию посторонних факторов), определяется ее достоверностью, то есть степенью соответствия измеряемой величине. Как показали экспериментальные работы [26], ошибка получаемых приборами, при проектировании которых не учитывались требования к достоверности информации, непосредственно получаемых параметров (масса груза в цикле, количество циклов) достигает 25%, а расчетных (коэффициент распределения нагрузок, характеристическое число, остаточный ресурс) – до 100%. Такая величина ошибки определяется не столько характеристиками датчиков, сколько неадаптированностью способов обработки к особенностям измеряемых процессов (зависящая от приемов управления динамическая составляющая нагрузок, ограниченность времени измерения длительностью рабочего цикла). Соответственно, наибольший потенциал в части повышения достоверности заключается в совершенствовании алгоритмов обработки датчиковой информации.

Согласно федеральным нормам и правилам (ФНП) эксплуатирующая организация обязана (в том числе с привлечением специализированных организаций) не только организовать считывание данных с РП, но и осуществлять обработку (расшифровку) этих данных. Из-за нечетких требований на практике обработку данных не проводят, а отчет специалиста, составленный на основе информации РП, подменяют протоколом, формируемым большинством современных РП автоматически. Таким образом, пропадает возможность для критического анализа (оценки достоверности) данных РП – выявления ошибок программного обеспечения и нормировки датчиков [27].

Вопрос достоверности данных РП отражен в стандарте, который устанавливает требование к регистрируемым параметрам<sup>4</sup>. Однако, стандарт не предлагает методику подтверждения достоверности (как и руководства по эксплуатации приборов безопасности) и

<sup>4</sup> ГОСТ 33713-2015 Краны грузоподъемные. Регистраторы параметров работы. Общие требования. Москва. Стандартинформ. 2016

действий в случае обнаружения несоответствия (если проверка достоверности проводится с такой же периодичностью, что и считка данных РП, то непригодной для применения может оказаться информация за год работы крана).

Лежащий в основе требований руководства по эксплуатации метод классификации условий эксплуатации ISO-4301 различает кроме режима работы крана в целом режимы работы всех его механизмов. Существующие РП по причине ограниченности количества источников информации (для кранов мостового типа чаще всего один – о нагрузке в механизме подъема) направлены на определение режима работы (и остаточного ресурса) только крана в целом. В то же время задача поддержания работоспособного состояния механизмов, имеющий меньший ресурс в сравнении с ресурсом крана, должна опираться на определение режима работы каждого из них.

Несмотря на то, что нагрузку на кран (металлоконструкцию) и на механизм подъема можно определить по общему источнику информации, без дополнительных данных (продолжительность работы механизма) ресурс крана в целом пересчитать в ресурс механизма подъема невозможно.

Нагрузка на механизмы передвижения зависит от пяти параметров: сопротивление качению, уклон рельсового пути, трение реборд о головку рельса, ветровая нагрузка, переходные процессы пуска и торможения. При этом масса перемещаемого груза влияния практически не оказывает. Если анализировать описание режимов нагружения механизмов передвижения<sup>2</sup>, то определяющим фактором является частота пусков и длина пробегов (действительно – в переходных процессах нагрузка принимает оклономинальное значение).

Таким образом, скорость исчерпания ресурса механизмов будет зависеть преимущественно от особенностей места установки крана и технологического процесса (форма зоны обслуживания, стратегия обработки грузов, точность позиционирования). Определить реальную интенсивность работы и долю исчерпанного ресурса каждого механизма возможно только путем расширения количества источников информации. Достаточным будет являться такой набор информации, на основе которого можно с требуемой для задачи прогнозирования сроков ТОиР достоверностью рассчитывать эксплуатационные параметры не только крана в целом, но и каждого его механизма.

Система планирования ТОиР, основанная на паспортной (в случае календарного планирования) или реальной (в случае скользящего планирования) интенсивности работы, является фундаментом поддержания оборудования в работоспособном состоянии, позволяя планировать материальные, финансовые и трудовые затраты на его содержание. Однако, анализ доступных данных об эксплуатации предприятия с налаженной системой производственного контроля показал, что регулярное проведение качественного обслуживания не способно исключить внеплановых ремонтов. Причина исчерпания ресурса отдельных элементов крана до планового срока заключается в низкой стабильности качества компонентов и технологий, применяемых в отечественном краностроении [28,29].

В таких условиях безотказная работа оборудования достигается за счет применения методик оценки и прогнозирования технического состояния, которые позволяют корректировать сроки и объем ТОиР, рассчитанные на основе реальной интенсивности работы оборудования.

В зарубежном краностроении имеются подходы по прогнозированию сроков безотказной работы и формированию рекомендаций по проведению внеплановых ремонтов отдельных механизмов и даже их узлов. Наиболее развитая применяемая на практике методика заключается в сборе и анализе большого объема информации об эксплуатационных параметрах всех кранов серии, что позволяет отследить тренды их изменения и выявить зону безотказной работы и зону, в которой вероятность отказа имеет недопустимое значение, что

позволяет предоставлять своевременные рекомендации обслуживающему персоналу. Реализация такого подхода требует тесной связи проектировщиков крана, разработчиков его системы безопасности и специальной системы эксплуатации, что обеспечивает получение информации пригодного качества о работе каждой единицы оборудования, и больших объемов производства, что делает возможным статистический анализ эксплуатационных параметров и применение классической теории надежности для расчета критических значений эксплуатационных параметров.

Несмотря на успешный опыт применения зарубежных кранов, реализующих описанный подход по оценке технического состояния, и положительные отзывы их владельцев, в отечественном краностроении не возникло ни одного примера разработки подобного решения.

Сложившаяся практика оснащения приборами безопасности кранов уже после их проектирования и производства значительно сокращает возможности интеграции в конструкцию машины наиболее эффективных схем установки датчиков, обеспечивающих наименьшее влияние паразитных факторов. Единичный или (в лучшем случае) мелкосерийный характер производства тяжелых кранов исключает возможность применения статистических методик определения времени безотказной работы механизмов. Кроме того, низкая стабильность качества материалов, технологий, готовых деталей и узлов делают процесс эксплуатации каждого крана серии уникальной, не позволяя эффективно использовать полученный на одном кране опыт для обслуживания как другого крана, так и того же, но после проведения ремонта.

Совокупность перечисленных факторов, характерных для отечественного краностроения, определяет необходимость разработки нового, отличного от зарубежного подхода, направленного на выявление изменения технического состояния крана.

Предлагаемый подход корректировки сроков ТОиР заключается в отслеживании изменения эксплуатационных параметров (с учетом условий эксплуатации: масса груза, ветровая нагрузка и т.д.), указывающего на ухудшение технического состояния вследствие зарождения и развития дефектов [30,31].

В качестве критерия, на основании которого фиксируют изменение технического состояния, предлагается использовать энергию привода. Суммарная энергия привода складывается из двух составляющих – энергии, затраченной на:

- совершение полезной работы механизма, который находится в исправном состоянии (не зависит от срока эксплуатации);
- преодоление сопротивлений от дефектов технического состояния (зависит от срока, условий эксплуатации и реального качества элементов крана).

При вводе крана в эксплуатацию и после проведения ТОиР общая потребляемая энергия будет определяться первой составляющей. В процессе работы, вследствие естественного износа элементов механизмов, энергия, требуемая для совершения той же полезной работы, растет.

Локализация дефектов на уровне крана (с точностью до механизма) достигается за счет раздельного сбора и анализа информации о работе каждого привода. Локализация дефектов на уровне механизма (с точностью до узла: электродвигатель, трансмиссия, редуктор, рельсовый стык и т.д.) осуществляется путем анализа изменения структуры потребления энергии каждым приводом при помощи известных законов изменения характера нагрузок при возникновении дефектов.

Информация об изменении технического состояния должна использоваться инженерно-техническим персоналом для своевременного проведения диагностики с использованием методов визуально-измерительного контроля. При этом повышение качества обслуживания достигается за счет предоставления актуальной информации о конкретном потенциальном

дефекте, что позволяет обратить на него особое внимание и не пропустить среди полного перечня регламентных работ.

Предлагаемый подход позволяет защитить кран при возникновении дефектов, развивающихся по усталостному принципу и сопровождающих процесс эксплуатации крана в пределах паспортных характеристик (допустимых нагрузок и расчетных случаев). Для защиты от разрушения элементов крана по критерию прочности (при малоциклическом нагружении), применяются технические средства безопасности, реализующие защитную функцию путем непосредственного воздействия на систему управления, разрывая связь между органами управления и приводами [32].

Существующие приборы безопасности по причине малого времени развития нагрузок и низкого быстродействия системы управления хоть и способны предотвращать аварийные ситуации, но не защищают от превышения силовыми факторами допустимых значений. Повышение эксплуатационных характеристик приборов безопасности возможно достичь применением алгоритмов прогнозирования развития силовых факторов, основанного на анализе параметров крана, условий эксплуатации и возможных команд управления методом динамического моделирования.

Непрерывное прогнозирование силовых факторов позволяет не ждать, пока сложится предаварийная ситуация, а мягко корректировать действия оператора, предотвращая саму возможность отклонения от допустимых режимов работы.

Таким образом, развитие метода поддержания работоспособного состояния путем оснащения кранов приборами безопасности, построенными на принципе получения актуальной, объективной, достоверной и полной информации, полноценно реализующих защитную, сигнальную и информационную функцию безопасности, позволит перейти к наиболее экономически эффективному способу обеспечения процесса эксплуатации, снизив простой и расходы на внеплановые ремонты, обеспечив при этом установленный нормативной документацией уровень безопасности.

Применение описанного метода предполагает выведение информации, сейчас изолированной внутри отдельных приборов одного подъемного сооружения, на уровень опасного производственного объекта (ОПО). Полностью раскрыть потенциал метода возможно при адаптации информации систем безопасности кранов для каждого потребителя согласно должностным инструкциям, отражающим место сотрудника в процессе эксплуатации ОПО, встраивая ее в систему управления производственными процессами (MES).

## Результаты

В рамках описанного подхода на кафедре «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана и на базе специализированной организации ООО «ИТЦ «КРОС» ведутся разработки и внедрение практикоориентированных методик и перспективных приборов [33].

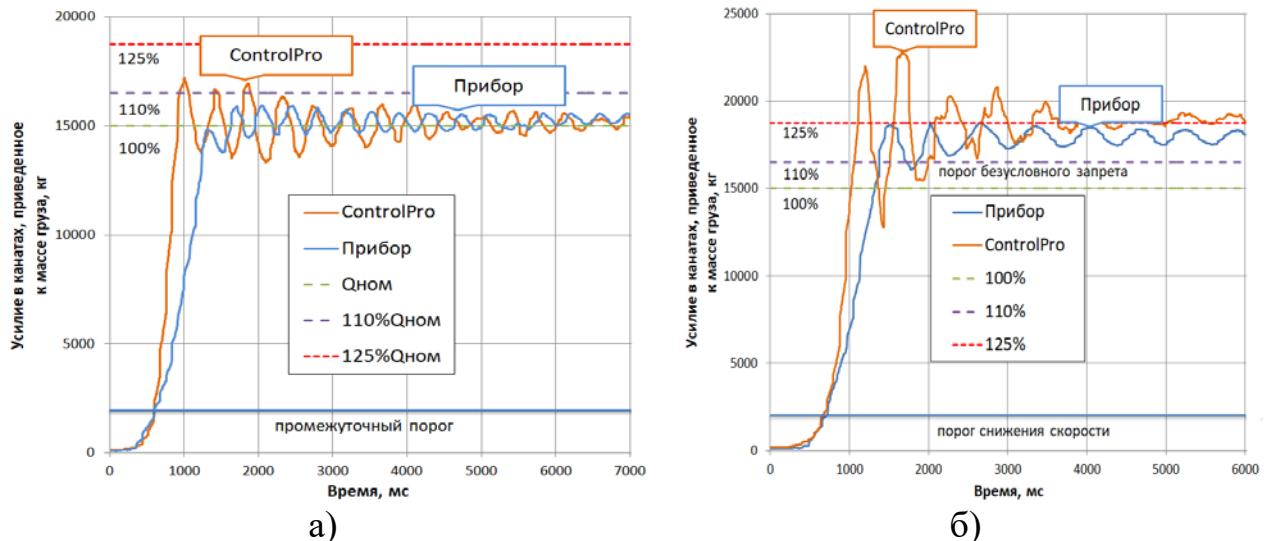
Ограничение грузоподъемности. Защита крана от превышения паспортной грузоподъемности основана на применении алгоритмов прогнозирования нагрузки. Работы по совершенствованию математической модели описания динамических процессов в механизме подъема, обоснованию набора источников информации, их качества и выявлению требований к обрабатывающей аппаратуре позволили [34]:

- впервые адаптировать известный с 2000-х годов и применяемый в наиболее технически совершенных приборах безопасности алгоритм с промежуточными порогами ограничителя грузоподъемности для кранов с частотной системой управления;
- разработать автоматизированные методики настройки параметров алгоритмов ограничителя грузоподъемности для кранов с частотной или релейной системой

управления, заключающиеся в обработке сигналов штатных датчиков ограничителя грузоподъемности в тестовых подъемах контрольных грузов.

Прибор, реализующий разработанные алгоритмы, в условиях натурных экспериментов продемонстрировал надежную защиту кранов мостового типа от воздействия усилия более 125% даже при попытках подъема зажоренных грузов.

Доказано снижение динамических нагрузок во всем диапазоне масс поднимаемых грузов (рис. 1). При этом наибольший эффект (в два раза) достигается в области оклономинальных нагрузок [35].



**Рис. 1.** Сравнение динамических процессов а) подъема номинального груза; б) попытки подъема 125% номинального груза – при работе системы безопасности ControlPro (KoneCranes) и разработанного прибора

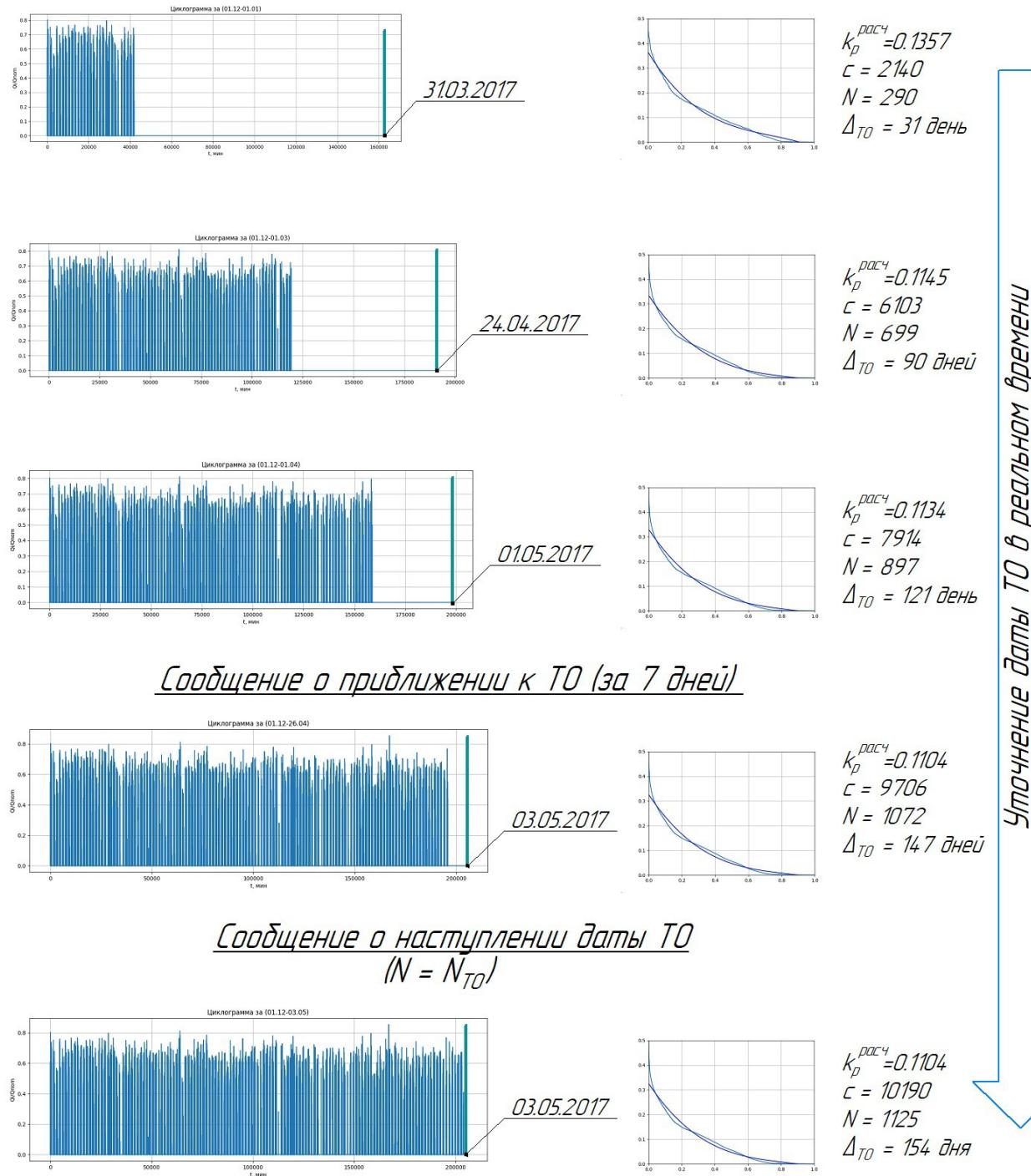
Защита от опасного воздействия ветровой нагрузки. В условиях непрерывно меняющейся ветровой обстановки использование существующих крановых анемометров характеризуется существенным недостатком – если крановщик получает информацию о текущей скорости ветра, у него не остается времени на завершение уже начатого цикла и активацию противоугонных устройств.

Разработан и реализован в приборе АЦ-5 (рис. 2) алгоритм прогнозирования скорости ветра, основанный на известных метеорологических закономерностях [36,37]. Накопление и статистическая обработка информации позволяет получить прогноз развития ветровой обстановки на 10 минут, что достаточно для принятия обоснованного решения.



**Рис. 2.** Крановый анемометр АЦ-5

Планирование ТОиР. Самый недооцененный при описываемом подходе прибор безопасности – регистратор параметров работы крана. На кафедре РК-4 разработаны методики по оценке качества первичной информации, прогнозированию и оптимизации на ее основе межсервисных интервалов (рис. 3), корректированию объемов технических обслуживаний и ремонтов и полноценному контролю остаточного ресурса [38-40].



**Рис. 3.** Уточнение в реальном времени межсервисного интервала козлового контейнерного крана.  $k_p^{\text{расч}}$  – фактическое значение коэффициента распределения нагрузки;  $c$  – количество рабочих циклов за межсервисный интервал;  $\Delta_{TO}$  – время (в днях), прошедшее с предыдущего технического обслуживания;  $N$  – характеристическое число за текущий межсервисный интервал;  $N_{TO}$  – допустимая выработка характеристического числа за межсервисный интервал

## Заключение

Предлагаемый метод объединяет уже известные и в разной степени разработанные методики, используемые в разных специальностях и применяемые на этапе эксплуатации грузоподъемного оборудования:

- прогнозирование нагрузок (создание алгоритмов защиты от опасного превышения эксплуатационных параметров разработчиками приборов безопасности);
- диагностика (применение визуально-измерительного контроля, метода вибродиагностики экспертами промышленной безопасности);
- скользящее планирование ТОиР (разработка и корректировка планов проведения сервисных мероприятий специалистами по организации производства).

Объединение этих трех направлений производится в рамках решения одной задачи и позволяет достичь качественно нового уровня обеспечения работоспособности и безопасности грузоподъемного оборудования.

Приборы, реализующие разработанные в рамках описанного метода алгоритмы, демонстрируют эксплуатационные характеристики, сходные с аналогами ведущих западных разработчиков систем безопасности и превосходящие китайские образцы, в последнее время активно заполняющие отечественный рынок технических средств обеспечения безопасности подъемных сооружений.

---

## Список литературы

1. О критериях оценки соответствия требованиям промышленной безопасности для мостовых электрических кранов / Д. Жуков, Д. Валиев, Ф. Бурганов, С. Медведев // Регламент. – 2015. – № 5(43). – С. 78-79. – EDN VZXZDR.
2. Ларочкина, Н. М. Современное состояние промышленной безопасности грузоподъемных кранов: проблемы и эффективные пути их решения / Н. М. Ларочкина // Современная техника и технологии. – 2016. – № 3(55). – С. 123-125. – EDN WANAUJ.
3. Короткий, А. А. Обоснования безопасности грузоподъемных кранов / А. А. Короткий, Е. В. Егельская, А. П. Шерстюк // Вестник Донского государственного технического университета. – 2017. – Т. 17, № 4(91). – С. 136-143. – DOI 10.23947/1992-5980-2017-17-4-136-143. – EDN YNOFPN.
4. Повышение эффективности использования приборов безопасности грузоподъемных кранов / Л. С. Каминский, Ф. Л. Каминский, И. А. Пятницкий, И. Г. Федоров // Научная перспектива. – 2016. – № 1. – С. 140-144. – EDN VKJRH.
5. Козлов, В. С. О совершенствовании приборов безопасности грузоподъемных кранов / В. С. Козлов // Подъемно-транспортное дело. – 2011. – № 4(64). – С. 15-17. – EDN ONPTDZ.
6. Карманов, С. Приборы и датчики безопасности для мониторинга работы мостовых кранов / С. Карманов, К. Боянов, И. Гнибеда // ТехНадзор. – 2015. – № 11(108). – С. 164. – EDN XHBASF.
7. Роль регистраторов параметров грузоподъемных кранов при проведении экспертизы промышленной безопасности / Н. В. Симонов, В. Ю. Сыроежкин, В. К. Разинков [и др.] // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. – 2015. – № 5. – С. 88-89. – EDN VZALGV.

8. Зарецкий, А. А. Регистраторы параметров работы грузоподъемных кранов / А. А. Зарецкий, Л. С. Каминский, И. Г. Федоров // Безопасность труда в промышленности. – 2001. – № 4. – С. 60-62. – EDN JVVTZT.

9. Агейчева, М. М. Учет реальных условий работы крана при расчете остаточного ресурса по данным регистратора параметров / М. М. Агейчева // Научное сообщество студентов ХХI столетия. Технические науки : Электронный сборник статей по материалам СХХХI студенческой международной научно-практической конференции, Новосибирск, 09 ноября 2023 года. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Сибирская академическая книга", 2023. – С. 85-92. – EDN ECQRWT.

10. Ляшенко, Н. В. Анализ причин аварийных ситуаций при разрушении металлоконструкций / Н. В. Ляшенко, В. А. Лепихова, С. Г. Шестак // Экология. Риск. Безопасность : Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Курган, 29–30 октября 2020 года. – Курган: Курганский государственный университет, 2020. – С. 254-255. – EDN ORPAJW.

11. Оценка остаточного ресурса порталного крана при проведении экспертизы промышленной безопасности / А. Л. Кузьминов, А. В. Голубев, Н. Н. Зеленков, А. Е. Глазунов // European Science. – 2015. – № 8(9). – С. 17-21. – EDN UPTSWP.

12. Ермоленко, В. А. Особенности расчета показателей надежности грузоподъемных машин / В. А. Ермоленко, П. В. Витчук // Надежность. – 2016. – Т. 16, № 2(57). – С. 20-25. – EDN WHGDRJ.

13. Ганшкевич, А. Ю. Подходы к прогнозированию технического состояния подъемных сооружений на основе мониторинга / А. Ю. Ганшкевич, В. В. Розов, О. А. Черняк // Наука и бизнес: пути развития. – 2025. – № 3(165). – С. 106-111. – EDN SJWSKU.

14. Иванов С.Д., Иванова Н.Ю. Технико-экономические показатели эффективности подъемно-транспортных работ // Механизация строительства. 2016. – №6. – С. 15-21.

15. Иванов, С. Д. Формирование информационной базы для уточнения расчета остаточного ресурса и улучшения методики планирования ремонтов подъемно-транспортного оборудования с использованием приборов безопасности - регистраторов параметров (на примере кранов) / С. Д. Иванов, Н. Ю. Иванова // Цифровая экономика: технологии, управление, человеческий капитал : Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Сборник докладов в области экономики и менеджмента, а также производственных технологий, информационных технологий и технологического менеджмента, Москва, 28 мая 2019 года. – Москва: Московский государственный технологический университет "СТАНКИН", 2019. – С. 236-241. – EDN OAZGZT.

16. Объективная информация о работе подъемно-транспортных машин как основа повышения качества информационных систем грузообрабатывающих предприятий / Н. Ю. Иванова, С. Д. Иванов, С. А. Надеженков, А. Н. Назаров // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2023. – № 2. – С. 81-96. – EDN MRGIFW.

17. Назаров, А. Н. Исследования и разработки кафедры РК4 «Подъемно-транспортные системы» для создания современных приборов безопасности грузоподъемной техники / А. Н. Назаров // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2024. – № 4. – С. 34-40. – EDN JPIQKE.

18. Тимин, Ю. Ф. Опыт применения регистраторов параметров в Кранах мостового типа / Ю. Ф. Тимин, В. А. Сушинский // Подъемно-транспортное дело. – 2009. – № 3(53). – С. 12-14. – EDN NDIICZ.

19. Регистратор параметров работы крана мостового типа / Ю. А. Орлов, Д. Ю. Орлов, Д. П. Столяров, Р. Н. Кахиев // Механизация строительства. – 2015. – № 8(854). – С. 30-31. – EDN UDOVSD.

20. Агейчева, М. М. Оценка интенсивности работы контейнерного крана на основе обработки информации системы дистанционного мониторинга / М. М. Агейчева, С. Д. Иванов // 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. 417-420. – EDN VEJLX.

21. Васильев, В. В. Инновационные технологии в работе службы охраны труда и промышленной безопасности / В. В. Васильев // Управление качеством. – 2025. – № 10(260). – С. 74-78. – DOI 10.33920/pro-01-2510-11. – EDN MVLKSZ.

22. Коновалов, Д. Удаленная регистрация и оценка наработки кранов. Система мониторинга и управления грузоподъемным транспортом порта / Д. Коновалов // Речной транспорт (XXI век). – 2007. – № 4(28). – С. 64-65. – EDN IBIKVV.

23. Система защиты мостового крана на основе мониторинга параметров электропривода механизма подъёма / Ю. А. Орлов, Ю. Н. Дементьев, Г. И. Однокопылов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312, № 4. – С. 119-124. – EDN JRGNRR.

24. Назаров, А. Н. Движущее усилие двигателя механизма подъема кранов мостового типа в реальных условиях эксплуатации / А. Н. Назаров // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 1(89). – С. 34-50. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-1-34-50. – EDN DJBHGB.

25. Иванов, С. Д. Оценка применимости электрических параметров привода для определения нагрузки на механизм подъема кранов мостового типа / С. Д. Иванов, А. Н. Назаров // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2022. – Т. 19, № 1(83). – С. 36-47. – DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-36-47. – EDN XZSFJQ.

26. Луткин, А. Р. Достоверность определения эксплуатационных параметров крана / А. Р. Луткин // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы : Сборник докладов XXIII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 04 апреля 2019 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019. – С. 520-525. – EDN UQZEMN.

27. Агейчева, М. М. Оценка остаточного ресурса козлового крана на основе качественной подготовки исходных данных о его фактических условиях работы / М. М. Агейчева // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы (Молодой инженер) : Материалы XXVIII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 24–26 апреля 2024 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. – С. 11-14. – EDN FDJFOU.

28. Федотов, А. В. Сравнение зарубежного и отечественного подходов к конструированию тележек мостовых кранов / А. В. Федотов, Ю. Н. Медведева // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2024. – № 4. – С. 41-55. – EDN FPVXAO.

29. Федотов, А. В. Исследование возможности импортозамещения тележек перспективной конструкции для мостовых кранов / А. В. Федотов // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник материалов 29-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 23 апреля 2025 года. – Москва: Межрегиональная общественная организация содействия развитию культуры образования, спорта "Стратегия объединения", 2025. – С. 42-44. – EDN ZSLEMW.

30. Йылмаз, М. Ю. Анализ переходных процессов в асинхронных двигателях крановых приводов для диагностики механических неисправностей / М. Ю. Йылмаз, С. Д. Иванов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2025. – Т. 22, № 4(104). – С. 512-523. – DOI 10.26518/2071-7296-2025-22-4-512-523. – EDN NDLRWQ.
31. 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.
32. Назаров, А. Н. Исследование влияния работы ограничителя грузоподъемности с промежуточными порогами на безопасность кранов мостового типа / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2023. – № 1. – С. 41-52. – EDN SZRVVB.
33. Иванов, С. Д. Развитие направления «промышленная безопасность подъемных сооружений» на кафедре РК4 «Подъемно-транспортные системы» / С. Д. Иванов // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2024. – № 4. – С. 11-24. – EDN GACZBH.
34. Nazarov, A. Configuring the algorithm of the load limiter with intermediate threshold / A. Nazarov, S. Ivanov, M. Yilmaz // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 515. – P. 02015. – DOI 10.1051/e3sconf/202451502015. – EDN NGQCHM.
35. Назаров, А. Н. Разработка перспективного прибора безопасности кранов мостового типа / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21, № 6(100). – С. 826-843. – DOI 10.26518/2071-7296-2024-21-6-826-843. – EDN TYGGUV.
36. Рощин, В. А. Применение методов прогнозирования опасных факторов в приборах безопасности кранов на примере кранового анемометра / В. А. Рощин, С. Д. Иванов, А. Н. Назаров // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2020. – Т. 17, № 5(75). – С. 584-597. – DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-5-584-597. – EDN VAFCGT.
37. Потапов, В. А. Разработка системы ветрозащиты рельсовых кранов / В. А. Потапов, В. А. Рощин, С. Д. Иванов // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2024. – № 4. – С. 25-33. – EDN AHFIVF.
38. Ivanov, S. D. Selection of a rational algorithm for data processing of the weight measuring system of a hoisting crane / S. D. Ivanov, A. N. Nazarov, N. L. Mikhalkich // Journal of Physics: Conference Series, Belgorod, 09–10 марта 2021 года. Vol. 1926. – Belgorod: IOP Publishing Ltd, 2021. – Р. 012047. – DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012047. – EDN JIUUGG.
39. Назаров, А. Н. Использование алгоритма весоизмерения на основе фильтра скользящего среднего в регистраторе параметров работы мостового крана / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 4(92). – С. 418-431. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-4-418-431. – EDN СВИМР.
40. Михалев, А. В. Применение алгоритма скользящего среднего для задачи определения массы груза / А. В. Михалев, А. Н. Назаров // Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. – 2023. – № 2. – С. 44-57. – EDN XLXJRI.

## 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), ORCID 0000-0002-7912-609X, SPIN-код: 8035-2780.

**Назаров Александр Николаевич**, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), кандидат технических наук, доцент, [alexnazavr@yandex.ru](mailto:alexnazavr@yandex.ru), ORCID 0000-0002-8039-4331, SPIN-код: 2028-7651.

---

# 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. № 4. pp. 27 – 44.

DOI:

Received: 01.12.2025  
Accepted for publication: 06.12.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

## Operational Data of Lifting Equipment as the Basis for the In-Service Performance Maintenance Method

Sergey D. Ivanov,  
Alexander N. Nazarov \*

\*[alexnazavr@yandex.ru](mailto:alexnazavr@yandex.ru)

Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

A method for maintaining the working condition of a crane is proposed, which involves a transition from a calendar to a rolling planning of maintenance and repairs based on an analysis of the intensity of operation. The implementation of the method is based on the processing of up-to-date, objective, reliable and complete information about the actual use of the crane and its mechanisms. It is proposed to use new-generation security devices as sources of information, the objectivity of which is achieved by jointly processing data from alternative sources, reliability is ensured by improving processing algorithms adapted to the specifics of the measured processes. To protect against destruction according to the strength criterion, it is proposed to use algorithms for predicting force factors that take into account the characteristics of the crane, operating conditions and possible control commands. To assess the technical condition of the crane and its mechanisms, it is proposed to use the criterion of drive energy. Examples of practice-oriented techniques and promising safety devices implementing the presented principles are described.

**Keywords:** industrial safety, safety devices, crane operation, load limiter, operation parameter logger, sliding planning.

### References

1. Zhukov, D., Valiev, D., Burganov, F., Medvedev, S. On the Criteria for Assessing Compliance with Industrial Safety Requirements for Overhead Electric Cranes. *Reglament*. 2015, no. 5(43), pp. 78-79. EDN VZXZDR.
2. Larochkina, N.M. The Current State of Industrial Safety of Cranes: Problems and Effective Solutions. *Modern Equipment and Technologies*. 2016, no. 3(55), pp. 123-125. EDN WANAUJ.
3. Korotkiy, A.A., Egelskaya, E.V., Sherstyuk, A.P. Justification of the Safety of Cranes. *Bulletin of the Don State Technical University*. 2017, vol. 17, no. 4(91), pp. 136-143. DOI 10.23947/1992-5980-2017-17-4-136-143. EDN YNOFPH.
4. Kaminsky, L.S., Kaminsky, F.L., Pyatnitsky, I.A., Fedorov, I.G. Improving the Efficiency of Using Safety Devices for Cranes. *Scientific Perspective*. 2016, no. 1, pp. 140-144. EDN VKJRHF.
5. Kozlov, V.S. On the Improvement of Crane Safety Devices. *Lifting and Transport Engineering*. 2011, no. 4(64), pp. 15-17. EDN ONPTDZ.
6. Karmanov, S., Boyanov, K., Gnilibeda, I. Safety Devices and Sensors for Monitoring Overhead Cranes. *Technical Supervision*. 2015, no. 11(108), p. 164. EDN XHBASF.

7. Simonov, N.V., Syroezhkin, V.Yu., Razinkov, V.K. et al. The Role of Crane Data Recorders in Industrial Safety Expertise. *Industrial Safety Expertise and Diagnostics of Hazardous Production Facilities*. 2015, no. 5, pp. 88-89. EDN VZALGV.
8. Zaretsky, A.A., Kaminsky, L.S., Fedorov, I.G. Data Recorders for Cranes. *Occupational Safety in Industry*. 2001, no. 4, pp. 60-62. EDN JVVTZT.
9. Ageicheva, M.M. Accounting for Real Crane Operating Conditions in Residual Life Calculation Based on Data Recorder Information. In: *Scientific Community of Students of the XXI Century. Technical Sciences: electronic collection of articles based on the materials of the CXXXI International Student Scientific and Practical Conference*, Novosibirsk, November 09, 2023. Novosibirsk: Siberian Academic Book LLC, 2023, pp. 85-92. EDN ECQRWT.
10. Lyashenko, N.V., Lepikhova, V.A., Shestak, S.G. Analysis of the Causes of Emergency Situations in Metal Structure Failures. In: *Ecology. Risk. Safety: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*, Kurgan, October 29–30, 2020. Kurgan: Kurgan State University, 2020, pp. 254-255. EDN ORPAJW.
11. Kuzminov, A.L., Golubev, A.V., Zelenkov, N.N., Glazunov, A.E. Assessment of the Residual Life of a Portal Crane During Industrial Safety Expertise. *European Science*. 2015, no. 8(9), pp. 17-21. EDN UPTSWP.
12. Ermolenko, V.A., Vitchuk, P.V. Features of Calculating Reliability Indicators for Cranes. *Nadezhnost*. 2016, vol. 16, no. 2(57), pp. 20-25. EDN WHGDRJ.
13. Ganshkevich, A.Yu., Rozov, V.V., Chernyak, O.A. Approaches to Forecasting the Technical Condition of Lifting Equipment Based on Monitoring. *Science and Business: Development Paths*. 2025, no. 3(165), pp. 106-111. EDN SJWSKU.
14. Ivanov S.D., Ivanova N.Yu. Technical and Economic Indicators of the Efficiency of Lifting and Transport Operations. *Mechanization of Construction*. 2016, no. 6, pp. 15-21.
15. Ivanov, S.D., Ivanova, N.Yu. Formation of an Information Base for Refining the Calculation of Residual Life and Improving the Maintenance Planning Methodology for Lifting and Transport Equipment Using Safety Devices - Data Recorders (Case Study of Cranes). In: *Digital Economy: Technologies, Management, Human Capital: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*, Moscow, May 28, 2019. Moscow: Moscow State Technological University "STANKIN", 2019, pp. 236-241. EDN OAEGZT.
16. Ivanova, N.Yu., Ivanov, S.D., Nadezhenkov, S.A., Nazarov, A.N. Objective Information on the Operation of Lifting and Transport Machines as a Basis for Improving the Quality of Information Systems at Cargo Handling Enterprises. *Machines and Installations: Design, Development and Operation*. 2023, no. 2, pp. 81-96. EDN MRGIFW.
17. Nazarov, A.N. Research and Development of the Department "Lifting and Transport Systems" for Creating Modern Safety Devices for Lifting Equipment. *Machines and Installations: Design, Development and Operation*. 2024, no. 4, pp. 34-40. EDN JIIQKE.
18. Timin, Yu.F., Sushinsky, V.A. Experience in Using Data Recorders in Overhead Cranes. *Lifting and Transport Engineering*. 2009, no. 3(53), pp. 12-14. EDN NDIICZ.
19. Orlov, Yu.A., Orlov, D.Yu., Stolyarov, D.P., Kahiev, R.N. Data Recorder for Overhead Cranes. *Mechanization of Construction*. 2015, no. 8(854), pp. 30-31. EDN UDOSVD.
20. Ageicheva, M.M., Ivanov, S.D. Assessment of Container Crane Utilization Intensity Based on Remote Monitoring System Data Processing. In: *The Seventy-Sixth All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Masters, and Postgraduates with International Participation*, Yaroslavl, April 19–20, 2022. Part 76. Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, 2023, pp. 417-420. EDN VEJJLX.

21. Vasiliev, V.V. Innovative Technologies in the Work of the Labor Protection and Industrial Safety Service. *Quality Management*. 2025, no. 10(260), pp. 74-78. DOI 10.33920/pro-01-2510-11. EDN MVLKSZ.
22. Konovalov, D. Remote Registration and Assessment of Crane Utilization. A System for Monitoring and Managing Port Lifting Equipment. *River Transport (XXI Century)*. 2007, no. 4(28), pp. 64-65. EDN IBIKVV.
23. Orlov, Yu.A., Dementiev, Yu.N., Odnokopylov, G.I. et al. A Bridge Crane Protection System Based on Monitoring the Parameters of the Hoisting Mechanism Electric Drive. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2008, vol. 312, no. 4, pp. 119-124. EDN JRGNRR.
24. Nazarov, A.N. The Driving Force of the Hoisting Mechanism Motor of Overhead Cranes in Real Operating Conditions. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University*. 2023, vol. 20, no. 1(89), pp. 34-50. DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-1-34-50. EDN DJBHGB.
25. Ivanov, S.D., Nazarov, A.N. Assessment of the Applicability of Electric Drive Parameters for Determining the Load on the Hoisting Mechanism of Overhead Cranes. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University*. 2022, vol. 19, no. 1(83), pp. 36-47. DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-36-47. EDN XZSFJQ.
26. Lutkin, A.R. Reliability of Determining Crane Operational Parameters. In: *Lifting and Transport, Construction, Road, Railway, Land Reclamation Machines and Robotic Systems: Proceedings of the XXIII Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference*, Moscow, April 04, 2019. Moscow: National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2019, pp. 520-525. EDN UQZEMN.
27. Ageicheva, M.M. Assessment of the Residual Life of a Gantry Crane Based on High-Quality Preparation of Initial Data on Its Actual Operating Conditions. In: *Lifting and Transport, Construction, Road, Railway, Land Reclamation Machines and Robotic Systems (Young Engineer): Materials of the XXVIII Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference*, Moscow, April 24–26, 2024. Moscow: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2024, pp. 11-14. EDN FDJFOU.
28. Fedotov, A.V., Medvedeva, Yu.N. Comparison of Foreign and Domestic Approaches to the Design of Overhead Crane Trolleys. *Machines and Installations: Design, Development and Operation*. 2024, no. 4, pp. 41-55. EDN FPVXAO.
29. Fedotov, A.V. Research on the Possibility of Import Substitution of Trolleys of a Promising Design for Overhead Cranes. In: *Lifting and Transport, Construction, Road, Railway, Land Reclamation Machines and Robotic Systems: Proceedings of the 29th Moscow International Interuniversity Scientific and Technical Conference*, Moscow, April 23, 2025. Moscow: "Strategy of Unification", 2025, pp. 42-44. EDN ZSLEMW.
30. Yilmaz, M.Yu., Ivanov, S.D. Analysis of Transient Processes in Asynchronous Motors of Crane Drives for Diagnosing Mechanical Faults. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University*. 2025, vol. 22, no. 4(104), pp. 512-523. DOI 10.26518/2071-7296-2025-22-4-512-523. EDN NDLRWQ.
31. Yilmaz, M.Yu., Ivanov, S.D. Experimental Assessment of the Use of an Encoder of Various Resolutions to Obtain Information about Transient Processes in a Crane Electric Drive. In: *Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration: Proceedings of the International Conference*, Beijing, January 17, 2024. Beijing: "Infinity" LLC, 2024, pp. 143-147. DOI 10.34660/INF.2024.11.22.136. EDN QGHMZI.
32. Nazarov, A.N., Ivanov, S.D. Investigation of the Influence of a Load Limiter with Intermediate Thresholds on the Safety of Overhead Cranes. *Machines and Installations: Design, Development and Operation*. 2023, no. 1, pp. 41-52. EDN SZRVVB.

33. Ivanov, S.D. Development of the "Industrial Safety of Lifting Equipment" Research Direction at the Department "Lifting and Transport Systems". *Machines and Installations: Design, Development and Operation*. 2024, no. 4, pp. 11-24. EDN GACZBH.
34. Nazarov, A., Ivanov, S., Yilmaz, M. Configuring the Algorithm of the Load Limiter with Intermediate Threshold. *E3S Web of Conferences*. 2024, vol. 515, p. 02015. DOI 10.1051/e3sconf/202451502015. EDN NGQCHM.
35. Nazarov, A.N., Ivanov, S.D. Development of a Promising Safety Device for Overhead Cranes. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University*. 2024, vol. 21, no. 6(100), pp. 826-843. DOI 10.26518/2071-7296-2024-21-6-826-843. EDN TYGGUV.
36. Roshchin, V.A., Ivanov, S.D., Nazarov, A.N. Application of Hazard Factor Forecasting Methods in Crane Safety Devices Using the Example of a Crane Anemometer. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University*. 2020, vol. 17, no. 5(75), pp. 584-597. DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-5-584-597. EDN VAFCGT.
37. Potapov, V.A., Roshchin, V.A., Ivanov, S.D. Development of a Wind Protection System for Rail Cranes. *Machines and Installations: Design, Development and Operation*. 2024, no. 4, pp. 25-33. EDN AHFIVF.
38. Ivanov, S.D., Nazarov, A.N., Mikhalkich, N.L. Selection of a Rational Algorithm for Data Processing of the Weight Measuring System of a Hoisting Crane. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021, vol. 1926, p. 012047. DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012047. EDN JIUUGG.
39. Nazarov, A.N., Ivanov, S.D. Using a Moving Average Filter-Based Weighing Algorithm in the Data Recorder of an Overhead Crane. *Bulletin of the Siberian State Automobile and Highway University*. 2023, vol. 20, no. 4(92), pp. 418-431. DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-4-418-431. EDN CBIJMP.
40. Mikhalev, A.V., Nazarov, A.N. Application of the Moving Average Algorithm for the Task of Determining the Mass of a Load. *Machines and Installations: Design, Development and Operation*. 2023, no. 2, pp. 44-57. EDN XLXJRI.
- 

## 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), ORCID 0000-0002-7912-609X, SPIN-код: 8035-2780.

**Alexander N. Nazarov**, 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, [alexnazavr@yandex.ru](mailto:alexnazavr@yandex.ru), ORCID 0000-0002-8039-4331, SPIN-код: 2028-7651.

# 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. № 4. С. 45 – 53

DOI:

Представлена в редакцию: 18.12.2025

Принята к публикации: 21.12.2025

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.8

УДК 37.026

## Применение паттернов при обучении инженеров

Ромашко А.М.

[romashkoam@bmstu.ru](mailto:romashkoam@bmstu.ru)

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

---

В статье рассматривается применение паттернов при обучении инженеров для сокращения количества информации, которую нужно усвоить обучаемому за время обучения, и для развития творческой активности при проектировании. Приведен пример паттерна «Устройства уравновешивания манипуляторов», позволяющего в краткой форме объяснить обучаемому основной физический принцип устройств статического уравновешивания звеньев манипуляторов.

---

**Ключевые слова:** обучение, навыки применения знаний, паттерн, инженер, манипулятор, устройство уравновешивания.

---

### Введение

Вследствие развития технологий традиционные требования к профессиям и сами профессии фундаментально изменяются [1]. В том числе и требования к профессиям людей, участвующих в проектировании машин. Изменяются инструменты, используемые при проектировании, – все более весомым становится использование компьютерных технологий проектирования. Так, в настоящее время при подготовке инженеров, кроме времени освоения традиционных инженерных знаний и навыков, необходимо дополнительное время для освоения компьютерных технологий проектирования. Ускоряются темпы развития техники и технологий, следовательно, увеличивается объём знаний и навыков необходимых специалистам проектировщикам и ускоряются темпы их обновления. Но возможности увеличения времени подготовки специалиста по проектированию ограничены. Ограничено количество информации, которую может усвоить человек за определённое время. Поэтому возникает необходимость пересмотра структуры и содержания информации, которую должен усвоить обучаемый за время обучения в университете.

Одним из способов разрешения противоречия между увеличением количества информации, которую нужно усвоить обучаемому и изложенными выше ограничениями, может быть представление информации о знаниях и формирование навыков использования знаний в форме паттернов. Английское слово «pattern», переводится как: шаблон, образец,

модель, структура, схема, закономерность, модель поведения. Термин «паттерн» в обучении и проектировании используется для обозначения метода представления информации о знаниях и о навыках использования этих знаний. Метод используется давно, однако его обсуждение как инструмента обучения и проектирования началось сравнительно недавно [2]. В настоящее время паттерны используются в обучении [3], при проектировании [2], в программировании [4].

Метод обучения с использованием паттернов предполагает выделение, по возможности в общем виде, функций проектируемого объекта, физических или других научных принципов реализации функций, выделение основных составляющих частей объекта, выделение основных отношений между составляющими частями объекта. Паттерн представляет собой краткое **абстрактное** описание изучаемого объекта и связанных с ним процессов на основе базовых научных принципов. В методе паттернов подробные описания множества подобных объектов заменяются одним абстрактным описанием единым для всего множества. Противоположностью обучению на основе паттернов является обучение базирующееся на примере подробного описания устройства **конкретного** объекта, выбранного из множества подобных объектов, уже существующего в виде «искусственного» [5], с подробным разъяснением взаимодействия всех его составляющих.

Можно создавать паттерны различных уровней, начиная от абстрактных, в которых описаны только научные принципы функционирования объектов (будем считать их высшим уровнем) до всё более и более конкретных. В зависимости от требований к квалификации специалиста, для обучения могут использоваться паттерны различных уровней. Например, при обучении проектированию **новой** техники необходимо, чтобы обучаемый в первую очередь усвоил паттерны высшего уровня. Описание в виде паттерна низшего уровня в этом случае необходимо в качестве примера реализации паттерна высшего уровня, при этом изучение паттерна низшего уровня может осуществляться в форме самостоятельной работы.

Для подготовки специалиста по эксплуатации **существующей** техники целесообразно при обучении использовать паттерны более низкого уровня.

Использование паттернов высшего уровня закрепляет навыки использования общенаучных знаний. Использование паттернов низших уровней формирует узкие профессиональные навыки, необходимые для работы с конкретными существующими объектами.

Проектирование нового искусственного на основе паттернов предполагает использование на начальном этапе проектирования абстрактных шаблонов (паттернов) некоторых классов объектов, с последующим выбором конкретного объекта и технологии его изготовления, подходящего по условиям эксплуатации или по другим параметрам. Так как в паттерне содержится только физический принцип функционирования изделия и отсутствует конкретный его прототип, такой способ проектирования может стимулировать разработчика к поиску оригинальных реализаций изделия.

## **Исходные предпосылки использования паттернов при обучении**

1. Обучение – это процесс усвоения личностью информации для формирования шаблонов поведения необходимых при взаимодействии с окружающим миром. В частности, при обучении профессии у обучаемого формируются шаблоны профессионального поведения, например, инженерного.

2. Обучение может быть представлено как усвоение **знаний** (моделей окружающего мира), приобретение **навыков** сопоставления реальности известным моделям, формирование **умения** создавать искусственное с использованием навыков и знаний [6].

3. Существуют различные методы обучения навыкам. Можно выделить два метода: первый, – развитие навыков на основе знаний; второй, – обучение путём повторения действий учителя (обучение «по примеру»). На практике используется сочетание этих методов. Первый метод эффективнее при подготовке специалистов высокой квалификации, но требует много времени для усвоения фундаментальных знаний. Второй метод эффективнее для подготовки за относительно короткое время специалиста узкой квалификации (для выполнения конкретной работы).

4. В современных условиях проектировщик должен постоянно учиться, чтобы «успевать за техническим прогрессом». Утратив способность постоянно профессионально учиться, проектировщик деградирует.

5. Проектирование нового искусственного – творческий процесс. Сейчас не существует технологий способных заменить человека в творчестве.

6. Разработка паттернов для обучения проектированию и способов их использования в процессе обучения – это творческий процесс. Совершенствовать обучение на основе паттернов может только человек.

Изучение подробного описания существующего объекта, как правило, требует существенных затрат времени и объёма памяти обучающегося для запоминания информации об объекте, не всегда оправданных. При обучении на основе подробного описания, при наличии разных конструктивных исполнений изучаемого объекта, желательно изучить все характерные исполнения объекта. Использование паттерна совместно с примером реализации паттерна позволяет сократить объём информации, которую обучающийся должен усвоить при изучении объектов одного класса, так как конкретное конструктивное исполнение может рассматриваться уже в качестве примера реализации паттерна.

В связи с развитием техники, используемые при обучении примеры конкретных изделий обречены устаревать быстрее паттернов. Сравнение учебников по системам автоматики показывает, что основные физические принципы автоматизации за несколько последних десятилетий изменились незначительно. Конкретная реализация этих принципов на другой (современной) элементной базе за это же время претерпела значительно более существенные изменения. Математическое описание базовых процессов в автоматических системах также остаётся актуальным на протяжении длительного времени.

## **Формы представления информации в паттернах**

Содержащаяся в паттерне информация может быть предъявлена обучающемуся в различной форме. Основными требованиями к описанию паттерна являются следующие:

- в паттерне должно превалировать изложение научных знаний, раскрывающих принцип функционирования объекта или протекания процесса;
- количество информации, заложенной в паттерне, должно быть минимально возможным.

Ниже приведены примеры некоторых форм описания паттернов.

Верbalное описание. При изучении способов стопорения резьбовых соединений обучение может базироваться на описании множества конкретных реализаций стопорных устройств резьбовых соединений. Однако все эти реализации можно свести к нескольким

паттернам «предотвращение самоотвинчивания резьбовых соединений вследствие эксплуатационных нагрузок».

1. Создание повышенной силы трения в витках резьбы за счёт увеличения нормальной нагрузки на витки путем упругой деформации винта, гайки или, дополнительных упругих элементов (использование упругих шайб, контргаек, удлинённых болтов);
2. Применение пластической деформации винта, гайки или дополнительного элемента стопорного элемента (использование отгибных шайб, шплинтов, кернение резьбы в торце);
3. Применение дополнительных стопорных элементов (использование стопорных винтов, штифтов, стопорных планок);
4. Применение специальных веществ, изменяющих свои свойства при высыхании или при полимеризации таким образом, что для отвинчивания резьбового соединения необходимо прикладывать момент больший по сравнению с моментом при завинчивании (использование стопорящих составов «Анатерм», красок).

Графическое описание. Примерами такой формы описания паттерна являются блок-схемы, структурные схемы, функциональные схемы. Такой способ описания паттернов широко используется при изучении систем автоматики.

В известной монографии [7] способы стопорения резьбы вначале описываются как паттерны в форме вербального описания. В описаниях излагаются физические принципы, используемые для стопорения (включая условия эксплуатации резьбового соединения). Далее приводятся чертежи различных реализаций способов стопорения, основанных на соответствующем физическом принципе. Такой способ изложения информации об изучаемых объектах представляется экономичным и наиболее целесообразным. Описание паттернов по объёму информации значительно меньше подробных описаний. Но оно даёт полное представление о физических принципах, используемых для стопорения резьбы. При необходимости, из множества конкретных реализаций способов стопорения, читатель может выбрать те, которые ему интересны.

Описание в виде математических зависимостей. Модели различных объектов и процессов, описываемые с использованием математических зависимостей, можно рассматривать как паттерны. Однако особенностью обучения с использованием математических зависимостей является необходимость усвоения информации о самом математическом аппарате, что требует значительного времени и оправдано при подготовке специалистов высокой квалификации.

На практике при обучении обычно используется комбинация различных форм описания паттернов.

## Реализация метода в обучении

Практика развития высшего инженерного образования в России свидетельствует о всём более активном использовании паттернов в образовательном процессе. Это подтверждается сравнением учебных планов и программ дисциплин разных лет обучения. В частности, за последние тридцать лет в МГТУ имени Н.Э. Баумана значительно увеличился объём математической подготовки специалистов по подъёмно-транспортным системам. Более активное использование паттернов в обучении подтверждается и сравнением учебников разных лет выпуска.

Ниже приведен пример паттерна «устройство статического уравновешивания звена манипулятора», который был разработан для обучения студентов по направлению подготовки «Наземные транспортно-технологические комплексы» и используется при изучении

механизмов роботов и манипуляторов. В манипуляторах для снижения нагрузки на приводные двигатели и для снижения энергопотребления используется статическое уравновешивание сил тяжести звеньев манипулятора. Различают гравитационные, пружинные и пневматические устройства уравновешивания. В учебных пособиях и монографиях описание уравновешивающих устройств манипуляторов обычно занимает несколько страниц. Однако принцип работы всех этих устройств можно описать одним паттерном «устройство статического уравновешивания звена манипулятора», графическое изображение которого приведено на рис. 1.

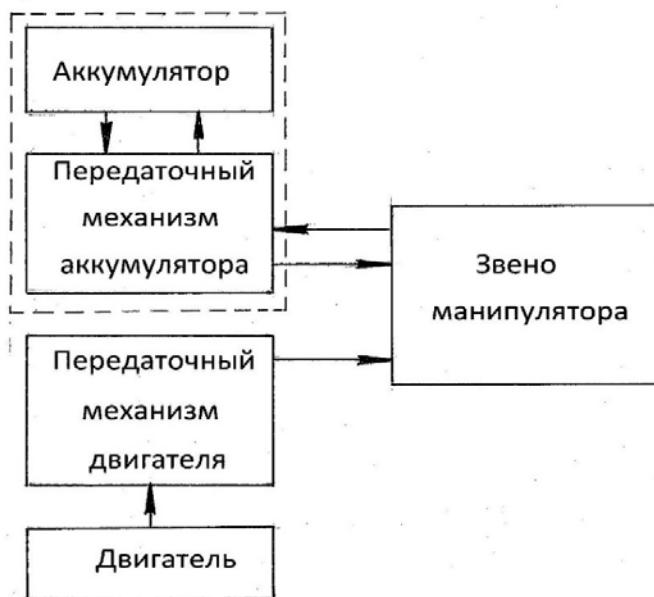


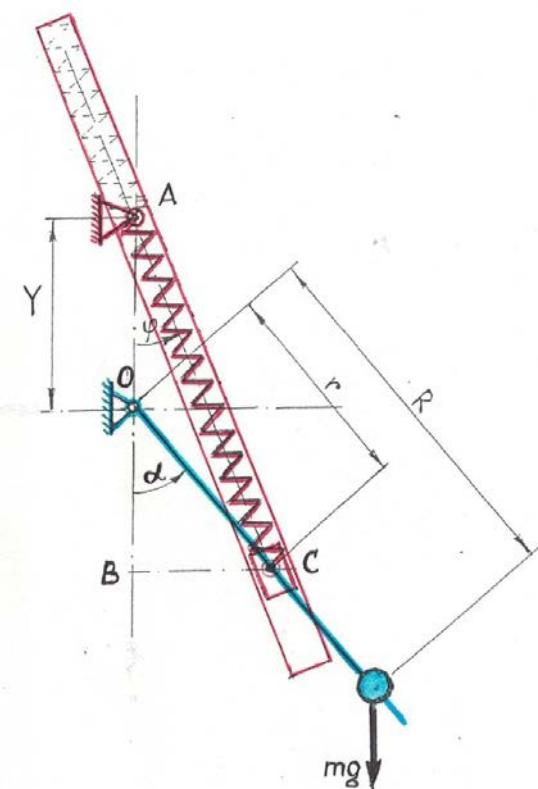
Рис. 1. Паттерн «устройство статического уравновешивания звена манипулятора».

Описание паттерна. При подъёме и опускании центра масс звена манипулятора изменяется потенциальная энергия звена. При опускании звена высвобождающаяся энергия передается в аккумулятор. При подъёме звена накопленная в аккумуляторе энергия передаётся звену и совместно с двигателем обеспечивает подъём звена (увеличение потенциальной энергии звена). Передаточный механизм аккумулятора согласует момент или силу, создаваемые аккумулятором, с нагрузкой от силы тяжести звена при различных положениях звена манипулятора. Линии со стрелками на рис. 1 соответствуют направлениям передачи механической энергии при опускании и подъёме центра масс звена манипулятора.

Для иллюстрации паттерна на рис. 2 приведена кинематическая схема одной из возможных реализаций паттерна, а именно: пружинного синусного механизма.

На рисунке 2 красным цветом выделены аккумулятор энергии (пружина растяжения) и передаточный механизм аккумулятора. Синим цветом выделено звено манипулятора. Изменение момента  $M_{зв}$ , создаваемого силой тяжести звена  $mg$  относительно точки О, при различных угла подъёма звена  $\alpha$  описывается зависимостью  $M_{зв} = mg R \sin \alpha$ .

Можно показать, что момент, создаваемый пружиной относительно точки О, описывается уравнением  $M_{пр} = c \cdot Y \cdot r \cdot \sin \alpha$ . Здесь  $c$  – жесткость пружины. Как видно из сопоставления двух уравнений, момент создаваемый пружиной уравновешивает момент от силы тяжести звена в любых положениях звена, при соответствующем выборе параметров пружины и передаточного механизма аккумулятора.



**Рис. 2.** Кинематическая схема пружинного синусного механизма.

Полное описание синусного механизма и вариантов его применения в монографии занимает несколько страниц текста [8, стр. 114 – 120]. Описание различных устройств статического уравновешивания в учебном пособии [9] приведено на 20 страницах. Очевидно, что подробное изложение устройств статического уравновешивания звеньев манипулятора на аудиторных занятиях в университете нецелесообразно, более приемлемым является обучение с использованием паттерна. При этом обучение с использованием паттернов должно дополняться рассмотрением примеров реализации паттернов.

Формирование инженерного мышления с использованием паттернов создает основу для дальнейшего обучения специалистов в процессе трудовой деятельности.

Следует отметить, что использование паттернов при проектировании (когда проектировщик не ориентируется на готовое техническое решение) может мотивировать поиск неизвестных ранее реализаций паттерна.

## Заключение

Опыт подготовки специалистов высокой квалификации свидетельствует о том, что развитие обучения инженеров сопровождается формированием специализированных паттернов изучаемых объектов и расширением их применения в обучении. Обучение в университете с использованием паттернов помогает формированию навыков самостоятельного обучения инженеров в процессе трудовой деятельности. Использование паттернов мотивирует творческий подход к проектированию.

## Список литературы

1. <https://trends.rbc.ru/trends/industry/68ee02979a7947c5aeb0a602>
  2. Alexander C. The Timeless Way of Building (Center for Environmental Structure Series) New York: Oxford University Press, 1979. 552 с.
  3. Pedagogical Patterns: Advice for Educators. (Compact Edition)/Pedagogical Patterns Editorial Board. – Published by Joseph Bergin Software Tools.: San Bernardino, CA 2014, 180 page. <http://jbergin.com>
  4. Приёмы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, З. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. СПб.: Питер, 2008.
  5. Саймон Герберт. Науки об искусственном: Пер. с англ. Изд. 2-е. – М.: Едиториал УРСС, 2004. 144 с.
  6. Курилкин В.В., Ромашко А.М. Общая основа изделий с рекуперацией энергии //Механизация строительства. 2013. №6. С. 27-31. <http://ms.enjournal.net/article/9407/>
  7. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 2. Под ред. П.Н. Учаева. – 3-е изд., исправл. – М.: Машиностроение, 1988. – 544 с.: ил.
  8. Петров Б.А. Манипуляторы – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1984. – 238 с., ил.
  9. Механика промышленных роботов: Учеб. пособие для втузов: в 3 кн./ Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. Кн. 2: Расчёт и проектирование механизмов/Е.И. Воробьев, О.Д. Егоров, С.А. Попов. – М.: Высш. шк., 1988. – 367 с.: ил.
- 

## АВТОР

**Ромашко Александр Мефодиевич**, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), кандидат технических наук, доцент, [romashkoam@bmstu.ru](mailto:romashkoam@bmstu.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. № 4. pp. 45 – 53.

DOI:

Received: 18.12.2025  
Accepted for publication: 21.12.2025

© International Public Organization “Integration strategy”

## The use of patterns in the training of engineers

Alexander M. Romashko

[romashkoam@bmstu.ru](mailto:romashkoam@bmstu.ru)

Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

The possibility of using patterns in the training of engineers is being considered to reduce the amount of information that the student needs to learn over a certain period of time and to develop creative activity in design. An example of the "Manipulator balancing device" pattern is given, which makes it possible to briefly explain to the student the basic physical principle of operation of devices for static balancing of manipulator links.

**Keywords:** learning, knowledge, knowledge application skills, pattern, engineer, manipulator, balancing device.

## References

1. <https://trends.rbc.ru/trends/industry/68ee02979a7947c5aeb0a602>
2. Alexander C. The Timeless Way of Building (Center for Environmental Structure Series) New York: Oxford University Press, 1979. 552 c.
3. Pedagogical Patterns: Advice for Educators. (Compact Edition)/Pedagogical Patterns Editorial Board. – Published by Joseph Bergin Software Tools.: San Bernardino, CA 2014, 180 page. <http://jbergin.com>
4. Object-oriented design techniques. Design patterns / E. Gamma, Z. Helm, R. Johnson, J. Vlissides. St. Petersburg: Peter, 2008.
5. Simon Herbert. Sciences of the Artificial: Translated from English, 2nd Ed.– Moscow: Editorial URSS, 2004. 144 p.
6. Kurilkin V.V., Romashko A.M. The general basis of energy recovery products //Mechanization of construction. 2013. No. 6. pp. 27-31. <http://ms.enjournal.net/article/9407/>
7. Orlov P.I. Fundamentals of design: A reference manual. In 2 books. Book 2. Edited by P.N. Uchaev. – 3rd ed., corrected. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 544 p.: ill.
8. Petrov B.A. Manipulators – L.: Mashinostroenie, Leningrad. department, 1984. – 238 p., ill.
9. Mechanics of industrial robots: Textbook for universities: in 3 books/ Edited by K.V. Frolov, E.I. Vorobyov. Book 2: Calculation and design of mechanisms/E.I. Vorobyov, O.D. Egorov, S.A. Popov. Moscow: Higher School of Economics, 1988– 367 p.: ill.

## AUTHOR

**Alexander M. Romashko**, 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, [romashkoam@bmstu.ru](mailto:romashkoam@bmstu.ru)

---