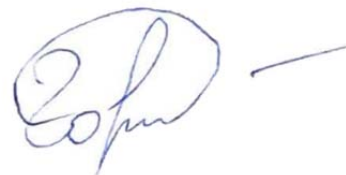


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»



На правах рукописи

Горелова Мария Витальевна

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМНО-
ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕНОРМИРУЕМЫХ
ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ**

2.5.2. Машиноведение (технические науки)

Автореферат
диссертация на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Сладкова Любовь Александровна

Официальные оппоненты: **Доценко Анатолий Иванович**
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», кафедра «Дорожно-строительные машины», профессор

Ромашко Александр Мефодиевич
кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», кафедра «РК-4» Подъемно-транспортные системы, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тверской государственный технический университет»

Защита состоится 15 февраля 2024 г., в 13.00 на заседании диссертационного совета Д 40.2.002.07 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. ГСП-4, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 2505.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.rut-miit.ru.

Автореферат разослан « ____ » декабря 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета  Воронин Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Не смотря на огромное количество научных трудов в области обеспечения безопасности грузоподъемных сооружений (в том числе автомобильных кранов), статистика, приведенная в документах Ростехнадзора свидетельствует о высокой степени их аварийности из-за потери устойчивости, которая по среднестатистическим данным из года в год изменяется незначительно и не в сторону снижения. Авария крана сопровождается, как правило, его опрокидыванием, что влечет не только серьезные экономические затраты, но и человеческие жертвы.

Анализ многолетних исследований ученых показал, что основными причинами потери устойчивости стреловых самоходных кранов (в дальнейшем, кранов) являются превышение грузоподъемности, ветровые нагрузки, нарушение режимов эксплуатации, которые учтены нормативными документами. Влияние факторов, относящихся к состоянию опорной поверхности под краном, изменению положения центра тяжести крана в процессе работы, климатическому, человеческому, не предусмотрены расчетными документами и ГОСТ Р 54769-2011. Очевидно, что действие каждого из них и автоматизация контроля их управлением требует дополнительных исследований.

Сказанное определяет актуальность работы по созданию автоматизированного контроля управления работой не только кранов, но и других грузоподъемных сооружений, предотвращая их опрокидывание, информируя оператора о текущем состоянии его основных систем от действия как нормируемых, так и ненормируемых факторов в процессе выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Степень разработанности темы исследования:

Оценка устойчивости кранов проводится на этапе проектировании на основе нормативных документов, созданных на основании теоретических и экспериментальных разработок отечественных ученых: Кифера Л.Г., Гобермана Л.А., Гохберга М.М., Вершинского А.В., Александрова М.П., которые периодически дополняются. Вопросами устойчивости кранов, а также изучением процессов, происходящих при их опрокидывании, и причин аварий в настоящее время занимаются ученые ведущих вузов России и зарубежья: Щербаков В.С., Коровин К.В., Лагерев А.В., Лагерев И.А., Потахов Д.А., Сладкова Л.А., Сорокин П.А., Жильцов А.В., Козлов М.В., Чернов А.В., Naala M., Fujioka D.D., Jeng S.L., Kasalak W., Majewski M., Yang C.F. и др. Научный интерес в этом направлении представляют исследования, представленные в диссертациях, выполненных в РУТ (МИИТ): Крылова В.В., Мишина А.В., Григорьева П.А.

В рассматриваемых работах авторы проводили исследования по изменению устойчивости кранов в статическом и динамическом режимах нагружения при

погрузочно-разгрузочных работах без учета действия изменения положения их центра тяжести и совокупного влияния ненормируемых факторов.

Теоретические исследования совместно с численным экспериментом, анализ и оценка изменения положения указанных выше параметров позволят разработать мероприятия по повышению устойчивости кранов за счет внесения в них частичных конструктивных изменений и разработать принцип автоматизированного (с минимальным участием человека) управления краном, предотвращая его опрокидывание в условиях ненормируемых внешних факторов.

Целью диссертационного исследования является автоматизация предотвращения опрокидывания кранов (подъемно-транспортных средств) при их эксплуатации в условиях действия ненормируемых внешних факторов.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи диссертационного исследования:**

1 провести анализ состояния вопроса по определению устойчивости и аварийности кранов в условиях действия нормируемых и ненормируемых факторов;

2 выявить и оценить аварийность кранов при действии ненормируемых внешних факторов;

3 провести теоретические исследования и численный эксперимент изменения устойчивости кранов в процессе погрузочно-разгрузочных работ при действии ненормируемых внешних факторов;

4 разработать конструктивные изменения и мероприятия по созданию автоматизированной системы (сократить долю участия человека) обеспечения устойчивости кранов в условиях ненормируемых внешних факторов;

5 разработать пример практической реализации системы автоматизации контроля управления кранами при погрузочно-разгрузочных работах длинномерных грузов.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1 предложена методология выявления и оценки ненормируемых внешних факторов, являющихся причиной аварийности кранов;

2 на основании проведенных теоретических исследований разработаны математические модели изменения показателей устойчивости при выполнении погрузочно-разгрузочных работ;

3 предложены конструктивные решения, позволяющие автоматизировать процесс управления устойчивостью кранов (патенты № 2772847 С1 от 26.05.2022, № 2794284 С1 от 14.04.2023);

4 разработана система автоматизированного контроля и управления системой безопасности кранов от опрокидывания в условиях действия ненормируемых факторов, подтвержденный свидетельствами № 2021663916 от 25.08.2021, № 2021663692 от 20.08.2021.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что:

1 на основании методологии выявления и оценки причин аварийности кранов от действия ненормируемых внешних факторов, создана математическая модель прогноза их появления;

2 на основании проведенных теоретических исследований предложены конструктивные решения, позволяющие автоматизировать процесс проведения погрузочно-разгрузочных работ и предотвратить аварийность кранов (патенты № 2772847 С1 от 26.05.2022, № 2794284 С1 от 14.04.2023);

3 разработаны алгоритм и программа системы автоматизации контроля и управления системой безопасности кранов от опрокидывания при погрузочно-разгрузочных работах в условиях действия ненормируемых факторов (свидетельства № 2021663916 от 25.08.2021, № 2021663692 от 20.08.2021).

Методология и методы диссертационного исследования.

В диссертационной работе на основании системного анализа проведено обобщение, нормативной, справочной и научно-технической литературы по направлению исследования. Проведенные методы исследований основаны на базовых положениях теоретической механики, высшей математики, теории вероятностей и математической статистики, теории нейронных сетей, а также сходимость результатов со степенью доверительной вероятности не менее 0,95. Обработка результатов исследований проводилась в программных комплексах: Microsoft Excel, CodeSys и др.

Положения, выносимые на защиту:

– методология выявления и оценки ненормируемых внешних факторов, являющихся причиной аварийности кранов;

– математические модели изменения показателей устойчивости кранов при действии ненормируемых внешних факторов и, являющиеся результатом теоретических исследований, позволяющих внести изменения в конструкцию кранов для автоматизации процесса проведения и контроля погрузочно-разгрузочных работ с минимальным участием человека и предотвратить аварийность кранов в результате потери устойчивости;

– варианты практической реализации системы автоматизации контроля управления устойчивостью кранами при погрузочно-разгрузочных работах при действии ненормируемых внешних факторов.

Степень достоверности результатов обеспечивается сходимость результатов теоретических исследований с доверительной вероятностью 0,95 в соответствии с выбранными критериями, а также визуализацией разработанной автоматизированной системы безопасности работы кранов в условиях действия ненормируемых внешних факторов.

Апробация результатов работы. Основные и промежуточные результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры «Наземные транспортно-технологические средства» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» в 2020-2023 годах, а также на семи научно-технических конференциях и форумах российского и международного уровня:

- XIV Всероссийская конференции обучающихся «Национальное Достояние России» (10 октября 2020 года, «Интеграция», г. Москва);

- Международная научно-техническая конференция «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства» (2020 год, ФГБОУ ВО «ТИУ», г. Тюмень);

- Международный военно-технический форум «Армия-2020» (Круглый стол ФГБУ «ЦНИИ ИВ» Минобороны России «Особенности подконтрольной эксплуатации средств инженерного вооружения при их жизненном цикле», 26 августа 2020 года);

- Международный военно-технический форум «Армия-2021» (Круглый стол ФГКБОУ ВО «Михайловская военная артиллерийская академия» Министерства обороны Российской Федерации «Управление сложными организационно-техническими системами на основе интеллектуальных технологий», 26 августа 2021 года);

- XXVI Московская международная межвузовская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (12-13 мая 2022 года, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва);

- Всероссийская научно-практическая конференция «Инновационное развитие подъемно-транспортной техники (26-27 мая 2022 года, БГТУ, г. Брянск)

- 27-ая Московская международная конференция «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы» (26–27 апреля 2023 года, МГСУ, г. Москва).

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения с основными результатами и выводами, списка литературы из 73 наименования, 4-х приложений. Общий объем диссертации составляет 184 страниц, включая 47 рисунков, 14 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, основные положения, выносимые на защиту.

В **первом разделе** приведена статистика Ростехнадзора, свидетельствующая о том, что процент аварий кранов от общего количества аварий грузоподъемных средств составляет 87%, причем 3-е место по аварийности занимают стреловые самоходные краны (ССК). Опрокидывание ССК влечет за собой возможные жертвы

людей, находящихся в зоне аварии, а также значительный экономический ущерб для самой техники, расположенной вблизи инфраструктуры, что обуславливается как затратами на восстановление техники, так и на привлечение дополнительных ресурсов для устранения последствий аварии.

Системный анализ нормативной документации и научно-технической литературы позволил установить характер основных взаимосвязанных факторов возникновения аварий кранов: техногенный, человеческий, организационный, контролирующий, что совпадает с мнениями многих авторов. Помимо известных факторов, таких как скорость ветра, тип грунта, были рассмотрены температура воздуха в момент аварии, атмосферное давление, осадки, облачность, время суток, день недели, относительная влажность воздуха, которые по результатам исследований могут оказывать существенное влияние на состояние человека (самочувствие, внимательность, качество выполняемых работ и т.д.), данные по которым фиксировались в разработанной информативной таблице за период с 2006 по 2021г.г. Таким образом, было выявлено, что помимо известных факторов существуют и другие, которые на первый взгляд никак не влияют на аварийность ССК. С этой целью разработана методология выявления и оценки нормируемых и ненормируемых внешних факторов, являющихся причиной аварийности кранов.

Предлагаемая методология определения значимых факторов, влияющего на аварийность грузоподъемных кранов состоит из следующих этапов.

I Выявление значимых факторов по методу экспертной оценки (метод Хэя). В качестве экспертов (7 человек) были приглашены руководители (главный инженер, руководитель проекта, начальник участка, прораб) и специалисты, взаимодействующие непосредственно с техникой (оператор крана, специалист по техническому обслуживанию машин и механизмов, стропальщик). В качестве критериев оценивания факторов аварийности были выбраны:

- 1 Сложность считывания данных фактора датчиками;
- 2 Переменчивость фактора опрокидывания (внезапность изменения его значения);
- 3 Сложность прогнозирования возникновения фактора опрокидывания;
- 4 Оценка влияния фактора на физический процесс опрокидывания крановой конструкции;
- 5 Скорость (внезапность) возникновения фактора опрокидывания;
- 6 Сложность реагирования на возникновения фактора опрокидывания;
- 7 Зависимость предотвращения аварии от опыта крановщика.

Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа факторов по методу Хэя

Критерии оценивания от 1 до 7)	Температура	Скорость ветра	Влажность	Давление	Облачность	Осадки	Тип грунта	Время суток	День недели	Человеческий фактор	Суммы по столбцам
1	1	3	2	1	3	2	4	1	1	5	23
2	2	5	3	5	4	4	1	1	1	5	31
3	3	5	3	3	3	3	5	1	1	5	33
4	1	5	1	1	1	2	5	1	1	5	23
5	1	5	1	1	3	4	5	1	1	5	27
6	3	4	2	3	2	3	4	1	1	5	28
7	3	5	3	4	2	3	5	3	3	1	32
Сумма	14	32	15	18	18	21	29	9	9	31	197
Значимость	56	160	60	72	54	84	145	36	36	703	
Вес, %	7	19	7	8	6	10	17	4	4	18	

В таблице 1 видно, что к числу факторов, лежащих за пределами 10 %, на которые необходимо обратить внимание при эксплуатации стреловых самоходных кранов гипотетически следует отнести: человеческий фактор, подробно рассмотренные в научно-технической литературе; скорость ветра; несущую способность грунта, на котором работает кран (тип грунта); атмосферные осадки.

II Оценка достоверности значимости выявленных факторов по критерию Хи-квадрат позволила оценить влияние ненормируемых факторов по критериям нулевой (h_0) и альтернативной гипотез (h_1) по известному алгоритму: определение уровня значимости критерия; отбор необходимых данных из выборки; вычисление значения статистики критерия, отвечающей h_0 ; вычисление критической области, проверка статистики критерия на предмет попадания в критическую область; интерпретация достигнутого уровня значимости p и результатов.

В ходе статистического анализа аварий стреловых самоходных кранов выявлена значимость и необходимость учета состояния опорной поверхности, скорости ветра, атмосферного давления, влажности воздуха (вес 17), времени суток (вес 15). Температура воздуха имеет вес 3, день недели – вес 5, облачность – вес 9.

Совокупное влияние ненормируемых факторов приведено на рисунке 1.

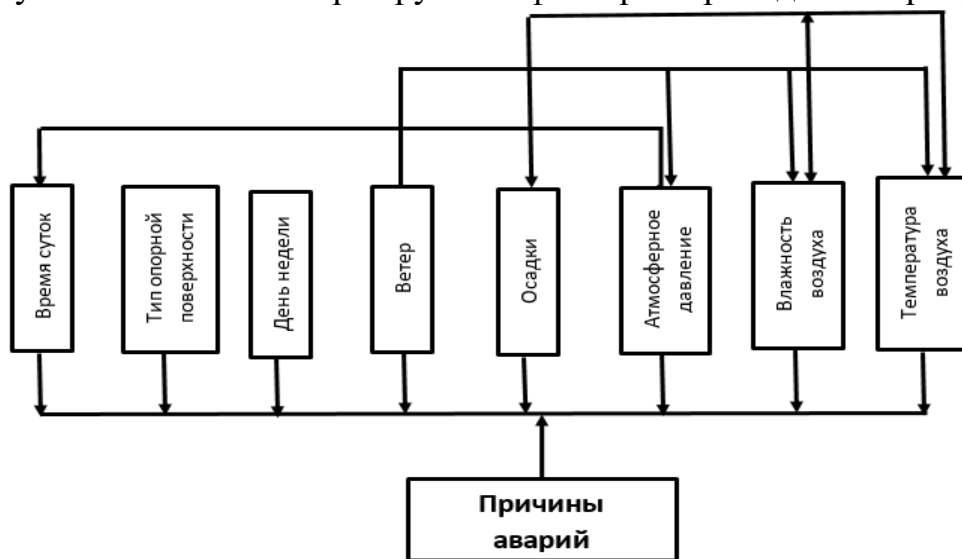


Рисунок 1 – Схема взаимовлияния факторов и влияние факторов на аварийность ССК

III Следующим этапом являлось уточнение весов выявленных факторов с помощью расчета, произведенного нейронной сетью, основанного на теореме Гаусса-Маркова. Значения весов факторов определялись в пределах от 0 до 1. Было установлено, что что наибольшую значимость имеют такие факторы, как тип грунта (вес 0,6000), скорость ветра (вес 0,4981), атмосферное давление (вес 0,3937), влажность воздуха (вес 0,1893), а также время суток (вес 0,2997), которые не учитываются нормативными документами. Остальные факторы являются незначимыми. Кроме того, в результате полученных данных можно сделать вывод о совокупном влиянии факторов (рисунок 2) как на аварийность стреловых самоходных кранов, так и на другие факторы (взаимовлияние факторов).

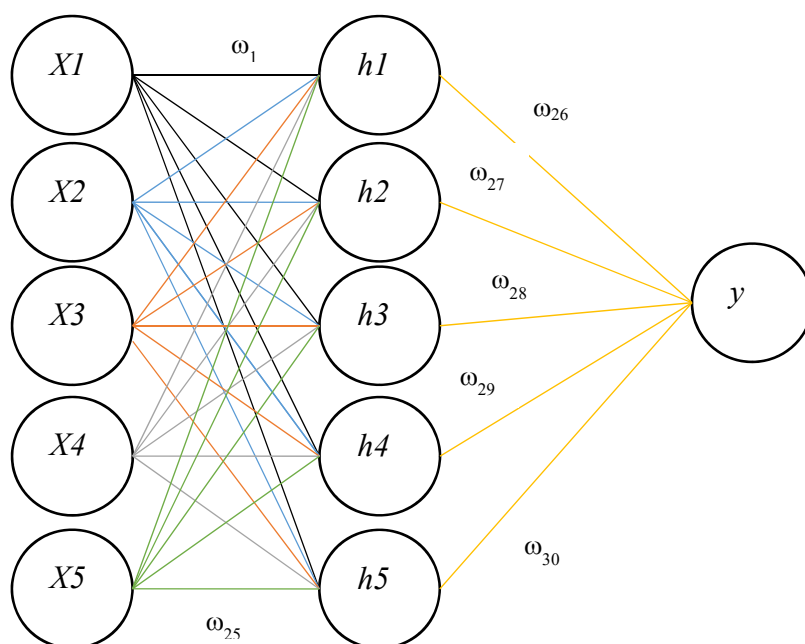


Рисунок 2 – Схема взаимовлияния факторов и влияние факторов на аварийность ССК

Определение веса фактора по предложенной методологии позволит учитывать влияние нормируемых и ненормируемых факторов пропорционально их весам при разработке приборов безопасности.

Анализ современных технических решений, проведенных по материалам патентных исследований позволил установить, что существующие методы подъема кранов при потере их устойчивости имеют определенные недостатки связанные: с невозможностью регулирования усилий в процессе подъема крана; с перекосом груза со смещенным центром тяжести при его подъеме или опускании.

Во **втором** разделе анализ теоретических исследований нагруженности ССК при выполнении погрузочно-разгрузочных работ проводимый в направлении изменения кинематики и динамики движения стрелы крана позволил установить, что:

- рекомендуемый ГОСТ Р 54769-2011 расчет устойчивости проводится по показателям внешней нагрузки, характеристике перемещаемого груза, типу стрелы и оборудования (площадь, сечение, сплошность стрелы);

- рассмотрение крана как динамической системы, состоящей из абсолютно жестких элементов с сосредоточенными податливостями и с заданными массами, затрудняет анализ и синтез решения задачи работы механизмов во времени при пространственном колебании груза, перемещаемого на гибком подвесе;

- представление кинетической энергии системы как континуальной системы ведет к тому, что выделение и исследование отдельного звена может привести к ошибке в расчетах, так как система в рабочем процессе должна рассматриваться относительно неподвижного основания;

Недостатком существующих способов исследования кинематики и динамики является отсутствие варианта поворота стрелы в вертикальной плоскости и учет изменения траектории при подъеме груза, что не позволяет учитывать появление дополнительных усилий в ССК. Представим стрелу крана (рисунок 3) в виде стержня, наклоненного под углом β к горизонту (ось x), который вращается вокруг вертикальной оси z .

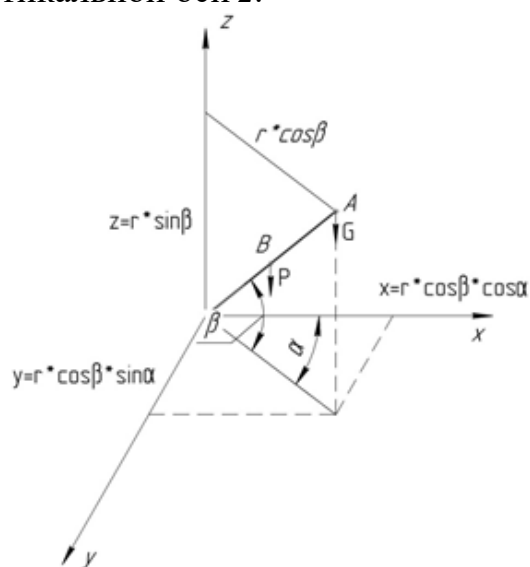


Рисунок 3 – Расчетное положение стрелы крана в сферической системе координат

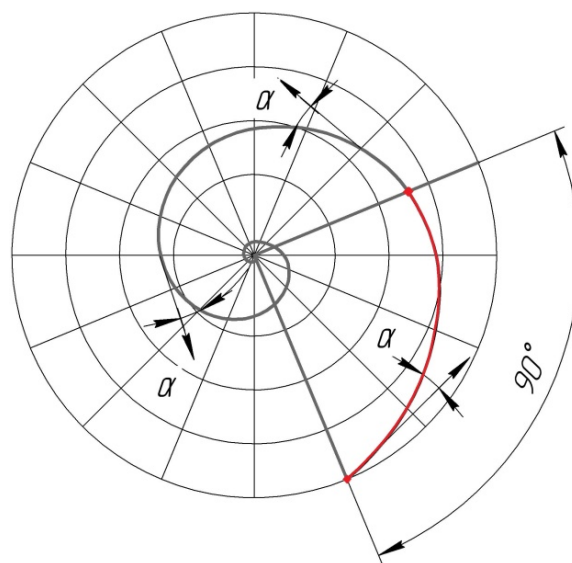


Рисунок 4 – Траектории движения центра тяжести стрелы и оголовка стрелы, вид сверху

Поворот стрелы на угол α в произвольный момент времени при одновременном изменении угла наклона β от оси x ведет к изменению нагруженности стрелы крана. На основании графоаналитического метода была построена траектория движения точек стрелы (рисунок 4) при совмещении указанных операций во время погрузочно-разгрузочных работ крана в зависимости от высоты подъема груза (угол β), которая является переменной величиной.

Уравнение Лагранжа для расчетной схемы (рисунок 3) представим как сумму кинетической T и потенциальной Π энергий:

$$L = T - \Pi = \frac{1}{2} \left[I_x (\dot{\alpha}^2 \sin^2 \beta + \dot{\beta}^2) + I_z (\dot{\alpha} \cdot \cos \beta + \dot{\beta} \cdot \dot{r})^2 \right] + g \cdot r \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \left(m_{cp} + \frac{m_{cmp}}{2} \right), \quad (1)$$

где $I_z, I_y, I_x, I_{yz}, I_{xz}, I_{xy}$ – осевые и центробежные моменты инерции стрелы; $z = r$ – координата положения центра тяжести стрелы по радиус-вектору.

Величин $\dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{r}$ находятся по формуле

$$\begin{cases} \dot{\beta} = \sqrt{\frac{2}{I_x} - \frac{\alpha_2 - \alpha_1 \cos \beta}{I_x \sin^2 \beta} - \frac{2mgh \cos \beta}{I_x}} \\ \dot{\alpha} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1 \cos \beta}{I_x \sin^2 \beta} \\ \dot{r} = \frac{\alpha_1}{I_x} - \frac{(\alpha_2 - \alpha_1 \cos \beta) \cos \beta}{I_x \sin^2 \beta} \end{cases} \quad (2)$$

где $\alpha_1 = I_z (\dot{\alpha} \cdot \cos \beta + \dot{\beta} \cdot r)^2$; $\alpha_2 = \dot{\alpha} \cdot I_x \sin^2 \beta + I_z (\dot{\alpha} \cdot \cos \beta + r) \cos \beta$.

Полученные выражения позволили утверждать, что установившийся режим движения, рассчитываемый по рекомендуемым ранее зависимостям, как для статической системы, требует уточнения. Это заключение вытекает из условия возникновения ускорения, а, следовательно, и возникновения дополнительных сил при перемещении точек по криволинейной траектории. Величина полной энергии системы связана прямо пропорциональной зависимостью с углом β , положением центра тяжести стрелы и углом ее наклона к оси вращения.

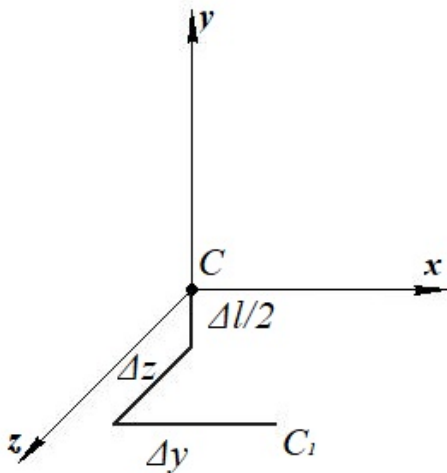


Рисунок 5 – Схема перемещения центра тяжести сечения

Установлено, что если смещение, произойдет в указанном направлении, то линия вдоль которой будет происходить опрокидывание будет лежать на прямой AB (рисунок 6). Из геометрии найдем:

$$\frac{AC_1}{C_1B} = \sqrt{\frac{(b - C_1E)^2 + (b - C_1K)^2}{(b + C_1E)^2 + (b + C_1K)^2}} \quad (3)$$

Полученное выражение (3) позволяет определить моменты опрокидывания, возникающие в опорах крановой конструкции и регулировать усилия при проседании опор. Использование различных датчиков для снятия текущих значений усилий в опорах, установленных в точках, указанных на рисунке 6, позволяют создавать приборы безопасности, фиксирующие актуальные значения изменения давления в опорах.

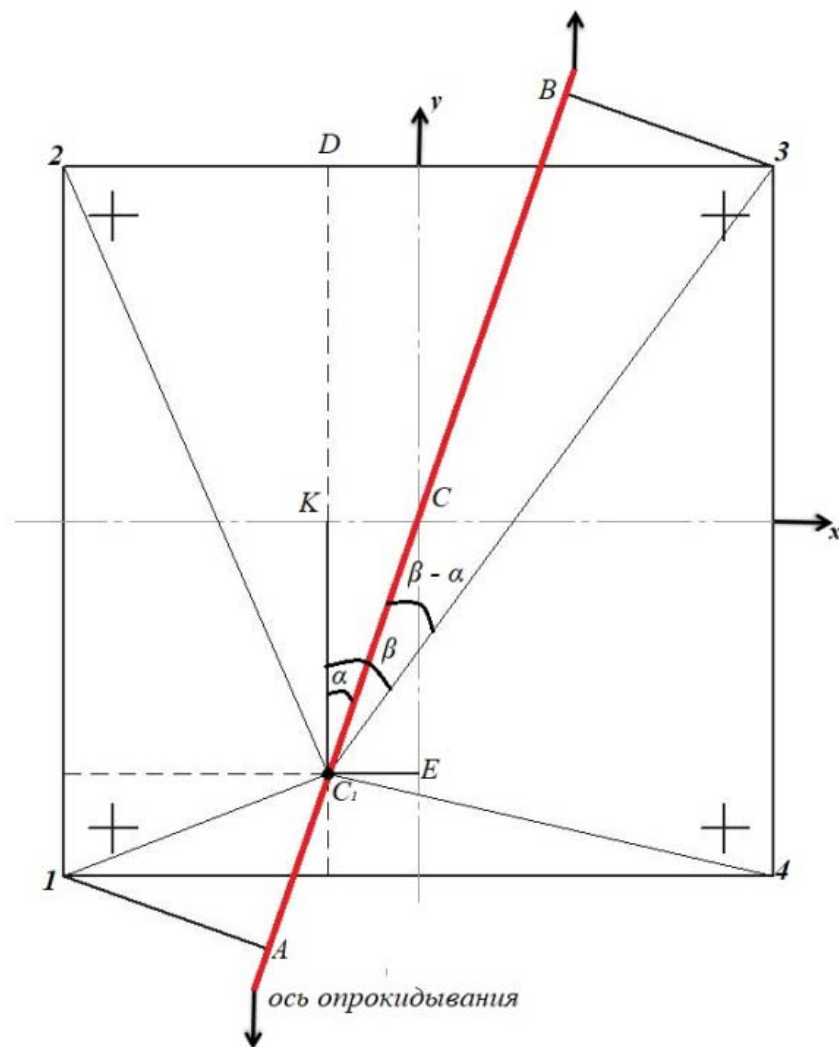
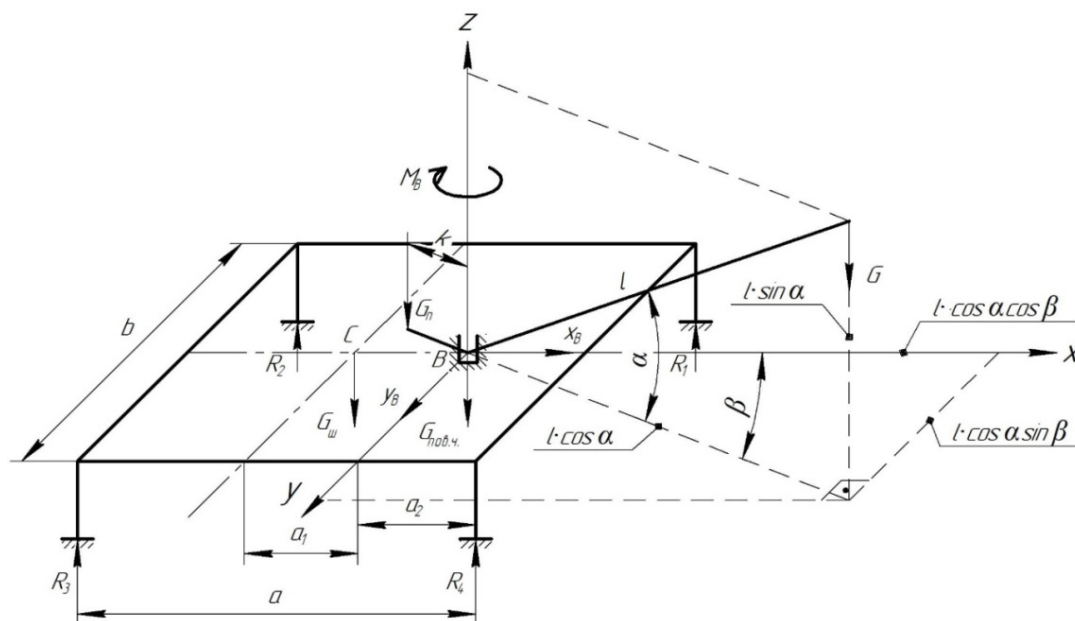


Рисунок 6 - Схема к определению линии опрокидывания

Разработана методика моделирования перемещения уравновешивания крановой конструкции при изменении центра тяжести, что способствует повышению безопасности при эксплуатации крановых конструкций (рисунок 7). Решение системы уравнений равновесия, проводимое относительно вышеуказанных величин позволило выявить соотношение между параметрами расстояний a_1 и a_2 , которое представляет собой сложную многопараметрическую функцию. Основные геометрические характеристики приведены на рисунке 7.

$$\begin{cases} a_2 = \frac{(R_2 + R_3)a - a_1 \cdot G_{\text{ш}}}{G_{\text{ш}} - G} \\ a_1 = \frac{a_2((R_1 - R_4)(R_2 + R_3) - (R_2 + R_3)(G_{\text{ш}} - G))}{(R_2 + R_3)^2} \end{cases} \quad (4)$$



G_n – вес противовеса, кН; G – вес груза, кН; $G_{ш}$ – вес шасси крана, кН;

$G_{пов.ч.}$ – вес поворотной части крана, кН; R_i – реакции в опорах, кН;

l – длина стрелы, м; a – база выносных опор, м; b – расстояние между выносными опорами, м; a_1 – расстояние от оси вращения поворотной части до центра массы шасси крана, м; a_2 – расстояние от оси вращения поворотной части крана до оси, проходящей через опоры R_1 и R_4 , м; k – расстояние от оси вращения поворотной части до центра массы противовеса крана, м; α – угол наклона стрелы к горизонту (вылет стрелы); β – угол отклонения стрелы от оси, совпадающей с продольной осью крана

Рисунок 7 – Схема к определению усилий под опорами крана

В третьем разделе рассмотрены конструкции и принцип работы современных приборов безопасности ССК. Из анализа видно, что существующие системы безопасности имеют схожую комплектацию, которая воздействует на исполнительные органы, предотвращая возникновение аварий, либо при явном перегрузе, либо при возникновении препятствий на площади выполнения работ. В остальном же большинство датчиков, входящих в систему безопасности относятся к указательному типу (т.е. информируют крановщика об отклонении параметров от нормальных), следовательно ответственность по принятию решений о возможных вариантах предотвращения аварий ложится на крановщика, что увеличивает риск возникновения «человеческого фактора». Это касается как отечественных приборов, так и зарубежных аналогов, информация о которых находится в закрытом доступе (предмет интеллектуальной собственности). В связи с этим можно сделать вывод, что существующие системы безопасности нуждаются в модификации, чтобы в том числе уменьшить влияние человеческого фактора.

Проведена систематизация приборов безопасности в зависимости от выполняемых ими функций. Выделены приборы: ограничительные (срабатывают при превышении допустимых значений); указательные (фиксируют текущие показания внешних воздействий и параметры работы крана); предохранительные (предупреждают о возникновении опасных внешних факторов, а также для аварийной остановки крана).

Установлено, что все элементы, входящие в прибор безопасности, можно классифицировать по: типу прибора, месту установки, назначению (типу выполняемых функций), принципу действия.

Проведя анализ существующих систем безопасности, обеспечивающих работу ССК при эксплуатации, можно утверждать, что:

1) срабатывание элементов безопасности, показания которых контролирует датчик, происходит при достижении нагрузкой номинальной величины, контролируемой датчиком, что не позволяет учитывать комплексное влияние факторов как на систему в целом, так и на каждый фактор отдельно;

2) в современных системах безопасности не учитывается изменение положения центра тяжести крановой конструкции при производстве погрузочно-разгрузочных работ.

С целью повышения безопасности эксплуатации крановых конструкций предлагается два способа контроля изменения центра тяжести:

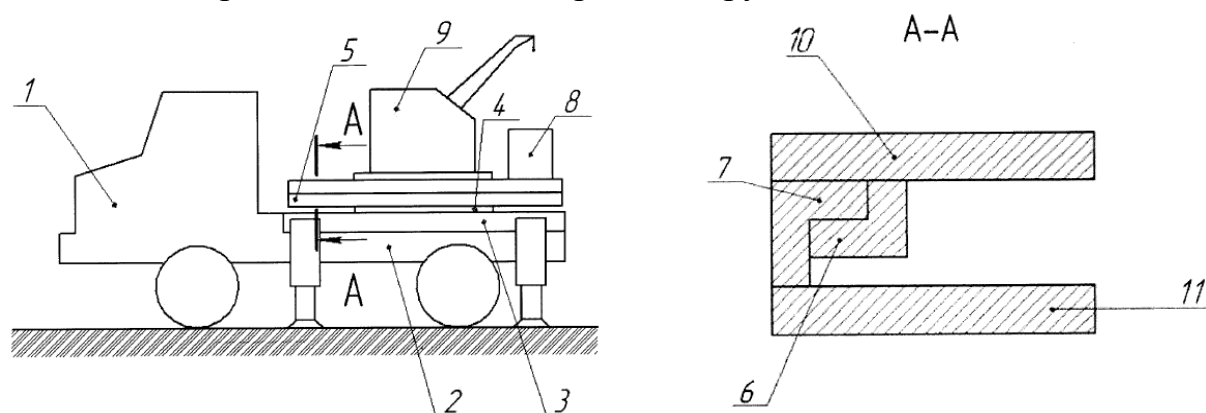
1) в первом случае система, контролирующая изменения положения центра тяжести располагается непосредственно на поднимаемом объекте;

2) во втором случае контроль изменения центра тяжести крановой конструкции осуществляется за счет модернизации рамы ССК.

В **четвертом** разделе показана практическая реализация проведенных исследований.

Практическая реализация полученного соотношения 4 позволила разработать устройство и, реализуемое в ССК – патент RU 2794284 С1 (рисунок 8).

На ССК, содержащем базовый тягач с выносными опорами 1, раму базового тягача 2, раму 3, поворотный круг 4, платформу 5 с противовесом 8 и рабочим оборудованием 9, для обеспечения устойчивости производят поворот круга 4 и перемещение верхней части 10 платформы 5 с направляющими 6 по направляющим балкам 7 нижней части 11 платформы 5, приближаясь или удаляясь от центра тяжести машины. Для обеспечения прочного соединения и исключения заклинивания рам между собой форма направляющих 7 нижней части 11 платформы 5 соответствует форме направляющих 6 верхней части 10 платформы 5 с возможностью поворота совместно с поворотным кругом 4.



*а – вид спереди стрелового крана на колесном ходу в рабочем положении;
б – устройство перемещения рамы с поворотной платформой по направляющим рамы базового тягача*

Рисунок 8 – Устройство обеспечения устойчивости машин

Для оценки смещения x , представленного соотношением (4) разработана программа на языке программирования Pascal, приведенная ниже. Разработанная программа позволяет определять расстояние перемещения рамы для повышения устойчивости автокрана (рисунок 9).

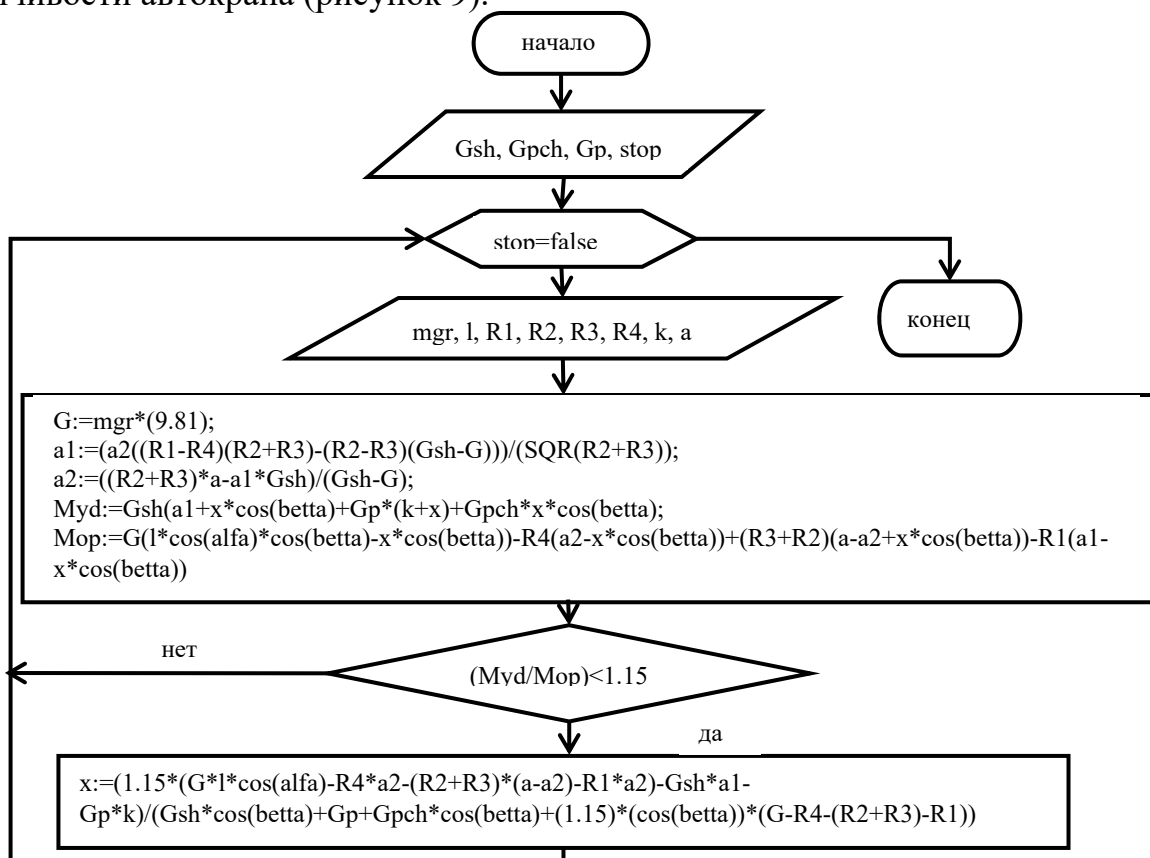


Рисунок 9 – Блок-схема программы расчета расстояния перемещения при изменении центра тяжести при подъеме ССК

Реализация разрабатываемой системы безопасности ССК, визуализация, а также общая программа для программируемого логического контроллера (ПЛК) была произведена программного комплекса CodeSys. Создание программы осуществлялась на двух языках реализации: непрерывные функциональные схемы (CFC); язык программирования (ST). Реализация основной программы была произведена на языке CFC (см. рисунок 10).

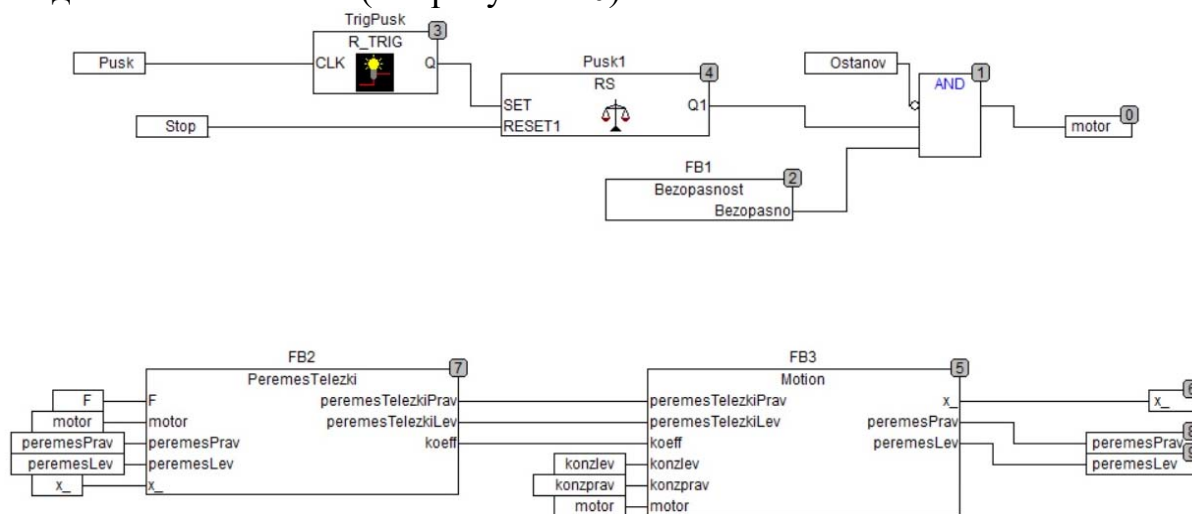


Рисунок 10 – Основная программа для ПЛК

Функциональный блок FB1, реализованный на языке CFC (рисунок 11), считывает данные с датчиков, контролирующих угол наклона к горизонту в соответствии с предельными значениями, отсутствие перегруза, препятствий, обрыва троса, значения скорости ветра в рамках предельных, а также содержит функциональные блоки Prosadka, контролирующей показания в опорах в соответствии с зависимостью 3, и Nenorm, содержащий утоняющий расчет весов факторов согласно методике первой главы. В случае поступления сигнала со всех датчиков система получает сигнал о безопасности при выполнении работ.

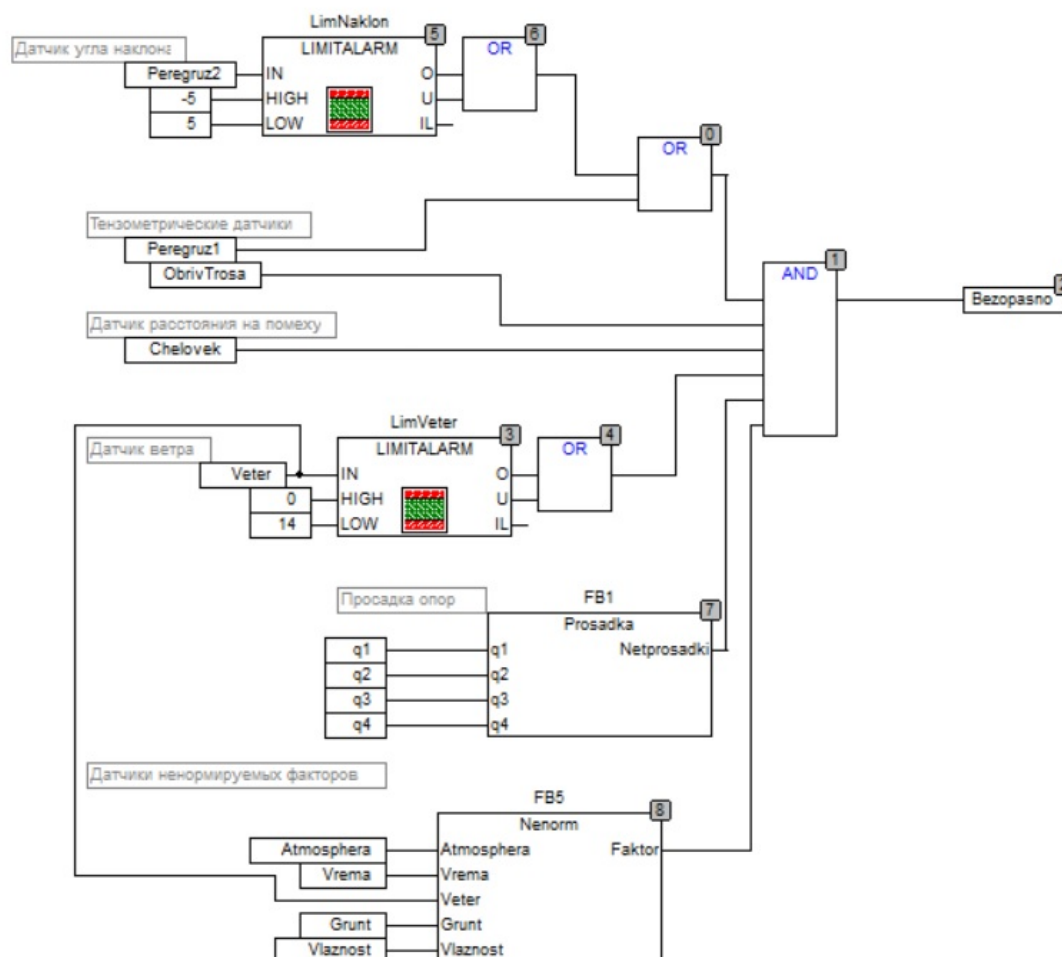


Рисунок 11 – Функциональный блок безопасности FB1

Функциональный блок FB2 реализован на языке ST, представляющий собой текстовый редактор высокого уровня. В зависимости от выбранной методики расчета изменения центра тяжести функциональный блок FB2 вводится программа, которая позволяет определить перемещение центра тяжести при производстве работ ССК. После выполнения программы из функционального блока FB2, рассчитывается значение перемещения центра тяжести x, которое передается на вход функционального блока FB3.

Следует отметить, что в соответствии с программой перемещение тележки будет происходить только в том случае, если тележкой не достигнуто крайнее положение и сработали все приборы безопасности.

Предлагаемая методика моделирования устройства подъема крана подтверждена реализацией программного обеспечения системы безопасности

разрабатываемой установки, разработкой и визуализацией разработанной системы безопасности для программируемого логического контроллера с использованием различных языков программирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационных исследований получены следующие итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1 Обобщены и проанализированы результаты научных исследований, современных технических решений при автоматизации контроля управления подъемно-транспортными средствами при действии ненормируемых внешних факторов. Основное направление научных исследований связано с предупреждением аварийности крановых конструкций, во-первых, с учетом нарушения нормируемых факторов (грузоподъемности, ветровой нагрузки и т.п.), во-вторых применением различных технических решений, позволяющих снизить аварии. Влияние ненормируемых факторов на аварийность кранов в существующей научно-технической и ненормативной литературе не отмечены.

2 Предложена методика оценки влияния ненормируемых внешних факторов (несущая способность основания, скорость ветра, атмосферное давление, влажность воздуха, время суток) и оценена их значимость на аварийность стреловых крановых конструкций, что позволит учитывать их влияние при составлении приборов безопасности.

3 Разработаны математические модели, позволяющие регулировать опрокидывающий момент в процессе выполнения погрузочно-разгрузочных работ (аварийность) с учетом: поворота стрелы в вертикальной и горизонтальной плоскостях; траектории движения груза и изменения положения центра тяжести крана, что позволит разработать технические решения для снижения аварийности кранов.

4 Установлены зависимости, позволяющие определить моменты опрокидывания, возникающие в опорах крановой конструкции при подъеме-опускании груза в зависимости от траектории его перемещения, которые являются определяющими и значимыми для фиксирования изменения текущих значений усилий в опорах для составления системы автоматизации контроля управления подъемно-транспортными средствами при действии ненормируемых внешних факторов на основе датчиков безопасности.

5 Разработанная система классификации приборов безопасности в зависимости от назначения выполняемых ими функций, позволила установить, что существующие системы безопасности нуждаются в модификации, для учета изменение положения центра тяжести крановой конструкции при выполнении погрузочно-разгрузочных работ и снижения влияния на аварийность крановых конструкций человеческого фактора.

6 Разработаны новые технические решения, подтвержденные патентами направленные на снижение аварийности крановых конструкций. Предложенные способ и методика повышения устойчивости и безопасности крановых конструкций с возможностью контроля изменения положения центра тяжести, подтверждены патентами и свидетельствами о регистрации программ ЭВМ.

7 Реализация разрабатываемой системы безопасности стреловых самоходных кранов на основе программы для программируемого логического контроллера, а также визуализация позволяют предотвратить аварийность крановых конструкций. Предлагаемые технические решения являются результатом теоретических и экспериментальных исследований и подтверждены актами практической реализации в ООО «БАЗИС ВИСТА», ООО «Строительное Управление – 9», ФГБУ «ЦНИИИ ИВ» Минобороны России (Приложение Г).

8 Перспективой дальнейшей работы по теме диссертационных исследований является разработка методов, учитывающих влияние различных помех на работу автоматизированного контроля обеспечения безопасности кранового оборудования. Рекомендуется применение предлагаемых технических решений в наземных транспортно-технологических средствах отечественного и зарубежного производства.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:

а) в рецензируемых научных изданиях

1 Сладкова, Л. А. Изменение нагруженности стрелового крана при проведении погрузочно-разгрузочных работ / Л. А. Сладкова, В. В. Крылов, М. В. Горелова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 2. – С. 311-317.

2 Сладкова, Л. А. Теоретическое обоснование и моделирование устройства подъема крана / Л. А. Сладкова, М. В. Горелова, Р. О. Ногин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 3. – С. 434-441.

3 Сладкова, Л. А. Анализ научно-технической литературы о влиянии ветровой нагрузки на стреловые конструкции / Л. А. Сладкова, В. В. Крылов, М. В. Горелова // Строительные и дорожные машины. – 2020. – № 12. – С. 9-13.

4 Горелова, М. В. Методология выявления и оценка значимости факторов, влияющих на аварийность грузоподъемных кранов / М. В. Горелова, Л. А. Сладкова // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2023. – № 1. – С. 39-48.

б) патент на изобретение

5 Патент № 2772847 С1 Российская Федерация, МПК В66С 23/78. Устройство обеспечения устойчивости машин: № 2021114566: заявл. 24.05.2021: опубл. 26.05.2022 / М. В. Горелова, Л. А. Сладкова, В. В. Крылов.

6 Патент № 2794284 С1 Российская Федерация, МПК В66С 23/78. Устройство обеспечения устойчивости машин: № 2022118742: заявл. 08.07.2022: опубл. 14.04.2023 / Л.А. Сладкова, М.В. Горелова, В.В. Крылов; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта».

в) свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

7 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663692 Российская Федерация. Программа для определения пульсации ветровой нагрузки и энергии ветра при исследовании опрокидывания стреловых самоходных кранов: № 2021618407: заявл. 31.05.2021: опубл. 20.08.2021 / М. В. Горелова, В. В. Крылов, Л. А. Сладкова.

8 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021663916 Российская Федерация. Программа для безаварийной установки подъема

опрокинутого стрелового самоходного крана: № 2021618208: заявл. 24.05.2021: опубл. 25.08.2021 / М. В. Горелова, Л. А. Сладкова.

г) в других изданиях и материалах конференций

9 Григорьев, П.А. Анализ работы и способов обеспечения устойчивости стреловых самоходных кранов на слабонесущих грунтах / П.А. Григорьев, В. В. Крылов, М. В. Горелова, Л. А. Сладкова // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы международной научно-технической конференции. – 2019. – С.55-60.

10 Горелова, М. В. Автоматизация системы устойчивости стреловых самоходных кранов / М. В. Горелова // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы: Сборник докладов XXIII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 04 апреля 2019 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019. – С. 291-293.

11 Горелова, М.В. Устойчивость работы крановых конструкций при совокупном воздействии факторов / М.В. Горелова, В.В. Крылов // Сборник тезисов работ участников XIV Всероссийской конференции обучающихся «НАЦИОНАЛЬНОЕ ДОСТОЯНИЕ РОССИИ» и VIII Всероссийского молодежного форума «АПК – МОЛОДЕЖЬ, НАУКА, ИННОВАЦИИ»/ Под ред. А.А. Румянцева, Е.А. Румянцевой. – М.: НС «ИНТЕГРАЦИЯ», 2020. – С. 626-628.

12 Сладкова, Л.А. Причины аварийности крановых конструкций при совокупном воздействии факторов / Л.А. Сладкова, В.В. Крылов, М.В. Горелова // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 14 февраля 2020 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. – С. 222-227.

13 Горелова, М. В. Методика расчета перемещения центра тяжести автомобильных кранов при производстве погрузочно-разгрузочных работ / М. В. Горелова // Аспирантские чтения: Сборник научных статей аспирантов РУТ (МИИТ) / Под общей редакцией Т.В. Шепитько. – Москва : Издательство "Перо", 2021. – С. 53-58.

14 Горелова, М. В. Приборы обеспечения безопасной эксплуатации стреловых самоходных кранов / М. В. Горелова, Л. А. Сладкова // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Брянск, 26–27 мая 2022 года. – Брянск: Брянский государственный технический университет, 2022. – С. 181-185.

15 Горелова, М.В. Методика обеспечения безопасной работы стреловых самоходных кранов / М.В. Горелова, Л.А. Сладкова, В.В. Фокин // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы: Сборник докладов 27-й Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 95-летию подготовки инженеров-механиков МИСИ-МГСУ, Москва, 26–27 апреля 2023 г. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. – С. 353-357.

д) учебно-методическое пособие

16 Сладкова, Л. А. Физическое моделирование технических систем: Учебное пособие / Л. А. Сладкова, П. А. Григорьев, М. В. Горелова. – Москва: Российский университет транспорта, 2021. – 102 с.

Горелова Мария Витальевна

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОДЪЕМНО-
ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ НЕНОРМИРУЕМЫХ
ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ**

2.5.2. Машиноведение (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать _____ 2023 г. Изд. № _____ Формат бумаги 60x84/16

Заказ № _____ Объем 1,5 усл. п.л. Тираж 80 экз.

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9