

ISSN 2412-592X

Научно-технический редактируемый журнал

Машины и установки: разработка, проектирование и эксплуатация

№ 4

2024 г.

*Московский государственный
технический университет
имени Н.Э.Баумана*



100
лет

*Кафедра
«Подъемно-
транспортные
системы» РК4*



Л.Г. Кифер – основатель кафедры.

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. 2024. № 4. С. 1 – 4

DOI:

Представлена в редакцию: 15.12.2024

Принята к публикации: 16.12.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 378

К 100-летию кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ имени Н.Э. Баумана

Тропин С. Л.

tropin@spectyazh.ru

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

Статья посвящена 100-летию кафедры РК4 «Подъемно-транспортные системы» МГТУ имени Н.Э. Баумана и содержит краткую характеристику деятельности кафедры за истекший период.

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

В текущем, 2024 году, кафедра РК4 «Подъемно-транспортные системы» МГТУ имени Н.Э. Баумана отметит свое 100-летие. Юбилейная веха в истории – это повод заглянуть в прошлое и обратить взор в будущее.

Инициатива создания в Московском высшем техническом училище (МВТУ) учебной кафедры «Подъемно-транспортные сооружения» принадлежит профессору Людвигу Генриховичу Киферу (1870-1955 гг.), который возглавлял ее вплоть до 1950 года.

Острая потребность в собственных инженерных кадрах была обусловлена гигантским размахом работ по индустриализации и электрификации страны в 20-х и 30-х годах XX века.

Деятельность кафедры в значительной мере предопределила успех становления и развития всей отрасли подъемно-транспортного машиностроения в государстве.

При личном участии профессора Кифера был создан «Всесоюзный научно-исследовательский институт подъемно-транспортного машиностроения» (ВНИИПТМАШ) - головной отраслевой институт по проектированию подъемно-транспортного оборудования в России.

Кафедра профессора Кифера дала импульс к организации родственных кафедр в Калининградском машиностроительном институте, Тульском горном университете и Московском вечернем металлургическом институте.

Трудами выпускников кафедры на многие десятилетия был обеспечен существенный прогресс в исследованиях, разработках и производстве подъемно-транспортных машин и их компонентов.

За истекший 100-летний период в технике произошли колоссальные перемены, которые вызвали изменения и в структуре образовательных учреждений. Например, в МВТУ была

очень сильная кафедра паровозостроения. Сейчас её нет, потому что не стало паровозов. Зато появились кафедры, которые готовят специалистов для космической, атомной и других новых отраслей промышленности. При этом потребность в подъемно-транспортных системах только нарастала, так как расширялась номенклатура грузов, возрастал их вес и габариты, а также ужесточались требования к точности установки крупнотоннажного оборудования в монтажное положение.

Таким образом, технологическое развитие отраслей промышленности предопределяет совершенствование и подъемно-транспортной техники, в отличие от направлений, которые исчезают в связи с прогрессом.

Опираясь на богатый опыт и традиции преподавания, а также развивая научные школы, подготовка инженеров на кафедре шагает в ногу со временем.

Обучение студентов имеет мехатронную направленность и включает точную механику, электронику и информатику. На современном уровне преподаются дисциплины, составляющие основу подготовки высоко квалифицированных инженеров по специальности 23.05.01 «Наземно-транспортные технологические средства»: детали машин и теория механизмов, автоматизированное проектирование, теоретическая и строительная механика, автоматика, теория систем управления, программирование, экономика, имитационное моделирование и логистика.

Кафедра готовит магистров по специальности «Инжиниринг и интралогистика» и инженеров по специальности «Наземные транспортно–технологические средства».

Полученные за годы обучения знания и практические навыки позволяют выпускникам кафедры успешно работать в конструкторских бюро, научно-исследовательских и учебных учреждениях, на заводах, а также в крупных складских комплексах, в которых требуется обеспечивать бесперебойное движение разнородных материальных потоков.

Современный мир стремительно меняется. Обычными становятся умные и ловкие роботы, крупномасштабная межмашинная коммуникация и Интернет вещей.

Отвечая на эти вызовы, на кафедре открыт бакалавриат «Роботы гибких производственных систем» по направлению подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» со сроком обучения 6 лет.

Тесное взаимодействие с промышленностью позволяет «держать руку на пульсе» актуальных научно-технических проблем. Поэтому процессу обучения сопутствуют теоретические и экспериментальные работы, имеющие практическую направленность. Научно-исследовательская работа студентов является обязательным этапом подготовки будущих специалистов. Основная идея – развить творческие способности наших выпускников

В настоящее время перед инженерами России стоит сверхзадача обеспечить технологический суверенитет страны в условиях сжатия во времени инновационных и экономических циклов. Это означает быстрое создание собственных конкурентоспособных технологий, продукции и сервисов, которые способны задавать новые мировые тренды.

В рамках решения этой задачи коллектив кафедры видит свою роль в том, чтобы развивать научные исследования и готовить высококвалифицированных инженеров, компетенции которых будут востребованы к моменту завершения курса обучения в МГТУ и в будущем.

Настоящий выпуск журнала посвящен 100-летию юбилею кафедры и содержит статьи ученых, преподавателей и студентов по актуальным проблемам совершенствования подъемно-транспортных машин и механизмов.

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.
2024. № 3. pp. 1 – 4*

DOI:

Received: 15.12.2024

Accepted for publication: 16.12.2024

© International Public Organization “Integration strategy”

To the 100th anniversary of the Department of Lifting and Transport Systems of Bauman Moscow State Technical University

Sergey L. Tropin

tropin@spectyazh.ru

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

The article is devoted to the 100th anniversary of the RC4 Chair "Lifting and Transport Systems" of the Bauman Moscow State Technical University and contains a brief description of the department's activities over the past period..

Keywords: Bauman Moscow State Technical University, Department of Lifting and Transport Systems.

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. 2024. № 4. С. 5 – 10

DOI:

Представлена в редакцию: 13.12.2024

Принята к публикации: 14.12.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 378

О подготовке специалистов по робототехнике на кафедре «Подъёмно-транспортные системы» МГТУ имени Н.Э. Баумана

Ромашко А.М.

romashkoam@bmstu.ru

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

В статье рассматривается опыт подготовки специалистов по робототехнике на кафедре «Подъёмно-транспортные системы» МВТУ имени Н.Э. Баумана. Обсуждаются следующие аспекты подготовки специалистов: связь основного направления подготовки специалистов на кафедре с робототехникой; роль государственного регулирования и связей с промышленностью в подготовке специалистов по робототехнике; особенности робототехники как научно-технического направления развития цивилизации.

Ключевые слова: робототехника, научно-технический прогресс, государство, общество, подготовка специалистов.

История развития робототехники наглядно демонстрирует, что новая техника может появляться и успешно развиваться только там, где к поддержке новой техники готово государство или, хотя бы, значительная часть общества.

Известно, что фирмы в США, выпустившие и внедрившие в промышленность первые промышленные роботы, через несколько лет после этого оказались на грани банкротства. Государство и частный бизнес после появления первых промышленных роботов в США не заинтересовались робототехникой. Поддержку американским разработчикам роботов оказали японские частные предприниматели. Это подробно описано в статье владельца фирмы «Unimate» Дж. Ф. Энгельбергера [1]. Первая в мире ассоциация промышленной робототехники, включавшая 46 промышленных фирм и специалистов (JIRA) была создана в Японии в 1971 году [2]. В работе [3] сделана попытка исторического объяснения причин интенсивного развития робототехники именно в Японии.

В Советском Союзе с конца 1960-х годов развитию робототехники способствовало внимание государства к этой области науки и техники. Ниже, для примера, приведен перечень нескольких государственных нормативных документов принятых в 1970-е – 1980-е годы.

1972 год - постановление Государственного комитета СССР по науке и технике (ГКНТ СССР) о создании и применении промышленных роботов в машиностроении.

1974 год – постановление Совета Министров СССР «О мерах по организации производства автоматических манипуляторов с программным управлением в машиностроении».

1984 год – постановление Совета Министров СССР «Об ускорении работ по автоматизации машиностроительного производства на основе передовых технологических процессов и гибких переналаживаемых комплексов».

В СССР, при активной поддержке государства, были организованы выставки робототехники, научно-технические конференции и семинары по робототехнике. Издавались каталоги «Промышленные роботы и манипуляторы с ручным управлением», специальная и учебная литература по робототехнике.

В СССР организация подготовки инженеров по робототехнике была результатом государственной политики в области робототехники. Хотя в 1970-е годы в стране уже изготавливались и эксплуатировались отечественные промышленные роботы, по техническому уровню не уступавшие зарубежным образцам, но система подготовки инженеров по робототехнике еще не существовала. В 1976 году во исполнение приказа Министерства высшего и специального образования СССР была образована комиссия, в задачи которой входила организация в стране подготовки специалистов с высшим образованием по робототехнике. Руководителем комиссии был назначен заведующий кафедрой «Автоматические приводы» МВТУ имени Н.Э. Баумана академик Попов Евгений Павлович. В задачи комиссии входила разработка учебных планов и программ новых специальностей, по которым предполагалось начинать подготовку специалистов для робототехники. В этой комиссии работали представители кафедр ведущих ВУЗов страны, готовивших инженеров по станкостроению, системам автоматического управления, электроприводу, гидроприводу и пневмоприводу, подъемно-транспортным машинам. Эти специальности были признаны базовыми для подготовки инженеров по робототехнике. Рекомендовалось открыть специализации по подготовке инженеров для робототехники в ВУЗах страны, занимавшихся подготовкой инженеров соответствующих специальностей.

Работой по созданию специализации по робототехнике на кафедрах подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин руководил заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины» (ПТМ) МВТУ имени Н.Э. Баумана профессор Александров Михаил Павлович. Комиссия разработала типовые учебные планы и программы дисциплин по робототехнике для аналогичных кафедр других вузов страны, а также разработала документы для организации в МВТУ им. Н.Э. Баумана учебного процесса подготовки инженеров по робототехнике в рамках специализации «Механика роботов» на кафедре ПТМ.

Специальность «Подъемно-транспортные машины» попала в перечень базовых специальностей по робототехнике не случайно. Во-первых, промышленные роботы появились в мире именно как подъемно-транспортные средства. Один из первых в мире промышленных роботов назывался «Versatran». Сокращение от versatile transfer – программируемая переноска объектов.

Во-вторых, в подъемно-транспортной отрасли ещё до появления промышленных роботов существовал такой класс машин как манипуляторы. Например, напольно-завалочные машины, краны для манипулирования слитками металла, краны-манипуляторы и другие.

Не случайно в начальный период развития робототехники наравне с термином «промышленный робот», использовался термин «автоматический манипулятор».

В-третьих, специалисты по проектированию подъёмно-транспортных машин, ещё до появления в стране дипломированных инженеров по робототехнике, активно и успешно участвовали в проектировании, изготовлении и эксплуатации промышленных роботов в организациях Советского Союза. Ещё в первой половине 1970-х годов кафедра ПТМ МВТУ имени Н.Э. Баумана по распределению направляла выпускников в конструкторские бюро и научно-исследовательские институты, занимавшиеся разработкой роботов и робототехнических комплексов (ЦНИТИ, НИАТ, НИКИМТ, ВНИИПТМАШ).

Поддержка государства в деле подготовке специалистов в области робототехники проявлялась в различных формах. В государственных издательствах издавались книги по робототехнике. Кафедры ВУЗов, начинавших подготовку специалистов по робототехнике, оснащались техникой для создания материальной базы подготовки инженеров. Как известно, в СССР существовала практика целевого выделения министерствам средств, на финансирование в ВУЗах научно-исследовательских работ, необходимых для развития соответствующей отрасли. На кафедре «Подъёмно-транспортные машины» в 1970 - 1990-е годы выполнялись научно-исследовательские работы (НИР) по заказам министерств, связанные с разработками механизмов манипуляторов и роботов для различных отраслей. В процессе выполнения этих НИР сотрудники кафедры и студенты приобретали опыт проектирования и изготовления роботов и робототехнических систем. В СССР кафедра получала от государственных организаций конструкторскую и эксплуатационную документацию для создания учебных материалов по робототехнике. При поддержке государства проводились практики на предприятиях, разрабатывающих или эксплуатирующих робототехнические комплексы.

На кафедре ПТМ МВТУ имени Н.Э. Баумана, ещё в 1950-е годы были выполнены научно-исследовательские работы по созданию подъёмно-транспортных машин с телеуправлением и с автоматическим управлением. В частности, была создана система радиоуправления мостовым краном (Жильцов В.И., Полковников В.С., Семёнов Л.Н.). была разработана система дистанционного и автоматического управления для грейферного мостового крана, работавшего на складе серы (Лобов Н.А.). На Конструкторско-механическом факультете (факультете «К») МВТУ имени Н.Э. Баумана, в состав которого до 1987 года входила кафедра ПТМ, работала студенческая лаборатория транспортных систем (СЛТС), позднее преобразованная в студенческое конструкторское бюро (СКБ факультета «К»). Еще позднее на базе студенческого СКБ было создано Специальное конструкторско-технологическое бюро прикладной робототехники (СКТБ ПР).

Студенческое конструкторское бюро занималось, в частности, проектированием и изготовлением мобильных роботов. В работе СКБ факультета «К» принимали участие преподаватели, студенты и сотрудники кафедры ПТМ и других кафедр Конструкторско-механического факультета. К середине 1980-х годов в СКБ были разработаны и испытаны оригинальные ходовые платформы для мобильных роботов, манипуляторы, электромеханические приводы манипуляторов, системы энергоснабжения мобильных роботов, системы управления манипуляторами. Накопленный в СКБ опыт неожиданно воплотился в реальные и важные для страны изделия.

В 1986 году после аварии на Чернобыльской АЭС в МВТУ имени Н.Э. Баумана был создан временный коллектив для разработки и изготовления мобильного робота, предназначенного для ликвидации последствий аварии. Коллектив был сформирован

из сотрудников и студентов кафедр, готовивших инженеров по робототехнике. В короткие сроки мобильный робот (мобот Ч-ХВ) был спроектирован, изготовлен и доставлен на Чернобыльскую АЭС. С помощью этого мобильного робота выполнялись работы по очистке крыши реакторного блока от радиоактивных обломков реактора. По итогам успешной работы первого образца, были изготовлены еще два таких мобильных робота. При проектировании и изготовлении мобота Ч-ХВ использовался опыт проектирования мобильных роботов, накопленный в СКБ факультета «К». В студенческом конструкторском бюро в системах управления мобильных роботов использовались не полупроводниковые приборы, а более доступная и дешёвая релейная техника. Соответственно и в системе управления мобота Ч-ХВ использовалась релейная аппаратура. Поэтому робот оказался устойчивым к повышенной радиации. Несколько роботов Ч-ХВ успешно проработали на крыше, разрушенного энергоблока, в отличие от приобретённых государством иностранных образцов мобильных роботов, оказавшихся совершенно неработоспособными при попытках их применения для ликвидации последствий аварии на ЧАЭС. В создании мобота Ч-ХВ принимали участие студенты, сотрудники и преподаватели кафедры ПТМ. Выпускник кафедры Вагнер С.А. за участие в этой работе был удостоен престижной тогда премии Ленинского комсомола.

Практическая работа в СКТБ ПР по созданию специальных робототехнических комплексов стала хорошей инженерной школой для будущих специалистов по робототехнике, а преподавателям кафедры ПТМ помогала разрабатывать оригинальные учебные материалы по робототехнике. В СКТБ ПР студенты знакомились с новейшими образцами роботов и робототехнических комплексов для различных отраслей (атомная промышленность, медицина, аварийно-спасательные работы и др.), принимали участие в разработке новых роботов, создании методов проектирования роботов. Многие выпускники кафедры, прошедшие «школу» СКТБ ПР, стали профессиональными специалистами в области робототехники. Один из выпускников был удостоен высокой правительственной награды (Лукияничков В.В.) за разработку специального мобильного робота и его применение для ликвидации аварии.

По заказам предприятий и министерств на кафедре ПТМ МГТУ имени Н.Э. Баумана были созданы приводы с волновыми передачами для манипуляторов (руководитель Лобов Н.А.), робот сборщик конкреций с морского дна (руководитель Вершинский А.В.), проекты роботов для обслуживания термоядерного реактора. Выпускные квалификационные работы (ВКР) студентов кафедры, посвященные разработке роботов и робототехнических комплексов, неоднократно занимали первые места на всероссийских конкурсах ВКР. Аспирантами кафедры защищены диссертации, связанные с развитием робототехнических средств (Иванов С.Д., Насер А.Е.).

Ранее в статье автора [4] было отмечено, что создание роботов представляет собой революционное событие в развитии цивилизации, подобное по своим последствиям появлению паровых машин, летательных аппаратов, полупроводниковой электроники, освоению различных видов энергии. Основной смысл этого события заключается в том, что робототехника открывает эру создания и применения машин универсального назначения, в отличие от существовавших ранее узко специализированных машин и механизмов. Способности роботов к выполнению самых различных видов работ являются следствием их подобия живым организмам и, в частности, организму человека с его руками, ногами, органами чувств, интеллектом, способом получения из окружающей среды энергии и материалов для создания организма. В перспективе это может привести к созданию роботов способных управлять другими искусственными объектами, ремонтировать или даже

полностью изготавливать машины и другие искусственные объекты, а возможно и самовоспроизводиться (если это будет задано человеком).

В настоящее время человечество находится в начальной стадии использования роботов как универсальных по функциональности искусственных объектов. Но уже сейчас наблюдается интенсивное расширение областей применения роботов. На пути создания роботов, способных полноценно заменить человека для выполнения универсальных работ, предстоит решить много инженерных задач. Например, одним из механизмов, который нужно создать для полноценной реализации универсальности роботов, является механизм, воспроизводящий в полной мере функции человеческой кисти. Другими задачами являются разработка и создание точных и энергоэффективных механизмов с парными двухдвигательными приводами, а также разработка систем управления такими приводами. Фундаментальной проблемой является создание систем обеспечения роботов энергией, необходимой для их длительного функционирования в самых различных условиях. Как нетрудно заметить, перечисленные задачи вытекают из сравнения роботов с существующими биологическими объектами, с живыми организмами. Это означает, что для подготовки специалистов к решению перечисленных задач необходимо в программы обучения вводить дисциплины, связанные с изучением организма человека и других живых организмов, с изучением обмена веществ в организмах, изучением принципов управления, реализованных природой в живых организмах. Можно надеяться, что в нашей стране в создании новых робототехнических средств, в совершенствовании функциональных возможностей роботов, в расширении областей их применения, в разработке технологии изготовления роботов будут и специалисты, подготовленные в МГТУ имени Н.Э. Баумана.

Очевидно, что возможность самостоятельного создания робототехнических средств будет определять суверенитет государства так же существенно, как его определяет полноценное обладание информационными технологиями, обладание источниками энергии, обладание космическими технологиями.

Список литературы

1. Справочник по промышленной робототехнике: В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. Ш. Нофа; пер с англ. Д.Ф. Миронова и др. – Машиностроение, 1989. – 480 с.: ил.
2. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. 624 с.: ил.
3. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд., перераб. И доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.: ил.
4. Ромашко А.М. Подъемно-транспортные робототехнические системы. Краткий обзор и перспективы развития. Подъемно-транспортное дело. 2014.- № 3-4. – С 24-29.

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

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.
2024. № 4. pp. 5 – 10.

DOI:

Received: 13.12.2024

Accepted for publication: 14.12.2024

© International Public Organization “Integration strategy”

About the training of robotics specialists at the Department of Lifting and Transport Systems of Bauman Moscow State Technical University

Alexander M. Romashko

romashkoam@bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

The report examines the experience of training specialists in robotics at the Department of Lifting and Transport Systems of the Bauman Moscow State Technical University. The following aspects of training specialists are discussed: the connection of the main direction of training specialists at the department with robotics; the role of state regulation and relations with industry in the training of specialists in robotics; features of robotics as a scientific and technical direction of civilization development.

Keywords: robotics, scientific and technological progress, government, society, training of specialists.

References

1. Handbook of industrial robotics: In 2 books. Book 1 / Edited by Sh. Nof; translated from English by D.F. Mironov et al. – Mechanical Engineering, 1989. – 480 p.: ill.
2. Shahinpour M. Course of robotics: Translated from English – M.: Mir, 1989. 624 p.: ill.
3. Yurevich E.I. Fundamentals of robotics. 2nd ed., reprint. And additional – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2005. – 416 p.: ill.
4. Romashko A.M. Lifting and transport robotic systems. A brief overview and development prospects. Lifting and transport business. 2014.- No. 3-4. – From 24-29.

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

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. 2024. № 4. С. 11 – 24

DOI:

Представлена в редакцию: 04.12.2024

Принята к публикации: 12.12.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.86

Развитие направления «промышленная безопасность подъемных сооружений» на кафедре РК4 «Подъемно-транспортные системы»

Иванов С.Д.

ptm-diagnostics@yandex.ru

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

В статье приведена информация о развитии направления промышленной безопасности на кафедре РК4 «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Представлены результаты работ студентов и аспирантов кафедры в области разработки технических средств обеспечения безопасности. Приведены научные достижения студентов и сотрудников кафедры РК4 по направлению промышленной безопасности транспорта.

Ключевые слова: кафедра РК4, промышленная безопасность, грузоподъемные машины, подъемно-транспортная техника, ограничитель грузоподъемности, регистратор параметров работы.

Особенности преподавания направления «Промышленная безопасность» на кафедре РК4

Направления работ, связанные с промышленной безопасностью подъемных сооружений, появилось на кафедре РК4 в начале 2010-х годов. На сегодняшний день данное направление включает в себя учебные дисциплины «Безопасность эксплуатации ПТМ» и «Технические средства обеспечения безопасной эксплуатации ГПМ» в учебной программе подготовки специалистов, а также дисциплину «Технические средства безопасности эксплуатации интралогистических систем» для магистрантов кафедры. В рамках данных дисциплин разработаны лекционные курсы, семинарские занятия и лабораторные работы, а для более углубленного изучения проводится курсовое проектирование и работа в рамках НИР на старших курсах специалитета и в магистратуре.

В рамках лекционных и семинарских занятий студенты изучают основы законодательства в области промышленной безопасности и технического регулирования, основы нормативно-правовой базы, а также принципы функционирования государственного надзора и требований к организации производственного контроля на промышленных предприятиях. Особое внимание уделяется изучению современных технических средств

обеспечения безопасности грузоподъемной техники: устройств, приборов и систем безопасности.

Для проведения лабораторных работ используются современные микропроцессорные приборы, которыми за прошедший период удалось укомплектовать кафедральную лабораторию. Их изучение ведется студентами в условиях натурных экспериментов с использованием имеющегося в лаборатории мостового крана.

Основой для развития учебных курсов и специализированной подготовки студентов, ориентированной на подготовку инженерно-технических кадров для обеспечения безопасной эксплуатации грузоподъемной и подъемно-транспортной техники, является научно-исследовательская работа, для ведения которой внедрен подход сквозного проектирования [1], заключающийся в последовательной и детальной проработке единой темы студентами, начиная с 4-5 курса до дипломного проекта включительно с перспективной продолжения работы в аспирантуре кафедры. Ежегодно по данному направлению на кафедре защищаются 2-3 ВКР. Отличительной особенностью этих работ является практическая направленность и глубокая проработка темы, доведенная до практических результатов.

В целях актуализации тематики НИР и использования наиболее современной материально-технической базы для постановки и проведения экспериментов налажено взаимовыгодное сотрудничество с промышленными предприятиями отрасли. Среди них ведущие разработчики и производители приборов и систем безопасности, промышленные и логистические предприятия, эксплуатирующие подъемно-транспортную технику (ООО «ИТЦ «КРОС», ПАО «ТрансКонтейнер», АО «ТВСЗ», ООО «ОКБ «Спецтяжпроект»).

Научные и практические разработки кафедры РК4 в направлении «Промышленная безопасность»

Для разработки и совершенствования ограничителей грузоподъемности серии ОГШ был выполнен следующий комплекс работ:

1. Экспериментально доказана (студенты Акинина, Свечников – 2014 год) применимость алгоритма с промежуточными порогами для решения задачи ограничения грузоподъемности. Впервые зафиксировано снижение динамических нагрузок при использовании данного алгоритма.
2. Разработаны узлы встройки датчиков нагрузки для контейнерного крана и модель распределения нагрузки (студент Синченко – 2018 год) с учетом возможного смещения центра масс груза.
3. Экспериментально оценено снижение коэффициента динамичности для первого пика динамического процесса при подъеме грузов в интервале от 50% до 100% $Q_{ном}$ при использовании ОГП с промежуточным порогом. Разработаны подходы для создания динамической модели механизма подъема мостового крана, оборудованного ограничителем грузоподъемности [2-4] (студент, аспирант Шакаров – 2016 год).

Для регистраторов параметров работы проработаны следующие практические и теоретические вопросы:

1. На основе лабораторного эксперимента и статистической обработки базы данных промышленного предприятия (студентка Коенова – 2015 год) оценена достоверность оперативной и накапливаемой информации регистратора параметров. Проведен анализ и выявлены причины возникновения ошибок. Оценено влияние погрешности регистрируемых данных на расчет остаточного ресурса крана [5].

2. Проведен натурный эксперимент по оценке точности определения эксплуатационной нагрузки при работе контейнерного крана во всем диапазоне масс поднимаемых грузов (студент Луткин – 2018 год) [6, 7].

Развитием работ по совершенствованию регистраторов параметров явилась тема создания и применения систем дистанционного мониторинга (СДМ).

1. Разработаны организационно-экономические основы использования информации регистратора параметров для повышения безопасности и эффективности применения крана на стадии эксплуатации. Предложена методика перехода на гибкое планирование межсервисных интервалов на основе реальной наработки техники в конкретных условиях эксплуатации (студентка Завальная – 2021 год) [8-10].
2. Углубленно проработаны вопросы организации технического обслуживания контейнерных кранов при использовании иерархической системы сбора и обработки информации о характере работы грузоподъемной техники промышленного предприятия (студентка Новойдарская – 2022 год) и принципы автоматической диспетчеризации и электронного документооборота при формировании, анализе и использовании информации в системе ТО и Р (студентка Пискун – 2022 год) [11].
3. Предложена усовершенствованная методика расчета остаточного ресурса (студентка Агейчева – 2024 год), обеспечивающая повышенную точность за счет анализа информации из независимых источников [12]. Методика прошла тестирование на примере реального предприятия.
4. Повышение качества информации, предоставляемой системой мониторинга, основано на расширении датчикового оснащения и разработки программных средств обработки первичной и анализа расчетной информации (студент и аспирант Йылмаз – 2024 год). Для расширения исследований в данном направлении лабораторное оборудование кафедры оснащается современными датчиковыми и микропроцессорными модулями [13].

Для систем коммерческого взвешивания, предназначенных для работы с мостовыми кранами:

1. Предложена оригинальная конструкция весовой системы, интегрированной в тележку мостового грейферного крана. Проведены лабораторные и натурные эксперименты, в ходе которых записаны сигналы датчиков в реальном технологическом цикле использования крана с учетом влияния посторонних эксплуатационных факторов [14-16]. Предложены математические методы обработки сигналов. Разработано программное обеспечение, позволившее определять массу сыпучего груза в грейфере с точностью $\pm 1,5\%$ (студент Михальчик – 2020 год).
2. Разработана конструкция (рис. 1) крановых весов (студент Михалев – 2023 год) с оригинальным датчиком нагрузки, технология двухступенчатого балансирования и температурной компенсации, а также программное обеспечение, гарантирующее весоизмерение среднего класса точности при минимальном влиянии на время рабочего цикла [17-19]. Экспериментально доказана точность взвешивания груза 2 т $\pm$ 2 кг за время измерения не более 10 с.

Результатом курсового и дипломного проектирования (студент Сибикин – 2014 год) явилась разработка и создание оригинального лабораторного стенда прибора защиты от опасного приближения к проводам ЛЭП «Барьер 2000», который пополнил кафедральную лабораторию [20]. Отличительной особенностью стенда является работа при реальных уровнях эксплуатационных параметров без использования неизолированных элементов,

находящихся под высоким напряжением. Таким образом, обеспечена возможность изучения работы прибора в условиях, максимально приближенных к реальным.



Рис. 1. Исполнение крановых весов с оригинальным исполнением тензооси

Развивая данную тему, был проведен большой объем натурных экспериментов по изучению влияния характеристик внешней среды на величину наведенного напряжения на антенну прибора. Результаты исследования обобщены в виде зависимости для напряженности магнитного поля вблизи ЛЭП различной мощности и конфигурации (студент Рощин – 2017 год) [21]. Разработанные практические рекомендации использованы для модернизации серийно выпускаемых приборов «Барьер» и создания оригинального прибора контроля напряжения контактной сети для железнодорожной техники.

Разработка перспективной модели анемометра основывалась на теоретических исследованиях в области динамики ветровых потоков и датчиков скорости ветра, а также метеорологических закономерностей (студент Назаров – 2020 год). В результате была предложена первая отечественная разработка анемометра с функцией прогнозирования [22,23]. В настоящее время разработанный прибор освоен в серийном производстве.

Решая практическую задачу защиты от столкновения кранов с пересекающимися зонами обслуживания (студент Кириллов – 2019 год), разработаны конструкторские решения по датчиковому оснащению и программно-вычислительный комплекс координатной защиты (рис. 2). Комплекс позволил обеспечить совместное использование кранов для повышения грузооборота складской площадки при соблюдении требований безопасности. Полученные наработки использованы при создании системы стабилизации движения кранов мостовых перегружателей.

Опыт разработки указанных систем позволил (студент Дмитриев – 2023 год) создать систему контроля взаимного положения и стабилизации движения специального грузоподъемного оборудования, эксплуатируемого ООО «ОКБ «Спецжпроект» – гидравлического подъемника SBL Enerpac [24]. Система включает оптическую и магнитометрическую измерительную часть, а также оригинальное программное обеспечение и интерфейс, предоставляющее оператору информацию о взаимном положении четырех подъемников во время позиционирования относительно груза и движения с ним, а также рекомендации по управлению. Работоспособность системы подтверждена лабораторным экспериментом.

Повышение эффективности работы контейнерных складов возможно только при учете реальных технических возможностей применяемой грузоподъемной техники. Выполнена работа (студент Лизунов – 2024 год), результатом которой является логистическая имитационная модель контейнерного терминала. Отличительной особенностью модели является задание ряда параметров по вероятностному закону, что позволяет анализировать работу складов различной конфигурации и вместимости, подбирая оптимальные режимы использования контейнерных кранов при обеспечении максимально возможного грузооборота [25].

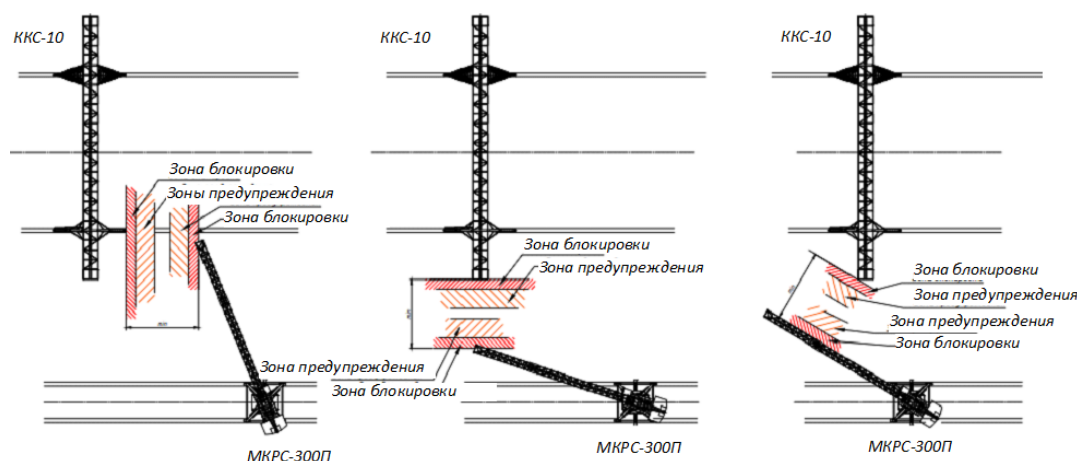
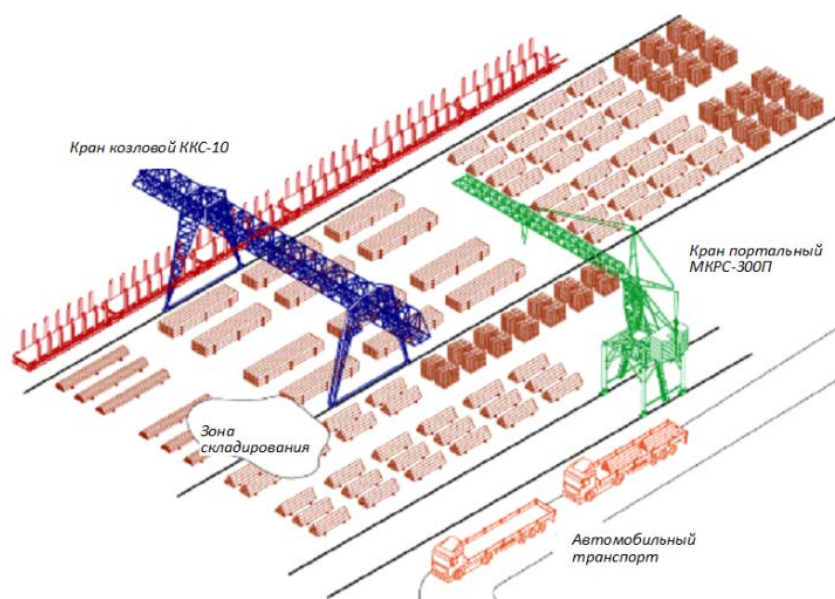


Рис. 2. Система координатной защиты кранов СМТС

В 2021 году (студент Казьмин, магистрант Захарян) выполнены поисковые работы по применению технологии технического зрения для обеспечения безопасности ПТМ. Работы основаны на выборе и обосновании рациональных алгоритмов и технических решений по созданию системы технического зрения. Технической реализации разработанной системы стал прибор защиты мостовых кранов от столкновений друг с другом и с объектами окружающей среды (рис. 3), реализующий функции нахождения препятствия, расчета расстояния и скорости сближения [26].

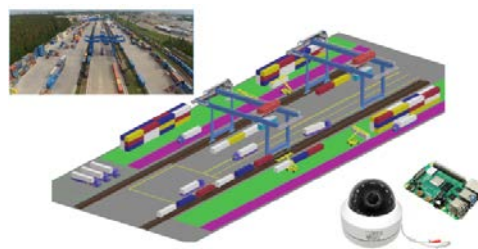


Рис. 3. Прибор защиты от столкновения кранов, работающих на одном рельсовом пути

Проведенные студентами научно-исследовательские работы, имеющие преимущественно прикладной, практический характер, поставили актуальную научную задачу разработки метода алгоритмической обработки технической информации о характере использования кранов мостового типа, обеспечивающего защиту от работы крана за пределами грузовой характеристики и получение достоверной информации об интенсивности его использования. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, посвященная решению указанной задачи, защищена аспирантом Назаровым в 2024 году. В работе достигнуты следующие результаты [27]:

1. Экспериментально продемонстрирован низкий уровень защищенности кранов мостового типа от случаев превышения номинальной грузоподъемности при использовании современных ОГП и неприемлемый уровень точности работы РП.
2. Разработана динамическая модель механизма подъема в обобщённом цикле работы крана, позволившая впервые описать работу крана, оснащенного ОГП [28].
3. Предложены алгоритмы ограничения грузоподъемности с функцией автоматического определения их параметров для кранов с релейно-контакторной или частотной системой управления.
4. Разработаны алгоритмы регистратора параметров, позволяющие оценить интенсивность использования механизма подъема [29] и крана в целом с точностью, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 33713-2015.
5. Экспериментально доказано снижение пиковых нагрузок в сравнении с импортной системой безопасности во всем диапазоне поднимаемых грузов.

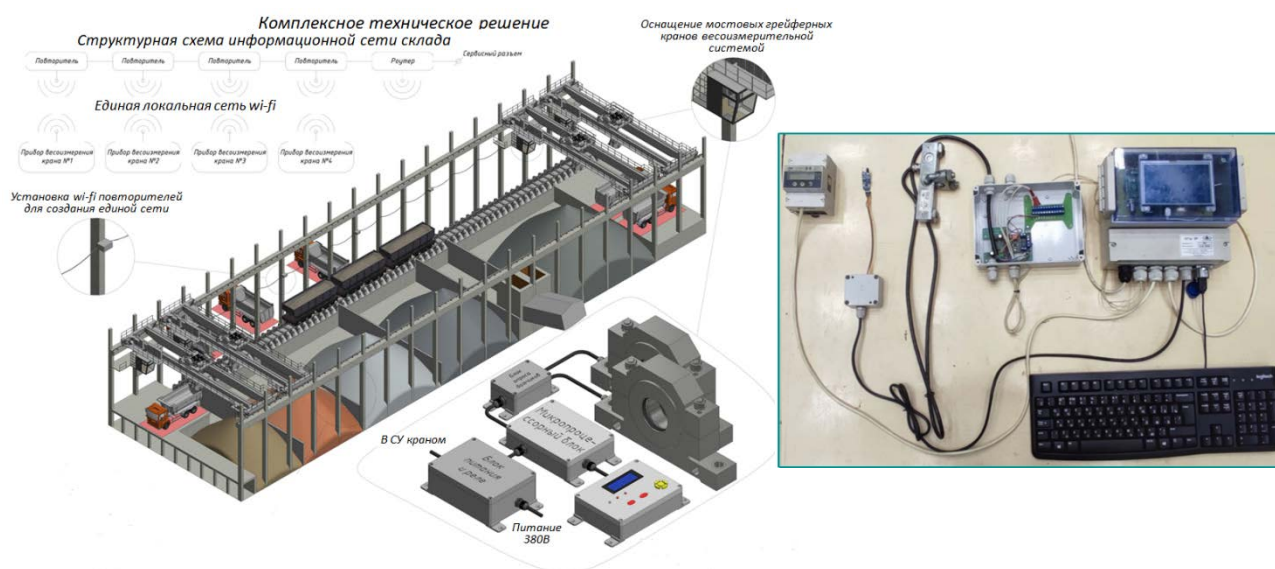


Рис. 4. Экспериментальный образец перспективного прибора безопасности

Заключение

Промышленная безопасность подъемных сооружений – одно из самых молодых направлений кафедры, история которого насчитывает 10 лет. Но и за это время сделано немало. Студентами, аспирантами и преподавателями опубликовано более 50 научных работ, ряд из которых в рецензируемых журналах их перечня ВАК и Scopus. Студенты и аспиранты кафедры принимают участие в конференциях и конкурсах, где регулярно отмечаются дипломами победителей. В течение пяти лет (с 2020 по 2024 год) работы студентов становились победителями кафедрального конкурса ВКР. Ежегодно с 2014 по 2024 год работы наши студенты являлись победителями и призерами всероссийского смотра-конкурса ВКР по специальности 23.05.01. Результатом сотрудничества кафедры РК4 и промышленных предприятий стало создание (рис. 5) четырех новых приборов / устройств безопасности (Барьер 2000, АЦ-5, ПЗСК-7, УН-1.5) и модернизация трех уже выпускаемых (ОГШ-2, СКО-1, ПЗСК-5). Достигнутые результаты показывают актуальность и востребованность работ и определяют необходимость дальнейшего развития направления промышленной безопасности подъемных сооружений.

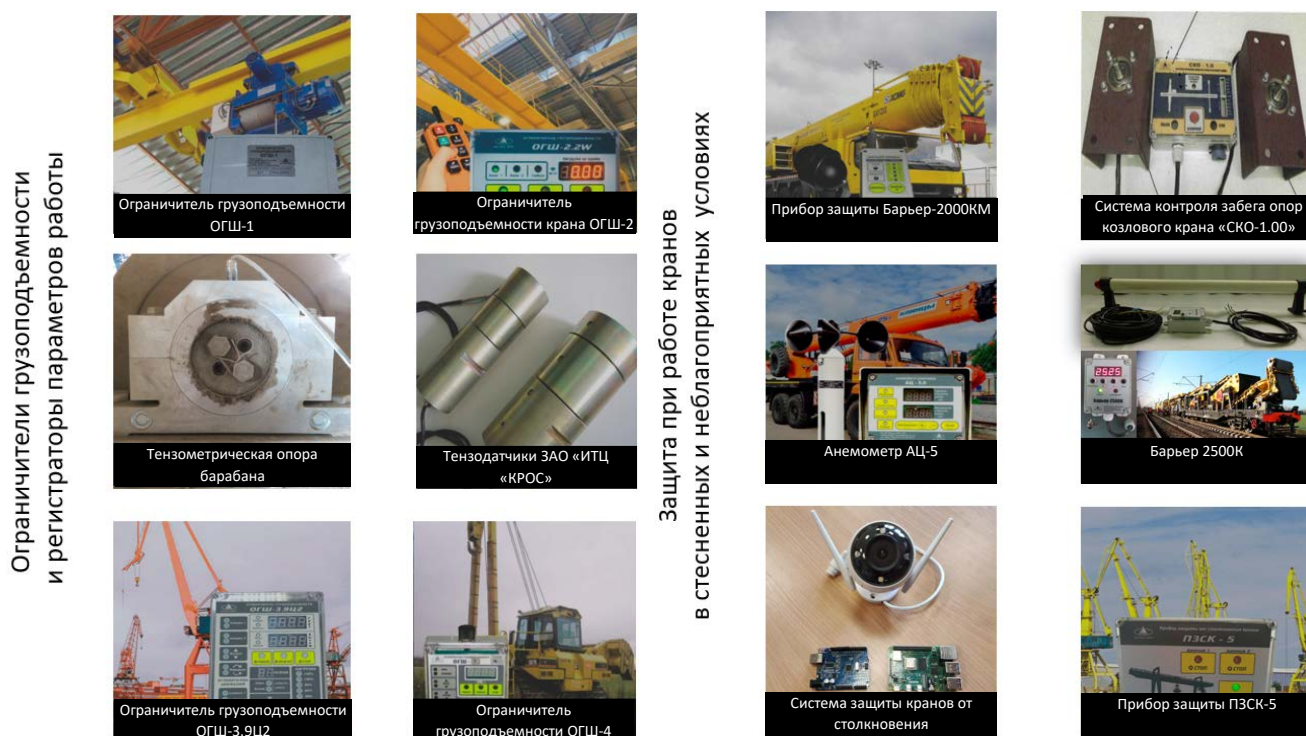


Рис. 5. Разработки кафедры РК4, получившие промышленную реализацию

Список литературы

1. Иванов, С. Д. Сквозное проектирование с применением цифровых инструментов на кафедре "Подъемно-транспортные системы" / С. Д. Иванов, А. Н. Назаров // Развитие'23: Российский PLM-комплекс для подготовки кадров : Тезисы докладов Всероссийского форума (с международным участием), Москва, 06 декабря 2023 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023. – С. 62-64. – EDN PQCOOV.
2. Шакаров, К. К. Определение параметров математической модели механизма подъема мостового крана, оснащенного ограничителем грузоподъемности / К. К. Шакаров, С. Д.

Иванов, А. Л. Носко // Механизация строительства. – 2017. – Т. 78, № 6. – С. 44-47. – EDN YQFTZZ.

3. 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.

4. Иванов, С. Д. Экспериментальное исследование динамических нагрузок на мостовой кран, оборудованный ограничителем грузоподъемности / С. Д. Иванов // Механизация строительства. – 2015. – № 6(852). – С. 54-56. – EDN UDDSPP.

5. Иванов, С. Д. Применение регистраторов параметров работы на мостовых грузоподъемных кранах домостроительных комбинатов / С. Д. Иванов // Механизация строительства. – 2013. – № 6(828). – С. 32-35. – EDN QJCQAL.

6. Иванов, С. Д. Стенд для изучения работы ограничителя грузоподъемности и регистратора параметров работы мостового крана / С. Д. Иванов // Механизация строительства. – 2012. – № 8(818). – С. 32-37. – EDN PEWNOL.

7. Бром, А. Е. Использование регистраторов параметров при эксплуатации мостовых кранов / А. Е. Бром, С. Д. Иванов, К. К. Шакаров // Механизация строительства. – 2016. – Т. 77, № 6. – С. 36-40. – EDN VZYBZX.

8. Объективная информация о работе подъемно-транспортных машин как основа повышения качества информационных систем грузообработывающих 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.

9. 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.

10. Иванова, Н. Ю. Внедрение корпоративных информационно-управляющих систем обеспечения безопасной эксплуатации оборудования как тенденция развития предприятий грузопереработки / Н. Ю. Иванова, С. А. Надеженков, С. Д. Иванов // Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование : Материалы конференции, Москва, 18 июня 2021 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2021. – С. 237-242. – EDN SFVUXU.

11. Пискун, К. М. Внедрение электронного документооборота на этапе эксплуатации лифтового оборудования / К. М. Пискун, С. Д. Иванов // Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием : Сборник материалов конференции. В 3-х частях, Ярославль, 20–21 апреля 2022 года. – Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2022. – С. 493-496. – EDN AHJYYI.

12. 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.

13. 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.

14. 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. Mikhalechik // 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.

15. Михальчик, Н. Л. Построение весоизмерительной системы путем расширения функционала электронного регистратора параметров работы мостового крана / Н. Л. Михальчик, С. Д. Иванов // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта, Екатеринбург, 06 декабря 2019 года / Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2020. – С. 169-171. – EDN HAFJBZ.

16. Иванов, С. Д. Создание и экспериментальное обоснование алгоритма работы весоизмерительной системы на базе регистратора параметров / С. Д. Иванов, Н. Л. Михальчик // Подъемно-транспортное дело. – 2019. – № 3-4(97). – С. 27-30. – EDN WRJTFW.

17. Михалев, А. В. Оценка влияния места наклейки чувствительного элемента тензооси на её эксплуатационные характеристики / А. В. Михалев, А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием : Сборник материалов конференции. В 3-х частях, Ярославль, 20–21 апреля 2022 года. – Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2022. – С. 489-492. – EDN PIPBVY.

18. 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.

19. 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 SVIJMP.

20. Иванов, С. Д. Лабораторные стенды приборов безопасности грузоподъемных кранов / С. Д. Иванов, И. С. Сибикин // Подъемно-транспортное дело. – 2014. – № 3-4(77). – С. 12-15. – EDN SXJPFJ.

21. Рошин, В. А. Применение методов прогнозирования опасных факторов в приборах безопасности кранов на примере кранового анемометра / В. А. Рошин, 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.

22. Рошин, В. А. Применение методов прогнозирования опасных факторов в приборах безопасности кранов на примере кранового анемометра / В. А. Рошин, 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.

23. Рошин, В. А. Новая модель анемометра для грузоподъемных кранов / В. А. Рошин, В. А. Потапов, С. Д. Иванов // Подъемно-транспортное дело. – 2021. – № 1-3(103). – С. 9-11. – EDN BOMDIX.

24. Дмитриев, А. С. Экспериментальное определение характера движения системы SBL / А. С. Дмитриев, А. Н. Назаров // Семьдесят пятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов с международным участием : Сборник материалов конференции. В 3-х частях, Ярославль, 20–21 апреля 2022 года. – Ярославль: Ярославский государственный технический университет, 2022. – С. 456-459. – EDN OOEQZH.

25. Применение имитационной логистической модели складирования в целях повышения качества принятия управленческих решений на грузоперерабатывающем предприятии / Н. Ю. Иванова, А. Н. Назаров, А. Р. Луткин, Л. В. Завальная // Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование : Материалы конференции, Москва, 18 июня 2021 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2021. – С. 243-248. – EDN JOFNVY.

26. Рошин, В. А. Разработка системы защиты кранов мостового типа от столкновения на основе технического зрения / В. А. Рошин, В. А. Потапов, С. Д. Иванов // Подъемно-транспортное дело. – 2021. – № 4-6(104). – С. 12-15. – EDN BAAEUZ.

27. Назаров, А. Н. Алгоритмическая обработка объективной информации о характере работы кранов мостового типа / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях - 2023 : Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 21–23 сентября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 178-184. – EDN WGOGHA.

28. 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.

29. 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.

АВТОР

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-diagnostics@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.
2024. № 4. pp. 11 – 24.

DOI:

Received: 04.12.2024

Accepted for publication: 12.12.2024

© International Public Organization "Integration
strategy"

Development of the direction "Industrial safety of lifting structures" at the Department of RC4 "Lifting and transport systems"

Sergey D. Ivanov

ptm-diagnostics@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

The article provides information on the development of industrial safety at the Department of RC4 "Lifting and Transport Systems" of the Bauman Moscow State Technical University. The results of the work of students and postgraduates of the department in the field of development of technical means of ensuring safety are presented. The scientific achievements of students and staff of the RC4 department in the field of industrial safety of the conveyor are presented.

Keywords: RC4 department; industrial safety; hoisting machines; hoisting and transportation equipment; carrying capacity limiter; recorder of operation parameters.

References

1. Ivanov, S. D. End-to-end design using digital tools at the Department of Lifting and Transport Systems / S. D. Ivanov, A. N. Nazarov // Development'23: Russian PLM-complex for personnel training : Abstracts of the All-Russian Forum (with international participation), Moscow, December 06, 2023. – Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2023. – pp. 62-64. – EDN PQCOOV.
2. Shkarov, K. K. Determination of the parameters of the mathematical model of the lifting mechanism of a bridge crane equipped with a load limiter / K. K. Shkarov, S. D. Ivanov, A. L. Nosko // Mechanization of construction. - 2017. – vol. 78, No. 6. – pp. 44-47. – EDN YQFTZZ.
3. Nazarov, A. N. Investigation of the effect of the load capacity limiter with intermediate thresholds on the safety of overhead cranes / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Machines and installations: design, development and operation. - 2023. – No. 1. – pp. 41-52. – EDN SZRVVB.
4. Ivanov, S. D. Experimental study of dynamic loads on a bridge crane equipped with a load limiter / S. D. Ivanov // Mechanization of construction. – 2015. – № 6(852). – Pp. 54-56. – EDN UDDSP.
5. Ivanov, S. D. The use of recorders of work parameters on overhead cranes of house-building plants / S. D. Ivanov // Mechanization of construction. – 2013. – № 6(828). – Pp. 32-35. – EDN QJCQAL.
6. Ivanov, S. D. Stand for studying the operation of the load capacity limiter and the recorder of the parameters of the bridge crane / S. D. Ivanov // Mechanization of construction. –

2012. – № 8(818). – Pp. 32-37. – EDN PEWNOL.

7. Brom, A. E. The use of parameter recorders in the operation of overhead cranes / A. E. Brom, S. D. Ivanov, K. K. Shakarov // Mechanization of construction. – 2016. – vol. 77, No. 6. – pp. 36-40. – EDN VZYBZX.

8. Objective information about the work of lifting and transport machines as a basis for improving the quality of information systems of cargo handling enterprises / N. Y. Ivanova, S. D. Ivanov, S. A. Reliable, A. N. Nazarov // Machines and installations: design, development and operation. - 2023. – No. 2. – pp. 81-96. – EDN MRGIFW.

9. Ivanov, S. D. Formation of an information base for clarifying the calculation of the residual resource and improving the methodology for planning repairs of lifting and transport equipment using safety devices - parameter recorders (on the example of cranes) / S. D. Ivanov, N. Yu. Ivanova // Digital economy: technologies, management, human capital : Materials of the All-Russian Scientific and practical conference. Collection of reports in the field of economics and management, as well as production technologies, information technology and technology management, Moscow, May 28, 2019. – Moscow: Moscow State Technological University "STANKIN", 2019. – pp. 236-241. – EDN OAZGZT.

10. Ivanova, N. Y. The introduction of corporate information management systems to ensure the safe operation of equipment as a trend in the development of cargo processing enterprises / N. Y. Ivanova, S. A. Reliable, S. D. Ivanov // Sustainable development and new industrialization: science, economics, education : Materials of the conference, Moscow, June 18, 2021. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2021. – pp. 237-242. – EDN SFVUXU.

11. Piskun, K. M. Introduction of electronic document management at the stage of operation of elevator equipment / K. M. Piskun, S. D. Ivanov // Seventy-fifth All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates with international participation : A collection of conference materials. In 3 parts, Yaroslavl, April 20-21, 2022. – Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, 2022. – pp. 493-496. – EDN AHJYYI.

12. Ageicheva, M. M. Assessment of the intensity of the container crane operation based on the information processing of the remote monitoring system / M. M. Ageicheva, S. D. Ivanov // Seventy-sixth All-Russian Scientific and Technical Conference of students, undergraduates and postgraduates with international participation : A collection of conference materials. In 3 parts, Yaroslavl, April 19-20, 2022. Volume 76. – Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, 2023. – pp. 417-420. – EDN VEJLX.

13. 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 January 2024. – Beijing: Infiniti LLC, 2024. – P. 143-147. – DOI 10.34660/INF.2024.11.22.136. – EDN QGHMZI.

14. 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. Mikhalechik // Journal of Physics: Conference Series, Belgorod, March 09-10, 2021. Vol. 1926. – Belgorod: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012047. – DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012047. – EDN JIUUGG.

15. Mikhalechik, N. L. Building a weighing system by expanding the functionality of the electronic recorder of the parameters of the bridge crane / N. L. Mikhalechik, S. D. Ivanov // Innovative development of land transport equipment and technologies, Yekaterinburg, December 06, 2019 / Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin. – Yekaterinburg: Ural University Press, 2020. – pp. 169-171. – EDN HAFJBZ.

16. Ivanov, S. D. Creation and experimental substantiation of an algorithm for the

operation of a weighing system based on a parameter recorder / S. D. Ivanov, N. L. Mikhalev // Lifting and transport business. – 2019. – № 3-4(97). – Pp. 27-30. – EDN WRJTFW.

17. Mikhalev, A.V. Assessment of the influence of the location of the sticker of a sensitive element of the tenzoelectric axis on its operational characteristics / A.V. Mikhalev, A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Seventy-fifth All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates with international participation : A collection of conference materials. In 3 parts, Yaroslavl, April 20-21, 2022. – Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, 2022. – pp. 489-492. – EDN PIPBVY.

18. Mikhalev, A.V. Application of the moving average algorithm for the task of determining the weight of a load / A.V. Mikhalev, A. N. Nazarov // Machines and installations: design, development and operation. - 2023. – No. 2. – pp. 44-57. – EDN XLXJRI.

19. Nazarov, A. N. The use of a weight measurement algorithm based on a moving average filter in the recorder of the parameters of the bridge crane operation / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2023. – Vol. 20, No. 4(92). – pp. 418-431. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-4-418-431. – EDN CBIJMP.

20. Ivanov, S. D. Laboratory stands of safety devices for lifting cranes / S. D. Ivanov, I. S. Sibikin // Lifting and transport business. – 2014. – № 3-4(77). – Pp. 12-15. – EDN SXJPFJ.

21. Roshchin, V. A. Application of methods for predicting dangerous factors in crane safety devices on the example of a crane anemometer / V. A. Roshchin, S. D. Ivanov, A. N. Nazarov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2020. – Vol. 17, No. 5(75). – pp. 584-597. – DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-5-584-597. – EDN VAFCGT.

22. Roshchin, V. A. Application of methods for predicting dangerous factors in crane safety devices on the example of a crane anemometer / V. A. Roshchin, S. D. Ivanov, A. N. Nazarov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2020. – Vol. 17, No. 5(75). – pp. 584-597. – DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-5-584-597. – EDN VAFCGT.

23. Roshchin, V. A. A new model of anemometer for lifting cranes / V. A. Roshchin, V. A. Potapov, S. D. Ivanov // Lifting and transport business. – 2021. – № 1-3(103). – Pp. 9-11. – EDN BOMDIX.

24. Dmitriev, A. S. Experimental determination of the nature of the SBL system movement / A. S. Dmitriev, A. N. Nazarov // Seventy-fifth All-Russian scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates with international participation : A collection of conference materials. In 3 parts, Yaroslavl, April 20-21, 2022. – Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University, 2022. – pp. 456-459. – EDN OOEQZH.

25. Application of the simulation logistic model of warehousing in order to improve the quality of managerial decision-making at a cargo processing enterprise / N. Y. Ivanova, A. N. Nazarov, A. R. Lutkin, L. V. Zavalnaya // Sustainable development and new industrialization: science, economics, education : Conference proceedings, Moscow, June 18, 2021. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2021. – pp. 243-248. – EDN JOFNVY.

26. Roshchin, V. A. Development of a system for protecting bridge-type cranes from collisions based on technical vision / V. A. Roshchin, V. A. Potapov, S. D. Ivanov // Lifting and transport business. – 2021. – № 4-6(104). – Pp. 12-15. – EDN BAAEUZ.

27. Nazarov, A. N. Algorithmic processing of objective information about the nature of the work of bridge-type cranes / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Energy-resource-saving technologies and equipment in machine-building, road and construction industries - 2023 : Materials of the international scientific and practical conference, Belgorod, September 21-23, 2023. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. – pp. 178-184. – EDN WGOGHA.

28. 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.

29. Ivanov, S. D. Assessment of the applicability of electric drive parameters to determine the load on the lifting mechanism of bridge cranes / S. D. Ivanov, A. N. Nazarov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2022. – Vol. 19, No. 1(83). – pp. 36-47. – DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-36-47. – EDN XZSFJQ.

AUTHOR

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-diagnostics@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. 2024. № 4. С. 25 – 33

DOI:

Представлена в редакцию: 04.12.2024

Принята к публикации: 12.12.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.873

Разработка системы ветрозащиты рельсовых кранов

Потапов В. А.¹,
Рощин В. А.^{1*},
Иванов С. Д.²

* roshchinva@mail.ru

¹ООО «Инженерно-технический центр
«КРОС» (Московская обл., Россия)

²МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

В настоящей работе описывается разработка двухуровневой системы ветрозащиты рельсовых кранов. В отличие от применяемых в настоящий момент технических средств безопасности, в системе ветрозащиты в соответствии с требованиями нормативных документов реализован комплексный подход к обеспечению защиты кранов от опасной ветровой обстановки. В статье описана структура системы, разработка новых средств безопасности и необходимые доработки существующих. Разработана структура и информационное наполнение диспетчерской станции, на базе которой строится второй уровень системы ветрозащиты, описаны перспективы улучшения алгоритмов её работы.

Ключевые слова: рельсовый кран, ветрозащитная система, анемометр, противоугонный захват, диспетчерская станция, сеть анемометров.

Введение

В соответствии с требованиями Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», ГОСТ 1451-77 «Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и методы определения» и других нормативных документов, при достижении скоростью ветра предельно допустимой скорости рабочего состояния необходимо останавливать работу грузоподъемных машин (ГПМ), установленных на открытом воздухе, и принимать меры по предотвращению их угона ветром.

В развитие указанных требований в РД 24.090-102.01 вводится понятие ветрозащитной системы, как «комплекса устройств и конструктивных элементов, обеспечивающих защиту крана от угона ветром», и устанавливаются правила по устройству, эксплуатации, испытаниям и модернизации таких систем на рельсовых кранах [1].

Согласно указаниям РД, в общем случае ветрозащитные системы состоят из устройств определения скорости ветра и противоугонных устройств, однако в настоящее время на большинстве рельсовых кранов приборы измерения скорости ветра (анемометры) и

противоугонные захваты не связаны между собой в единую систему. Анемометры могут в отдельных случаях быть подключены к другим приборам безопасности (например, ограничителям грузоподъемности с встроенными регистраторами параметров) [2-5] для сохранения информации о достижении скоростью ветра опасных значений, но без реализации защитной функции анемометра, а противоугонные захваты чаще всего являются отдельными устройствами, контроль за состоянием которых полностью возлагается на персонал рабочей площадки.

Отсутствие комплексного подхода по защите кранов от ветровых нагрузок нерабочего состояния приводит к несвоевременной остановке работы кранов, позднему наложению противоугонных захватов и, следовательно, к авариям и несчастным случаям. В связи с этим, в рамках цикла совместных работ ООО «ИТЦ «КРОС» и кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н. Э. Баумана, ведущихся под научным руководством доцента кафедры Иванова С.Д. и посвящённых безопасности ГПМ [6, 7], в настоящей статье предложена концепция построения двухуровневой системы ветрозащиты, объединяющей защитные устройства, установленные на отдельном кране, и несколько кранов на рабочей площадке.

Общая концепция построения системы ветрозащиты

На современном уровне развития техники и организационной культуры производства для обеспечения защищённости кранов необходимо увеличивать количество информации, доступной рабочему и техническому персоналу организации. Применительно к приборам ветрозащиты данная задача может быть решена путём расширения функциональности анемометров. Так современные образцы анемометров иностранных производителей предлагают широкий набор потребительских функций, включая измерение направления ветра, температуры воздуха и др. Однако в них так же не предусмотрено прямой интеграции с противоугонными захватами. Кроме того, расширение функциональности отдельного прибора значительно повышает его цену, в связи с чем на отечественном рынке ветрозащитных систем широко распространены более простые модели анемометров.

Поэтому более целесообразным представляется двухуровневый подход построения защитной системы, структура которой показана на рисунке 1.

На первом уровне («Кран») в блоке обработки сигналов (БОС) анемометра каждого отдельного крана собирается информация о скорости ветра, состоянии противоугонных захватов и собственно крана, которая затем посредством беспроводной связи передается в диспетчерскую станцию. На втором уровне («Рабочая площадка») информация, собранная с сети анемометров, обрабатывается и сохраняется в диспетчерской станции.

Таким образом, вынос функций обработки и хранения информации с первого уровня системы (устройства ветрозащиты на отдельном кране) на второй (диспетчерскую станцию, собирающую информацию со всей рабочей площадки) позволяет сохранить структуру отдельного анемометра простой, дополнив его только входами для получения информации о состоянии противоугонных захватов и системы управления краном и модулем беспроводной связи. При этом так же потребуется дооснащение ручных противоугонных захватов концевыми выключателями замкнутого / разомкнутого состояния. В случае полуавтоматических и автоматических концевых захватов требуется только получить сигнал с имеющихся концевых выключателей и передать его в анемометр. Кроме того, разумно завести в анемометр сигнал из системы управления краном для получения информации о том, находится ГПМ в рабочем состоянии или нет. Данная информация может быть использована как при выявлении неисправности анемометра, так и для комплексной оценки условий работы

кранов на рабочей площадке. Для введения в анемометр указанных сигналов и модулей требуется соответствующим образом доработать электронную плату и программу прибора.

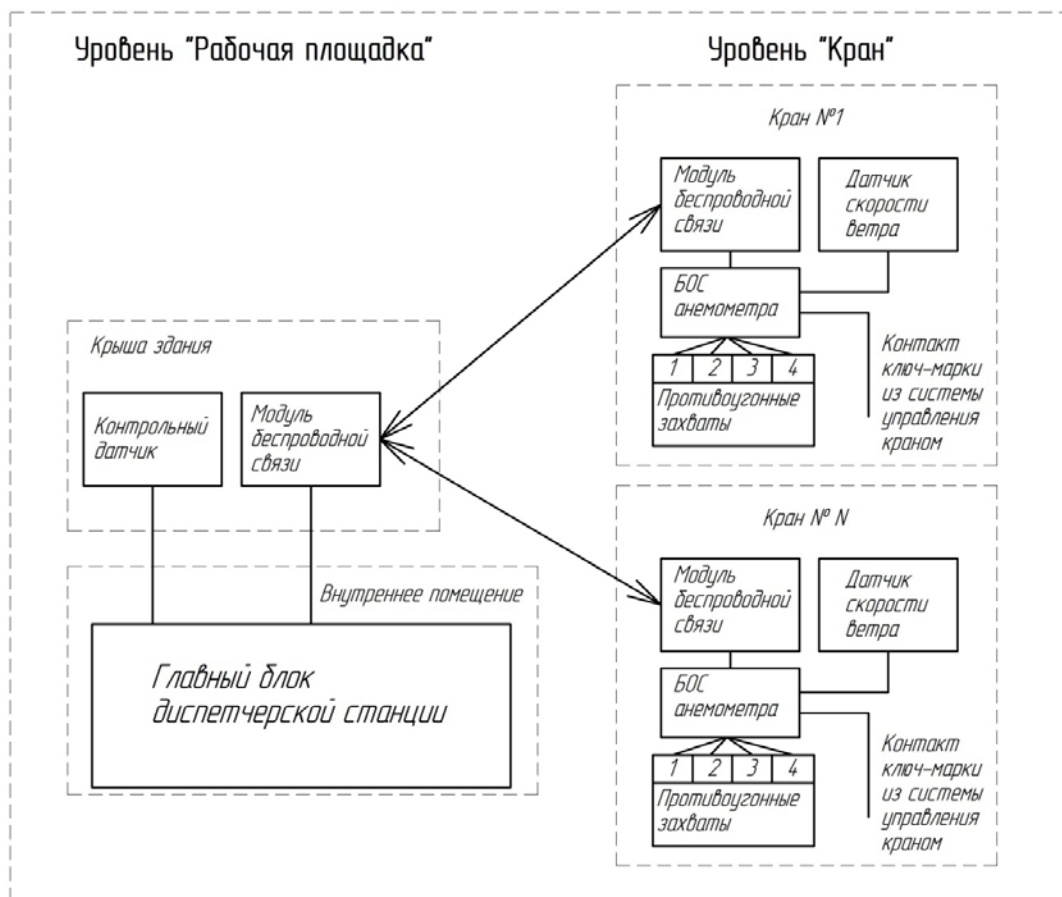


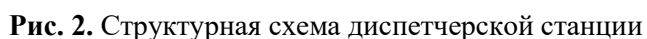
Рис. 1. Структура двухуровневой ветрозащитной системы

На втором уровне системы построение сети анемометров с центральным узлом управления упрощает контроль за соблюдением требований безопасности при работе ГПМ на рабочей площадке. Наличие у рабочего и технического персонала комплексной информации по ветровой обстановке и состоянию кранов, собираемой в диспетчерской станции, позволяет своевременно производить остановку работы кранов при достижении скоростью ветра опасных значений и замыкать противоугонные захваты, а также следить за техническим состоянием самих анемометров и проведением необходимого технического обслуживания. Помимо этого, соединение анемометров в общую сеть даёт возможность использования более совершенных алгоритмов прогнозирования ветровой обстановки, которые позволяют заранее указать вероятность повышения скорости ветра до опасных значений, выдать соответствующие сигналы и, следовательно, повысить защищённость ГПМ [7-10].

Разработка диспетчерской станции

Если анемометры являются известными и широко применяемыми в ГПМ приборами, то диспетчерская станция, как отдельный элемент системы ветрозащиты, прежде не использовалась на действующих кранах, поэтому потребовалось разработать её структуру и информационное наполнение.

Структурная схема разработанной диспетчерской станции приведена на рисунке 2.



1) Комплекс из модулей часов реального времени и энергонезависимой памяти, аналогичный крановому регистратору параметров и используемый для долговременного хранения информации о состоянии включённых в сеть ветрозащитных систем и изменении ветровой обстановки во времени. Накопленная информация может быть использована при анализе характера и условий работы ГПМ. Более подробно информационная структура диспетчерской станции рассмотрена ниже.

3) Сенсорные графические панели широко применяются в современных автоматизированных системах управления техническими процессами для предоставления оператору информации в удобной форме и получению от него необходимого управляющего воздействия. При этом такие панели могут быть перепрограммированы при возникновении такой необходимости в случае доработок и дальнейшего развития прибора.

Структура информации, предоставляемая диспетчерской станцией приведена на рис. 3.

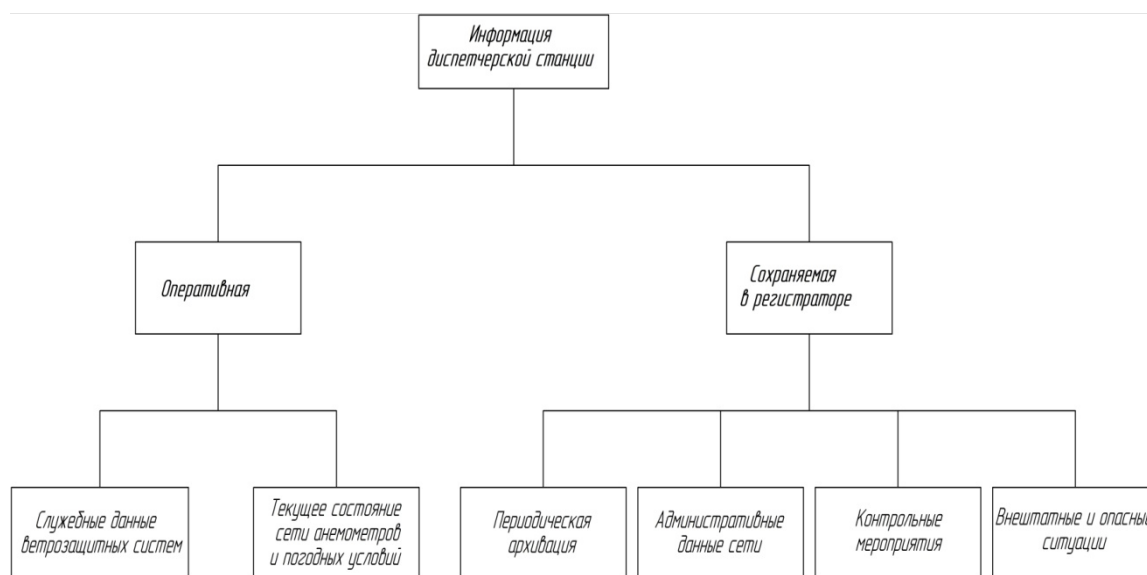


Рис. 3. Дерево информации диспетчерской станции.

К оперативной информации относятся графические и текстовые данные, к которым оператор станции имеет непосредственный доступ, а именно текущее состояние сети ветрозащитных систем и сведения о каждой отдельной ветрозащитной системе, установленной на конкретной ГПМ. В сведения о ветрозащитной системе включаются: обозначение ГПМ (например, инвентарный номер крана), адрес в сети, дату установки, даты последнего и следующего предполагаемого технического обслуживания. Информации о текущем состоянии сети содержит: общее число включённых в сеть анемометров, число анемометров и ГПМ, находящихся в рабочем состоянии, текущие показания скорости ветра, уведомления и сигналы о возникновении внештатных и опасных ситуаций, необходимости проведения контрольных мероприятий, а также других событий, предусмотренных программой диспетчерской станции.

Информация, сохраняемая в регистраторе параметров (доступная только авторизованному техническому персоналу), подразделяется на четыре основные группы, по которым её можно будет сортировать при анализе:

1) Административные данные сети: включение и отключение от сети новых элементов (отдельных ветрозащитных систем), время включения и отключения диспетчерской станции и отдельных анемометров, записи о вносимых изменениях в настройки станции.

2) Периодическая (в соответствии с настраиваемым графиком) архивация оперативных данных о текущем состоянии сети. Наличие архивных данных с сети анемометров позволит анализировать работу ГПМ на площадке во времени и будет являться независимым источником информации для проверки показаний штатных регистраторов параметров.

3) Уведомления и записи о контрольных мероприятиях, например ежеквартальном техобслуживании или ежегодной поверке. При этом при построении сети анемометров появляется возможность создавать контрольные группы приборов, установленных в

одинаковых ветровых условиях, и в автоматическом режиме выявлять отклонение показаний отдельного анемометра от группы, и, следовательно, необходимость проведения внеочередного технического обслуживания.

4) Внештатные и опасные ситуации: обрыв связи анемометра с датчиком скорости ветра, незамыкание противоугонных захватов на кране, переведённом в нерабочее состояние, поступление предупредительных и запрещающих сигналов при повышении скорости ветра. Для анализа скорости реагирования персонала на возникновение опасной ветровой обстановки и повышение точности прогнозирования её изменений также предполагается сохранять графики показаний скорости ветра за всё время действия опасных сигналов.

Заключение

Таким образом, в настоящей статье предложена концепция двухуровневой системы ветрозащиты, реализующий комплексный подход путем объединения отдельных устройств в систему. Указаны необходимые доработки существующих средств и приборов безопасности: анемометров и противоугонных захватов, служащих первым уровнем системы. Разработана структура и информационное наполнение диспетчерской станции, на базе которой строится второй уровень системы.

На основании описанных разработок предполагается изготовление опытного образца диспетчерской станции и доработка существующей модели анемометра АЦ5.0 После изготовления образцов планируется проведение испытаний. Данные испытаний, будут использованы для дальнейшего совершенствования алгоритмов прогнозирования ветровой обстановки.

Список литературы

1. РД 24.090.102-01 «Основные требования безопасности к устройству и эксплуатации ветрозащитных систем мостовых и козловых кранов».
2. Рошин, В. А. Новая модель анемометра для грузоподъемных кранов / В. А. Рошин, В. А. Потапов, С. Д. Иванов // Подъемно-транспортное дело. – 2021. – № 1-3(103). – С. 9-11. – EDN BOMDIX.
3. 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 JVV TZT.
4. Системы защиты, приборы и устройства безопасности для грузоподъемной техники / Л. С. Каминский, И. А. Пятницкий, И. Г. Федоров [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2015. – № 1. – С. 14-17. – EDN TEDYXB.
5. - Тихонов, Ю. Б. Повышение безопасности работы козловых кранов на железнодорожных станциях и сортировочных горках / Ю. Б. Тихонов // Известия Транссиба. – 2023. – № 2(54). – С. 89-97. – EDN DFA YFZ.
6. Объективная информация о работе подъемно-транспортных машин как основа повышения качества информационных систем грузообработывающих 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.
7. Рошин, В. А. Применение методов прогнозирования опасных факторов в приборах безопасности кранов на примере кранового анемометра / В. А. Рошин, 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.

8. Подобед, Н. Е. Обеспечение безопасности при работе портовых кранов в условиях штормового ветра / Н. Е. Подобед, В. А. Подобед // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2011. – Т. 14, № 3. – С. 499-501. – EDN RBSENV.

9. Орлов, Д. Ю. Автоматические системы обеспечения безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов / Д. Ю. Орлов. – Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – 76 с. – ISBN 978-5-93057-958-1. – EDN FQYFJQ.

10. Крылов, В. В. Методика обеспечения устойчивости стреловых кранов при проектировании и эксплуатации от комплексного влияния факторов техногенного и природного характера : специальность 05.02.02 "Машиноведение, системы приводов и детали машин" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Крылов Вадим Викторович, 2021. – 269 с. – EDN BTLSGB.

11. Москвитин, С. П. Построение систем телеметрии промышленного назначения с использованием беспроводных сенсорных сетей / С. П. Москвитин, Д. В. Комраков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – № S2(52). – С. 87-91. – EDN QWHFKF.

12. Жуков, В. С. методы организации беспроводных защищенных сетей / В. С. Жуков // E-Scio. – 2021. – № 3(54). – С. 160-166. – EDN JSRMNS.

АВТОРЫ

Потапов Валентин Алексеевич, генеральный директор, ООО «Инженерно-технический центр «КРОС», 141281, московская область, г.о. Пушкинский, г. Ивантеевка, проезд Санаторный, д. 1/1Б, офис 415, кандидат технических наук, e-mail: potapov@itc-kros.ru;

Рощин Виталий Андреевич, инженер, ООО «Инженерно-технический центр «КРОС», 141281, московская область, г.о. Пушкинский, г. Ивантеевка, проезд Санаторный, д. 1/1Б, офис 415, e-mail: roshchinva@mail.ru;

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, e-mail: ptm-diagnostics@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.
2024. № 4. pp. 25 – 33.*

DOI:

Received: 04.12.2024

Accepted for publication: 12.12.2024

© International Public Organization "Integration strategy"

Development of a wind protection system for rail cranes

Valentin A. Potapov¹,
Vitaliy A. Roshchin^{1*},
Sergey D. Ivanov²

^{*}roshchinva@mail.ru

¹LLC "Engineering and Technical Center
"CROS", Russian Federation

²Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

This paper describes the development of a two-tier system of wind protection for railway cranes. Unlike currently used technical safety equipment, the wind protection system implements a comprehensive approach to ensuring the protection of cranes from dangerous wind conditions in accordance with regulatory requirements. The article describes the structure of the system, the development of new safety measures, and the necessary improvements to existing ones. The structure and informational content of the dispatch station have been developed, on the basis of which the second level of the wind protection system is built, and prospects for improving the algorithms of its operation are described.

Keywords: railway crane, wind protection system, rail clamp, dispatch station, anemometer, anemometer network.

References

1. RD 24.090.102-01 "Basic Safety Requirements for the Design and Operation of Wind Protection Systems for Bridge and Gantry Cranes."
2. Roshchin, V. A. "A New Model of Anemometer for Lifting Cranes" / V. A. Roshchin, V. A. Potapov, S. D. Ivanov // Lifting and Transport Engineering. – 2021. – No. 1-3(103). – pp. 9-11. – EDN BOMDIX.
3. Zaretsky, A. A. "Recorders of Operating Parameters of Lifting Cranes" / A. A. Zaretsky, L. S. Kaminsky, I. G. Fedorov // Labor Safety in Industry. – 2001. – No. 4. – pp. 60-62. – EDN JVVZTZ.
4. "Protection Systems, Safety Devices and Equipment for Lifting Machinery" / L. S. Kaminsky, I. A. Pyatnitsky, I. G. Fedorov [et al.] // Construction and Road Machinery. – 2015. – No. 1. – pp. 14-17. – EDN TEDYXB.
5. Tikhonov, Y. B. "Improving the Safety of Gantry Crane Operations at Railway Stations and Sorting Humps" / Y. B. Tikhonov // Transsib News. – 2023. – No. 2(54). – pp. 89-97. – EDN DFAYFZ.
6. Ivanova, N. Yu., Ivanov, S. D., Nadezhnenkov, S. A., Nazarov, A. N. "Objective Information on the Operation of Lifting and Transport Machines as the Basis for Improving the

Quality of Information Systems in Cargo Handling Enterprises" // Machines and Installations: Design, Development, and Operation. – 2023. – No. 2. – pp. 81-96. – EDN MRGIFW.

7. Roshchin, V. A. "Application of Hazard Factor Forecasting Methods in Crane Safety Devices Using the Example of Crane Anemometers" / V. A. Roshchin, S. D. Ivanov, A. N. Nazarov // 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.

8. Podobed, N. E. "Ensuring Safety When Operating Port Cranes in Stormy Wind Conditions" / N. E. Podobed, V. A. Podobed // Bulletin of MSTU. Proceedings of Murmansk State Technical University. – 2011. – Vol. 14, No. 3. – pp. 499-501. – EDN RBSENV.

9. Orlov, D. Yu. "Automated Systems for Ensuring Safe Operation of Lifting Cranes" / D. Yu. Orlov. – Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Building, 2021. – 76 pp. – ISBN 978-5-93057-958-1. – EDN FQYFJQ.

10. Krylov, V. V. "Methodology for Ensuring the Stability of Tower Cranes in Design and Operation Against the Complex Impact of Technogenic and Natural Factors" : specialty 05.02.02 "Machine Engineering, Drive Systems, and Machine Parts" : dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Krylov Vadim Viktorovich, 2021. – 269 pp. – EDN BTLSGB.

11. Moskvitin, S. P. "Building Telemetry Systems for Industrial Purposes Using Wireless Sensor Networks" / S. P. Moskvitin, D. V. Komrakov // Issues of Modern Science and Practice. V.I. Vernadsky University. – 2014. – No. S2(52). – pp. 87-91. – EDN QWHFKF.

12. Zhukov, V. S. "Methods for Organizing Wireless Secure Networks" / V. S. Zhukov // E-Scio. – 2021. – No. 3(54). – pp. 160-166. – EDN JSRMNS.

AUTHORS

Valentin A. Potapov, General Director of the LLC "Engineering and Technical Center "CROS" 141281, Moscow region, Pushkinsky district, Ivanteevka, Sanatorny passage, 1/1B, office 415, Candidate of Technical Sciences, e-mail: potapov@itc-kros.ru;

Vitaliy A. Roshchin, Engineer of the LLC "Engineering and Technical Center "CROS" 141281, Moscow region, Pushkinsky district, Ivanteevka, Sanatorny passage, 1/1B, office 415, Candidate of Technical Sciences, e-mail: roshchinva@mail.ru;

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, e-mail: ptm-diagnostics@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. 2024. № 4. С. 34 – 40

DOI:

Представлена в редакцию: 09.12.2024

Принята к публикации: 12.12.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.86

Исследования и разработки кафедры РК4 «Подъемно-транспортные системы» для создания современных приборов безопасности грузоподъемной техники

Назаров А.Н.

alexnazavr@yandex.ru

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

В статье представлены результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, посвященного разработке прибора безопасности кранов мостового типа нового поколения. Описан функционал прибора. Приведена оценка качества выполняемых функций, полученная в лабораторном и натурных экспериментах.

Ключевые слова: кафедра РК4, мостовой кран, приборы безопасности, ограничитель грузоподъемности, регистратор параметров работы, динамика механизма подъема работы.

На кафедре РК4 «Подъемно-транспортные системы» в 2014 году доцентом Ивановым С.Д. было основано направление промышленной безопасности. В рамках данного направления проходит как обучение студентов, так и ведутся работы по созданию перспективных технических средств обеспечения безопасности и модернизации существующих. Большинство работ выполнены студентами в рамках курсового проектирования и курсовых научно-исследовательских работ. В год столетнего юбилея кафедры РК4 была защищена первая кандидатская диссертация, выполненная на базе кафедры по направлению промышленной безопасности.

В рамках работы «Повышение безопасности работы кранов мостового типа на основе алгоритмической обработки информации о характере их использования» был создан опытный образец комплексного прибора безопасности [1]. Прибор, функциональная схема которого показана на рис. 1, сочетает в себе функции ограничения грузоподъемности, регистрации параметров и автоматизированной настройки путем анализа динамических процессов тестовых подъемов контрольных грузов.

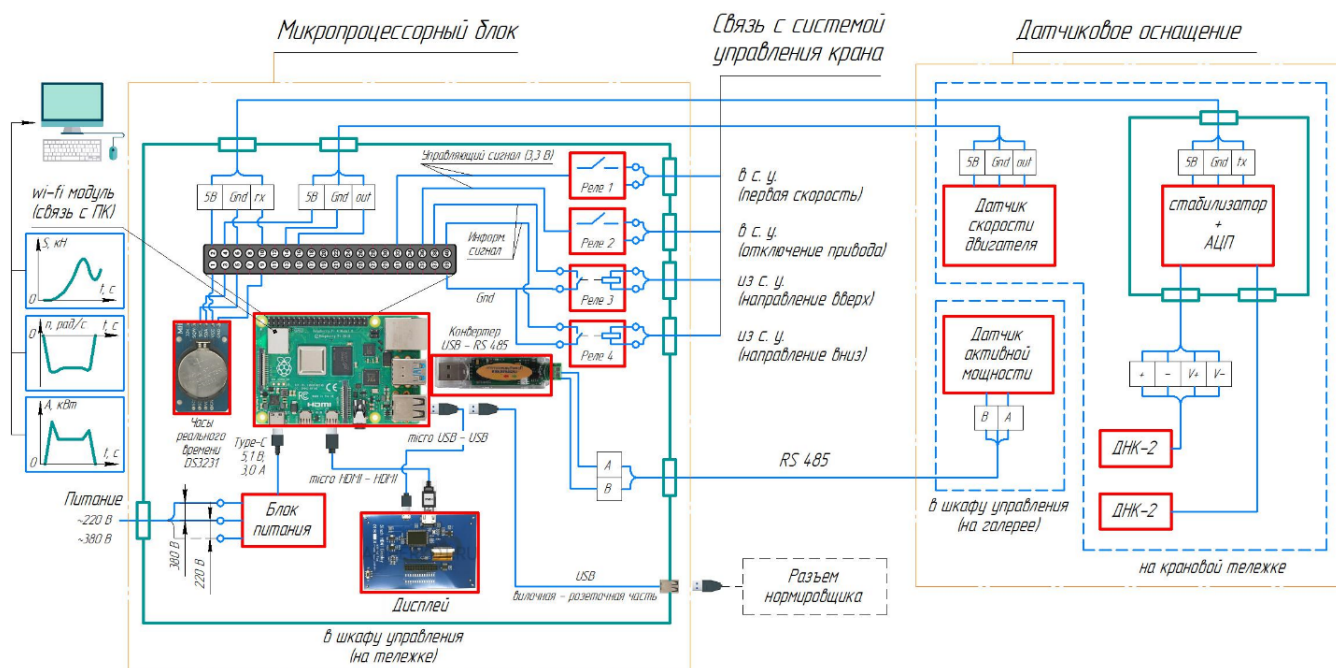


Рис. 1. Функциональная схема опытного образца прибора безопасности

Проведенное исследование подготовило теоретическую и экспериментальную базу для создания нового поколения приборов безопасности, над серийной версией которого в данный момент ведут работы инженеры специализированной организации ООО «ИТЦ «КРОС».

Задача создания новых алгоритмов (ограничения грузоподъемности, регистрации параметров) определила потребность в совершенствовании классических динамических моделей. Так, на основе работ преподавателей кафедры РК4 прошлых лет (Николая Александровича Лобова и Владимира Петровича Запятого) удалось описать обобщенный цикл работы механизма подъема кранов с релейно-контакторной или частотной системой управления при работе с грузами во всем диапазоне масс и произвольном наборе команд управления.

Для обеспечения возможности практического применения модели разработан способ экспериментального определения жесткости канатного подвеса для кранов мостового типа, на который получен патент на изобретение [2]. Получена зависимость, позволяющая определять жесткость металлоконструкции крана в зависимости от положения грузовой тележки на основе экспериментальных данных. А также получен набор формул для определения усилия двигателя кранов с частотной или релейно-контакторной системой управления в установившихся и переходных режимах [3].

На основе разработанной динамической модели получены зависимости порогов срабатывания алгоритма ограничителя грузоподъемности от динамических параметров крана и механизма подъема [1,4], что дало возможность автоматизировать процесс настройки прибора.

Применительно к функции регистрации параметров обоснован состав первичной информации: усилие в канатах, перемещение, скорость и ускорение вала двигателя, активная мощность привода, напряжение и частота сети. Модифицирован алгоритм определения режима работы крана в целом (за счет применения фильтра скользящего среднего [5,6] и функции контроля установившегося движения) и разработан алгоритм определения режима работы механизмов, основанный на обработке электрических параметров двигателя [7].

Лабораторные и натурные эксперименты подтвердили работоспособность прибора. На лабораторном кране (грузоподъемность 2 тонны) достигнуто снижение динамической нагрузки при использовании ограничителя грузоподъемности (ОГП). Результаты экспериментов показаны на рис. 2 и представлены в табл. 1.

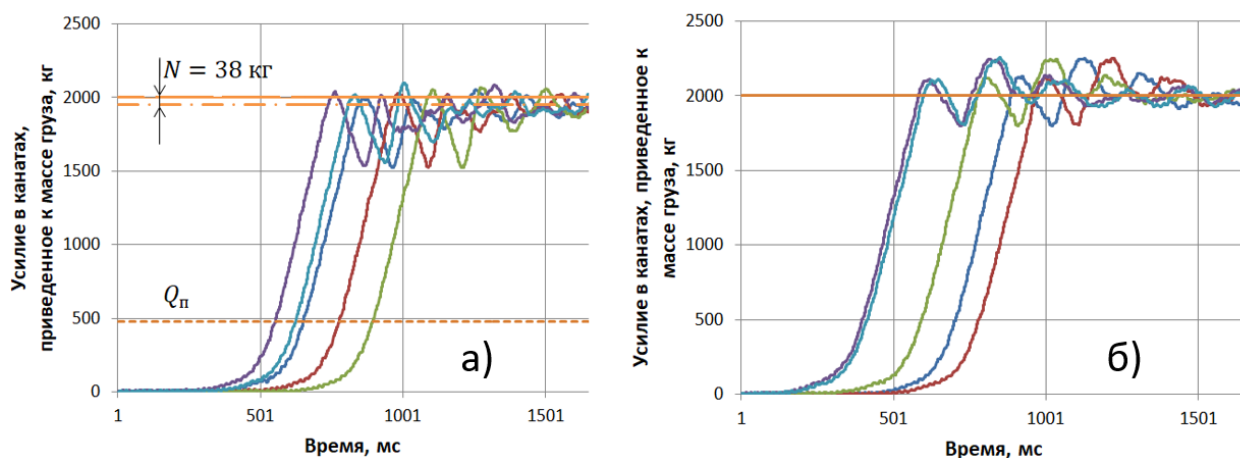


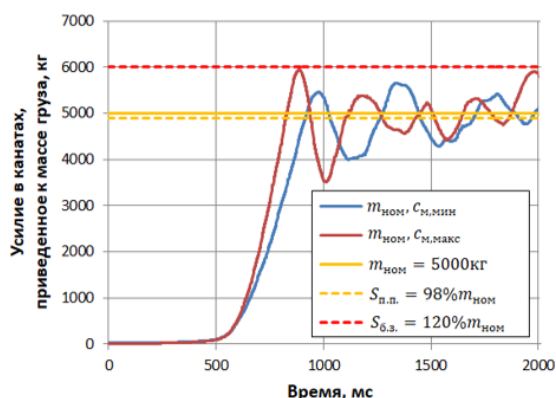
Рис. 2. График усилия в канатах а) при попытке подъема груза запрещенной массы (с ОГП); б) подъем без ОГП груза 125% от номинального

Табл. 1. Коэффициент динамичности с / без ОГП

		1	2	3	4	5
с ОГП	$Q_{ср}$	1963	1964	1972	1965	1968
	k_d	1,066	1,050	1,049	1,061	1,067
без ОГП	k_d	1,124	1,126	1,123	1,123	1,128

Продемонстрирована надежная работа прибора при произвольном положении грузовой тележки (рис. 3). Эксперимент проведен на однобалочном мостовом кране (г/п 5 тонн), установленном на ООО «ИТЦ «КРОС».

Динамические процессы при различном положении грузовой тележки и подъеме груза $m_{ном}$



Динамические процессы при различном положении грузовой тележки и подъеме груза $1,25m_{ном}$

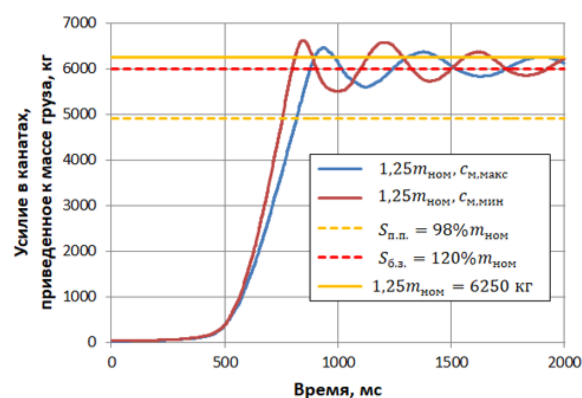


Рис. 3. Работа ОГП при различном положении грузовой тележки

Натурный эксперимент на кране (грузоподъемность 15 тонн), установленном на Тихвинском вагоностроительном заводе, показал снижение динамической нагрузки во всём диапазоне масс поднимаемых грузов в сравнении со штатной системой безопасности ControlPro компании KoneCranes. Результаты эксперимента представлены на рис. 4.

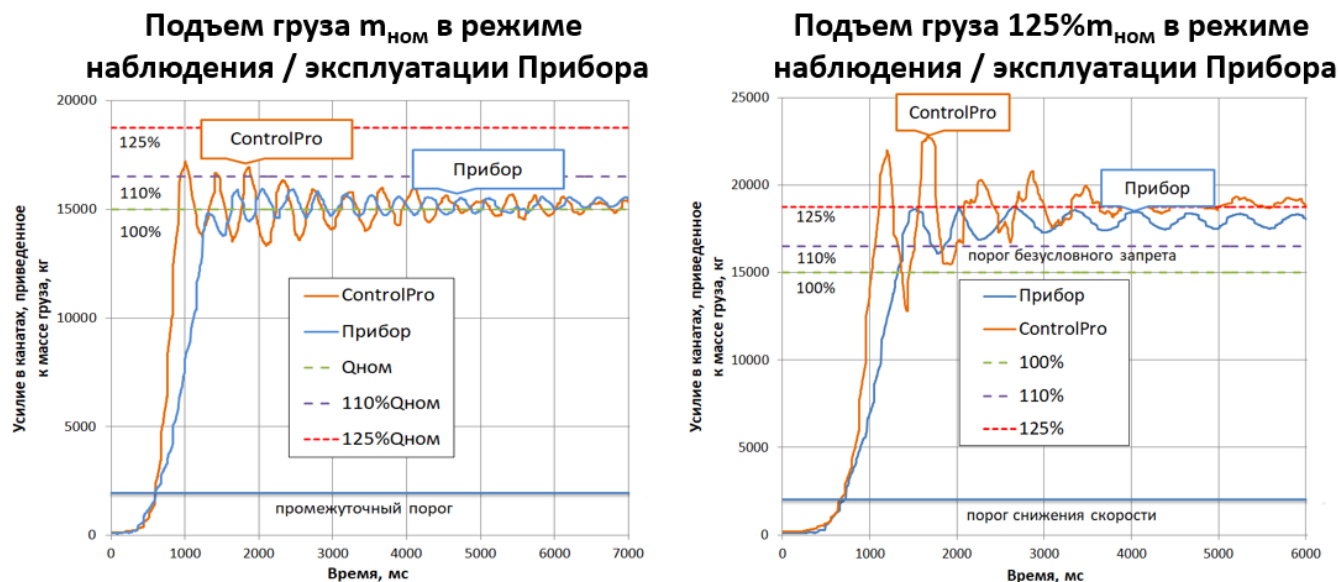


Рис.4. Усилие в канатах при подъеме номинального / запрещенного для подъема груза

Точность определения массы груза в реальном цикле составила 1,5% при требовании ГОСТ 33713-2015 в 3% (с грузами массой 8, 12, 15 тонн).

Таким образом, проведенное на кафедре РК4 исследование позволило наметить пути повышения эксплуатационных характеристик приборов безопасности и в ряде функций достичь уровня зарубежных образцов.

Список литературы

1. Назаров, А. Н. Алгоритмическая обработка объективной информации о характере работы кранов мостового типа / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях - 2023 : Материалы международной научно-практической конференции, Белгород, 21–23 сентября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 178-184. – EDN WGOGHA.
2. Патент № 2803775 С1 Российская Федерация, МПК G01M 5/00. Способ экспериментального определения жесткости канатного подвеса для кранов мостового типа : № 2022135212 : заявл. 29.12.2022 : опубл. 19.09.2023 / А. Н. Назаров, С. Д. Иванов, В. А. Потапов ; заявитель Закрытое акционерное общество "Инженерно-технический центр "КРОС". – EDN ZNOAHV.
3. 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.

4. Назаров, А. Н. Исследование влияния работы ограничителя грузоподъемности с промежуточными пороговыми 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.

5. 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.

6. 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 CBIJMP.

7. 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.

АВТОР

Назаров Александр Николаевич, ассистент кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), кандидат технических наук, alexnazavr@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.
2024. № 4. pp. 34 – 40.*

DOI:

Received: 09.12.2024

Accepted for publication: 12.12.2024

© International Public Organization "Integration strategy"

Research and development of the RC4 Department "Lifting and transport systems" for the creation of modern safety devices for hoisting machines

Alexander N. Nazarov

alexnazavr@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

The article presents the results obtained during the dissertation research on the development of a new generation bridge crane safety device. The functionality of the device is described. An assessment of the quality of the functions performed, obtained in laboratory and field experiments, is given.

Keywords: RC4 department, overhead crane, safety devices, capacity limiter, recorder of operation parameters, dynamics of hoisting mechanism.

References

1. Nazarov, A. N. Algorithmic processing of objective information about the nature of the work of bridge-type cranes / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Energy-resource-saving technologies and equipment in machine-building, road and construction industries - 2023 : Materials of the international scientific and practical conference, Belgorod, September 21-23, 2023. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2023. – pp. 178-184. – EDN WGOGHA.
2. Patent No. 2803775 C1 Russian Federation, IPC G01M 5/00. A method for experimentally determining the stiffness of a rope suspension for overhead cranes : No. 2022135212 : application. 12/29/2022 : publ. 09/19/2023 / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov, V. A. Potapov ; applicant Closed Joint Stock Company "KROS Engineering and Technical Center". – EDN ZNOAHV.
3. Nazarov, A. N. The driving force of the engine of the lifting mechanism of bridge cranes in real operating conditions / A. N. Nazarov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. – 2023. – Vol. 20, No. 1(89). – pp. 34-50. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-1-34-50. – EDN DJBHGB.
4. Nazarov, A. N. Investigation of the effect of the load capacity limiter with intermediate thresholds on the safety of overhead cranes / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Machines and installations: design, development and operation. - 2023. – No. 1. – pp. 41-52. – EDN SZRVVB.
5. Mikhalev, A.V. Application of the moving average algorithm for the task of determining the weight of a load / A.V. Mikhalev, A. N. Nazarov // Machines and installations: design, development and operation. - 2023. – No. 2. – pp. 44-57. – EDN XLXJRI.

6. Nazarov, A. N. The use of a weight measurement algorithm based on a moving average filter in the recorder of the parameters of the bridge crane operation / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2023. – Vol. 20, No. 4(92). – pp. 418-431. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-4-418-431. – EDN CBIJMP.

7. Ivanov, S. D. Assessment of the applicability of electric drive parameters to determine the load on the lifting mechanism of bridge-type cranes / S. D. Ivanov, A. N. Nazarov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2022. – Vol. 19, No. 1(83). – pp. 36-47. – DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-36-47. – EDN XZSFJQ.

AUTHOR

Alexander N. Nazarov, department assistant 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

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. 2024. № 4. С. 41 – 55

DOI:

Представлена в редакцию: 11.12.2024

Принята к публикации: 15.12.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.86

Сравнение зарубежного и отечественного подходов к конструированию тележек мостовых кранов

Федотов А. В.,
Медведева Ю. Н.*

* uly8686@mail.ru

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

В статье рассмотрены применяемые за рубежом конструкции опорных тележек для мостовых двухбалочных кранов. Проведено сравнение характеристик и конструкций отечественных и зарубежных тележек, в том числе тележек производителей SWF (Германия), Worldhoists (Китай). Рассмотрены условия производства. Дана оценка техническим и технологическим возможностям применения схожих решений производителями отечественных мостовых кранов. Описаны причины, препятствующие импортозамещению, и возможные пути решения.

Ключевые слова: крановая тележка; мотор-редуктор; мостовой кран; модульная конструкция.

Введение

Развитие подъемной техники, повышение ее технического уровня, обеспечение соответствия современным требованиям на уровне лучших мировых образцов является актуальной задачей. В её решении на кафедре «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана участвуют студенты, аспиранты и преподаватели [1-6].

До введения незаконных ограничений на торговлю с Россией отечественные производители при изготовлении кранов часто использовали зарубежные компоненты, механизмы или комплектные решения. Например, ООО «Завод Промышленного Краностроения» и ООО «ОКТ» использовали в кранах тележки SWF Nova (Германия) (рис. 1) [7,8]. Краны, оборудованные тележками SWF Nova, используются на производственной площадке ЗАО «ТВСЗ» (г. Тихвин) и других крупных предприятиях.

Имеются примеры применения только подъемных модулей данной тележки. При этом металлоконструкция изготавливалась силами предприятия (рис. 1) [9]. Так, в ООО «Пермский завод промоборудования» в приводах ранее разработанных конструкций применялись мотор-редукторы SEW Eurodrive FA, SEW Eurodrive G7 (рис. 1) [10].



Рис. 1. Зарубежные изделия на кранах отечественного производства.

Из-за существенного сокращения зарубежных поставок российские предприятия сталкиваются с проблемами в обслуживании имеющихся кранов, недостатком запасных частей и комплектующих. В тоже время отечественные производители не способны предложить модели, которые полностью заменят импортное оборудование. Таким образом, промышленные предприятия сталкиваются с серьезными трудностями при производстве и эксплуатации грузоподъемных кранов.

Вместе с тем, по данным РОССТАТа производство мостовых электрических кранов за период январь-июль 2024 года выросло в количественном выражении на 17,8 % относительно этого же периода 2023 года [11]. В этих условиях возрастает потребность замещения импортных конструкций отечественными аналогами.

Крановые тележки отечественных производителей имеют ряд существенных отличий от зарубежных образцов в конструкции и технических решениях. Целью работы является сравнительный анализ этих отличий и оценка возможности замены импортных комплектующих отечественными аналогами.

Сравнение подходов к проектированию тележек в России и за рубежом

Широкое распространение в России получила компоновка, показанная на рис. 2. Основные агрегаты механизмов стандартизированы, расположены на платформах сварной рамы тележки, а их валы соединены компенсирующими муфтами (наиболее часто зубчатыми). Одна из опор барабана совмещена с опорами вала редуктора.



Рис. 2. Тележки мостового крана ООО «ОКТ» [12], ООО «Еврокран» [13].

На рис. 3 показана тележка отечественной компоновки с редукторами РМ-500 и В-400 и двигателем серии МТ, упомянутая в учебном пособии [14] издания 1958 года. С тех пор конструкция не претерпела значительных изменений и является наиболее распространенной в отечественной практике.

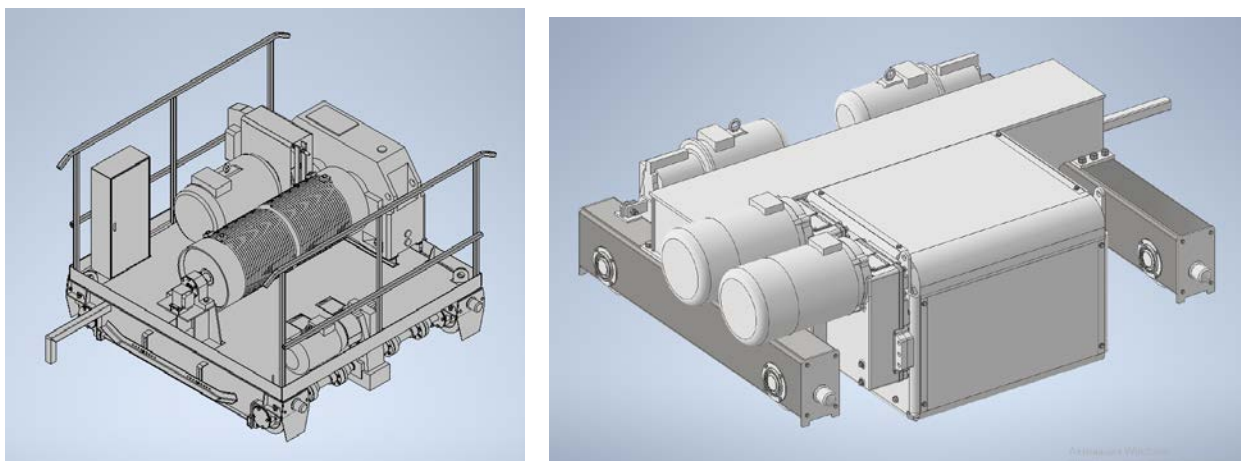


Рис. 4. Модели тележек, полученные в ходе проработки.

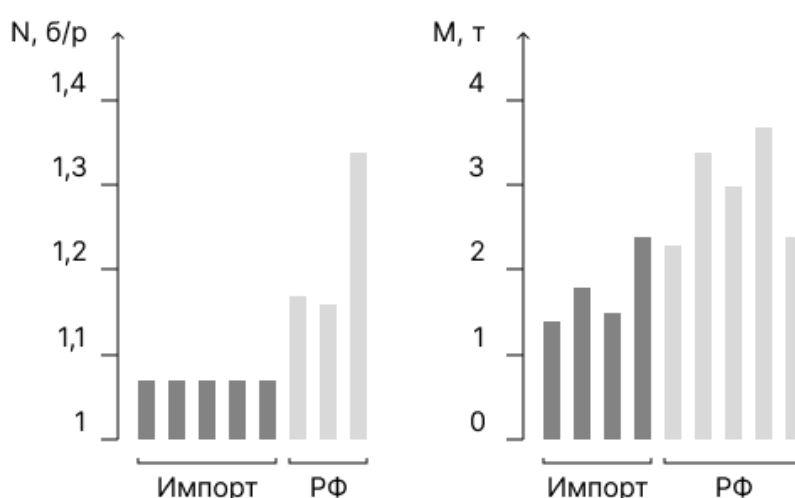


Рис. 5. Сравнение характеристик тележек:
а – по мощности, б – по массе.

Сравнение приведенных данных показывает, что импортные крановые тележки по сравнению с отечественными имеют меньшую массу и габариты. Отношение мощности электродвигателя подъема к полезной мощности механизма в зарубежных конструкциях заметно выше.

Другой особенностью тележек российского производства (рис. 2, 3) является низкая степень унификации установочных и присоединительных размеров комплектующих изделий в своих типоразмерных рядах. Например, для электродвигателей размеры регламентируются государственными стандартами, что позволяет унифицировать сами двигатели, но снижает уровень унификации механизма в целом. Из этого следует, что при изменении высоты подъема, скорости и др. меняются присоединительные и установочные размеры механизма, что приводит к необходимости внесения изменений в конструкцию рамы. Опыт отечественных производителей показывает, что процесс проектирования и изготовления рам при описанном подходе весьма трудоемок.

В применяемых за рубежом конструкциях используется агрегатирование механизмов в целом и их унификация на более высоком уровне. Например, в тележках Konecranes (Финляндия) серии СХТ (рис. 6) используется модульный принцип проектирования.

Подъемный механизм размещен в отдельном корпусе, который крепится к раме. Концевые балки тележки выполнены отдельно от поперечной балки и соединяются с ней с помощью болтового соединения. Во всех механизмах используются мотор-редукторы со встроенными тормозами, в следствие чего конструкция не содержит компенсирующих муфт. Механизм подъема может иметь два двигателя (суммирующий механизм). Размерный ряд установочных и присоединительных размеров отдельных агрегатов неизменен или сведен к нескольким позициям.



Рис. 6. Тележка Konecranes CXT.

Указанные меры позволяют варьировать характеристики тележки заменой отдельных компонентов, за счет чего упрощается процесс изготовления тележек с различными характеристиками путем сокращения номенклатуры компонентов.

Особенностью конструкции тележки Konecranes CXT, SWF Nova (Германия), R&M Spacemaster (США), Verlinde VT (Франция), Worldhoists K5 и K6 (Китай) является передача крутящего момента через внутреннее зацепление выходного вала-шестерни редуктора и зубчатого венца барабана [19] (рис. 7), что позволяет снизить крутящий момент на выходном валу редуктора, его габариты и массу. В некоторых исполнениях тележки Konecranes CXT грузоподъемностью до 20 т барабан опирается на подшипники скольжения, представляющие собой пару трения обечайки барабана и кольца из бронзы или фторопласта-4 [20] (рис.7), что позволяет использовать внутреннюю полость барабана для размещения электродвигателя [21].

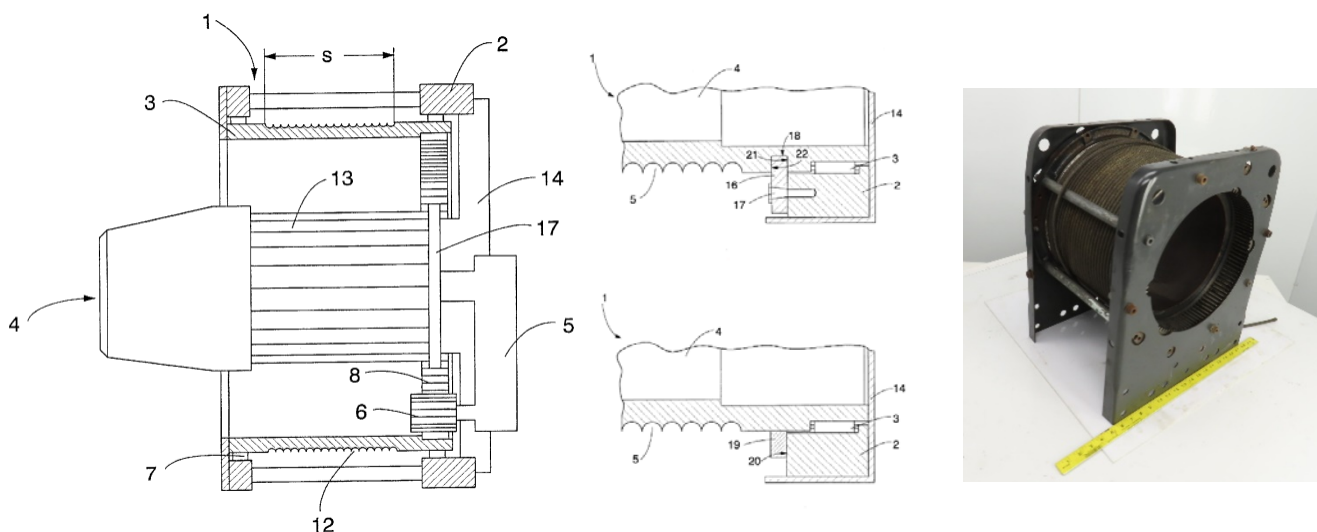


Рис. 7. Конструкция подъемного механизма Konecranes CXT

В конструкции механизма подъема тележек Worldhoists K2 (Китай), Ozfatihler PCN (Турция) рис. 8 и др. одной из опор барабана служит шлицевой выходной вал редуктора, расположенный с ним соосно. Редуктор установлен на листовые детали металлоконструкции. При этом муфты, компенсирующие перекося вал редуктора и ступицы барабана, отсутствуют. Таким образом, механизм статически неопределим, и основной сложностью реализации являются высокие требования к точности изготовления и сборки.

Мотор-редукторы указанной конструкции производятся за рубежом серийно, например SEW Eurodrive G..7 в Германии и DongHai DQ в Китае (см. рис. 9). Присоединительные размеры мотор-редуктора I.Mak IRC (Турция) показаны на рис. 10.



Рис. 8. Тележка Ozfatihler PCN.



Рис. 9. Мотор-редуктор DongHai DQ .

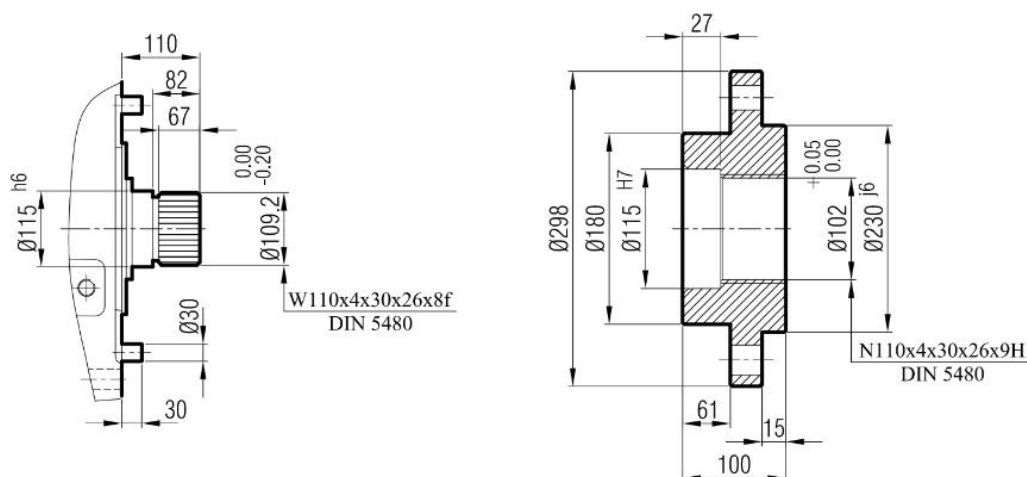


Рис. 10. Выходной вал редуктора I.Mak IRC 123 (Турция) и ступица.

Выявление причин различий в конструкциях

Особенностью производства тележек за рубежом является ориентация на широкий рынок сбыта и серийное производство. По данным каталогов, многие производители осуществляют продажу, предоставляют монтажные и сервисные услуги во многих странах мира.

В России по данным Росстата за весь 2023 год было произведено 2615 мостовых кранов [11]. При этом по данным [22] в 2018 году наибольший объем выпуска среди ключевых производителей не превысил 250 кранов, что соответствует мелкосерийному производству. Низкая серийность накладывает ограничения на производственные возможности предприятий.

По объемам закупок станков Россия заметно отстает от развитых стран и Китая [23]. На 2013 год средний возраст станков в России составил 21 год, что превышает показатели стран Европы и США [24]. Износ машин и оборудования (как основных фондов) на конец 2023 г. составил в РФ 57,29% [25]. При этом коэффициент обновления основных фондов равен 3,9%.

Существующее техническое оснащение предприятий России не обеспечивает точность изготовления деталей, которая требуется для реализации прогрессивных конструктивных схем. Статическая неопределимость приводит к возникновению нерасчетных нагрузок или отсутствию возможности сборки. Так, в [26] описан случай разрушения шлицевого соединения статически неопределимого механизма подъема двухбалочного крана, конструкция тележки которого соответствует отечественной. Разрушение произошло из-за контактной коррозии, при этом эксплуатационный перекося (предположительно, неучтенный при расчете соединения) в соединении от прогиба металлоконструкций тележки был оценен автором в $0,12^\circ$.

Конструкция некоторых элементов тележек европейского типа базово обусловлена точностью заготовок. Так, в тележках, производимых в России, для крепления к прокатным изделиям чаще всего используются приварные пластины, а за рубежом крепление может осуществляться непосредственно на их необработанные поверхности. Так, например, для установки продольной балки тележки SWF Nova с помощью болтового соединения непосредственно к профилю прямоугольного сечения. При использовании точного проката правка и механическая обработка будут иметь меньшую трудоемкость или могут быть исключены.

На примере профильной горячедеформированной трубы 8*300*200 длиной 6 м (таблица 2) и горячекатаного листа 8*2000*6000 (таблица 3) из низколегированной стали приведено сравнение допусков формы прокатных изделий нормальной точности согласно стандартам РФ и Европы (в скобках указаны допуски при повышенной точности). В таблице приведено отношение суммарных полей допуска по ГОСТ к аналогичным характеристикам по EN.

Таблица 2. Основные данные горячедеформированной трубы

Стандарт	Криволинейность	Вогнутость, выпуклость сторон	Скручивание
ГОСТ 32931	3 (1) мм на 1 м; 0,2% (0,1%) на всю длину	2 (1,5) мм	2° (2,5 мм) на длине 1 м
EN 10210-2	3 мм на 1 м; 0,2% на всю длину	±1%	2 + 0,5 мм/м длины
Отношение требований ГОСТ к EN	1	0,67	3

Таблица 3. Основные данные горячекатаного листа

Стандарт	Плоскостность
ГОСТ 19903	12 (5, 8, 10) мм на 1 м длины
EN 10029	7 (3) на длине 1 м, 11 (6) на длине 2 м
Отношение требований ГОСТ к EN	2,18

Согласно таблицам 2 и 3 допуски формы по европейским нормам для рассмотренных изделий более жесткие для большей части нормируемых параметров.

Таким образом, принципиальное отличие отечественных конструкций от зарубежных видится в отличающихся требованиях к точности, обусловленных условиями производства тележек.

Другая причина отличий в конструкции тележек – развитое за рубежом собственное производство агрегатов механизма подъема. Так, ведущие производители (Kopescanes, Worldhoists и др.) разрабатывают и изготавливают компоненты приводов для своей техники самостоятельно.

Отечественные стандартные компоненты значительно отличаются от зарубежных по массе и габаритам в сторону увеличения. Для механизма подъема чаще всего применяются общепромышленные редукторы (типов Ц2У, РЦД и др.) и крановые редукторы, не отличающиеся от них конструктивно (РК и др.). Мотор-редукторы для механизма подъема отечественной промышленностью не производятся. За рубежом приводы подъема большинства кранов содержат мотор-редуктор. Сравнение редукторов механизма подъема приведено в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики редукторов механизма подъема

Агрегат	Страна	п, об/мин	Встроенный тормоз	Р, кВт/кг	L, кВт/м
Электродвигатель MT(F)H200LA-6 + редуктор Ц2У-315	Россия	1000	нет	0,03	15,7
Электродвигатель АМТК180S4 + редуктор Ц2У-315	Россия	1500	да (под заказ)	0,03	18,4
Мотор-редуктор АВМ ZFB 150/GHR200	Германия	3000	да	0,10	23,7
Мотор-редуктор Yilmaz VR573.1K-3E160L/4D	Турция	1500	Да (под заказ)	0,06	17,2

Здесь п – синхронная частота (в т.ч. допускаемая);

р – отношение номинальной мощности э/д к массе агрегата;

L – отношение мощности э/д (в т.ч. допускаемой) к наибольшему габариту агрегата.

Из данных, приведенных в таблице 4, следует, что по мощности, отнесенной к массе или габаритам, зарубежные агрегаты заметно превосходят отечественные. Кроме того, для зарубежных агрегатов доступны более высокие синхронные частоты.

На рис. 11 показана масса m , габаритная длина L и диаметр центрирующей поверхности фланца d двигателя в зависимости от мощности электродвигателя. Приведены двигатели с мощностями до 30 кВт из наиболее распространенной в РФ серии МТН (для синхронной частоты 1000 об/мин) [27], серии АМТК с независимой вентиляцией (1500 об/мин), и двигатели, изготавливаемые и применяемые в приводах подъема производителем Worldhoists (3000 об/мин) [28].

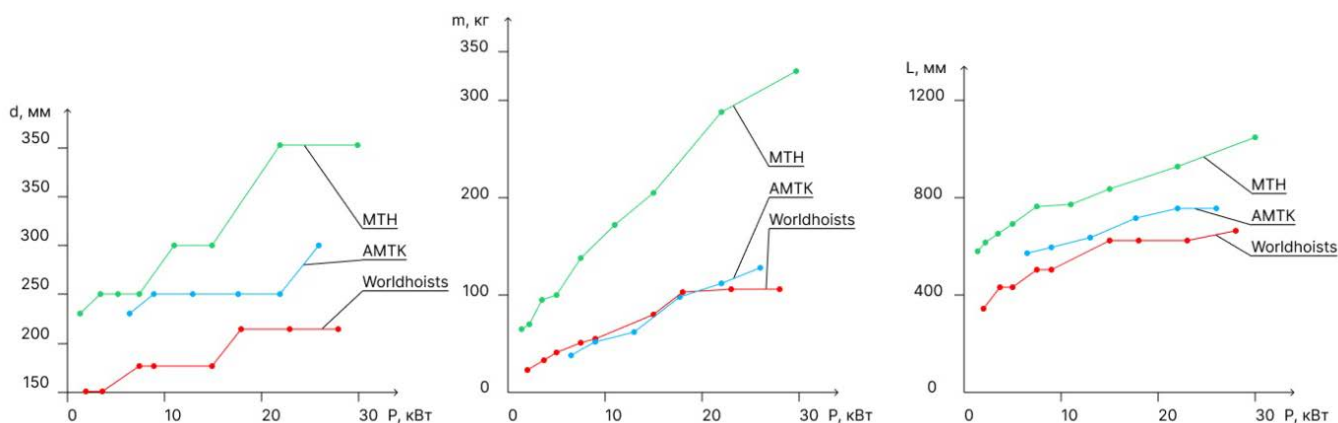


Рис. 11. Сопоставление параметров двигателей

Анализируя рис. 11 очевидно, что присоединительные размеры двигателей линейки МТН меняют свои значения с меньшим шагом, чем у двигателей более новых серий. При использовании последних можно обеспечить большую степень унификации. По рассмотренным характеристикам двигатели АМТК близки к импортным моделям.

Таким образом, среди отечественных крановых электродвигателей есть близкие аналоги зарубежным моделям. Однако редукторы, сходные в конструкции с рассмотренными зарубежными моделями, в России не производится.

Выводы

Сравнение зарубежного и отечественного подходов к конструированию тележек мостовых кранов показало:

- конструктивно-компоновочные схемы отечественных тележек устарели и не обеспечивают технические характеристики, сопоставимые с зарубежными образцами, имеющими модульную компоновку;
- ключевыми комплектующими при изготовлении современных тележек являются модули, содержащие мотор-редукторы и барабаны в сборе;
- существующее техническое оснащение российских предприятий не обеспечивает точность изготовления деталей, которая требуется для производства мотор-редукторов и реализации прогрессивных модульных конструкций;
- мелкосерийное или единичное изготовление тележек модульной компоновки не рентабельно.

Исходя из результатов сравнения, можно заключить, что критически важным условием производства тележек европейского типа является повышенная точность изготовления комплектующих, что потребует значительных вложений в техническое переоснащение отечественных предприятий. Однако это нецелесообразно при низком уровне спроса на внутреннем рынке.

Альтернативным направлением перехода к производству модульных комплектующих представляется применение конструктивных решений, направленных на снижение требований к точности изготовления деталей. Например, в работе [29] выявлено положительное влияние бочкообразной модификации шлицов на распределение контактной нагрузки в шлицевом соединении при перекосе $0,12^\circ$. Бочкообразная модификация зубьев передач используются в редукторе SEW Eurodrive G..7 [30]. Также возможно введение деталей и соединений, обеспечивающих самоустанавливаемость передач механизма подъема. В [31] рассмотрена конструкция зубчатой шестерни, в которой соединение венца

со ступицей выполнено с помощью бочкообразных роликов. Там же описаны результаты испытания шестерен подобной конструкции: сниженный износ и шум, расположение пятна контакта на всей длине зуба.

С целью практической реализации указанной альтернативы на кафедре РК4 «Подъемно-транспортные системы» проводится теоретическая и конструкторско-технологическая проработка унифицированных модулей. Результаты данной работы создадут основу не только для замены импортных комплектующих отечественными аналогами, но и для дальнейшего развития производственной базы мостовых кранов.

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Объективная информация о работе подъемно-транспортных машин как основа повышения качества информационных систем грузообработывающих 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.
5. 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. Mikhalechik // Journal of Physics: Conference Series, Belgorod, 09–10 марта 2021 года. Vol. 1926. – Belgorod: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 012047. – DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012047. – EDN JIUUGG.
6. 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.
7. Галерея продукции производителя ООО «Завод Промышленного Краностроения» [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя ООО «Завод Промышленного Краностроения». URL: http://zpk-prom.ru/galereya.html/attachment/img_2067 (дата обращения 05.11.2024).
8. Каталог ООО «ОКТ» [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя ООО «ОКТ». URL: <https://tyumen.krantehpto.ru/upload/catalog.pdf> (дата обращения 05.11.2024).
9. Тележка мостового крана [Электронный ресурс]: Информационный сайт «Мостовые краны». URL: <https://mostovoi-kran.ru/telezhka-mostovogo-krana/> (дата обращения 05.11.2024).

10. Новости ООО «Пермский завод промоборудования» [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя ООО «ОКТ». URL: <https://pzpo.ru/company/news/> (дата обращения 05.11.2024).
11. Социально-экономическое положение России 2023. – М.: Росстат, 2023. – 360 с.
12. Галерея продукции производителя ООО «ОКТ» [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя ООО «ОКТ». URL: <https://tyumen.krantehpto.ru/production/kranovoe-oborudovanie/kranovaya-telezhka/> (дата обращения 03.11.2024).
13. <https://kranbalki.ru/mostovye-krany/komplektuyushchie/114-kranovaja-telezhka.html>
14. Руденко Н.Ф. Грузоподъемные машины. Атлас конструкций – М.: МАШГИЗ, 1958. – 126 с.
15. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. Атлас конструкций – М.: Машиностроение, 1973. – 255 с.
16. Техническое руководство SWF Krantechnik [Электронный ресурс]: Официальный сайт SWF Krantechnik. URL: <https://swfitalia.it/> (дата обращения 05.11.2024).
17. Каталог продукции производителя Ozfatihler [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя Ozfatihler. URL: <https://ozfatihlervinc.com.tr/en/double-girder-hoists/> (дата обращения 05.11.2024).
18. Каталог продукции производителя Worldhoists [Электронный ресурс]: Сайт дистрибьютора ООО «Штефан-Индастри». URL: <https://stephanindustry.ru/brand/world-hoists> (дата обращения 13.11.2024).
19. Ari Kininiity, inventor; KCI Konecranes Plc., assignee. Hoisting apparatus. United States patent US 6,619,625. 2003 Sep 16.
20. Ari Kininiity, inventor; KCI Konecranes Plc., assignee. Hoisting apparatus. United States patent US 6,619,625. 2003 Sep 16.
21. Страница товара Konecranes CXT hoist [электронный ресурс]: сайт агрегатора Bullseye industrial sales LLC. URL: <https://bullseyeindustrialsales.com/konecranes-cxt40410020p35fbn0s-cable-drum-wire-rope-hoist-spool-w-gear-8mm-wire-215273> (дата обращения 13.11.2024).
22. Обзор игроков рынка мостовых кранов [электронный ресурс]: сайт маркетингового агентства MegaResearch. URL: https://www.megaresearch.ru/knowledge_library/klyuchevye-igroki-mostovyyh-kranov-ih-doli-narynke-2648 (дата обращения 12.10.2024).
23. Машиностроение в России и странах мира [электронный ресурс]: сайт refru.ru. URL: <https://refru.ru/prom11.html#g4> (дата обращения 24.11.2024).
24. Анализ рынка станкостроения РФ [электронный ресурс]: форум aftershock.ru. URL: <https://aftershock.news/?q=node/358093> (дата обращения 18.11.2024).
25. Основные фонды и другие нефинансовые активы [Электронный ресурс]: официальный сайт Росстата. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14304/> (дата обращения: 21.10.2024).
26. Monti S., Guagliano M. Failure analysis of an involute spline coupling of an overhead bridge crane // Engineering Failure Analysis. Vol. 104. 2019. P. 321-330. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.06.010
27. Каталог продукции производителя АО «Энерал» [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя АО «Энерал». URL: https://eneral.ru/catalog/elektrodvigateli/mtn_f_4mtm_h_mtkn_f/ (дата обращения 03.11.2024).

28. Каталог продукции производителя ООО «ЭЛДИН» [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя ООО «ЭЛДИН». URL: https://www.eldin.ru/catalog/trehfazie_dlya_kranov.pdf (дата обращения 03.11.2024).

29. Hong J., Talbot D., Kahraman A. Load Distribution Analysis of Spline Joints // Gear Technology Magazine. May. 2014. P. 44-48.

30. Страница продукта SEW Eurodrive G..7 gearmotors [Электронный ресурс]: Официальный сайт производителя SEW Eurodrive. URL: <https://www.sew-eurodrive.nl/products/gear-units/gear-up-to-date/g7-hubwerke/drive-technology-hoist-units-g7-gearmotors.html> (дата обращения 17.11.2024).

31. Основная статья о проблеме самоустанавливаемости [Электронный ресурс]: сайт pravmash.ru. URL: <https://pravmash.ru/osnovnaya-statya-o-probleme-samoustanavlivaemosti/> (дата обращения 24.11.2024)

АВТОРЫ

Федотов Алексей Владимирович, студент 5-го курса кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, 105005, Россия.

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

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.
2024. № 4. pp. 41 – 55.

DOI:

Received: 11.12.2024

Accepted for publication: 15.12.2024

© International Public Organization “Integration strategy”

Comparison of foreign and domestic approaches to the design of overhead crane trolleys

Alexey V. Fedotov,
Yulia N. Medvedeva *

uly8686@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

The article discusses the designs of support trolleys used abroad for overhead double-girder cranes. The characteristics and designs of domestic and foreign trolleys, including bogies from manufacturers SWF (Germany), Worldhoists (China), were compared. The production conditions are considered. The assessment of the technical and technological possibilities of using similar solutions by manufacturers of domestic overhead cranes is given. The reasons preventing import substitution and possible solutions are described.

Keywords: crane trolley; gear motor; overhead crane; modular design.

References

1. Mikhalev, A.V. Application of the moving average algorithm for the task of determining the weight of a load / A.V. Mikhalev, A. N. Nazarov // Machines and installations: design, development and operation. - 2023. – No. 2. – pp. 44-57. – XLXJRI PUBLISHING HOUSE.
 2. Ivanov, S. D. Assessment of the applicability of electric drive parameters to determine the load on the lifting mechanism of bridge-type cranes / S. D. Ivanov, A. N. Nazarov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. - 2022. – VOL. 19, NO. 1(83). – PP. 36-47. – DOI 10.26518/2071-7296-2022-19-1-36-47. – E-MAIL ADDRESS XZSFJQ.
 3. Nazarov, A. N. The driving force of the engine of the lifting mechanism of bridge cranes in real operating conditions / A. N. Nazarov // Bulletin of the Siberian State Automobile and Road University. – 2023. – Vol. 20, No. 1(89). – pp. 34-50. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-1-34-50. – EDITORIAL NUMBER DJBHGB.
 4. Objective information about the work of lifting and transport machines as a basis for improving the quality of information systems of cargo handling enterprises / N. Y. Ivanova, S. D. Ivanov, S. A. Reliable, A. N. Nazarov // Machines and installations: design, development and operation. - 2023. – No. 2. – pp. 81-96. – MGIMO PUBLISHING HOUSE.
 5. Ivanov, S. D. The choice of a rational algorithm for data processing of the weighing system of a lifting crane / S. D. Ivanov, A. N. Nazarov, N. L. Mikhalev // Physical journal: A series of conferences, Belgorod, March 09-10, 2021. Volume 1926. – Belgorod: VGD Publishing House, LLC, 2021. – Page 012047. – DOI 10.1088/1742-6596/1926/1/012047. – EDN JIUUGG.
 6. Nazarov, A. N. Investigation of the effect of the load capacity limiter with intermediate thresholds on the safety of overhead cranes / A. N. Nazarov, S. D. Ivanov // Machines and installations: design, development and operation. – 2023. – No. 1. – pp. 41-52. – EDN SRVVB.
-

7. Gallery of products of the manufacturer LLC "Industrial Crane Plant" [Electronic resource]: Official website of the manufacturer LLC "Industrial Crane Plant". URL: http://zpk-prom.ru/galereya.html/attachment/img_2067 (accessed 05.11.2024).
8. Catalog of LLC "OCT" [Electronic resource]: The official website of the manufacturer of LLC "OCT". URL: <https://tyumen.krantehpto.ru/upload/catalog.pdf> (accessed 05.11.2024).
9. Bridge crane trolley [Electronic resource]: Information site "Bridge cranes". URL: <https://mostovoi-kran.ru/televhka-mostovogo-krana/> (accessed 05.11.2024).
10. News of Perm Promoborudovaniya Plant LLC [Electronic resource]: Official website of the manufacturer of OKT LLC. URL: <https://pzpo.ru/company/news/> (accessed 05.11.2024).
11. Socio-economic situation of Russia 2023. – Moscow: Rosstat, 2023. – 360 p.
12. Gallery of products of the manufacturer of LLC "OCT" [Electronic resource]: The official website of the manufacturer of LLC "OCT". URL: <https://tyumen.krantehpto.ru/production/kranovoe-oborudovanie/kranovaya-televhka/> (accessed 03.11.2024).
13. <https://kranbalki.ru/mostovye-kran/komplektuyushchie/114-kranovaya-televhka.html>
14. Rudenko N.F. Lifting machines. Atlas of structures – Moscow: MASHGIZ, 1958. – 126 p.
15. Alexandrov M.P. Lifting and transport machines. Atlas of structures – Moscow: Mashinostroenie, 1973. – 255 p.
16. Technical manual of SWF Krantechnik [Electronic resource]: Official website of SWF Krantechnik. URL: <https://swfitalia.it/> (accessed 11/05/2024).
17. Production catalog of producer Ozfathler [Electronic resource]: Official website of producer Ozfathler. URL: <https://ozfathlervinc.com.tr/en/double-girder-hoists/> (accessed 05.11.2024).
18. Catalog of products of world leaders [Electronic resource]: Website of the distributor of Itan-Industry LLC. URL: <https://stephanindustry.ru/brand/world-hoists> (accessed 11/13/2024).
19. Ari Kininiti, inventor; KCI Konecranes Plc., legal successor. Lifting device. US Patent US 6,619,625 dated September 16, 2003.
20. Ari Kininiti, inventor; KCI Konecranes Plc., legal successor. Lifting device. United States Patent US 6,619,625. 2003, September 16.
21. Installation of the Konecranes CXT lift [electronic resource]: Bullseye industrial sales LLC. URL: <https://bullseyeindustrialsales.com/konecranes-cxt40410020p35fhn0s-cable-drum-wire-rope-hoist-spool-w-gear-8mm-wire-215273> (accessed 11/13/2024).
22. Overview of the gaming market of major players [electronic resource]: website of the megaresearch marketing agency. URL: https://www.megaresearch.ru/knowledge_library/klyuchevye-igroki-mostovyh-kranov-ih-doli-narynke-2648 (accessed 12.10.2024).
23. Scaling in Russia and the outside world [electronic resource]: website refru.ru . URL: <https://refru.ru/prom11.html#g4> (accessed 11/24/2024).
24. Due to the sales market of the Republic [electronic resource]: <url> aftershock.ru . URL: <https://aftershock.news/?q=node/358093> (accessed 11/18/2024).
25. Fixed assets and other non-financial assets [Electronic resource]: official website of Rosstat. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14304/> (accessed: 10/21/2024).
26. Monti S., Guagliano M. Failure analysis of an involute spline coupling of an overhead crane // Engineering failure analysis. Volume 104. 2019. pp. 321-330. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2019.06.010.

27. Catalog of products of the manufacturer of JSC "Eneral" [Electronic resource]: The official website of the manufacturer of JSC "Eneral". URL: https://eneral.ru/catalog/elektrodvigateli/mtn_f_4mtm_h_mtkn_f/ (accessed 03.11.2024).
28. The catalog of products of the manufacturer of LLC "ELDIN" [Electronic resource]: The official website of the manufacturer of LLC "ELDIN". URL: https://www.eldin.ru/catalog/trehfazie_dlya_kranov.pdf (publication date 03.11.2024).
29. Hong J., Talbot D., Kahraman A. Analysis of load distribution in splined joints // Journal of Gear Technology. May. 2014. pp. 44-48.
30. The production scheme of SEW Eurodrive G..7 gear motors [Electronic resource]: The official website of the manufacturer SEW Eurodrive. URL: <https://www.sew-eurodrive.nl/products/gear-units/gear-up-to-date/g7-hubwerke/drive-technology-hoist-units-g7-gearmotors.html> (accessed 11/17/2024).
31. Main article on the method of self-regulation [Electronic resource]: website pravmash.ru . URL: <https://pravmash.ru/osnovnaya-statya-o-probleme-samoustanavlivaemosti/> (accessed 11/24/2024)..
-

AUTHORS

Alexey V. Fedotov, 5th year student of the Department of Lifting and Transport Systems, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2nd Bauman str., 5, building 1, 105005, Russia.

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