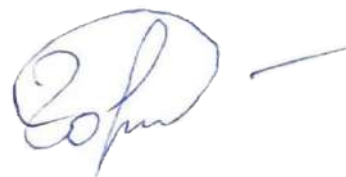


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»



На правах рукописи

Горелова Мария Витальевна

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

2.5.2. Машиноведение (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Сладкова Любовь Александровна

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	10
1.1 Статистика потери устойчивости грузоподъемных кранов	10
1.2 Ненормируемые внешние факторы. Анализ факторов, влияющих на опрокидывание стреловых самоходных кранов	17
1.3 Методология определения значимых факторов, влияющих на аварийность грузоподъемных кранов и их оценка	21
1.3.1 Выявление значимости ненормируемых факторов по методу экспертной оценки.....	23
1.3.2 Оценка достоверности факторов значимости статистическим методом	26
1.3.3 Использование нейронных сетей. Проверка адекватности действия факторов, влияющих на аварийность стреловых самоходных кранов, численным методом.....	31
1.3.4 Расчет весов внешних ненормируемых факторов..... на основе нейронных сетей.....	33
1.4 Анализ существующих технических решений	38
1.5 Выводы по разделу 1	43
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЖЕННОСТИ СТРЕЛОВЫХ САМОХОДНЫХ КРАНОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ	46
2.1 Исследования кинематики и динамики движения стрелы крана при выполнении погрузочно-разгрузочных работ.....	46
2.2 Аналитическое исследование неустойчивой работы стреловых самоходных кранов при погрузочно-разгрузочных работах.....	53
2.3 Исследования влияния кинематики и динамики движения стрелы крана на смещение его центра тяжести при выполнении погрузочно-разгрузочных работ	56

2.4 Теоретические исследования потери устойчивости при изменении положения центра тяжести кранов.....	64
2.5 Методика моделирования перемещения уравновешивания крановой конструкции при изменении центра тяжести.....	67
2.6 Выводы по разделу 2	69
3 СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ	72
3.1 Конструкция и принцип работы современных приборов безопасности стреловых самоходных кранов	72
3.2 Сравнительный анализ приборов безопасности грузоподъемной техники..	75
3.3 Сравнительный анализ элементов системы безопасности грузоподъемной техники	76
3.4 Выводы по разделу 3	86
4 ПРАКТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СТРЕЛОВЫХ САМОХОДНЫХ КРАНОВ	88
4.1 Устройство обеспечения устойчивости стрелового самоходного крана	88
4.2 Программа логического контроллера обеспечения безопасности работы кранов	92
4.2.1 Программы функциональных блоков	93
4.2.2 Визуализация моделирования перемещения уравновешивающего механизма в случае изменения центра тяжести	97
4.3 Выводы по разделу 4	101
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	104
ПРИЛОЖЕНИЕ А	118
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ В	168
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	177

ВВЕДЕНИЕ

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 [1] 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 [2]. 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.

Оценка устойчивости кранов проводится на этапе проектировании на основе нормативных документов [2 - 5], 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., Kacalak 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. [6], Мишина А.В. [7], Григорьева П.А. [8].

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.

Объектом исследования является устойчивость кранов при работе в условиях действия ненормируемых внешних факторов.

Предметом исследования является влияние ненормируемых внешних факторов на устойчивость кранов при работе при проведении погрузочно-разгрузочных работ.

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

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

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

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

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

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

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

Научная новизна работы состоит в следующем:

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

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

- предложены конструктивные решения, позволяющие автоматизировать процесс управления устойчивостью кранов [9, 10];

- разработана система автоматизированного контроля и управления системой безопасности кранов от опрокидывания в условиях действия ненормируемых факторов [11, 12].

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в том, что:

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

- на основании проведенных теоретических исследований предложены конструктивные решения, позволяющие автоматизировать процесс проведения погрузочно-разгрузочных работ и предотвратить аварийность кранов [9, 10];

- разработаны алгоритм и программа системы автоматизации контроля и управления системой безопасности кранов от опрокидывания при погрузочно-разгрузочных работах в условиях действия ненормируемых факторов [11, 12].

Методология и методы диссертационного исследования.

В диссертационной работе на основании системного анализа проведено обобщение, нормативной, справочной и научно-технической литературы по направлению исследования [6-8, 13-18]. Проведенные методы исследований основаны на базовых положениях теоретической механики, высшей математики, теории вероятностей и математической статистики, теории нейронных сетей, а также сходимостью 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 [9, 10] 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 сходимостью 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 «ЦНИИИ 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).

Реализация и внедрение результатов работы.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс в ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» на кафедре «Наземные транспортно-технологические средства» при изучении дисциплин: «Грузоподъемные машины и оборудование», «Испытания подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования».

Теоретические разработки диссертации и их практическая реализация рекомендованы к внедрению на предприятиях ООО «Строительное управление-9» (г. Москва), ООО «БАЗИС ВИСТА» (г. Москва) и ФГБУ «ЦНИИИ ИВ» Минобороны России.

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликовано 12 печатных работ, из них 4 из перечня рецензируемых изданий ВАК Российской Федерации.

Структура и объем диссертации.

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

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Статистика потери устойчивости грузоподъемных кранов

Грузоподъемные краны являются одной из ведущих единиц техники основного технологического назначения при производстве погрузочно-разгрузочных работ, проведении строительных работ общего и специального назначения (промышленные здания и сооружения, мосты, дороги, развязки, установке мачт линий электропередач и т.п.), прокладке трубопроводов при различных эксплуатационных условиях. Ежегодно компании, осуществляющие свою деятельность в строительной сфере, сдают отчетность в контролирующие органы (Росстат, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, Ростехнадзор), которая отражает сведения [1, 13 - 17]:

- количество единиц грузоподъемной техники, содержащейся на балансе предприятия;
- число аварий, происходящих с тем или иным видом грузоподъемной техники с указанием места, даты и времени происшествия;
- количество происшествий, повлекших за собой травматизм рабочего персонала.

Анализ данных Ростехнадзора за 2016 год позволил выявить количество аварий, повлекших за собой смертельный исход, основываясь на таких показателях, как количество зарегистрированной эксплуатируемой техники и число погибших [5]. Например, по данным за 2016 год был произведен расчет отношения количества погибших к количеству зарегистрированной техники, представленной в тысячах, и получен показатель, называемый коэффициентом смертельного травматизма на 1000 единиц техники, значения которого для удобства были сведены в 4 столбец таблицы 1.1. В столбце 5 таблицы 1.1 была посчитана частота смертей при авариях каждого из рассматриваемых видов техники, которая рассчитывается как отношение количества погибших по каждому виду техники к общему количеству смертей за рассматриваемый период.

Очевидно, что травматизм с летальным исходом при эксплуатации грузоподъемных кранов достаточно велик.

Из анализа таблицы 1.1 видно, что пятая часть аварий от всех крановых конструкций приходится на стреловые самоходные краны (ССК), а по коэффициенту смертельного травматизма, приходящемуся на 1000 единиц техники, ССК занимают третью позицию. Эта цифра соизмерима с отказами башенных и мостовых кранов.

Таблица 1.1 – Анализ аварийности грузоподъемных кранов за 2016 год

Вид техники	Количество зарегистрированной техники, шт.	Число погибших, чел.	Коэффициент смертельного травматизма	Частота
Мостовые краны	71 648	7	0,10	0,26
Автомобильные краны	61 875	6	0,10	0,22
Башенные краны	17 403	10	0,57	0,37
Козловые краны	13 254	3	0,23	0,11
Краны-манипуляторы	12 413	1	0,08	0,04
Гусеничные краны	9 294	0	0	0
Портальные краны	3 023	0	0	0
Всего:	195 189	27		1

При увеличении периода анализа аварийности грузоподъемных кранов было установлено, что по данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 2008-2020 года [18] процент аварий при проведении работ грузоподъемными кранами от общего количества аварий при эксплуатации грузоподъемных средств составляет 87 %, при этом процент аварий автомобильных кранов при проведении погрузочно-разгрузочных работ составляет 22 % от общего количества аварий, приходящихся на грузоподъемные краны. Это видно из столбчатой диаграммы, представленной на рисунке 1.1.

Опрокидывание в результате потери устойчивости грузоподъемных кранов, в том числе стреловых самоходных кранов, влечет за собой экономический ущерб как для самой техники, так и для расположенной вблизи инфраструктуры. Как правило, при опрокидывании стрелового самоходного крана возможно падение близстоящих конструкций с последующим их разрушением, а также других машин и механизмов с возможными жертвами людей, находящихся в зоне аварии. Таким образом, стоимость ущерба может варьироваться от нескольких тысяч до

нескольких миллионов рублей в зависимости от причиненного урона. Ниже приведем примеры самых «нашумевших» аварий кранов.



Рисунок 1.1 – Распределение аварий грузоподъемных кранов в 2008–2020 гг

В результате опрокидывания автокрана «Ивановец», произошедшего по причине деформации грунта под грузоподъемной техникой во время подъема строительных материалов для осуществления работ по капитальному ремонту кровли, было повреждено подсобное здание, расположенное на территории детского сада в г. Нижний Новгород (рисунок 1.2). В момент происшествия в дошкольном учреждении находились 100 воспитанников и 20 сотрудников [19].

В результате инцидента никто не пострадал, однако воспитанникам и сотрудникам была оказана психологическая помощь. Компенсацию причиненного материального ущерба, как строительной технике, так и пострадавшим конструкциям взяла на себя подрядная организация. Виновником инцидента была признана подрядная организация, чьи халатные действия повлекли серьезный материальный ущерб.

Так при проведении монтажных работ по установке вентиляции в строящемся бизнес-центре в г. Воронеж в результате сильного порыва ветра произошло опрокидывание стрелового самоходного крана фирмы Liebherr. В

результате аварии близлежащие дома и сооружения повреждений не получили, автокран работоспособности не утратил и после поднятия и технического осмотра специалистами продолжил работы по установке систем подачи воздуха (рисунок 1.3) [20].



Рисунок 1.2 – Авария автокрана «Ивановец» (г. Нижний Новгород)

Другим примером понесенного материального ущерба существенного размера является падение двух автокранов при производстве работ при строительстве офисного центра в г. Химки. В результате нарушения регламента подготовительных работ по обустройству площадки для работы строительной техники (а именно, не были подложены доски под аутригеры стрелового самоходного крана грузоподъемностью 25 тонн) произошло опрокидывание крана в котлован, рядом с которым производились работы.



Рисунок 1.3 – Подъем опрокинувшегося в результате сильного порыва ветра автокрана

Для подъема упавшего автокрана был вызван кран большей грузоподъемности. Но во время проведения работ произошло проседание грунта, в результате чего произошло опрокидывание второго стрелового самоходного крана.

Таким образом, компания, заказывающая строительную технику для производства работ, была вынуждена компенсировать штраф арендодателю. А арендодатель техники понес экономические затраты, связанные уже с ремонтом двух единиц техники.

Кроме того, в результате опрокидывания автомобильного крана возможно нанесение ущерба населению: падение на припаркованный автомобиль или иное имущество (рисунки 1.4...1.7).

Серьезных последствий, таких как разрушения и человеческие жертвы, при грамотном и тщательном расчете сценариев развития событий (в том числе вычисление гипотетической траектории падения механизма), а также соблюдения технического регламента подготовки площадки для проведения работ, правил техники безопасности (например, огораживание периметра работ) иногда удается избежать.



Рисунок 1.4 – Опрокидывание автокрана на припаркованный автомобиль



Рисунок 1.5 – Опрокидывание автокрана на автомобиль в результате просадки грунта



Рисунок 1.6 – Опрокидывание автокрана в результате просадки грунта под аутригером



Рисунок 1.7 – Подъем упавшего автокрана двумя ССК

Однако до сих пор остается открытым вопрос не только о причинах падения кранов в результате потери их устойчивости, но и об истинных причинах (факторах) повлекших эти аварии.

1.2 Ненормируемые внешние факторы. Анализ факторов, влияющих на опрокидывание стреловых самоходных кранов

Опрокидывание автокрана влечет за собой серьезные экономические последствия: дополнительные затраты для доставки техники, которая осуществит подъем упавшего крана и, как следствие, дополнительные затраты на топливо, смазочные материалы, человеческие ресурсы. Также следует учитывать степень повреждения упавшей техники: возможно ли её восстановление и дальнейшая эксплуатация или же кран подлежит списанию и дальнейшей утилизации. В случае возможности восстановления возникают дополнительные затраты на ремонт техники.

В случае аварий, произошедших при производстве работ грузоподъемной техникой, специалисты в области охраны труда, строительной техники, грузоподъемных сооружений из разных структур (в том числе Ростехнадзора, ГУ МЧС) проводят расследование случившегося и выявляют причины аварий. Рассмотрим несколько таких происшествий с выявлением возможных причин аварий автомобильных кранов.

Расчет кранов на прочность проводится из условия Принципов формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок в соответствии с ГОСТ 32579.1-2013 [3] для класса подъема груза НС2. Для выявления ненормируемых нагрузок была составлена таблица 1.2.

Из таблицы 1.2 видно, что в проводимых расчетах не учтены:

- смещение центра тяжести системы «поднимаемый груз – кран» в момент выполнения погрузочно-разгрузочных работ при совмещении операций, например, при одновременном подъеме груза и повороте стрелы крана и т.п.;

Таблица 1.2 – Нормируемые нагрузки, действующие на автомобильные и мобильные краны с крюком. Класс подъема НС2

№ п/п	Нормируемые показатели ГОСТ 32579.1-2013 [3]; ГОСТ 32579.2-2013 [4]
1	Учет грузоподъемности
1.1	Динамические расчеты проводятся: с учетом коэффициента динамического коэффициента ϕ (подъем груза с земли, внезапной разгрузки крана, передвижение по неровной поверхности, ускорение механизмов крана, грузовые испытания, столкновение буфера с упором).
1.2	Статические расчеты (масса груза брутто, включающая массу полезного груза и грузозахватного приспособления).
2	Ветровые нагрузки рабочего и нерабочего состояния. Скорость ветра рабочего состояния должна быть не менее 9,0 м/с, соответствующая статическому давлению 50 Н/м. Наибольший ветер нерабочего состояния и конфигурация крана должны устанавливаться изготовителем.
3	Гравитация ускорения, инерционные нагрузки.
4	Снеговые нагрузки.
5	Коэффициенты надежности для проверки устойчивости крана от опрокидывания. В расчетах устойчивости от опрокидывания по указанным комбинациям нагрузок все динамические коэффициенты, за исключением ϕ_3 и ϕ_9 , принимаются равными единице. Значения ϕ_3 и ϕ_9 принимаются равными 0,1, если получается больше.

- влияние состояния оператора на осуществление контроля за нештатной операции, в процессе выполнения работ (изменение ветровой нагрузки в результате порывов ветра, изменения его пульсации, превышение массы поднимаемого груза, нестандартный тип неровности, состояние опорной поверхности, сбой в работе механизмов поворота крана и т.д.), что ведет к изменению инерционных, гравитационных и других видов нагрузок, ведущих к нарушению его устойчивости.

Так 4 мая 2006 г. при производстве ремонтных работ через реку Тулва произошло опрокидывание автокрана, которое повлекло за собой получение рабочим травм тяжелой степени. При переносе масляного трансформатора к площадке, расположенной под мостом, машинист крана, чтобы избежать столкновения с объектами инфраструктуры, выдвинул стрелу крана на 15 м, а затем повернул в сторону площадки, что привело к потере устойчивости машины, отрыву колес от поверхности земли с последующим опрокидыванием. Таким образом, причиной аварии были признаны неумелые действия машиниста и

отсутствие мероприятий по обеспечению безопасности людей в зоне действия работ при стесненных условиях [21].

Другое происшествие с участием автомобильного крана произошло 29 ноября 2007 г. на строительной площадке в Нижнем Новгороде. Во время работ под одной из опор автокрана началась просадка грунта, в результате чего машина, опрокинувшись на бок, упала в котлован [22].

Ещё один инцидент, повлекший гибель человека, произошел 18 апреля 2011 г. на юго-западе Москвы во время погрузки лесоматериалов. В момент производства работ стрела крана была выдвинута на 25 метров, а причиной аварии стал штормовой ветер, объявленный в тот день в Москве [23].

При рассмотрении совокупности влияния факторов рационально их группировать в зависимости от характера их возникновения.

Исходя из системного анализа нормативной документации и научно-технической литературы была сформирована таблица 1.3, позволяющая сформировать факторы возникновения аварий (опрокидывание кранов) и указать характер их появления в зависимости от вида этих отказов [24]. К основным факторам, на наш взгляд можно отнести:

техногенного характера;

человеческий фактор;

организационного и контролирующего характера;

перебазировка кранов (сдача в аренду предприятиям).

Проведенный анализ результатов таблицы 1.3 показал, что при обработке статистических данных в рамках группировки причин аварий от человеческого фактора следует также учитывать кроме соблюдения правил проведения погрузочно-разгрузочных работ, квалификации оператора и иных причин, указанных в таблице 1.3, но и другие, которые могут стать причиной аварий.

Таблица 1.3 – Анализ причин аварий грузоподъемных кранов

Источник	Фактор
1	2
Техногенного (технического) характера:	
[31]	дефекты в работе оборудования;
[29], [31]	причины организационного характер;
[29], [28], [33]	дефекты в работе оборудования (неисправности);
[40]	несовершенное контролирующее устройств;
[25]	динамические нагрузки;
[33], [36]	конструктивные особенности кранов;
[33], [27]	выработка ресурса (наступление «усталости металла», негодность канатов, неисправность автоматики);
[29], [33]	горизонтальность подкрановых путей (нарушения при строительстве и верхнего и нижнего строения подкрановых путей);
[33]	допуск кранов к работе без проведения их технического освидетельствования или с истекшим сроком освидетельствования;
[39]	неисправность тормозной системы.
Природного характера:	
[28], [33], [34], [35]	ветер и ураган;
	землетрясения;
[26], [30], [32] [33], [36], [13], [14], [40]	изменение несущих свойств грунта в результате осадков и изменения температуры воздуха.
Человеческий фактор:	
[27], [31]	игнорирование и несоблюдение правил безопасности при работе с грузоподъемными механизмами (оставление крана без крановщика, блокировка контакторов защитных панелей, подтаскивание груза при наклонном положении грузовых канатов);
[27], [31], [33]	причины организационного характера;
[31]	трудовая недисциплинированность (оставление крана без крановщика и вне рельсовых захватов);
[27], [29]	непрофессионализм в работе;
[27], [29], [33]	неправильный выбор грузозахватных приспособлений и строповки грузов.
Организационного и контролирующего характера:	
[27], [31]	игнорирование и несоблюдение правил безопасности при работе с грузоподъемными механизмами;
[31], [28]	причины организационного характера;
[33]	дефекты оборудования (крановая конструкция разрушается в наиболее нагруженном узле, вызывая появление трещин и иного рода дефектов);
[28]	несовершенное контролирующее устройство;
[29], [33]	организация производства (отсутствие профильной документации);
[28], [33], [38]	применение несертифицированных средств при проведении ремонтных работ (отсутствие оборудования для контроля качества сварных швов).
Перебазировка кранов (сдача в аренду предприятиям):	
[28], [31], [33]	нарушение регламента при проведении монтажных и демонтажных работ.

Сюда можно отнести влияние внешних природных факторов, таких как давление, осадки, облачность, время суток, день недели, которые по результатам

исследований со стороны медицинских работников оказывают существенное влияние на состояние человека (самочувствие, внимательность, качество выполняемых работ и т.д.).

1.3 Методология определения значимых факторов, влияющих на аварийность грузоподъемных кранов и их оценка

Из сказанного выше очевидна необходимость выявления факторов и оценка их значимости для установления причин падения кранов. Для этого был проведен пассивный эксперимент, основанный на сборе статистических данных об аварийности. Статистические данные аварийности стреловых самоходных кранов за период с 2006 по 2021 г.г. фиксировали в таблицах 1.3 и 1.4, где были отражены место, дата происшествия (день недели), время суток и внешние климатические условия. В качестве внешних климатических условий были рассмотрены:

- температура воздуха в момент аварии, градус Цельсия;
- скорость ветра, м/с;
- относительная влажность воздуха, %;
- атмосферное давление, мм рт. ст.;
- наличие облачности и осадков;
- тип грунта в месте проведения работ.

Исходные данные по внешним погодным факторам были взяты из дневника погоды Gismeteo [41] за день, соответствующий аварии крана.

Тип грунта местности, где произошла авария, был определен по почвенным картам. Сведения о дате и времени были взяты из источников [19-23, 31], которые информировали о происшествии.

Предлагаемая методология определения значимых факторов, влияющих на аварийность стреловых самоходных кранов состоит из следующих этапов:

- выявление значимых факторов по методу экспертной оценки (метода Хэя);

Таблица 1.4 – Обзор аварий стреловых самоходных кранов за 2006-2021 года

Дата	День недели	Время суток	Место аварии	Характеристики климата						Предполагаемая причина аварии
				Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Относительная влажность, %	Облачность	Атмосферное давление, мм.рт.ст	Осадки	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
04.03.06	сб		п. Мошково	-6	3	50	обл	869	нет	Перегруз
04.05.06	чт		Пермский край, р. Тулва	+9	6	60	нет	960	нет	Перегруз
03.04.07	вт	13:50	Санкт Петербург, Витебский пр-т	+2	3	90	обл	1004	нет	Перегруз
29.11.07	чт	15:00	Нижний Новгород	-3	4	80	нет	978	да	Проседание опоры
20.12.10	пн	11:00	Москва, Электролитный пр-д	-7	2	77	нет	992	нет	Проседание опоры
26.01.11	ср	9:00	Барнаул, ул. Мерзликина	-21	2	24	нет	769	нет	Перегруз
18.04.11	пн	17:30	Москва, Болотниковская ул.	+7	7	78	нет		нет	Порыв ветра
26.04.11	вт	14:00	Воронеж, ул. Сакко и Ванцетти	+20	3	64	обл	753	нет	Перегруз
30.09.11	пт	9:30	Москва, Колтевский б-р	+11	1	66	нет	998	нет	Перегруз
14.11.13	чт	12:30	Москва, Мичуринский пр-т	+3	2	97	обл	746	нет	Ошибка крановщика
08.11.14	сб	8:00	Москва, Нахимовский пр-т	+7	5	100	обл	1000	нет	Перегруз
06.02.16	сб	14:30	Москва, Кутузовский пр-т	-1	2	80	обл	479	нет	Проседание опоры
20.09.16	вт	19:30	Москва, Севастопольский пр-т	+9	2	93	обл	995	нет	Перегруз
11.07.17	вт	17:00	Красноярск, аэропорт Емельяново	+22	2	10	нет	727	нет	Проседание опор
17.05.18	чт	14:00	Усть-Кут, причал Осетровского завода	+16	2	3	нет	727	нет	Перегруз
03.10.18	ср	18:00	Москва, 19 км. МКАД	+10	1	94	обл	735	нет	Ошибка крановщика
24.10.18	ср	15:00	Н.Новгород, ул. Анатолия Григорьева	+7	3	81	обл	986	нет	Ошибка крановщика
23.01.19	ср	15:30	Дальний Восток, пос. Холмск-Сортировочный	-3	4	7	нет	751	нет	Перегруз

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23.01.19	ср	15:30	Дальний Восток, пос. Холмск-Сортировочный	-3	4	7	нет	751	нет	Перегруз
25.07.20	сб	17:00	Москва, 47-й км. МКАД	+22	5	55	обл	750	нет	Перегруз
13.03.21	сб	17:03	Павлодар, ул. Естая	+15	5	20	нет	752	нет	Перегруз
23.03.21	вт	12:30	Станица Стародеревянковская, ул. Красная	+4	3	70	обл	752	нет	Перегруз
02.09.21	чт	13:30	г.Сочи, ул. Абрамова	+25	2	53	обл	752	да	Проседание опоры

- оценка достоверности значимости факторов статистическим методом (по критерию Хи-квадрат);

- проверка адекватности выбранных факторов численными методами с использованием нейронных сетей.

1.3.1 Выявление значимости ненормируемых факторов по методу экспертной оценки

Для предупреждения аварий ССК необходимо не только выявить, но и оценить значимость факторов, влияющих на опрокидывание машин и механизмов. Для этой цели был использован метод экспертной оценки (метод Хэя). Метод Хэя базируется на оценке мнений специалистов, а также результатах исследований в области устойчивости стреловых крановых конструкций при определении значимости каждого из рассмотренных факторов [42].

При анализе статистики по этому методу 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).

Суть данного метода заключается в грейдинге факторов, ведущих к аварии крана путем проставления оценки каждого из экспертов по определенным

критериям. (Под грейдингом понимают группировку факторов по определенным основаниям и оценивание их с целью выявления важности влияния фактора на аварийность ССК [43]).

В качестве критериев оценки распространенных факторов аварийности ССК были выбраны семь, как трудно учитываемых, так и не учитываемых ранее факторов. К ним относятся:

- 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.

После задания критериев, влияющих на аварийность, каждому введенному фактору в соответствии с нормативной документацией и исследованиями, проведенными выше, присваивался по пятибалльной шкале коэффициента важности k (см. таблицу 1.5).

Таблица 1.5 – Коэффициенты важности факторов аварий стреловых самоходных кранов

Номер фактора	Наименование фактора	Значение коэффициента важности k
1	2	3
1.	Температура воздуха	4
2.	Скорость ветра	5
3.	Влажность воздуха	4
4.	Атмосферное давление	4
5.	Облачность	3
6.	Осадки	4
7.	Тип грунта	5
8.	Время суток	4
9.	День недели	4
10.	Человеческий фактор	5

Алгоритм определения значения влияния каждого из факторов опрокидывания ССК по выделенным критериям оценивания выглядит следующим образом. Критерии оценивания приведены в таблице 1.6 в первом столбце с соответствующим заявленным этому фактору порядковым номером от 1 до 7, указанном выше. Значения критериев являются усредненными значениями проведённых оценок опросов и экспертных оценок. В таблице 1.6 в столбцах 2...12 указаны вероятные факторы опрокидывания ССК, а в строках их значения в соответствии с критериями оценивания в соответствии с данными таблицы 1.5.

В последних трех строках таблицы 1.6 произведен расчет веса каждого из факторов. В строке «Сумма» произведено суммирование определенных ранее значений критерий оценивания по каждому из факторов опрокидывания. В строке «Значимость» найдено произведение найденных сумм на коэффициент значимости k , указанный в таблице 1.6 по формуле:

$$З = Ck, \quad (1.1)$$

где $З$ – значимость фактора;

C – сумма критериев по показателям фактора;

k – коэффициент значимости фактора.

После чего была найдена общая сумма полученных значений строки «Значимость», которая равна 703.

В строке «Вес» были определены процентные соотношения значений строки «Значимость» каждого фактора к сумме указанной строки.

Анализ таблицы 1.6 показывает, что к числу факторов, лежащих за пределами 10 %, на которые необходимо обратить внимание при эксплуатации стреловых самоходных кранов следует отнести:

- человеческий фактор, подробно рассмотренные в научно-технической литературе [24, 28] и, представленный в таблице 1.3;
- скорость ветра;

Таблица 1.6 – Результаты анализа факторов по методу Хэя

Критерии оценивания	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	

- несущую способность грунта, на котором работает кран (тип грунта);
- атмосферные осадки.

1.3.2 Оценка достоверности факторов значимости статистическим методом

Полученные выше результаты являются гипотетическими, и оценка их достоверности производилась по критерию нулевой (h_0) и альтернативной гипотез (h_1) по следующему алгоритму [44, 45].

- 1 Определение уровня значимости критерия.
- 2 Отбор необходимых данных из выборки.
- 3 Вычисление значения статистики критерия, отвечающей h_0 .
- 4 Вычисление критической области, проверка статистики критерия на предмет попадания в критическую область.
- 5 Интерпретация достигнутого уровня значимости p и результатов.

В выборке (таблица 1.4) зафиксировано 22 наблюдения, относящиеся к малой выборке. Поэтому для оценки этого фактора был выбран критерий согласия

Пирсона (критерий Хи-квадрат). В первую очередь была проведена проверка гипотезы важности критерия давления, как фактора, влияющего на самочувствие машиниста крана и рабочего персонала, как метеозависимых людей. Для этого использовался аппарат теории вероятностей по определению математического ожидания, дисперсии, среднего квадратичного отклонения (приложение А).

Для численной оценки влияния атмосферного давления как значимого фактора человеческого фактора величины атмосферного давления данные наблюдений были ранжированы и разбиты на интервалы, величина которых определялась, с точки зрения влияния на человека, исходя из медицинских рекомендаций:

низкое давление – давление, переходящее порог ниже 745 мм ртутного столба;

нормальное давление – давление, заключенное в промежутке от 746 до 765 мм ртутного столба;

повышенное давление – давление выше 766 мм ртутного столба.

6 Для каждого интервала было посчитано количество аварий, давление которых соответствовало границам интервала. Далее была определена вероятность аварий в каждом интервале по зависимости 1.2

$$p_i = \frac{n_i}{n}, \quad (1.2)$$

где p_i – вероятность аварий i -го интервала;

n_i – количество аварий i -го интервала;

n – общее количество аварий.

7 Далее по зависимости 1.3 был определен критерий согласия Пирсона (Хи-квадрат).

$$X^2 = \sum_1^i \frac{(p_i - p_i \cdot n_i)^2}{p_i \cdot n_i}. \quad (1.3)$$

8 По значениям квантилей распределения Хи-квадрат [44] была определена достоверность гипотезы, исходя из выбранной доверительной вероятности (не ниже 0,95) и количества степеней свободы ($i-1$, где i – количество интервалов).

В ходе проведенных расчетов квантиль распределения Хи-квадрат получился равным 7,005, что приблизительно равно (погрешность в границах 5 %) табличному значению квантиля распределения Хи-квадрат 7,377 при доверительной вероятности 0,975 и количестве степеней свободы 2, что указывает на достоверность принятой гипотезы о важности фактора давления. Численный расчет рассматриваемой гипотезы приведен в Приложении А.

Подобная методика применялась при определении важности влияния на опрокидывание стреловых крановых конструкций остальных критериев (Приложение А): температура воздуха, облачность, день недели, влажность воздуха, время суток.

Полученные значения для наглядности сведены в таблицу 1.7.

Таблица 1.7 – Статистические показатели факторов аварий ССК

Статистические показатели	Атмосферное давление, мм рт ст	Температура воздуха, °С	Облачность	День недели, дн	Влажность воздуха, %	Время суток, ч
1	2	3	4	5	6	7
Среднее значение	852	7	0,5	3,14	61,909	14,04
Математическое ожидание	819,091	6,779	11,091	4,364	61,091	16,125
Дисперсия	217,553	4,672	2,887	0,060	29,005	0,930
Среднее квадратичное отклонение	14,750	2,161	1,699	0,245	5,386	0,965
Вероятность	0,975	0,2	0,5	0,3	0,975	0,87

Таким образом, в ходе проведенного статистического анализа аварий стреловых самоходных кранов было установлено, что при производстве работ помимо таких факторов, как состояние опорной поверхности, скорость ветра, следует также учитывать атмосферное давление, время суток, влажность.

Влияние указанных факторов может быть обусловлено, как с биологической точки зрения (например, ухудшение самочувствия крановщика в результате повышенного атмосферного давления, утомляемость в дневное время в связи с накопившейся усталостью во время смены при производстве работ), так и с точки

зрения техногенного и климатического характеров (например, повышенная влажность воздействует на почву, что в свою очередь может вызвать просадку опор, повышенная влажность образует конденсат, что может вызывать проскальзывание на механизмах крановых конструкций).

При оценке устойчивости стреловых самоходных кранов по критерию Х - квадрат важно понимать, какие факторы имеют наибольшую значимость, а какие нет. Для этого необходимо определить вес фактора. Под весом фактора понимают значимость того или иного фактора на рассматриваемое событие. При настройке системы безопасности стрелового самоходного крана для коррекции значений показателей датчиков и скорости реагирования на событие, предвещающих аварийные ситуации, предлагается ввести коэффициенты, соответствующие значениям веса того или иного фактора.

Существует несколько методик для определения веса факторов. Первый из рассмотренных способов определения важности (веса) факторов можно определить, исходя из математической модели взаимного влияния факторов, рассмотренной в работах [6, 7]. Вес фактора можно определить исходя из величины среднеквадратического отклонения рассматриваемого фактора, отнесенного к сумме среднеквадратичных отклонений всех факторов и выраженного в процентном соотношении. В качестве критерия для определения весов факторов была выбрана вероятность, определенная по критерию Пирсона. Просуммировав вероятности, указанные в строке 5 таблицы 1.6, и рассмотрев процентное соотношение каждой вероятности фактора к общей сумме вероятностей факторов, была получена диаграмма распределения весов, указанная на рисунке 1.8, из которой видно, что наибольшую значимость имеют такие факторы, как тип грунта (вес 17), скорость ветра (вес 17), атмосферное давление (вес 17), влажность воздуха (вес 17), а также время суток (вес 15). Температура воздуха имеет вес 3, день недели – вес 5, облачность – вес 9.

В результате полученных данных можно сделать вывод о совокупном влиянии факторов как на аварийность стреловых самоходных кранов, так и на другие факторы (взаимовлияние факторов) (рисунок 1.9).

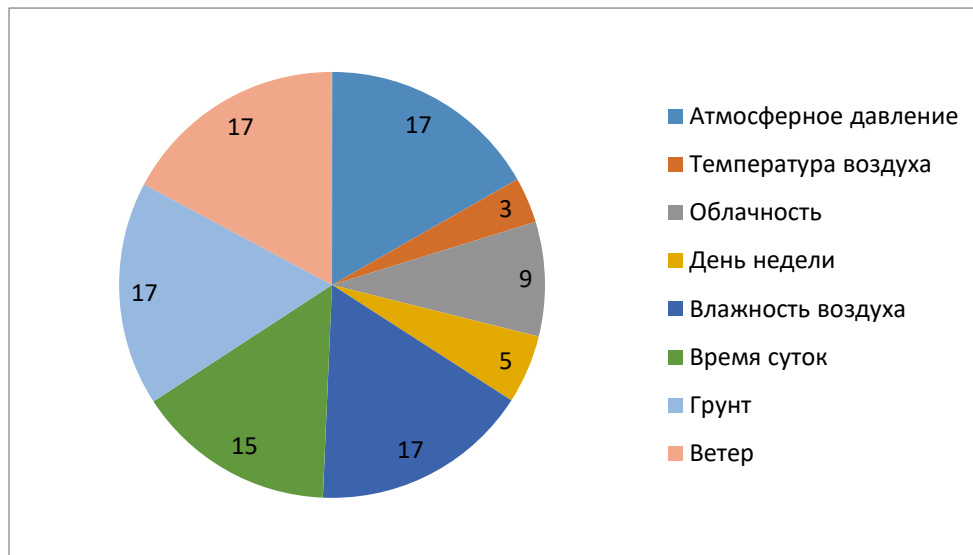


Рисунок 1.8 – Распределение веса фактора

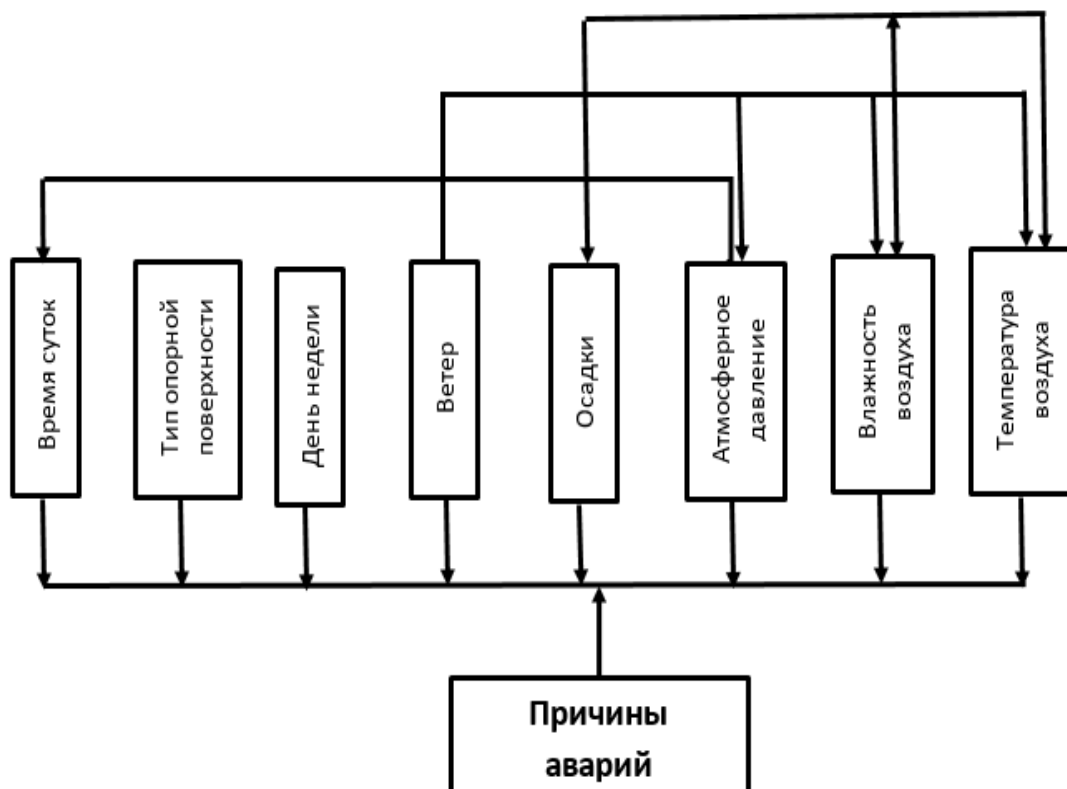


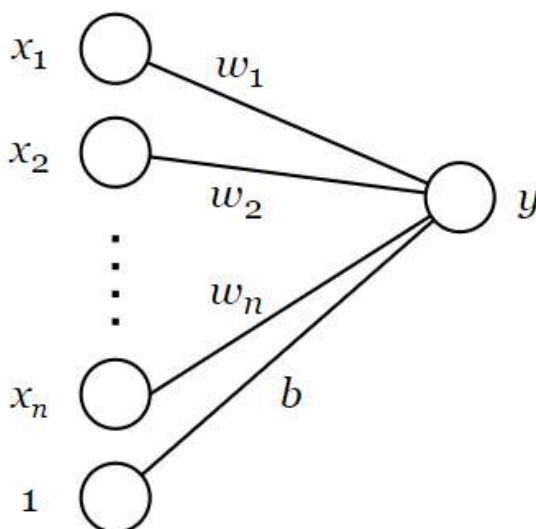
Рисунок 1.9 Схема взаимовлияния факторов и влияние факторов на аварийность ССК

Так, например, напряженный график работы оператора в течение смены в связи с большим объемом работ может привести к накоплению усталости, что в

свою очередь отразится на следующем рабочем дне, в случае сменного графика работы. Таким образом, влияние факторов на аварийность крановых конструкций и взаимовлияние факторов может быть представлено схемой, представленной на рисунке 1.9.

1.3.3 Использование нейронных сетей. Проверка адекватности действия факторов, влияющих на аварийность стреловых самоходных кранов, численным методом

На рисунке 1.9 видно, что факторы находятся в тесной связи друг с другом. Например, порывистый ветер может привести к возникновению облачности, что в свою очередь может привести к повышению влажности и сказаться на атмосферном давлении. Кроме того, схема имеет схожие черты со структурной схемой нейронной сети однослойного восприятия (перцептона) [46]. На основании этого принципа предлагается модель (рисунок 1.10)



x_n – входные параметры (факторы), w_n – вес параметра (фактора), y – выходная функция (авария ССК), b – смещение, необходимое для обучения нейронной сети, I – коэффициент смещения

Рисунок 1.10 – Схема нейронной сети однослойного восприятия

В связи с этим третьим методом для определения важности факторов является метод, используемый при определении весов в нейронных сетях.

Определение веса k -го фактора ω происходит посредством метода градиентного спуска. Веса всех факторов определяются пошагово с учетом скорости обучения α и градиента функции ошибки L , являющимся частной производной от веса фактора [46] (1.3).

$$\omega^{(k+1)} = \omega^k - \alpha \cdot L(\omega^k). \quad (1.4)$$

Шаг изменения веса фактора каждой итерации определяется по зависимости (1.5):

$$\Delta\omega = -2 \cdot \alpha \cdot \Delta y \cdot f'(z) \cdot x, \quad (1.5)$$

где $\Delta\omega$ – шаг изменения веса фактора;

α – скорость обучения;

Δy – ошибка предсказания;

$f'(y)$ – значение производной активационной функции

$$y = \sum_{i=1}^{n+1} x_i \cdot \omega_i, \quad (1.6)$$

где x – значение входного фактора.

Следует отметить, что скорость получения наиболее точных результатов будет зависеть от того, насколько близки значения заданных весов факторов к рассчитанным нейронной сетью. В связи с трудоемкостью расчетов применяют различные программные комплексы, где есть заложенные пакеты расчеты нейронных систем (например, программный комплекс Matlab).

В теории машинного обучения для определения веса фактора рекомендуется использовать уравнение линейной регрессии. Одним из способов вычисления параметров модели предлагается применить метод наименьших квадратов (1.7), минимизирующий среднеквадратичную ошибку между полученным значением и расчетным рассматриваемого параметра [47].

$$L(X, y, \omega) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (y_i - \omega^T x_i)^2. \quad (1.7)$$

Для решения данной оптимизационной задачи необходимо вычислить производные по параметрам модели, приравнять их к нулю и решить полученные уравнения относительно ω .

Согласно теореме Гаусса-Маркова минимизация среднеквадратической ошибки в случае уравнения парной регрессии не ведет к искажению параметров рассматриваемых моделей, а лишь выйдут из условий теоремы и ухудшат достоверность линейных результатов.

При настройке системы безопасности, учитывая внешние условия, на основе веса факторов можно устанавливать оптимальные параметры реагирования системы безопасной работы ССК, обеспечивающие повышенную безопасность при производстве работ.

1.3.4 Расчет весов внешних ненормируемых факторов на основе нейронных сетей

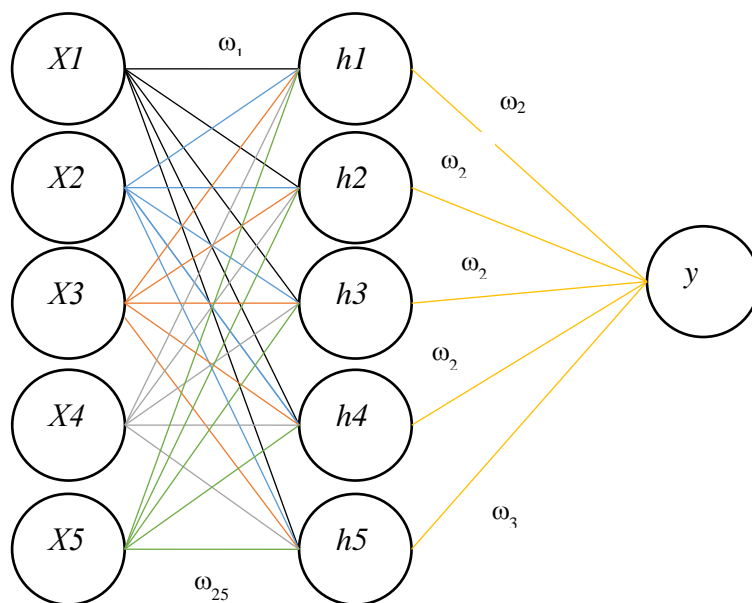
В результате второго этапа расчетов по предложенной методике было установлено, что кроме известных ненормируемых факторов, влияющих на опрокидывание ССК, таких как ветровая нагрузка и нагрузка, возникающая в результате проседания грунта, на аварийность также влияют влажность воздуха, атмосферное давление, время суток.

На основании рисунка 1.10 была составлена схема двухслойная нейронной сети с одним скрытым слоем (рисунок 1.11).

На рисунке 1.11 видно, что, например, атмосферное давление влияет на скрытые нейроны h 1-5 с весами ω_{1-5} соответственно, влажность воздуха влияет на скрытые нейроны с весами ω_{6-10} . И так каждый последующий фактор влияет скрытый слой с собственными весами, принимающими значения ω_{11-25} . В свою очередь скрытые нейроны влияют на аварийность с весами ω_{26-30} .

Расчет весов производится по следующему алгоритму:

1 для заданных значений факторов произвольным образом выставляются значения весов действия факторов и значение ожидаемого результата y ;



$X 1-5$ – факторы влияния (атмосферного давление, влажности воздуха, времени суток, скорости ветра, несущей способности грунта), ω_{1-25} – веса ненормируемых внешних факторов, $h 1-5$ – нейроны скрытого слоя, ω_{26-30} – веса нейронов скрытого слоя, y – момент опрокидывания ССК, принимающий значение 1 в случае наступления аварийной ситуации

Рисунок 1.11 – Схема двухслойной нейронной сети с одним скрытым слоем

2 по методу наименьших квадратов (формула 1.7) находится среднеквадратическая ошибка, которая минимизируется с каждой итерацией работы алгоритма. В соответствии с зависимостями (1.4) – (1.7) находится влияние веса каждого фактора на функцию потерь:

$$\frac{\partial L}{\partial \omega_n} = \frac{\partial L}{\partial y_{pred}} \cdot \frac{\partial y_{pred}}{\partial \omega_n}, \quad (1.8)$$

где y_{pred} – предсказанное значение переменной;

ω_n – вес фактора;

3 в качестве функции активации примем сигмоиду:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}; \quad (1.9)$$

4 согласно цепному правилу каждый множитель выражения (1.8) раскрывается по зависимости:

$$\frac{\partial L}{\partial y_{pred}} = \frac{\partial (L - y_{pred})^2}{\partial y_{pred}} = -2 \cdot (1 - y_{pred}); \quad (1.10)$$

5 значение y_{pred} определяется, как функция активации от значений скрытых нейронов и их весов:

$$y = f(h_1 \cdot \omega_{25} + h_2 \cdot \omega_{26} + h_3 \cdot \omega_{27} + h_4 \cdot \omega_{28} + h_5 \cdot \omega_{29} + b_6); \quad (1.11)$$

6 влияние веса каждого нейрона на y_{pred} определяется по зависимости:

$$\frac{\partial y_{pred}}{\partial \omega_n} = \frac{\partial y_{pred}}{\partial h_z} \cdot \frac{\partial h_z}{\partial \omega_n}; \quad (1.12)$$

7 влияние скрытого слоя на y_{pred} определяется, как производная функции активации на вес нейрона скрытого слоя ω_z :

$$\frac{\partial y_{pred}}{\partial h_z} = \omega_z \cdot f'(h_1 \cdot \omega_{25} + h_2 \cdot \omega_{26} + h_3 \cdot \omega_{27} + h_4 \cdot \omega_{28} + h_5 \cdot \omega_{29} + b_6); \quad (1.13)$$

8 влияние веса фактора на нейрон скрытого слоя определяется зависимостью:

$$\frac{\partial h_z}{\partial \omega_n} = x_d \cdot f'(x_1 \cdot \omega_n + x_2 \cdot \omega_m + x_3 \cdot \omega_k + x_4 \cdot \omega_l + x_5 \cdot \omega_p + b_s). \quad (1.14)$$

В таблице 1.8 представлены результаты примера расчета приведенного алгоритма, выполненного в приложении Excel для аварийного случая, произошедшего 20.09.2016 в г. Москве на Севастопольском проспекте (см. таблицу 1.4). Для упрощения расчетов исходные значения факторов были уменьшаем на произвольную величину относительно среднестатистического значения. Результат уменьшения x приведен в столбце 2 таблицы 1.8. В столбце 3 первой итерации представлены выбранные случайным образом веса ненормируемых факторов ω , которые будут уточняться согласно предлагаемого алгоритма при расчете второй итерации, представленной в столбце 7. В столбце 4 указаны значения скрытых нейронов h для первой итерации, а в столбце 5 смещение b . После проведения расчета значений первой итерации и вычисления ошибки, происходит расчет второй итерации с уточнением значений веса ненормируемых факторов ω . Расчет продолжается до наступления минимизации функции ошибки.

В таблице 1.8 видно, что при расчете значение величины выходного параметра y стремится к 1 уже при повторном прохождении алгоритма (столбцы 6 и 10). Это свидетельствует о верности проведенного расчета. Предлагаемый расчет, выполняемый в приложении Excel трудоемок из-за перебора сочетания вариантов действия факторов. Поэтому предлагается для расчета алгоритма использовать язык программирования Python (Приложение В).

Таблица 1.8 – Результаты расчета весов факторов в приложении Excel

№	Итерация 1					Итерация 2			
	x	ω	h	b	y	ω	h	b	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	16,81	0,2	3,438E-12	-18	0,7867	0,1999	3,43839E-12	-18	0,8294
2	0,38	0,3	0,9995018	-1		0,2999	0,999992629	-1	
3	5,47	0,4	0,9995018	-7		0,3999	0,454778146	-7	
4	-1,7	0,5	0,0121765	-3		0,5001	0,999605076	-3	
5	-0,02	0,6	0,9995018	-1		0,6002	0,999992629	-1	
6		0,2		0		0,1948		0	
7		0,3				0,2998			
8		0,4				0,3966			
9		0,5				0,5012			
10		0,6				0,6001			
11		0,2				0,1948			
12		0,3				0,2998			
13		0,4				0,3966			
14		0,5				0,5012			
15		0,6				0,6001			
16		0,2				0,1783			
17		0,3				0,2992			
18		0,4				0,3859			
19		0,5				0,5054			
20		0,6				0,6001			
21		0,2				0,1948			
22		0,3				0,2998			
23		0,4				0,3966			
24		0,5				0,5012			
25		0,6				0,6001			
26		0,2				0,1948			

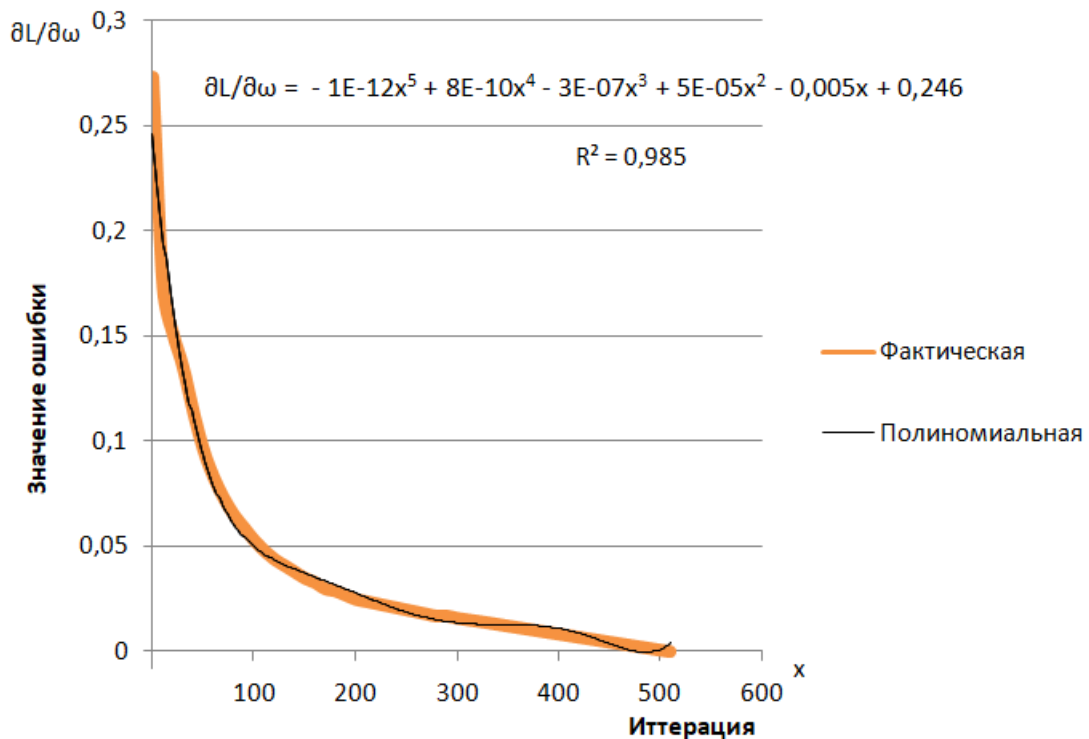
Продолжение таблицы 1.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27		0,3				0,2998			
28		0,4				0,3966			
29		0,5				0,5012			
30		0,6				0,6001			

Показателем достоверности расчетов является стремление функции ошибки к нулю (рисунок 1.12). Представленная на рисунке 1.12 функция ошибки $\frac{\partial L}{\partial \omega}$ является полиномом пятой степени.

$$\frac{\partial L}{\partial \omega} = -e^{-12x^5} + 8e^{-10x^4} - 3e^{-7x^3} + 5e^{-5x^2} - 0,005x + 0,246, (x = 1 \dots 600). \quad (1.15)$$

На рисунке 1.12 видно, что функция имеет характер полинома, стремящегося к 0, а ее регрессия равна 0,9858.

Рисунок 1.12 – Функция ошибки ($\partial L/\partial \omega$)

Таким образом, в результате расчета нейронной сети было установлено, что вес фактора атмосферного давления имеет значение 0,2, вес фактора влажности

воздуха имеет значение 0,3, вес фактора времени суток имеет значение 0,4, вес фактора скорости ветра – 0,5, вес фактора типа грунта – 0,6.

Рассмотрев полученные результаты статистического анализа и метода Хэя, а также сравнив значения полученных весов, можно судить о достоверности полученных результатов.

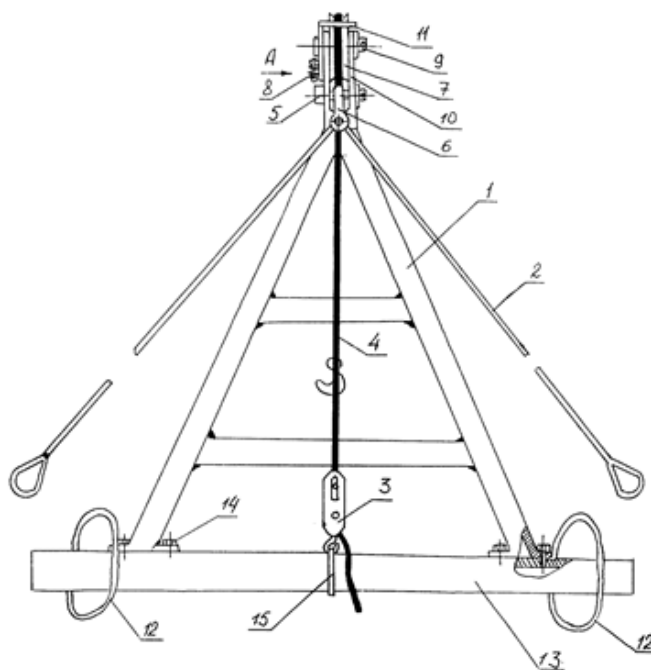
В результате проведенной обработки статистических данных по предлагаемой методике было выявлено, что указанные факторы влияют не только на самочувствие крановщика, но и в значительной мере оказывают влияние на ход выполнения работ, усложняя его при ухудшении условий (осадки, плохая видимость, повышенная влажность и др.). В результате проведенных исследований можно утверждать, что своевременное предупреждение при помощи дополнительно введенных датчиков влияния факторов, ведущих к опрокидыванию стреловых крановых конструкций, позволит снизить количество аварий.

1.4 Анализ существующих технических решений

Для устранения аварийности грузоподъемных сооружений предлагается множество технических решений. Немаловажной задачей является и подъем упавших кранов, способных выполнять свои функции в процессе эксплуатации. Анализ таких решений, проведенный по материалам патентной литературы, предложен ниже.

Авторами [48] было предложено универсальное грузоподъемное устройство (рисунок 1.13), включающее основание стрелы, трос-оттяжку, проходящий через серьгу, лебедку с тросом лебедки, проходящим через блок с осью, отличающееся тем, что основание стрелы в нижней части крепится болтами к навешенной тросами крепления на буксирные крюки бронеобъекта или автомобиля опорной трубе, к которой тросами крепления лебедки фиксируется лебедка, трос которой прижимается закрепленной на щеках основания стрелы скобой, которая фиксируется стопором, закрепленным на щеках, на которых закреплена серьга и

блок с осью, при этом трос-оттяжка крепится за крюки башни бронееобъекта или за раму автомобиля, а опорная труба опирается на наклонный броневой лист бронееобъекта или на бампер автомобиля. Недостатком данной конструкции является невозможность регулирования усилий в процессе подъема крана.

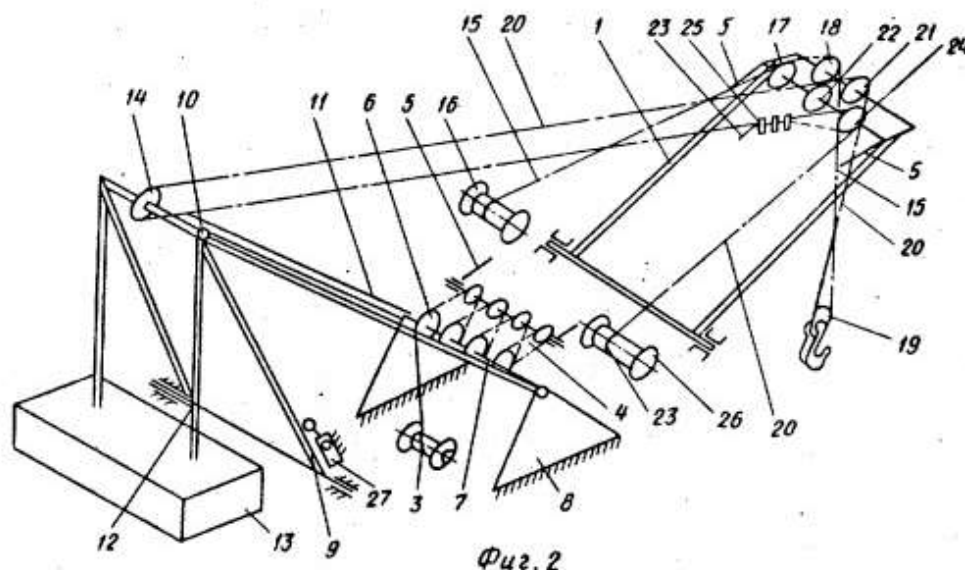


1 – основание стрелы, 2 – трос-оттяжка, 3 – лебедка, 4 – трос лебедки, 5 – палец, 6 – серьга, 7 – блок, 8 – стопор, 9 – ось, 10 – щеки, 11 – скоба, 12 – троса крепления, 13 – опорная труба, 14 – болты, 15 – трос крепления лебедки

Рисунок 1.13 – Универсальное грузоподъемное устройство

Авторы [49] разработали стреловой самоходный кран, конструкционной особенностью которого является наличие установленных на платформе на одном ее конце стрелу, поворотную в вертикальной плоскости и снабженную полиспастной грузовой подвеской, а на другом конце – двуногие стойки, шарнирную и противовесную, несущие на свободных концах блоки соответственно для тяги, несущей контргруз, и для оттяжки и грузового каната, и грузовую и стреловую лебедки, на которых закреплены одними концами соответственно грузовой и стреловой канаты (рисунок 1.14). Недостатком

является сложность конструкции и повышение коэффициента конструктивности изделия.

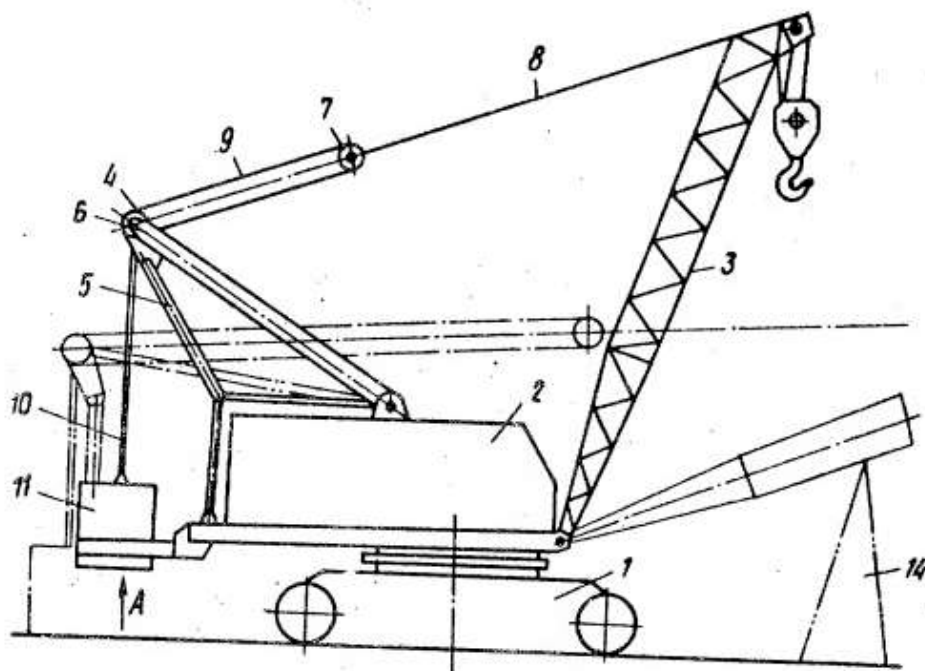


- 1 – стрела, 2 – рама, 3 - лебедка, 4 - полиспаст; 5 - оттяжка; 6 – неподвижные блоки; 7 - ось; 8 – двуногая стойка; 9 – противовесная стойка; 10 – конец стойки; 11 - тяга; 12 - оттяжка; 13 - контргруз; 14 - блок; 15 - канат; 16 – барабан лебедки; 17, 18 - блоки; 19 – подвижный блок; 20 – обратная ветвь; 21 – блок; 22 – дополнительный блок, 23 – конец обратной ветви, 24 – блок, 25 – зажимные планки, 26 – вспомогательная лебедка, 27 – выключатель лебедок крана

Рисунок 1.14 – Стреловой самоходный кран

Авторы [50] предложили самоходный кран, содержащий поворотную платформу со стрелой, с которой связана одним концом. через полиспаст закрепленная другим концом шарнирно на платформе стойка, с первым концом которой соединена тяга постоянной длины, на которой закреплен противовес, и шарнирно одним концом штанга, соединенная шарнирно другим концом с платформой, на которой закреплены направляющие для противовеса отличающийся тем, что, с целью улучшения эксплуатационных характеристик, на противовесе с обеих его сторон в нижней его части симметрично продольной оси платформы закреплены планки, несущие на свободных концах, обращенных к платформе, ориентированные навстречу друг другу выступы, расположенные в направляющих с возможностью ограниченного смещения вдоль продольной оси

платформы и вывода из направляющих при смещении, большем упомянутого смещения, причем штанга выполнена жесткой, а ее шарнирное соединение с платформой – быстроразъемным (рисунок 1.15). Недостатком является увеличение габаритов изделия, что исключает работу в стесненных условиях.

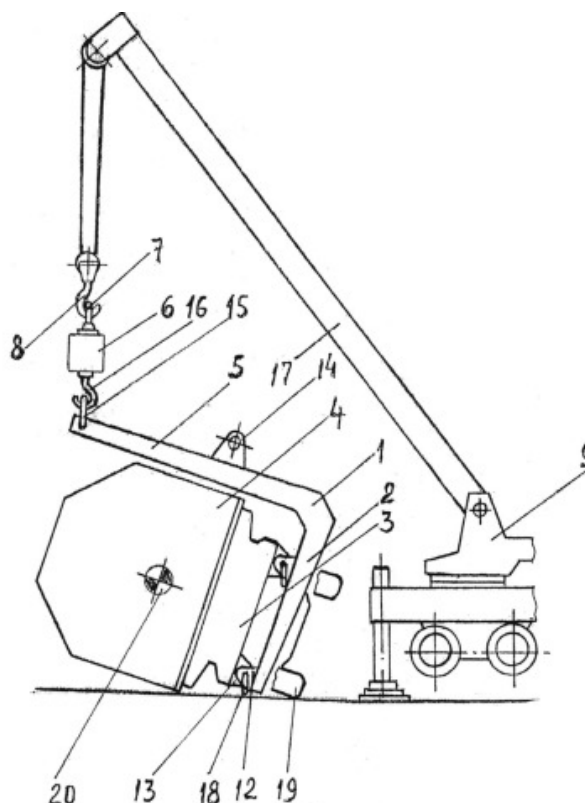


1 – ходовая часть, 2 – поворотная платформа, 3 – стрела, 4 – стойка, 5 – штанга, 6 – обойма, 7 – обойма, 8 – гибкая тяга, 9 – каната, 10 – тяга, 11 – противовес, 12 – направляющие, 13 – планки, 14 – опора

Рисунок 1.15 – Самоходный кран

Авторами [51] было предложено устройство для подъема аварийно опрокинутого транспортного средства, которое содержит две Г-образные неравноплечные балки, концы коротких плеч которых оснащены узлами для скрепления с днищем опрокинутого транспортного средства, а концы длинных плеч - петлями, в центре тяжести каждой балки смонтированы скобы для их подъема и транспортировки. Устройство снабжено продольной балкой, оснащенной грузозахватами, взаимодействующими с петлями Г-образных балок, и такелажными узлами на концах для навешивания на крюки грузоподъемных кранов. Длина продольной балки не менее длины опрокинутого транспортного средства. Достигается возможность подъема крупногабаритных транспортных средств большой массы, сокращение длительности и упрощение процедуры

подъема (рисунок 1.16). Достоинствами данного устройства являются оперативный подъем и установка на колеса в полевых условиях аварийно опрокинутых крупногабаритных большой массы всепогодных агрегатов специального назначения. Недостатком является наличие дополнительного грузозахватного приспособления и снижение грузовой устойчивости.

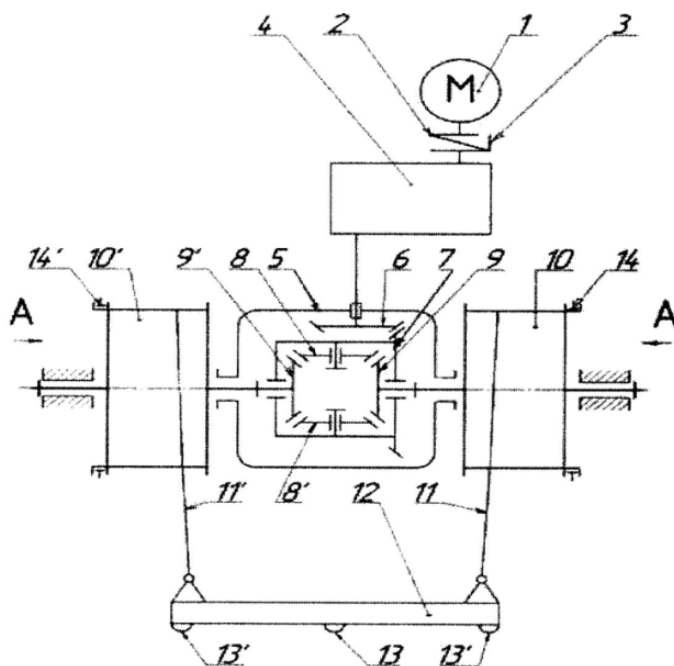


1 – Г-образная балка, 2 – плечо, 3 – днище, 4 – опрокинутое транспортное средство, 5 – плечо, 6 – продольная балка, 7 – рым-болт, 8 – крюк, 9 – грузоподъемный кран, 12 – проушина, 13 – проушина, 14 – скоба, 15 – петля, 16 – грузозахват, 17 – стрела, 18 – штырь, 19 – колесо, 20 – центр массы

Рисунок 1.16 – Устройство для подъема аварийного опрокинутого транспортного средства

Авторами [52] был разработан механизм подъема груза, содержащий раму, источник привода - электродвигатель, муфту с колодочным тормозом нормально замкнутого типа, редуктор, барабан с канатом и грузозахватное устройство в виде подвески или траверсы, отличающийся тем, что он снабжен зубчатым дифференциалом, вторым барабаном, двумя ленточными тормозами суммарного типа, при этом валы барабанов соединены с солнечными шестернями дифференциала, ленточные тормоза размещены на торцовых сторонах барабанов,

приводные рычаги которых выведены в кабину крановщика, траверса снабжена тремя проушинами для подвеса груза (рисунок 1.17). Недостаток этого механизма подъема заключается в том, что при подъеме или опускании грузов со смещенным центром тяжести происходит перекос груза. При перекошенном грузе затруднен или невозможен монтаж изделий на фундамент или раму, возникает опасность для здоровья стропальщиков и других работников.



1 – электродвигатель, 2 – муфта, 3 – колодочный тормоз, 4 – редуктор, 5 – передача дифференциала, 6 – ведущая шестерня, 7 – ведомое колесо, 8 – сателлит, 9 – коническая шестерня, 10 – барабан, 11 – канат, 12 – траверса, 13 – проушина, 14 – ленточные тормоза

Рисунок 1.17 – Механизм подъема для груза со смещенным центром тяжести

В Приложении Б приведены наиболее близкие технические решения в области увеличения устойчивости стреловых самоходных кранов при работе с большемерными грузами.

1.5 Выводы по разделу 1

1. Анализ статистики аварий, приведенной по материалам Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, за период 2008-2020 год показал: доля аварий, приходящихся на грузоподъемные краны при

их эксплуатации от общего числа грузоподъемных средств, составляет 87 %, из них 22 % приходится на ССК, причем около 70 % происходит по техническим причинам.

2. Анализ причин аварий грузоподъемных средств позволил сформировать их в группы:

- техногенного (технического) характера;
- природного характера;
- присутствие человеческого фактора;
- эксплуатационного характера;
- организационного и контролирующего характера;
- возникающие при перебазировке кранов (сдача в аренду предприятиям).

Все эти факторы тесно взаимосвязаны друг с другом, а степень взаимного влияния можно оценить по интенсивности влияния каждого из них.

3. Известно, что в соответствии с нормативными документами степень устойчивости крана в рабочем состоянии определяется коэффициентами грузовой и собственной устойчивости. Потеря устойчивости крана и, как результат, его опрокидывание влечет за собой серьезные экономические последствия: разрушение кранов, близлежащей инфраструктуры, человеческие жертвы, затраты на подъем упавшего крана и ремонтно-восстановительные работы.

4. Выявлено, что влияние факторов на устойчивость стреловых крановых конструкций необходимо учитывать при составлении приборов безопасности пропорционально их весам, которые можно определить по методологии, заключающейся в выявлении значимых факторов по методу Хэя (метод экспертной оценки), в оценке значимости с использованием критерия Пирсона и проверке адекватности действия факторов численным методом с применением сетевого анализа, лежащего в основе машинного обучения. Теоретические исследования в этом направлении в литературе отсутствуют.

5. Установлено, 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 как на аварийность стреловых самоходных кранов, так и на другие факторы (взаимовлияние факторов).

б. Анализ современных технических решений, проведенных по материалам патентных исследований позволил установить, что существующие методы подъема кранов при потере их устойчивости имеют определенные недостатки связанные:

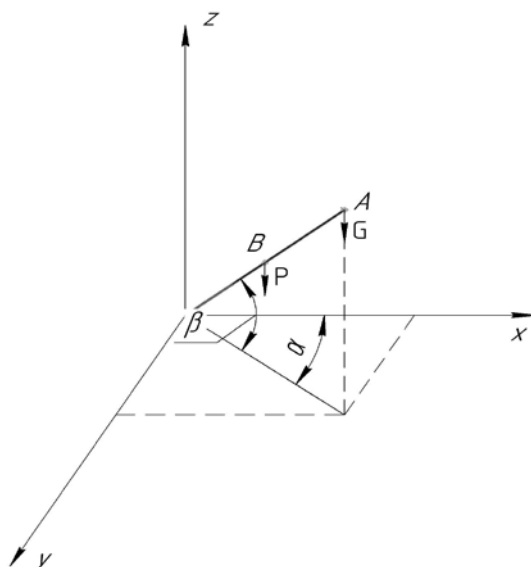
- с невозможностью регулирования усилий в процессе подъема крана.
- с перекосом груза со смещенным центром тяжести при его подъеме или опускании.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЖЕННОСТИ СТРЕЛОВЫХ САМОХОДНЫХ КРАНОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ

2.1 Исследования кинематики и динамики движения стрелы крана при выполнении погрузочно-разгрузочных работ

Стреловой самоходный кран является сложной системой, предназначенной для осуществления погрузочно-разгрузочных работ и состоящей из следующих звеньев [55, 56]: базовая машина, поворотная платформа, стрела, телескопическое звено, тросовая подвеска с крюковой обоймой и грузом.

Погрузочно-разгрузочные работы – это комплекс мер по поднятию груза, его транспортировке к месту разгрузки и опусканию груза. В результате подъема-опускания груза стрела крана изменяет свое положение относительно горизонтальной плоскости на угол β (рисунок 2.1), в то же время при транспортировке груза происходит поворот стрелы вокруг вертикальной оси z . Это в проекции на горизонтальную плоскость ведет к изменению угла α относительно оси x .



β – угол наклона к горизонтальной плоскости, α – угол наклона относительно оси x ,
 G – вес груза, P – вес стрелы

**Рисунок 2.1 – Положение стрелы ССК при проведении
погрузочно-разгрузочных работ**

Очевидно, что стрела во время поворота практически все время работает в режиме неустановившегося движения, при котором линейная скорость ее вращения изменяется от нуля до максимального значения, определяемого механизмом поворота стрелы, и опять снижается до нуля, что является причиной возникновения в ней динамических нагрузок.

В настоящее время известно несколько методов исследования кинематики и динамики движения стрелы крана при выполнении погрузочно-разгрузочных работ.

В работе [55] обобщенная расчетная схема стрелового самоходного крана представлена как шарнирно-сочлененный многозвенник (рисунок 2.2). При этом кран выполнен в виде динамической системы, состоящей из абсолютно жестких элементов (жесткость c_i) с сосредоточенными податливостями (вязкость b_i). В качестве звеньев в расчетной схеме выбраны пять основных элементов крана с приведенными массами m_i , выполняющие значимые функции при выполнении погрузочно-разгрузочных работ. Это:

- 1) базовое шасси крана массой m_1 , включающее в себя массу ходового оборудования;
- 2) поворотная платформа массой m_2 , включающая в себя часть массы гидроцилиндра подъема стрелы;
- 3) стрела крана массой m_3 , включающая в себя часть массы гидроцилиндра подъема стрелы и часть массы гидроцилиндра выдвижения стрелы;
- 4) выдвижная часть стрелы массой m_4 , включающая в себя часть массы гидроцилиндра выдвижения стрелы;
- 5) тросовая подвеска с крюковой обоймой и грузом массой m_5 .

Внешние силы, действующие на ходовое и стреловое оборудование крана, являются эквивалентными составляющими, приложенными в определенных точках и представляющими проекции результирующих сил на оси инерциальной системы координат [55].

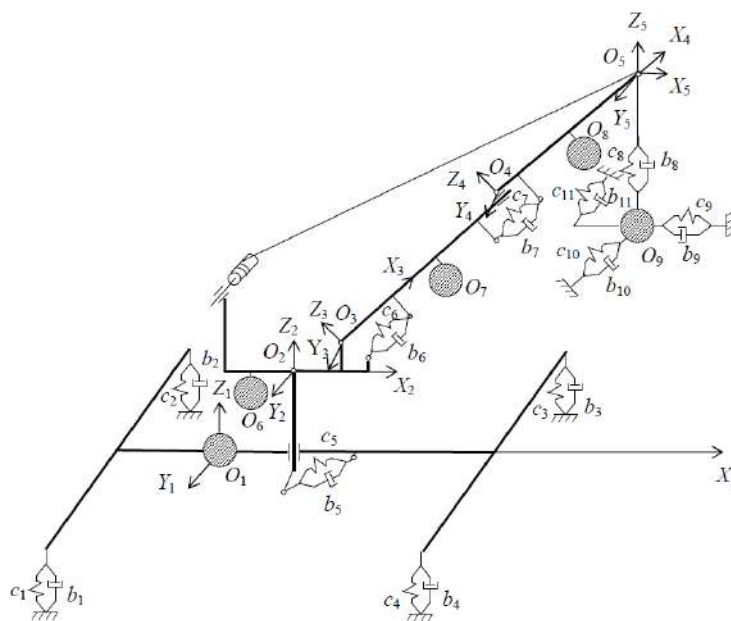


Рисунок 2.2 – Динамическая расчетная схема грузоподъемного крана, совершающего малые колебания [55]

В результате изменения скоростей движения, в звеньях представляющих собой абсолютно жесткие конструкции, возникают осевые J_{ix} , J_{iy} , J_{iz} и центробежные

J_{ixy} , J_{ixz} , J_{iyz} моменты инерции относительно осей собственных локальных систем координат $X_iY_iZ_i$ с центром в точках O_i – центрах приведенных масс m_i звеньев.

В результате действия указанных сил (см. рисунок 2.2) представленная динамическая система самоходного грузового крана (СГК), будет совершать малые колебания. Упруговязкие свойства гидроцилиндров выносных опор (аутригеров), стрелы и тросовой подвески с обоймой представлены в динамических связях жесткими с жесткостью c_1, c_2, \dots, c_{11} и диссипативными элементами с вязкостью b_1, b_2, \dots, b_{11} .

На систему действуют статические силы. Массы звеньев m_i в поле тяготения создают силы веса F_{gi} , представленные на расчетной схеме сосредоточенными силами, приложенными в центрах масс звеньев, заданных векторами R_{im} . Со стороны грунта на опорные элементы действуют усилия в связях $F_{R1}, F_{R2}, F_{R3}, F_{R4}$.

Рассматриваемая расчетная схема является обобщенной, так как отражает наиболее общие признаки большинства известных СГК [55]. Алгоритм составления математической модели, позволяющий оценить ее динамическое состояние по методике [55] состоит из трех этапов.

1) Задать системы координат приведенных масс m_i , позволяющие однозначно описать перемещение звеньев в пространстве относительно системы координат в точке O_o , которая связана с неподвижным основанием (грунтом).

2) Выбрать углы φ_i , ψ_i , ν_i поворотов вокруг осей x_i , y_i , z_i локальных систем координат соответствующих звеньев. (Для наглядности и удобства обобщенные координаты, принятые для составляемой пространственной динамической системы сведены в таблицу 2.1.)

Таблица 2.1 – Обобщенные координаты динамической системы ССК

№	Характеристика координаты в локальной системе координат звена	Координата в локальной системе координат звена	Обобщенная координата
1	Перемещение центра масс базового шасси (центра масс O_1) вдоль оси z_0	z_1	q_1
2	Поворот базового шасси вокруг оси x_0	φ_1	q_2
3	Поворот базового шасси вокруг оси y_0	ν_1	q_3
4	Поворот поворотной части вокруг оси z_0	ψ_2	q_4
5	Поворот стрелы вокруг оси y_3	ν_3	q_5
6	Перемещение точки O_4 вдоль оси x_3	x_4	q_6
7	Перемещение точки O_9 вдоль оси z_5	z_5	q_7
8	Поворот системы координат $O_5x_5y_5z_5$ вокруг оси x_5	φ_5	q_8
9	Поворот системы координат $O_5x_5y_5z_5$ вокруг оси y_5	ν_5	q_9
10	Поворот системы координат $O_5x_5y_5z_5$ вокруг оси z_5	ψ_5	q_{10}

3) Учитывая изменение координат звена крана в процессе эксплуатации, составляют матрицы перехода системы осей i к системе координат по осям $i-1$, которые в общем случае выглядят следующим образом:

$$A_i = A_{\varphi_i} \cdot A_{\nu_i} \cdot A_{\psi_i} \cdot A_{x_i} \cdot A_{y_i} \cdot A_{z_i}, \quad (2.1)$$

где A_{φ_i} – поворот системы осей $O_{i-1}x_{i-1}y_{i-1}z_{i-1}$ вокруг оси x_{i-1} на угол φ_i ;

A_{ν_i} – поворот системы осей $O_{i-1}x_{i-1}y_{i-1}z_{i-1}$ вокруг оси y_{i-1} на угол ν_i ;

A_{ψ_i} – поворот системы осей $O_{i-1}x_{i-1}y_{i-1}z_{i-1}$ вокруг оси z_{i-1} на угол ψ_i ;

A_{xi} – перенос системы осей $O_{i-1}x_{i-1}y_{i-1}z_{i-1}$ вдоль оси x_i на величину до совпадения начал координат O_{i-1} и O_i ;

A_{yi} – перенос системы осей $O_{i-1}x_{i-1}y_{i-1}z_{i-1}$ вдоль оси y_i на величину до совпадения начал координат O_{i-1} и O_i ;

A_{zi} – перенос системы осей $O_{i-1}x_{i-1}y_{i-1}z_{i-1}$ вдоль оси z_i на величину до совпадения начал координат O_{i-1} и O_i .

Например, матрица перехода от $O_{1x_1y_1z_1}$ к $O_{0x_0y_0z_0}$ будет иметь вид:

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos v_1 & \sin v_1 & 0 & 0 \\ -\cos \varphi_1 \sin v_1 & \cos \varphi_1 \sin v_1 & \sin \varphi_1 & 0 \\ \sin \varphi_1 \sin v_1 & -\sin \varphi_1 \sin v_1 & \cos \varphi_1 & z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

Таким образом, уравнения, характеризующие геометрические связи с помощью дифференцирующих матриц [55] позволяют получить уравнения изменения кинематики механической подсистемы СГК, решение которых осложняется необходимостью анализа и синтеза, совмещенной во времени работы механизмов при пространственном колебании груза, перемещаемого на гибком подвесе. Как правило для этих целей используется принцип Лагранжа в виде уравнений второго рода [55]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial K}{\partial q_j} + \frac{\partial P}{\partial q_j} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_j} = Q_j, \quad (j = 1, 2, \dots, l) \quad (2.3)$$

где t – время;

q_j – j -я обобщенная координата;

K – кинетическая энергия;

\dot{q}_j – скорость по j -ой обобщенной координате;

P – потенциальная энергия;

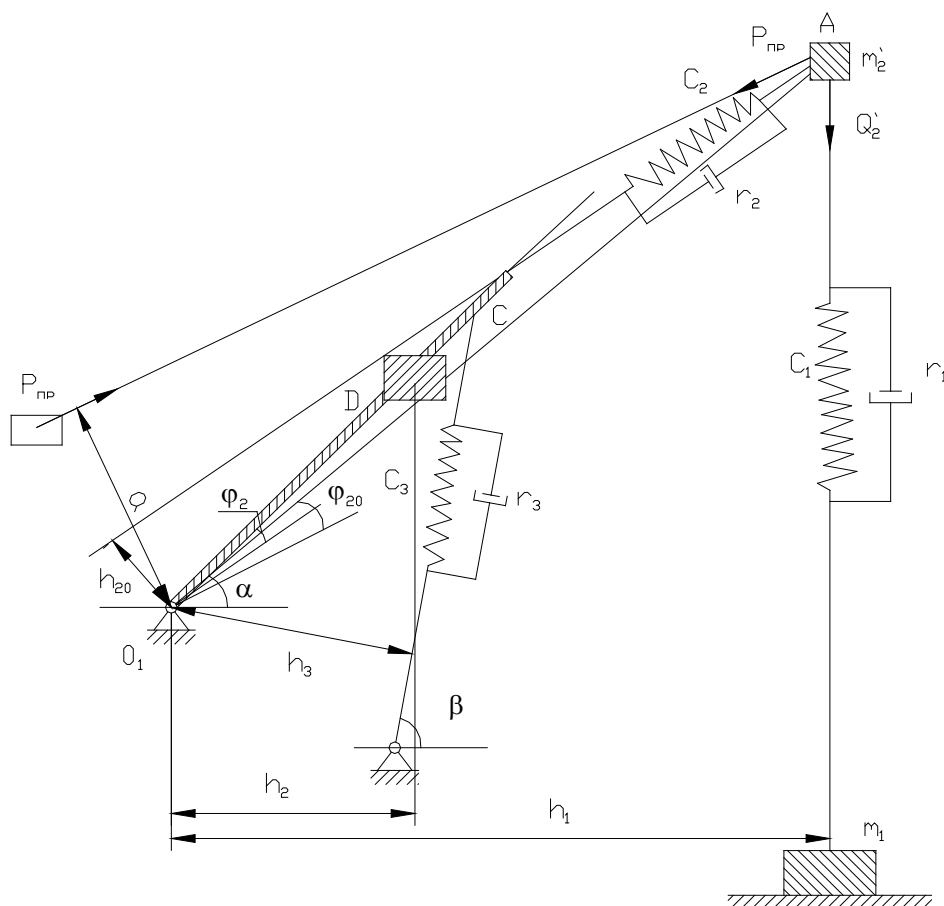
Φ – диссипативная функция (функция рассеяния);

Q_j – обобщенная сила, действующая по j -ой обобщенной координате.

Как видно из сказанного выше, рассматриваемый способ исследования кинематики и динамики ССК при последовательно переходе из одной системы координат в предыдущую является трудоемким и громоздким не только для аналитического анализа, но и машинного. К тому же, в связи с введением

обобщенных систем координат необходимо рассматривать всю систему ССК целиком, а выделение и исследование отдельного звена может привести к ошибке в расчетах, так как система должна рассматриваться относительно неподвижного основания.

Во втором случае авторами [57] представлены методика и результаты исследование кинематики и динамики стрелы ССК (рисунок 2.3).



R_{1-3} – демпфирующие коэффициенты, m_1 – масса груза, m'_2 – масса выдвижной части стрелы, C_{1-3} – коэффициенты жесткости, φ_{20} – угол поворота выдвижной части стрелы, φ_2 – угол поворота стрелы, α – угол наклона стрелы, β – угол наклона цилиндров подъема стрелы к горизонту, Q_2 – вес груза, $P_{нр}$ – усилие в канате подъема, h_1 – расстояние от начала координат до груза, h_2 – расстояние от начала координат до центра тяжести стрелы, h_3 – расстояние от начала координат до цилиндров подъема стрелы к горизонту, h_{20} – расстояние от начала координат до выдвижной части стрелы

Рисунок 2.3 – Расчетная схема с учетом влияния колебаний верхней выдвижной части стрелы [57]

Предлагаемая расчетная схема после проведенных упрощений рассматривается как двухмассовая система, совершающая поэтапные движения, как для подъема груза, так и для его опускания (движение без нагрузки, движение

с изменяющейся нагрузкой от 0 до Q_1 (веса груза), движение с оторвавшимся грузам).

При подъеме-опускании груза в момент неустановившегося движения (отрыв груза от поверхности) в металлоконструкции стрелы, канатах подъема груза и стрелы возникают колебания, которые отрицательно сказывается на работе всей конструкции, что является одной из причин потери устойчивости кранов. Этими работами, проводимыми в рамках подъема-опускания груза в свое время, занимались исследователи днепропетровского горного института. Здесь рабочее оборудование крана (стрела, канаты подъема груза и гидроцилиндр подъема стрелы) представлены в виде упруго-вязкой связи.

На рисунке 2.3 авторы расчетная схема рассматриваемого крана как двухмассовую в обобщенной системе координат. Рассматривая систему крана в момент погрузочно-разгрузочных работ с учетом влияния колебаний, возникающих в верхней части стрелы (рисунок 2.3). Используя расчетную схему, опираясь на принцип д'Аламбера и уравнение Лагранжа [57], составим уравнение динамического равновесия (2.4) в виде системы дифференциальных уравнений второго порядка.

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 m_1 + C_1 [x_1 - OA(\varphi_2 + \varphi_{20}) \cos \alpha] + r_1 [\dot{x}_1 - OA(\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_{20}) \cos \alpha] - m_1 g = 0; \\ J_{20} \cdot \ddot{\varphi}_{20} - C_1 [x_1 - OA(\varphi_2 + \varphi_{20}) \cos \alpha] + r_1 [\dot{x}_1 - OA(\dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_{20}) \cos \alpha] h_1 - m_2 g h_1 + \\ + M_{np} + (C_2 \cdot OA \cdot \varphi_{20} \cos \Theta + r_2 \cdot OA \cdot \dot{\varphi}_{20} \cos \Theta) h_{20} = 0; \\ J_{21} \cdot \ddot{\varphi}_2 - m_{21} g h_{21} + [C_3 \cdot OC \cdot \varphi_2 \sin(\beta - \alpha) + r_2 \cdot OC \cdot \dot{\varphi}_2 \sin(\beta - \alpha)] h_4 - \\ (C_1 \cdot OA \cdot \varphi_{20} \cdot \cos \Theta + r_2 \cdot OA \cdot \dot{\varphi}_{20} \cos \Theta) h_{20} = 0. \end{cases} \quad (2.4)$$

где φ_1 – угол поворота вала барабана механизма привода подъема груза;

φ_2 – угол поворота стрелы при её нагружении; α - начальный угол наклона стрелы;

β – начальный угол наклона гидроцилиндра подъема стрелы;

x_1 – перемещение груза;

θ – начальный угол отклонения оси верхней выдвигной части стрелы от оси невыдвигной части;

φ_{20} – угол поворота массы m'_2 от начала координат O_1A . Здесь m'_2 – приведенная масса стрелы и поднимаемого груза.

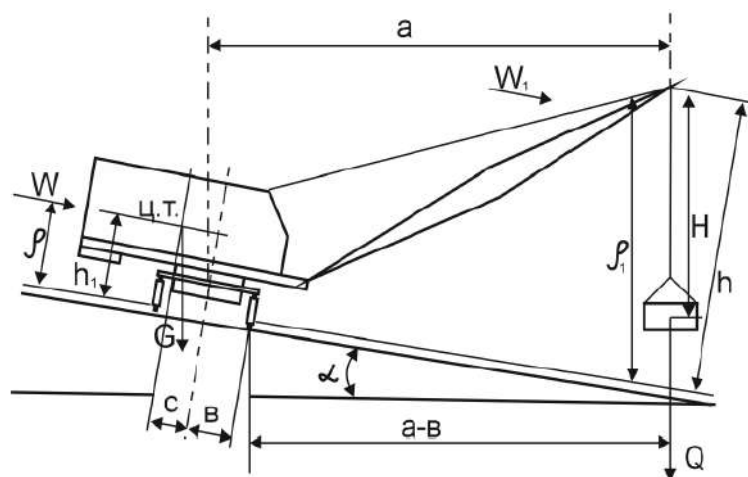
Недостатком методов, предлагаемых в источниках [55 - 57] является отсутствие варианта поворота стрелы в вертикальной плоскости и учет изменения траектории при подъеме груза. Этот метод применим при том условии, если траектория перемещения груза будет прямолинейная. Тогда статические методы расчета крановых конструкций можно применять в любом режиме эксплуатации.

При криволинейной траектории перемещения груза в процессе рабочего цикла крана (подъем-опускание груза, разворот на выгрузку и возвращение к месту загрузки) приведет к появлению дополнительных усилий в крановом

2.2 Аналитическое исследование неустойчивой работы стреловых самоходных кранов при погрузочно-разгрузочных работах

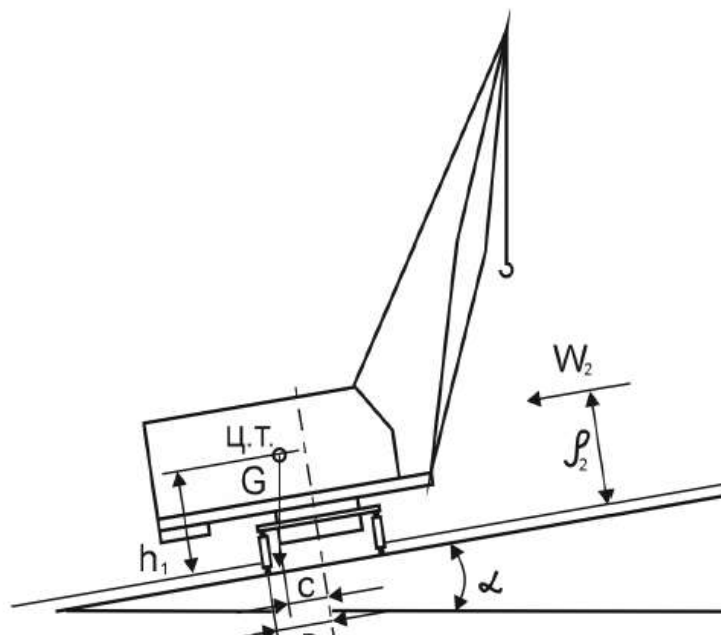
В классическом варианте в соответствии с нормативными документами, порядок расчета устойчивости (грузовой и собственной) стрелового самоходного крана подразделяется на несколько этапов [58 - 62].

Расчетная схема грузовой устойчивости крана представлена на рисунке 2.4. Расчетная схема собственной устойчивости крана представлена на рисунке 2.5.



W – ветровая нагрузка, W_1 – ветровая нагрузка на наветренную площадь груза, ρ , ρ_1 – расстояние от плоскости опорного контура до центра приложения ветровой нагрузки, G – вес крана, Q – вес груза, a – расстояние от оси вращения крана до центра тяжести груза, b – расстояние от оси вращения до ребра опрокидывания, c – расстояние от оси вращения до центра тяжести крана, h – расстояние от оголовка стрелы до плоскости опорного контура, h_1 – расстояние от центра тяжести крана до плоскости опорного контура, H – расстояние от оголовка стрелы до центра тяжести подвешенного груза, α – угол наклона плоскости установки крана

Рисунок 2.4 – Расчетная схема грузовой устойчивости стрелового крана



W_2 – ветровая нагрузка на наветренную площадь крана, ρ_2 – расстояние от плоскости опорного контура до центра приложения ветровой нагрузки, G – вес крана, c – расстояние от оси вращения до центра тяжести крана, h – расстояние от оголовка стрелы до плоскости опорного контура, h_1 – расстояние от центра тяжести крана до плоскости опорного контура, α – угол наклона плоскости установки крана

Рисунок 2.5 – Расчетная схема собственной устойчивости стрелового крана

Первым шагом является определение опрокидывающего (грузового) момента (см. рисунок 2.4):

$$M_{\Gamma} = Q \cdot (a - e), \quad (2.5)$$

где Q – наибольший вес рабочего груза;

a – расстояние от оси вращения крана до центра тяжести груза, подвешенного к крюку (на горизонтальной поверхности);

e – расстояние от оси вращения до ребра опрокидывания.

Вторым этапом является определение удерживающего момента возникающего от действия основных и дополнительных нагрузок (см. рисунок 2.5).

$$M_{\Pi} = M_{\epsilon^*} - M_y - M_{ц.с.} - M_u - M_{в.к.} - M_{в.г.}, \quad (2.6)$$

где M_{ϵ^*} – восстанавливающий момент от действия собственного веса крана; M_y – момент от собственного веса крана при уклоне его пути;

$M_{ц.с.}$ – момент от действия центробежных сил;

M_u – момент от силы инерции при торможении опускающегося груза;

$M_{в.к.}$ – момент от действия ветровой нагрузки на кран;

$M_{в.г.}$ – момент от действия ветровой нагрузки на подвешенный груз.

Третий шаг – это определение коэффициента грузовой устойчивости крана (см. рисунок 2.4).

$$K_1 = \frac{G[(\epsilon + c)\cos \alpha - h_1 \sin \alpha] - \frac{Qn^2 ah}{900 - n^2 H} - \frac{QV}{gt}(a - \epsilon) - W\rho - W_1\rho_1}{Q(a - \epsilon)}, \quad (2.7)$$

где G – вес крана;

c – расстояние от оси вращения крана до его центра тяжести;

α – угол наклона пути крана;

h_1 – расстояние от центра тяжести до плоскости, проходящей через точки опорного контура;

n – частота вращения крана вокруг вертикальной оси;

h – расстояние от оголовка стрелы до плоскости, проходящей через точки опорного контура;

H – расстояние от оголовка стрелы до центра тяжести подвешенного груза;

V – скорость подъема груза;

t – время установившегося режима работы механизма подъема (время торможения груза);

g – ускорение свободного падения;

W – ветровая нагрузка;

W_1 – ветровая нагрузка, действующая на наветренную площадь груза;

ρ, ρ_1 – расстояние от плоскости, проходящей через точки опорного контура до центра приложения ветровой нагрузки.

Грузовая устойчивость ССК обеспечивается при условии:

$$K_1 \leq \frac{M_{II}}{M_{I}}. \quad (2.8)$$

Четвертый этап – это определение коэффициента собственной устойчивости стрелового крана (см. рисунок 2.5).

$$K_2 = \frac{G[(b-c)\cos\alpha - h_1 \sin\alpha]}{W_2 \rho_2} \geq 1,15, \quad (2.9)$$

где W_2 – ветровая нагрузка, действующая на подветренную площадь крана;
 ρ, ρ_1 – расстояние от плоскости, проходящей через точки опорного контура до центра приложения ветровой нагрузки.

Таким образом, расчет устойчивости стреловых самоходных кранов включает в себя множество показателей, которые помимо возникающих сил и моментов элементов крана учитывают конструкцию механизма (площадь, сечение, сплошность стрелы), внешние факторы (тип местности (открытая или с препятствиями), район строительства, ветровые нагрузки), параметры груза. Рекомендованные параметры грузов, коэффициенты, характеризующие тип местности, на которой производятся работы, коэффициенты, характеризующие конструкцию крана, приведены в соответствующих ГОСТах [2-4] и других регламентирующих документах.

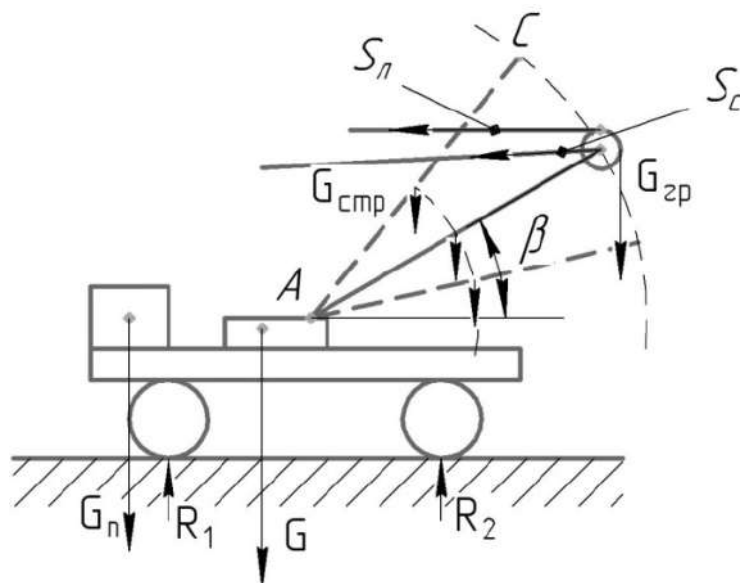
Из проведенного анализа видно, что в число учитываемых при оценке устойчивости кранов не входят:

- показатели изменения положения центра тяжести сечения при проведении погрузочно-разгрузочных работ;
- отсутствие учета человеческого и климатических факторов ввиду отсутствия исследований связи между ними.

2.3 Исследования влияния кинематики и динамики движения стрелы крана на смещение его центра тяжести при выполнении погрузочно-разгрузочных работ

Исходя из сказанного, для исследования нагрузок в ССК актуальной является научная задача определения траектории движения груза в процессе рабочего цикла крана.

С этой целью предлагается расчетная схема стрелового самоходного крана [35, 63, 64] (см. рисунок 2.6).



G – вес крана, G_n – вес противовеса крана, G_{cmp} – вес стрелы, G_{zp} – вес груза, R_{1-2} – реакции в опорах, β – угол наклона стрелы, S_n, S_c – усилие в канатах

Рисунок 2.6 – Расчетная схема стрелового самоходного крана

Здесь стрела крана (см. рисунок 2.7) была представлена в виде стержня, наклоненного под углом β к горизонту (ось x), который вращается вокруг вертикальной оси z . Отклонение при вращении в произвольный момент времени от оси x на угол β , который характеризует отклонение (подъем-опускание) стрелы от начального положения в вертикальной плоскости, происходит одновременно с изменением угла α – угла, который характеризует поворот стрелы в горизонтальной плоскости (рисунок 2.7). При изменении угла поворота α относительно вертикальной оси происходит изменение нагруженности стрелы крана.

Для построения траекторий движения точек стрелы при совмещении операций во время погрузочно-разгрузочных работ крана, т.е. при одновременном изменении углов α и β , использовался графоаналитический метод (рисунок 2.8).

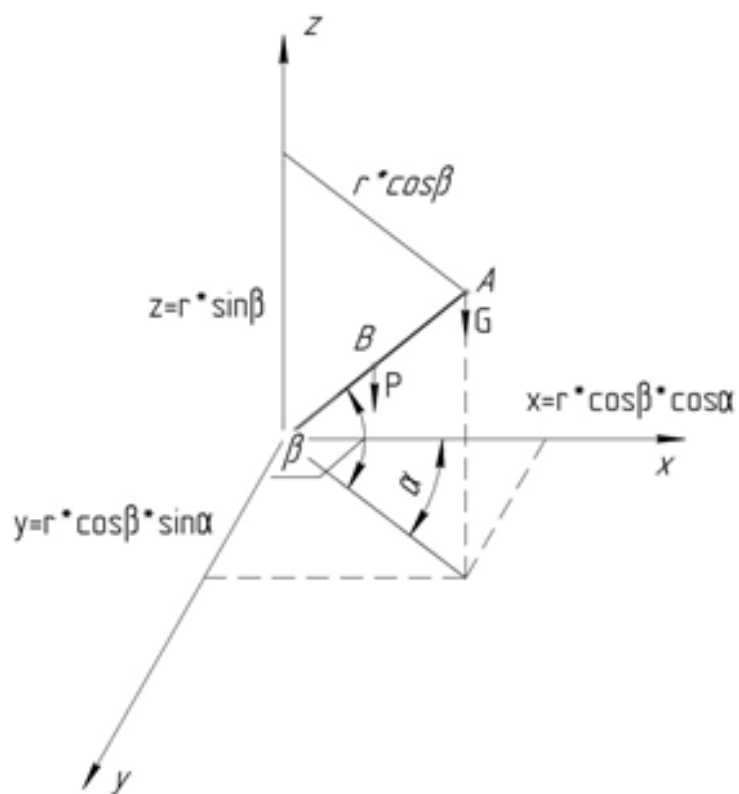


Рисунок 2.7 – Расчетное положение стрелы крана в сферической системе координат

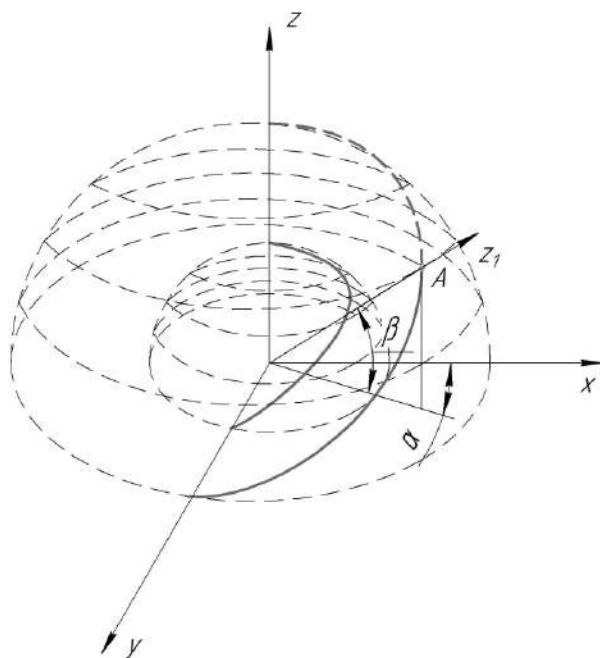


Рисунок 2.8 – Траектории движения центра тяжести стрелы и оголовка стрелы

На рисунке 2.8, видно, что траектория перемещений точек стрелы зависит от высоты подъема груза (угол β) и является величиной переменной.

Кроме того, учитывая инерционность системы, скоростей подъема-опускания груза и поворота стрелы в вертикальной и горизонтальной плоскостях (рисунок 2.7), было получено уравнение 2.10 [35];

$$T_{ep} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} I_z \cdot \omega_z^2 + I_x \cdot \omega_x^2 + I_y \cdot \omega_y^2 - \\ - 2 \cdot I_{yz} \cdot \omega_y \cdot \omega_z - 2 \cdot I_{xz} \cdot \omega_x \cdot \omega_z - \\ - 2 \cdot I_{xy} \cdot \omega_x \cdot \omega_y \end{pmatrix}, \quad (2.10)$$

где T_{ep} – кинетическая энергия перемещения центра тяжести груза, закрепленного на конце стрелы; I_z, I_y, I_x – осевые моменты инерции стрелы на рисунке 2.7; I_{yz}, I_{xz}, I_{xy} – центробежные моменты инерции стрелы.

Стрела крана симметрична относительно оси, совпадающей с осью ее симметрии, тогда ее центробежный момент инерции равен 0, т.е.

$$I_{yz} = I_{xz} = I_{xy} = 0.$$

Тогда кинетическая энергия стрелы будет равна:

$$T_{ep} = \frac{I_z \cdot \omega_z^2 + I_x \cdot \omega_x^2 + I_y \cdot \omega_y^2}{2}. \quad (2.11)$$

Учитывая симметричность сечения, т.е. при $I_y = I_x$ кинетическое уравнение Эйлера при вращении стержня (см. рисунок 2.8) в трехмерном пространстве примет следующий вид:

$$\begin{cases} \omega_x^2 + \omega_y^2 = \dot{\alpha}^2 \sin^2 \beta + \dot{\beta}^2 \\ \omega_z = \dot{\alpha} \cdot \cos \beta + \dot{\beta} \cdot \dot{r} \end{cases}. \quad (2.12)$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} T_{ep} &= \frac{(I_x [\omega_x^2 + \omega_y^2] + I_z \cdot \omega_z^2)}{2} = \\ &= \frac{1}{2} \left[I_x (\dot{\alpha}^2 \sin^2 \beta + \dot{\beta}^2) + I_z (\dot{\alpha} \cdot \cos \beta + \dot{\beta} \cdot \dot{r})^2 \right]. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Здесь величины $\dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{r}$ характеризуют скорости изменения углов поворота и подъема, и изменения положения центра тяжести в неустановившемся режиме движения.

Потенциальная энергия системы, изображенной на рисунке 2.6 равна:

$$\begin{aligned} \Pi &= m_{cp} \cdot g \cdot z + m_{cmp} \cdot g \cdot \frac{z}{2} = \\ &= g \cdot r \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \left(m_{cp} + \frac{m_{cmp}}{2} \right). \end{aligned} \quad (2.14)$$

Здесь $z = r$ – координата положения центра тяжести стрелы по радиус-вектору. Для заданного типа стрелы $r = \text{const}$.

Уравнение Лагранжа в общем виде представим как сумму кинетической и потенциальной энергий:

$$L = T - \Pi = \frac{1}{2} \left[I_x (\dot{\alpha}^2 \sin^2 \beta + \dot{\beta}^2) + I_z (\dot{\alpha} \cdot \cos \beta + \dot{\beta} \cdot r)^2 \right] + g \cdot r \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \left(m_{cp} + \frac{m_{cmp}}{2} \right). \quad (2.15)$$

Величин $\dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{r}$ находятся по формуле (2.16):

$$\begin{cases} \dot{\beta} = \sqrt{\frac{2}{I_x} \frac{\alpha_2 - \alpha_1 \cos \beta}{I_x \sin^2 \beta} - \frac{2mgh \cos \beta}{I_x}} \\ \dot{\alpha} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1 \cos \beta}{I_x \sin^2 \beta} \\ \dot{r} = \frac{\alpha_1}{I_x} - \frac{(\alpha_2 - \alpha_1 \cos \beta) \cos \beta}{I_x \sin^2 \beta} \end{cases}, \quad (2.16)$$

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

Скорость перемещения центра тяжести при произвольном повороте стрелы будет равна:

$$v^2 = \dot{r}^2 + r^2 \dot{\alpha}^2 \sin^2 \beta + r^2 \dot{\beta}^2, \quad (2.17)$$

Этим координатам соответствуют импульсы сил p_α, p_β, p_r , которые в проекции на полярные координаты записываются, как:

$$p_r = \frac{\partial T}{\partial \dot{r}}; p_\alpha = \frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}}; p_\beta = \frac{\partial T}{\partial \dot{\beta}}, \quad (2.18)$$

Кинетическая энергия T равна:

$$T = \frac{mv^2}{2}, \quad (2.19)$$

Величины импульсов сил при использовании формул (2.18) и (2.19) будут равны:

$$\begin{cases} p_r = m \cdot \dot{r} \\ p_\alpha = mr^2 \sin^2 \beta \cdot \dot{\alpha} \\ p_\beta = mr^2 \dot{\beta} - I_\beta \dot{\beta} \end{cases} \quad (2.20)$$

Откуда:

$$\begin{cases} \dot{r} = \frac{p_r}{m} \\ \dot{\alpha} = \frac{p_\alpha}{mr^2 \sin^2 \beta} \\ \dot{\beta} = \frac{p_\beta}{mr^2 - I_\beta} \end{cases} \quad (2.21)$$

Полная механическая энергия системы равна:

$$\begin{aligned} H = T + \Pi &= \frac{1}{2} m (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\alpha}^2 \sin^2 \beta + r^2 \dot{\beta}^2) + m \cdot g \cdot r \cdot \cos \beta = \\ &= \frac{1}{2m} \left(p_r^2 + \frac{p_\alpha^2}{r^2 \sin^2 \beta} + \frac{p_\beta^2}{r^2} \right) = \frac{1}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \sin^2 \beta \dot{\alpha}^2 + r^2 \dot{\beta}^2) \end{aligned} \quad (2.22)$$

Импульс силы равен:

$$\begin{cases} \dot{p}_x = m\ddot{x} \\ \dot{p}_y = m\ddot{y} \\ \dot{p}_z = m\ddot{z} \end{cases} \quad (2.23)$$

При переходе к декартовым системам координат была выявлена следующая зависимость изменения скоростей перемещения стрелы крана с грузом.

$$\begin{cases} \dot{x} = \frac{\partial H}{\partial \dot{p}_x} \\ \dot{y} = \frac{\partial H}{\partial \dot{p}_y} \\ \dot{z} = \frac{\partial H}{\partial \dot{p}_z} \end{cases} \quad (2.24)$$

Полученные выражения позволяют констатировать, что перемещение точек исследуемой системы стрелового самоходного крана по криволинейной траектории свидетельствует о том, что установившийся режим движения, позволяющий проводить расчеты 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.

При определении траектории перемещения центра тяжести стрелы и груза в пространстве очевидно, что при изменении угла наклона стрелы к горизонту происходит смещение центра ее тяжести в проекции на горизонтальную плоскость. Учитывая совмещение операции подъема груза и разворота стрелы, было выявлено, что точка, принадлежащая центру тяжести крана, перемещается по поверхностям сфер.

При исследовании динамики стрелового самоходного крана следует учитывать изменения центров тяжести его элементов (стрелы), угла наклона стрелы в вертикальной плоскости, а также угол поворота в горизонтальной плоскости. Зависимость полной энергии системы от перечисленных параметров была описана выражением (2.22). Причем величина полной энергии системы связана прямо пропорциональной зависимостью с углом β , положением центра тяжести стрелы и углом ее наклона к оси вращения. Очевидно, что при увеличении угла β и линейных параметров стрелы увеличивается величина полной энергии системы [35].

Очевидно, что для снижения полной энергии необходимо чтобы величина β стремилась к нулю. Исходя из этих положений, при горизонтальном расположении стрелы (башенный кран), т.е. при $\beta = 0$, величина полной энергии стрелы крана будет равна:

$$H = \frac{1}{2} \dot{r}^2. \quad (2.25)$$

Пример аналогичной задачи разобран в [22]. Траекторию движения точки по поверхности сферы (см. рисунок 2.8) автор определяет из уравнения движения.

$$\frac{r\dot{\beta}}{r \cos \gamma\beta} = \text{ctg} \gamma. \quad (2.26)$$

где γ – угол, образованный скоростью с меридианом и является постоянной величиной [22].

Решение дифференциального уравнения при начальных условиях (при $t=0$, $\beta=0$, $\alpha=0$) позволяет получить выражение:

$$\int_0^{\beta} \frac{d\beta}{\cos \beta} = \operatorname{ctg} \gamma \int_0^{\alpha} d\alpha. \quad (2.27)$$

Откуда

$$\ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2} \right) = \operatorname{ctg} \alpha \gamma. \quad (2.28)$$

Или

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\beta}{2} \right) = \exp(\alpha \gamma). \quad (2.29)$$

Таким образом, из сказанного выше следует, что полученные зависимости (2.17) и (2.29) позволяют определить энергию, затрачиваемую на подъем-опускание груза и траекторию его перемещения (рисунок 2.9) в пределах изменения углов α при заданных выше граничных условиях.

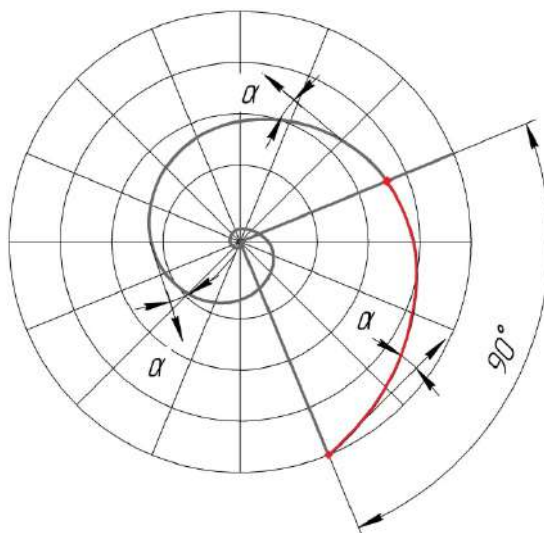


Рисунок 2.9 – Траектории движения центра тяжести стрелы и оголовка стрелы, вид сверху

На основании графоаналитического метода была построена траектория движения точек стрелы (рисунок 2.9) при совмещении операций во время погрузочно-разгрузочных работ крана (одновременное изменение углов α и β) в зависимости от высоты подъема груза (угол β), которая является переменной величиной.

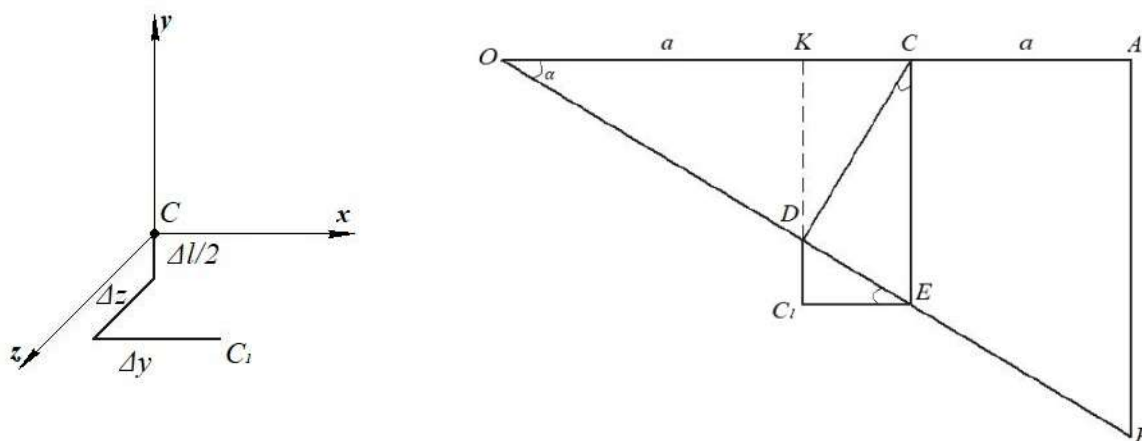
Из проведенных исследований очевидно необходимость автоматизации контроля пространственного положения стрелы крана при проведении погрузочно-разгрузочных работ для предотвращения его опрокидывания.

2.4 Теоретические исследования потери устойчивости при изменении положения центра тяжести кранов

При исследовании устойчивости стреловых самоходных кранов [8, 36] была установлена неравномерность распределения давления под опорами крана, ведущая к неравномерности погружения выносных опор в слабонесущий грунт, что является одной из причин потери устойчивости кранов в процессе эксплуатации.

В работах [8, 36, 56,] был установлен факт смещения концов рамы в результате неравномерности распределения давления под опорами. Это, в свою очередь, неизбежно приведет к нарушению центровки (смещению центра тяжести) всей конструкции в пространственной системе координат в зависимости от величины этих усилий (рисунок 2.10, а).

Другими словами, если проседание одной из опор произойдет на величину Δl , то центр тяжести машины (точка C) переместится в пространстве по всем осям в декартовой системе координат в точку C_1 . Перемещение центра тяжести C в проекции на плоскость xOy показано на рисунке 2.10, б.



а – в пространстве; б – на плоскости

Рисунок 2.10 – Схема перемещения центра тяжести сечения

На рисунок 2.10, *a* видно смещение центра тяжести *C* в точку *C*₁, которое определим из геометрических соотношений.

$$AB = \Delta l = 2a \sin \alpha; \quad (2.30)$$

$$CE = \frac{\Delta l}{2} = a \sin \alpha; \quad (2.31)$$

$$DC = CE \cos \alpha = \frac{a \sin 2\alpha}{2}; \quad (2.32)$$

$$DE = CE \sin \alpha = a \sin^2 \alpha; \quad (2.33)$$

$$C_1 D = DE \sin \alpha = a \sin^3 \alpha; \quad (2.34)$$

$$C_1 E = DE \cos \alpha = a \sin^2 \alpha \cos \alpha. \quad (2.35)$$

Тогда положение точки *C*₁ можно определить по зависимостям (рисунок 2.10, *б*):

$$\begin{aligned} \text{по оси } x \quad C_1 E &= CK = a \sin^2 \alpha \cos \alpha; \\ \text{по оси } y \quad C_1 K &= C_1 D + KD. \end{aligned} \quad (2.36)$$

Величину *KD* определим из пропорции на рисунок 2.10, *б*.

$$KD = \frac{\Delta l}{2} (1 - \sin^2 \alpha \cos \alpha). \quad (2.37)$$

Тогда *C*₁*K* будет равно:

$$C_1 K = a \sin^3 \alpha + \frac{\Delta l}{2} (1 - \sin^2 \alpha \cos \alpha). \quad (2.38)$$

Очевидно, что если смещение, (см. рисунок 2.10, *б*) произойдет в указанном направлении, то линия вдоль которой будет происходить опрокидывание будет лежать на прямой *MN* (рисунок 2.11).

На рисунке 2.11 видно, что относительно геометрического центра тяжести конструкции *C*, возникают моменты относительно «граничных» точек опоры, величины которых зависят от величины реакции *R* в опоре транспортного средства.

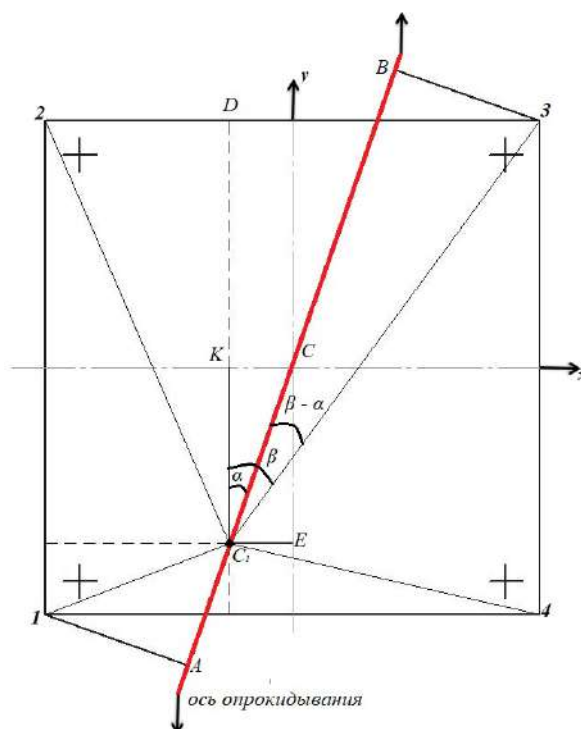


Рисунок 2.11 - Схема к определению линии опрокидывания

Обеспечение равномерности нагружения опорных точек транспортного средства возможно при наличии контроллеров (датчиков) давления или перемещения, установленных в опорных точках конструкции.

В этом случае, нагрузка, приходящаяся на тензодатчики, размещенные по краям опоры с размерами $b \times b$ будет равна:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= R\sqrt{(b - C_1E)^2 + (b - C_1K)^2}; \\
 M_2 &= R\sqrt{(b - C_1E)^2 + (b + C_1K)^2}; \\
 M_3 &= R\sqrt{(b + C_1E)^2 + (b + C_1K)^2}; \\
 M_4 &= R\sqrt{(b + C_1E)^2 + (b - C_1K)^2};
 \end{aligned}
 \tag{2.39}$$

Условие устойчивости опоры относительно смещенного центра тяжести будет иметь вид:

$$AC_1 \leq C_1B$$

или

$$\frac{AC_1}{C_1B} \leq 1. \tag{2.40}$$

Величину смещения определим из геометрических соотношений рисунок 2.11:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{D3}{C_1 D} = \frac{b + C_1 E}{b + C_1 K}. \quad (2.41)$$

$$C_1 B = C_1 3 \cdot \cos(\beta - \alpha); \quad (2.42)$$

$$C_1 A = C_1 1 \cdot \cos(\beta - \alpha) \quad (2.43)$$

Тогда зависимость (2.55) будет иметь вид:

$$\frac{AC_1}{C_1 B} = \sqrt{\frac{(b - C_1 E)^2 + (b - C_1 K)^2}{(b + C_1 E)^2 + (b + C_1 K)^2}}. \quad (2.44)$$

Полученное выражение (2.44) позволит регулировать изменение давления в датчиках, установленных в точках, указанных на рисунке 2.11 и таким образом предупреждать об предаварийном состоянии ССК.

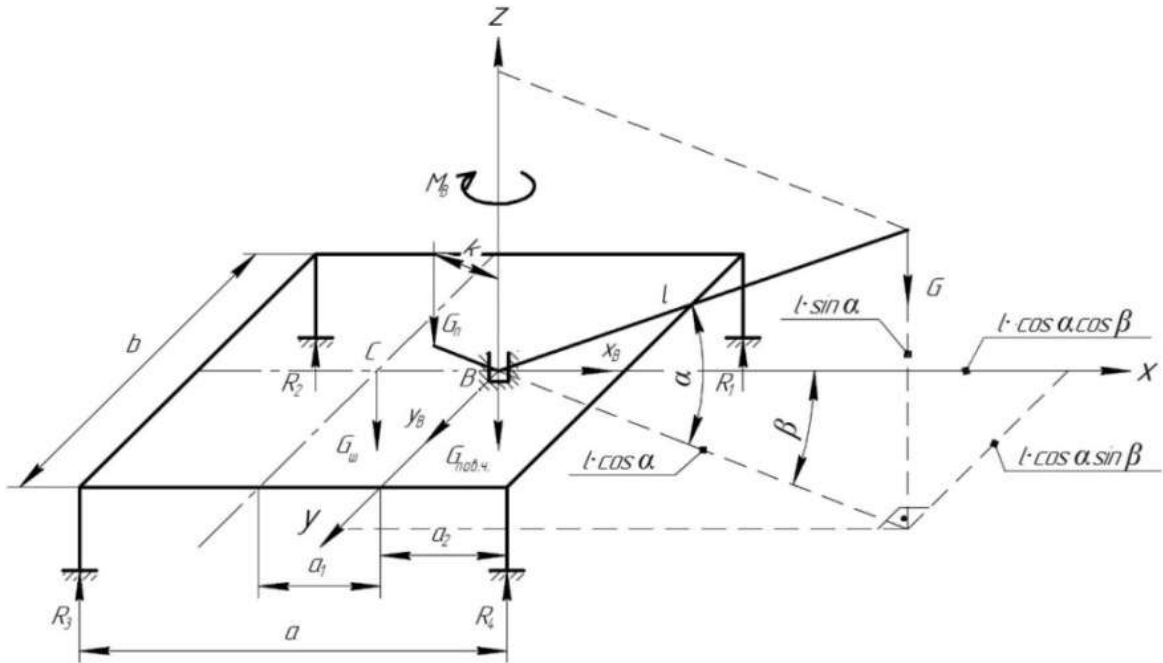
2.5 Методика моделирования перемещения уравновешивания крановой конструкции при изменении центра тяжести

На основании вышеизложенного, была рассмотрена вторая методика, предполагающая контроль изменения центра тяжести непосредственно при эксплуатации техники, осуществляющей работы, что будет способствовать повышению безопасности при эксплуатации крановых конструкций.

В качестве схемы для составления математической модели была взята схема, используемая в работе [8] (рисунок 2.12).

Усилиями, удерживающими кран от опрокидывания, являются усилия, действующие со стороны шасси, поворотной части, противовеса. Тогда зависимость удерживающего момента от перечисленных усилий будет иметь вид (2.45):

$$M_{уд} = G_{ш}(a_1 + x \cdot \cos \beta) + G_{п}(k + x) + G_{пов.ч.} \cdot x \cdot \cos \beta \quad (2.45)$$



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 2.12 – Схема к определению усилий под опорами крана [8]

В качестве опрокидывающих усилий служат вес поднимаемого груза, силы реакции опор. Тогда зависимость удерживающего момента от перечисленных усилий будет иметь вид (2.46):

$$M_{\text{опр}} = G(l \cdot \cos \alpha + x \cdot \cos \beta) + (R_4 - R_1)(a_2 - x \cdot \cos \beta) + (R_3 + R_2)(a - a_2 - x \cdot \cos \beta) \quad (2.46)$$

Исходя из (2.45), (2.46) получим неравенство:

$$1,15 \leq \frac{G_{ш}(a_1 + x \cos \beta) + G_n(k + x) + G_{пов.ч.}x \cos \beta}{G(l \cos \alpha + x \cos \beta) + (R_4 - R_1)(a_2 - x \cos \beta) + (R_3 + R_2)(a - a_2 - x \cos \beta)} \quad (2.47)$$

Тогда параметр смещения центра тяжести x будет определяться по следующей зависимости:

$$x \geq \frac{1,15(Gl \cos \alpha \cos \beta - R_4 a_2 - (R_3 + R_2)(a - a_2) - R_1 a_2) - G_{ш} a_1 - G_{п} k}{G_{ш} \cos \beta + G_{п} + G_{пов.ч.} \cos \beta + 1,15G \cos \beta - 1,15((R_4 + R_1) \cos \beta + (R_3 + R_2) \cos \beta)}. \quad (2.48)$$

Для повышения точности расчетов, а также сокращения количества датчиков, используемых для определения положения смещения относительно центра вращения стрелы крана, оценим отношение величин a , a_1 , a_2 . Для этих целей используем систему уравнений равновесия (2.49) [66].

$$\left\{ \begin{array}{l} x_B = 0 \\ y_B = 0 \\ R_1 + R_2 + R_3 + R_4 - G_{ш} - G - G_{п} - G_{пов.ч.} = 0 \\ G \cdot l \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta - G_{п} \cdot k \cdot \sin \beta + R_1 \cdot \frac{b}{2} + R_2 \cdot \frac{b}{2} - R_3 \cdot \frac{b}{2} - R_4 \cdot \frac{b}{2} = 0 \\ -G \cdot l \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta + G_{п} \cdot k \cdot \cos \beta + G_{ш} \cdot a_1 + R_1 \cdot a_2 + R_4 \cdot a_2 - \\ - R_2 \cdot (a - a_2) - R_3 \cdot (a - a_2) = 0 \\ -M_B = 0 \end{array} \right. \quad (2.49)$$

Решение системы проводимое относительно вышеуказанных величин позволило выявить соотношение между параметрами расстояний a_1 и a_2 , которое представляет собой сложную многопараметрическую функцию.

$$\left\{ \begin{array}{l} a_2 = \frac{(R_2 + R_3)a - a_1 \cdot G_{ш}}{G_{ш} - G} \\ a_1 = \frac{a_2((R_1 - R_4)(R_2 + R_3) - (R_2 + R_3)(G_{ш} - G))}{(R_2 + R_3)^2} \end{array} \right. \quad (2.50)$$

Практическая реализация полученного соотношения позволило разработать дополнительное устройство реализуемое в ССК и подтвержденное патентом [9].

2.6 Выводы по разделу 2

1 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 [2] 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. Отсутствие варианта поворота стрелы в вертикальной плоскости и учет изменения траектории при подъеме груза, что не позволяет учитывать появление дополнительных усилий в крановом оборудовании.

2 Отсутствие варианта поворота стрелы в вертикальной плоскости и учет изменения траектории при подъеме груза, что не позволяет учитывать появление дополнительных усилий в крановом оборудовании. Исследования кинематики и динамики движения стрелы крана при выполнении погрузочно-разгрузочных работ (в рабочем режиме), проводимые аналитическими методами позволили выявить:

- при изменении угла поворота α относительно вертикальной оси происходит изменение нагруженности стрелы крана;

- перемещение точек исследуемой системы стрелового самоходного крана происходит по криволинейной траектории, что ведет к появлению ускорений в точках системы, а, следовательно, и к возникновению дополнительных сил при перемещении точек по криволинейной траектории;

- траектория перемещений точек стрелы зависит от высоты подъема груза (угол β) и является величиной переменной, что свидетельствует о том, что принятые ранее расчеты кранов как для статической системы (установившийся режим движения), требуют уточнения.

3 Исследование динамики стрелового самоходного крана с учетом изменения положения центра тяжести в проекции на горизонтальную плоскость (угла наклона стрелы в вертикальной плоскости), а также угла поворота в горизонтальной плоскости позволили установить, что величина полной энергии системы связана прямо пропорциональной зависимостью с углом β , положением центра тяжести стрелы и углом ее наклона к оси вращения. Очевидно, что при увеличении угла β и линейных параметров стрелы увеличивается величина полной энергии системы.

4 Полученные зависимости (2.22) и (2.29) позволяют определить энергию, затрачиваемую на подъем-опускание груза и траекторию его перемещения (рисунок 2.9) в пределах изменения углов α при заданных выше граничных условиях.

5 Установлено перемещение центра тяжести в результате проседания опор по причине просадки грунта. Зависимость (2.39) позволяет определить моменты опрокидывания, возникающие в опорах крановой конструкции. Для регулирования усилия при проседании опор была получена зависимость (2.44), а для снятия текущих значений усилий в опорах используются различные датчики, которые вне зависимости от типа крановых конструкций являются неотъемлемой частью приборов безопасности.

3 СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1 Конструкция и принцип работы современных приборов безопасности стреловых самоходных кранов

В соответствии с Приказом № 4 от 26.11.2020 года Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» [67] при эксплуатации крановых конструкций должны выполняться следующие требования:

- грузовые и высотные характеристики технологического процесса должны отвечать паспортным характеристикам и техническим условиям;

- прочность, жесткость, уравновешенность, устойчивость, режимы работы и классификация механизмов должны соответствовать технологическому процессу и находиться в рабочем состоянии.

Для обеспечения требуемых условий безопасности современные крановые конструкции оснащены регистраторами, ограничителями грузоподъемности, комплексом датчиков, фиксирующими показания внешних воздействий [67]. Кроме того, наличие приборов безопасности на крановых конструкциях обуславливается правилами работы кранов и фактом обслуживания, и эксплуатации кранов операторами и стропальщиками, что приводит к возникновению, так называемого, человеческого фактора [68].

Современные системы безопасности функционируют следующим образом: датчик азимута поворотной платформы (рисунок 3.1), датчик угла наклона поворота стрелы (рисунок 3.2), датчик длины стрелы (рисунок 3.2), датчик усилия считывают информацию о воздействиях, которая по соединительным кабелям поступает на контроллер.



Рисунок 3.1 – Датчик азимута поворотной платформы

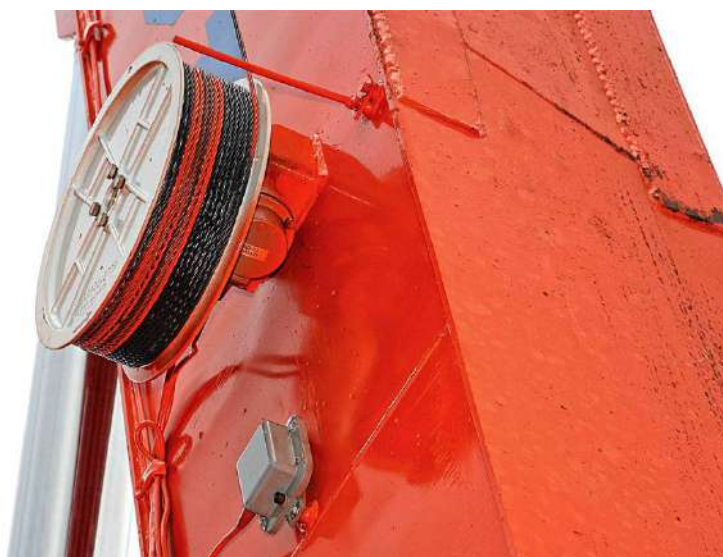


Рисунок 3.2 – Датчики угла и длины стрелы

Преобразование сигнала датчиков в цифровой осуществляется двумя способами:

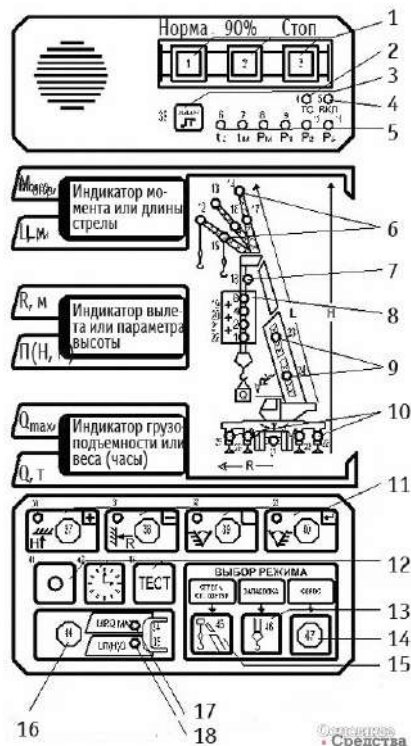
1) аналоговые сигналы датчиков перед поступлением на контроллер посредством аналого-цифровых преобразователей (АЦП) последовательно преобразуются в цифровые;

2) все датчики имеют собственный АЦП и передача сигналом осуществляется по цифровым каналам [69].

В случае возникновения перегруза или иных показателей, превышающих значения, допускаемых при эксплуатации крановых конструкций при заданных

производственных условиях, контроллер передает сигнал на панель управления и индикации.

Панель индикации (рисунок 3.3) расположена в кабине машиниста и информирует оператора о возникновении нештатной ситуации загоранием соответствующего индикатора. Панель управления передает сигнал на исполнительную аппаратуру, состоящую из клапанов и ограничителей, которые подключены к гидравлической системе.



- 1 – индикаторы загрузки крана; 2 – индикатор включения подогрева ИЖЦ; 3 – кнопка выбора параметра в режиме НАСТРОЙКА; 4 – индикатор включения питания; 5 – индикаторы настраиваемого параметра и его предельного состояния: температура охлаждающей жидкости, температура масла, давление масла в двигателе, давление в напорных магистралях и магистрали управления; 6 – индикаторы угла наклона составного и одиночного гуська (30° , 15° , 0°); 7 – индикатор срабатывания ограничителя подъема крюка; 8 – индикаторы выбранной запасовки полиспаста; 9 – индикаторы секций гуська в транспортном положении; 10 – индикаторы положения опор: выдвинуты, выдвинуты наполовину, не выдвинуты; 11 – индикаторы и кнопки ввода координатной защиты: «Потолок», «Стена», «Угол левый», «Угол правый» или кнопки: «Увеличить», «Уменьшить», «Резерв», «Ввод в память ОНК в режиме НАСТРОЙКА»; 12 – кнопки «Включение-выключение подсветки», «Вызов текущего времени», «Тест ОНК»; 13 – кнопка установки запасовки полиспаста; 14 – кнопка сброса ОНК; 15 – кнопка установки режима работы стрелового оборудования и положения опор; 16 – кнопка смены параметров, отображаемых на ИЖЦ; 17 – указатель отображения на ИЖЦ параметров M , R , Q_{max} ; 18 – указатель отображения на ИЖЦ параметров L , $\Pi(H)$, Q

Рисунок 3.3 – Лицевая панель прибора безопасности

Все указанные датчики, индикаторы, приборы, ограничители грузоподъемности вместе образуют систему безопасности [69]. В современной грузоподъемных кранах широкое распространение получили приборы безопасности ОНК-140, ОНК-160, АС-АОГ-01м+, ОГМ-240, ОГМ 25, АЗК 110, ОПГ-11.

3.2 Сравнительный анализ приборов безопасности грузоподъемной техники

Выбор прибора безопасности зависит от машины, на которой он применяется. В таблице 3.1 приведена классификация соответствия применения приборов безопасности в зависимости от вида грузоподъемного крана [70].

Таблица 3.1 Использование приборов безопасности в грузоподъемной технике

Вид грузоподъемной техники	Тип прибора безопасности
Стреловые краны	ОНК-140, ОНК-160, ОГМ-240, АС-АОГ-01м+,
Башенные краны	ОГМ-240, ОНК-160Б
Подъемники	ОГМ-240, ОПГ-11
Краны-манипуляторы	ОПГ-11
Краны мостового типа	ОГМ-240
Бурильно-крановые машины	ОГМ-25
Кран-Трубоукладчик	АЗК 110

Из анализа таблицы 3.1 видно, что наибольшее распространение среди грузоподъемной техники получил прибор безопасности ОГМ-240 производства завода «Резонанс» [71]. Комплектация данного прибора безопасности включает в себя широкий спектр датчиков, применение которых распространяется на все виды крановой техники. Так в состав ОГМ-240 входят ограничитель грузоподъемности крана, который блокирует работу механизма в случае превышения предельно допустимой массы груза или иных причин, которые могут повлечь за собой потерю устойчивости и опрокидывание кранов. Также прибор ОГМ автоматически блокирует выдвижение стрелы, если подходит на критическое расстояние к линиям электропередач или к располагающимся рядом

строениям и высоким сооружениям, а также блокирует движение крюка, когда он достигает крайнего верхнего или крайнего нижнего положения. Также указанный прибор безопасности контролирует давление масла в гидравлической системе, масла в системе смазки, температуру рабочей жидкости, температуру охлаждающей жидкости, фиксирует текущие данные при работе крановых конструкций (дату, время, угол наклона стрелы, угол наклона поворотной платформы) [72].

Однако, не смотря на универсальность прибора безопасности типа ОГМ-240, наиболее широкое распространение на стреловых самоходных кранах получили приборы безопасности типа ОНК-140 и его модификация ОНК-160, выпускаемые «Арзамасским приборостроительным заводом». Функционал указанных приборов безопасности, также как и комплектация датчиков схож, однако приборы типа ОНК имеют более наглядную приборную панель, что значительно упрощает работу крановщика, а также снижает риск возникновения человеческого фактора.

3.3 Сравнительный анализ элементов системы безопасности грузоподъемной техники

Как отмечалось ранее, в состав приборов безопасности входят датчики, считывающие информацию о возникающих воздействиях, положении стрелы, для дальнейшей передачи на контроллер. В случае превышения допустимых значений или при отклонении от заданных параметров контроллер передает информацию на приборы, сигнализирующие о возникновении нештатной ситуации или остановить работу, как отдельного механизма, так и крана в целом.

В таблице 3.2 проведена сравнительная характеристика приборов безопасности стреловых кранов [69, 73] в зависимости от назначения датчика информации. Применение приборов безопасности способствовало снижению влияния человеческого фактора, так как рассматриваемые приборы позволяют фиксировать ошибки и рекомендуют действия по их устранению [68]. Приборы

безопасности ОНК-1 – это одни из первых приборов безопасности, серийное производство и установка которых началась еще в 90-е годы XX столетия. Однако в настоящее время указанные приборы являются устаревшими, и продавцы и производители предлагают модифицированные версии ограничителей грузоподъемности: ОНК-160 и ОГМ-240, которые помимо цифровых выходов имеют возможность интегрирования обратной связи в гидропривод автомобильных для регулирования скорости рабочих органов. Микропроцессорные приборы безопасности АС-АОГ-01м+, выпускаемые НПК «Автоматические системы» могут быть применены на кранах с многосекционными стрелами, имеющими увеличенные статические и динамические деформации [69]. Среди недостатков указанных приборов выделяют следующее.

ОНК-140:

- тензометрические датчики с внешней термокомпенсацией имеют погрешность;
- при низкой температуре ЖКИ-индикаторы требуют предварительного прогрева;
- имеются пропуски при регистрации параметров работы;
- неудобный интерфейс.

ОНК-160:

- при низкой температуре ЖКИ-индикаторы требуют предварительного прогрева;
- нестандартный интерфейс передачи цифровых кодов (возможны задержки).

АС-АОГ-01м+:

- индикационный пульт с отсутствием возможности интегрирования нескольких окон.

ОГМ-240:

- при низкой температуре ЖКИ-индикаторы требуют предварительного прогрева.

Таблица 3.2 Сравнение элементов систем безопасности стреловых самоходных кранов

Элемент конструкции крана	Элемент системы безопасности	Функция	Принцип работы
1	2	3	4
Поворотная часть	Датчик азимута поворотной платформы	Контроль соответствия угла наклона крана относительно горизонтали нормативной документации	Проволочный резистор переменного типа воспринимает напряжение на средней точке потенциометра, пропорциональное углу поворота платформы, который через АЦП передает информацию блок обработки информации
Стрела	Датчик угла наклона стрелы	Защита от опрокидывания в результате перегруза, при проседании опор	Проволочный резистор переменного типа воспринимает напряжение на средней точке потенциометра, пропорциональное углу наклона стрелы относительно вертикали, который через АЦП передает информацию блок обработки информации
	Датчики вылета и длины стрелы	Определение допустимой зоны действия, избежание столкновения с посторонними предметами	В корпусе датчиков расположен датчик угла наклона для определения угла наклона стрелы, также имеется измеритель, фиксирующий изменение электрического сигнала в случае изменения длины стрелы
	Ограничители высоты подъема	Отключение высоты подъема стрелы и/или груза при достижении крайних положений	В случае достижения крайних положений концевые выключатели замыкаются, тем самым замыкая цепь лебедки
	Анемометр	Предупреждение при максимальной скорости ветра	Под воздействием воздушного потока крыльчатки чашечного типа вращаются, что преобразуется оптопарой в электрический сигнал, состоящих из импульсов с частотой вращения крыльчатки

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4
Стрела	Датчик давления	Измерение избыточного давления в жидких и газообразных неагрессивных средах, контроль избегания перегруза	На поверхности внутреннего цилиндра на чувствительной мембране располагается тензометрический мост, который при изменении давления меняет выходное напряжение
	Модуль защиты от опасного напряжения	Обнаружение высоковольтных линий электропередач в различном диапазоне частот	При обнаружении за счет измерения напряженности электромагнитного поля линии происходит блокировка операций, которые могут привести к замыканию или обрыву ЛЭП
Кабина крановщика	Микропроцессорное устройство ограничителя грузоподъемности	Обработка полученной информации с датчиков, вывод на панель индикации и сигнализации	Информация с датчиков обрабатывается по специальному алгоритму, как правило ноу-хау разработчика, и передается на исполнительные механизмы, индикационную панель крановщика и сигнализацию
	Пульт управления	Информирование оператора о состоянии крановой конструкции во время эксплуатации	Сигнал с микроконтроллера в зависимости от текущих значений параметров и факторов подсвечивает необходимые индикаторы, а также выводит цифровые значения параметров груза, вылета стрелы и др.
	Регистратор параметров	Регистрация параметров при выполнении операций, хранение в памяти, «черный ящик»	Считывание текущих данных с контроллера и запись их на флеш-накопитель или иной носитель

Прибор безопасности				
Элемент системы безопасности	ОНК-140, ОНК-160	ОГМ-240	АС-АОГ-01м+	Liccon
2	5	6	7	8
Датчик азимута поворотной платформы	Рабочий диапазон температур от -45 до +55 °С, установлен на токосъемное устройство, наличие дискретного входа	Рабочий диапазон температур от -45 до +65 С, установлен на токосъемное устройство, наличие дискретного входа	Установлен на токосъемное устройство, наличие дискретного входа	Установлен на токосъемное устройство, наличие дискретного входа
Датчик угла наклона стрелы	Установлен на корневой секции. Требуется его термостатирование, готовности, цифровой выход	Расположен в корпусе датчика длины стрелы, термостатирование не требуется	Установлен на корневой секции, термостатирование не требуется, цифровой выход	Установлен на корневой секции, термостатирование не требуется, цифровой выход
Датчики вылета и длины стрелы	В состав входят корпус, реостат, фигурный кулачок, барабан со стальным тросом, отсутствие быстроизнашивающихся частей, возможность работы в различных климатических условиях	В состав входит токосъемник, датчик угла наклона, электрический кабель, цифровой интерфейс, возможность работы в различных климатических условиях	Электронный	Электронный
Ограничители высоты подъема	Функционирование в обоих направлениях, оборудован предохранителями от короткого замыкания, нарушения герметичности, неверного подключения напряжения, возможность эксплуатации в различных климатических условиях	Электронный	Электронный	Электронный

Продолжение таблицы 3.2

2	5	6	7	8
Анемометр	Индикация при достижении 90 % от допустимой ветровой нагрузки, при 100 % срабатывает звуковая сигнализация, при 105 % срабатывает реле внешней нагрузки, крепление на неподвижное основание	Индикация при достижении 90 % от допустимой ветровой нагрузки, при 100 % срабатывает звуковая сигнализация, при 105 % срабатывает реле внешней нагрузки, крепление на неподвижное основание, четырехсекундное усреднение результатов измерения, модификации с цифровым или импульсным интерфейсом, крепление на неподвижное основание	Индикация при достижении 90% от допустимой ветровой нагрузки, при 100 % срабатывает звуковая сигнализация, при 105 % срабатывает реле внешней нагрузки, крепление на неподвижное основание	Электронный
Датчик давления	Тензометрические с термокомпенсацией. Применение датчиков давления из-за трения в уплотнениях гидроцилиндра приводит к сокращению рабочего вылета при большой длине стрелы, возможно неотражение изменения массы объекта, срок службы около 12 лет, индикация в случае приближения к максимально допустимой массе	Датчик давления на полупроводниковых кристаллах; повышенная точность. Отработано применение еще двух типов датчиков усилия: в штоке гидроцилиндра и грузовом канате. Выдерживают двукратную перегрузку без ухудшения точности, четырехкратную перегрузку без механического разрушения и потери герметичности	Датчик с цифровым выходом. Применение датчиков давления из-за трения в уплотнениях гидроцилиндра приводит к сокращению рабочего вылета при большой длине стрелы	
Модуль защиты от опасного напряжения	Содержит три режима (отключен, работа возможна в режиме вертикального и горизонтального ограничения вылета стрелы, возможно определение параметров положения ЛЭП)	Измерение тока частотой 50 Гц, защита от КЗ, встроенный датчик угла наклона	Электромагнитный	Электромагнитный, сигнализатор Барьер 2000К, электромагнитный

Продолжение таблицы 3.2

2	5	6	7	8
Микропроцессорное устройство ограничителя грузоподъемности	Срабатывание ограничителя при 105 % перегрузке, предупредительная сигнализация срабатывает при перегрузе 90 % (желтый сигнал), 100 % (красный сигнал)	Прототип MARK 4E/2, срабатывание ограничителя при 105 % перегрузке, предупредительная сигнализация срабатывает при перегрузе 90 % (желтый сигнал), 100 % (красный сигнал)	Прототип АМЛМ1, срабатывание ограничителя при 103 % перегрузке, предупредительная сигнализация срабатывает при перегрузе 90 %	Liebcher «LICCON-2», срабатывание ограничителя при 100 % перегрузке, при перегрузе 90 % срабатывает предупредительная сигнализация
Пульт управления	ЖКИ-индикаторы. Параметры конфигурации представлены на лицевой панели. На индикаторы выводятся параметры крановой установки и шасси. Время включения в работу при работе при низкой температуре не менее 20 мин	Светодиодные индикаторы. Параметры конфигурации представлены на лицевой панели. Время включения в работу 15 с во всем диапазоне рабочих температур крана	ЖКИ-дисплей. Параметры конфигурации индицируются только по вызову. На индикаторы выводятся параметры крановой установки и шасси. Время включения в работу при низкой температуре не менее 20 мин	
Регистратор параметров	Форматы отчетов регистратора не соответствуют РД. В оперативной информации при аварийных ситуациях пропуски доходят до 30 с	Оборудован таймером реального времени. Форматы отчетов соответствуют РД. Возможность записи на флеш-карту	Оборудован таймером реального времени. Форматы отчетов не соответствуют РД	Оборудован таймером реального времени

Несмотря на указанные в таблице 3.2 явные преимущества, как с точки зрения комплектации, так с точки зрения надежности и стабильности параметров, прибора безопасности типа АС-АОГ-01м+ над остальными широкого распространения внедрения он не получил. Данный факт может быть связан со сложностью его установки и обслуживания, так как принципиальной особенностью данных приборов является применение в вычислителе полной имитационной модели крана. Однако по технико-экономическим показателям наиболее выгодным является применение приборов типа ОНК [74].

На зарубежных грузоподъемных кранах установлены датчики аналогичного назначения (таблица 3.2), где приведен прибор безопасности Liscop фирмы Liebherr. Как правило, зарубежные производители автокранов используют специально разработанные системы безопасности, которые являются их собственными разработками и, как следствие, предметом интеллектуальной собственности. Вся информация по комплектации приборов безопасности находится в закрытом доступе, что не позволяет подробно ознакомиться с особенностями устройства датчиков, индикаторов, сигнализаторов и т.п., входящих в состав указанных зарубежных производителей датчиков [75]. Другим европейским поставщиком является фирма Grove, представителями Японии на рынке прибором безопасности являются фирмы КАТО и Тадано.

Анализ таблицы 3.2 показал, что все элементы, входящие в прибор безопасности, необходимо систематизировать в группы в зависимости от выполняемых функций (таблица 3.3):

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).

Таблица 3.3 – Классификация элементов системы безопасности стрелового самоходного крана

Тип прибора безопасности	Элемент прибора безопасности	Назначение
Ограничительные	Ограничитель уровня подъема крюка	Отключение лебедки при достижении грузом крайних точек
	Ограничитель уровня подъема стрелы	Отключение лебедки при достижении стрелой крайних точек
	Датчик контроля намотки каната	Отключение опускания груза при разматывании каната с лебедки до последних трех витков
	Ограничитель грузоподъёмности	Отключение при превышении допустимой массы
Указательные	Указатель грузоподъемности	Определение степени нагрузки крана и фактической массы на крюке
	Указатель длины стрелы	Определение фактической длины телескопической стрелы
	Указатель угла наклона стрелы	Определение угла наклона телескопической стрелы
	Указатель наклона крана	Определение крена крана
	Указатель скорости ветра	Индикация скорости ветра
	Указатель вращения лебедок	Индикация вращения лебедок
	Указатель нагрузки на опоры	Индикация нагрузки на опоры
Предохранительные	Сигнализатор приближения к ЛЭП	Сигнализация о приближении стрелы крана к линии электропередач
	Звуковой сигнал крана	Сигнализация перед началом крановых движений и при движении задним ходом
	Анемометр	Предупреждение при максимальной скорости ветра

Таким образом, проанализировав таблицы 3.2 и 3.3 можно сделать вывод, что все элементы, входящие в прибор безопасности, можно классифицировать по:

- типу прибора;
- месту установки;
- назначению (типу выполняемых функций);
- принципу действия.

В таблице 3.4 приведена группирование элементов системы безопасности стреловых самоходных кранов, а в частности классификация датчиков, которые подразделяются, наличием аналого-цифрового преобразователя (АЦП), типу входного сигнала, типу измеряемого параметра.

Таблица 3.4 – Группирование элементов системы безопасности стрелового самоходного крана

Классификационные признаки	Наименование, положение на конструкции и выполняемые функции				
	Системы безопасности				
Элементы системы безопасности	микроконтроллеры	преобразователи	оповещатели	ограничители	датчики
По месту установки	на стреле	на поворотной платформе	в кабине		
По типу выполняемой функции	ограничительные	указательные	предохранительные		
По принципу действия	электрические	электромагнитные	механические		

Таблица 3.5 – Классификация датчиков стрелового самоходного крана

Классификационные признаки	Вид сигнала и измеряемый параметр				
	Системы безопасности				
По наличию АЦП	с АЦП	без АЦП			
По типу выходного сигнала	аналоговые	цифровые			
По типу измеряемого параметра	давление	угол	расстояние	напряженность	скорость

Все алгоритмы в микроконтроллерах, которые непосредственно отображают информацию и передают сигналы в исполнительные механизмы для предотвращения аварий, являются объектами интеллектуальной собственности заводов-изготовителей, и информация о них в свободном доступе не предоставляется. Однако из проведенного анализа видно, что существующие системы безопасности воздействуют на исполнительные органы, предотвращая возникновение аварий, либо при явном перегрузе, либо при возникновении препятствий на площади выполнения работ. В остальном же вся информация предоставляется в качестве информационной крановщику, что увеличивает риск возникновения «человеческого фактора».

3.4 Выводы по разделу 3

1 Существующие системы безопасности предотвращают возникновение аварий при явном перегрузе, при возникновении препятствий на площади выполнения работ. В остальном же вся информация предоставляется в качестве информационной крановщику, что увеличивает риск возникновения «человеческого фактора».

2 Выявлено, что на зарубежных грузоподъемных кранах установлены датчики аналогичного назначения. Как правило, зарубежные производители автокранов используют специально разработанные системы безопасности, отличительной особенностью которых является индивидуально функционирующая система управления в зависимости от заложенной в нее программы. Данные системы безопасности являются их собственными разработками (предмет интеллектуальной собственности) и находятся в закрытом доступе.

3 Проведенная систематизация приборов безопасности в зависимости от выполняемых ими функций позволила разделить их на: 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) и классифицировать по: типу прибора, месту установки, назначению (типу выполняемых функций), принципу действия. Проведенная классификация датчиков системы безопасности ССК позволила выделить их в группы: по наличию аналого-цифрового преобразователя (АЦП), по типу входного сигнала, по типу измеряемого параметра.

4 Большинство датчиков, входящих в систему безопасности относятся к указательному, следовательно ответственность по принятию решений о возможных вариантах предотвращения аварий ложится на крановщика, что ведет к так называемому человеческому фактору. В связи с этим можно сделать вывод,

что существующие системы безопасности нуждаются в модификации, чтобы в том числе уменьшить влияние человеческого фактора.

5 Срабатывание элементов безопасности, показания которых контролирует датчик, происходит при достижении нагрузки номинальной величины, контролируемой датчиком, что не позволяет учитывать комплексное влияние факторов как на систему в целом, так и на каждый фактор отдельно. В современных системах безопасности не учитывается изменение положения центра тяжести крановой конструкции при производстве погрузочно-разгрузочных работ.

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

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

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

4 ПРАКТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СТРЕЛОВЫХ САМОХОДНЫХ КРАНОВ

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

1 срабатывание элементов безопасности, показания которых контролирует датчик, происходит при достижении нагрузки 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;

3 не учитывается влияние внешних ненормируемых факторов, которые объединяют в общую группу «человеческий фактор».

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.

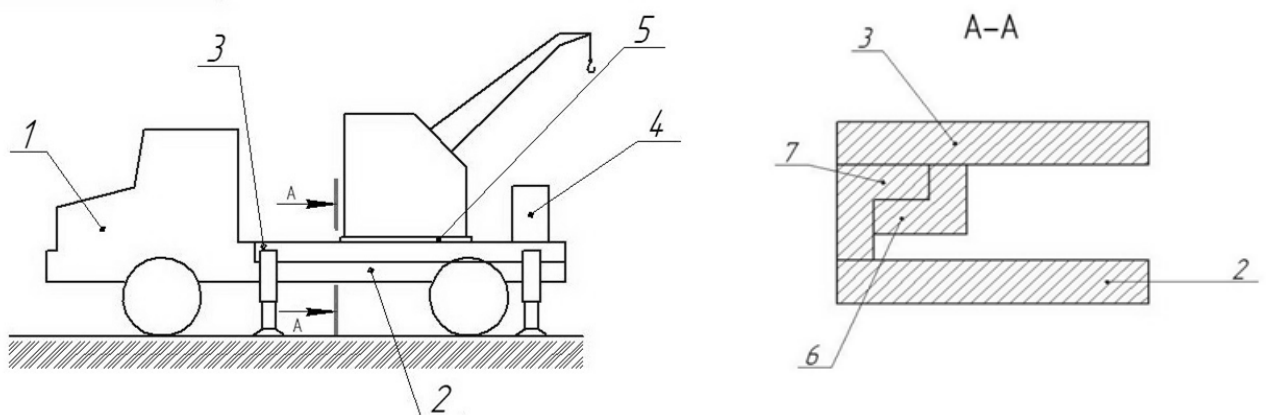
Внедрение дополнительных датчиков считывания состояния окружающей среды (освещенности, атмосферного давления, влажности) позволит оперативно актуализировать информацию для нейронной сети и, соответственно, позволит системе своевременно проинформировать оператора о возможности возникновения аварийной ситуации [76].

4.1 Устройство обеспечения устойчивости стрелового самоходного крана

На рисунке 4.1 изображено дополнительное устройство для повышения устойчивости стреловых самоходных кранов, которое подтверждено патентом [9].

Предлагаемое устройство относится к области грузоподъемных, строительных машин, в частности к самоходным кранам, а также к другим транспортным средствам, работающим на слабонесущих грунтах, и предназначено для уравнивания конструкции ССК при изменении центра тяжести. Устройство позволяет уравновесить конструкцию стрелового самоходного крана при потере устойчивости в результате изменения центра тяжести в горизонтальной плоскости за счет конструктивных изменений ССК.

Принцип модернизации заключается в следующем. На ССК, содержащем базовый тягач с выносными опорами 1 раму базового тягача 2, раму 3 с расположенными на ней противовесом 4 и поворотной платформой на которой расположено рабочее оборудование 5. Для осуществления перемещения положения центра тяжести крана в процессе погрузочно-разгрузочных работ, предлагается в нижней части рамы 3 установить направляющие 6 с возможностью перемещения рамы 3 по направляющим балкам 7 рамы базового тягача 2, причем форма направляющих 7 рамы 2 соответствует форме направляющих 6 рамы 3 с поворотной платформой.

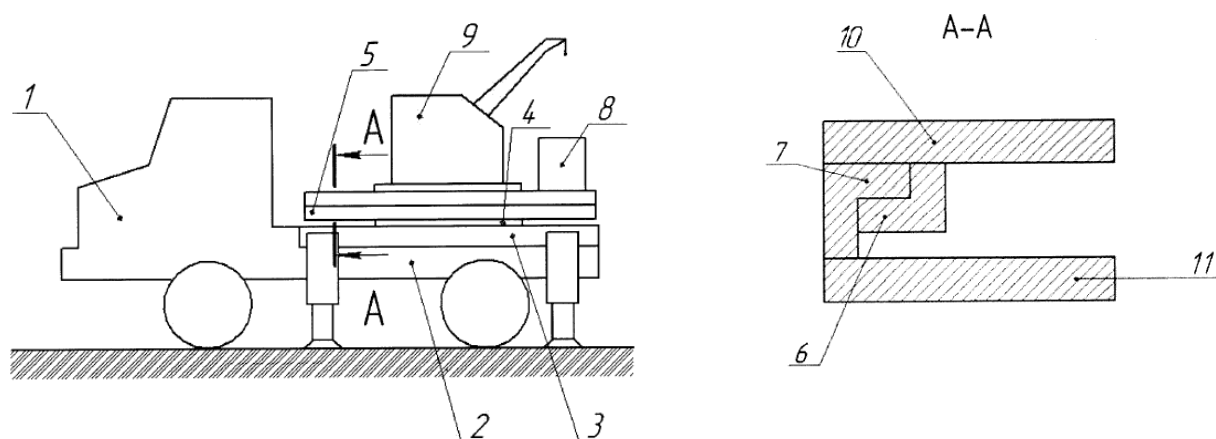


а – вид спереди стрелового крана на колесном ходу в рабочем положении; б – устройство перемещения рамы с поворотной платформой по направляющим рамы базового тягача
 1 – базовый тягач; 2 – рама базового тягача; 3 – рама; 4 – противовес; 5 – рабочее оборудование;
 6 – направляющие; 7 – направляющие балки.

Рисунок 4.1 Устройство обеспечения устойчивости машин

Для контроля изменения положения центра тяжести (рисунок 4.2) предлагается на машине, содержащей 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 [10].



а – вид спереди стрелового крана на колесном ходу в рабочем положении; б – устройство перемещения рамы с поворотной платформой по направляющим рамы базового тягача
 1 – базовый тягач; 2 – рама базового тягача; 3 – рама; 4 – поворотный круг; 5 – платформа;
 6 – направляющие; 7 – направляющие балки; 8 – противовес; 9 – рабочее оборудование;
 10 – верхняя часть платформы; 11 – нижняя часть платформы.

Рисунок 4.2 Устройство обеспечения устойчивости машин

Предлагаемое техническое решение позволяет обеспечивать устойчивость машины в 3...4 раза без изменения вылета стрелы.

Для оценки смещения x , представленного соотношением (2.48) разработана программа на языке программирования *Pascal* и блок-схема алгоритма расчета, приведенная ниже (рисунок 4.3). Алгоритм расчета, заложенный в программу представляет собой методику расчета параметров устойчивой работы кранов при неравномерном проседании опор в пространстве, который в случае превышения коэффициента устойчивости рассчитывает расстояние смещения центра тяжести x .

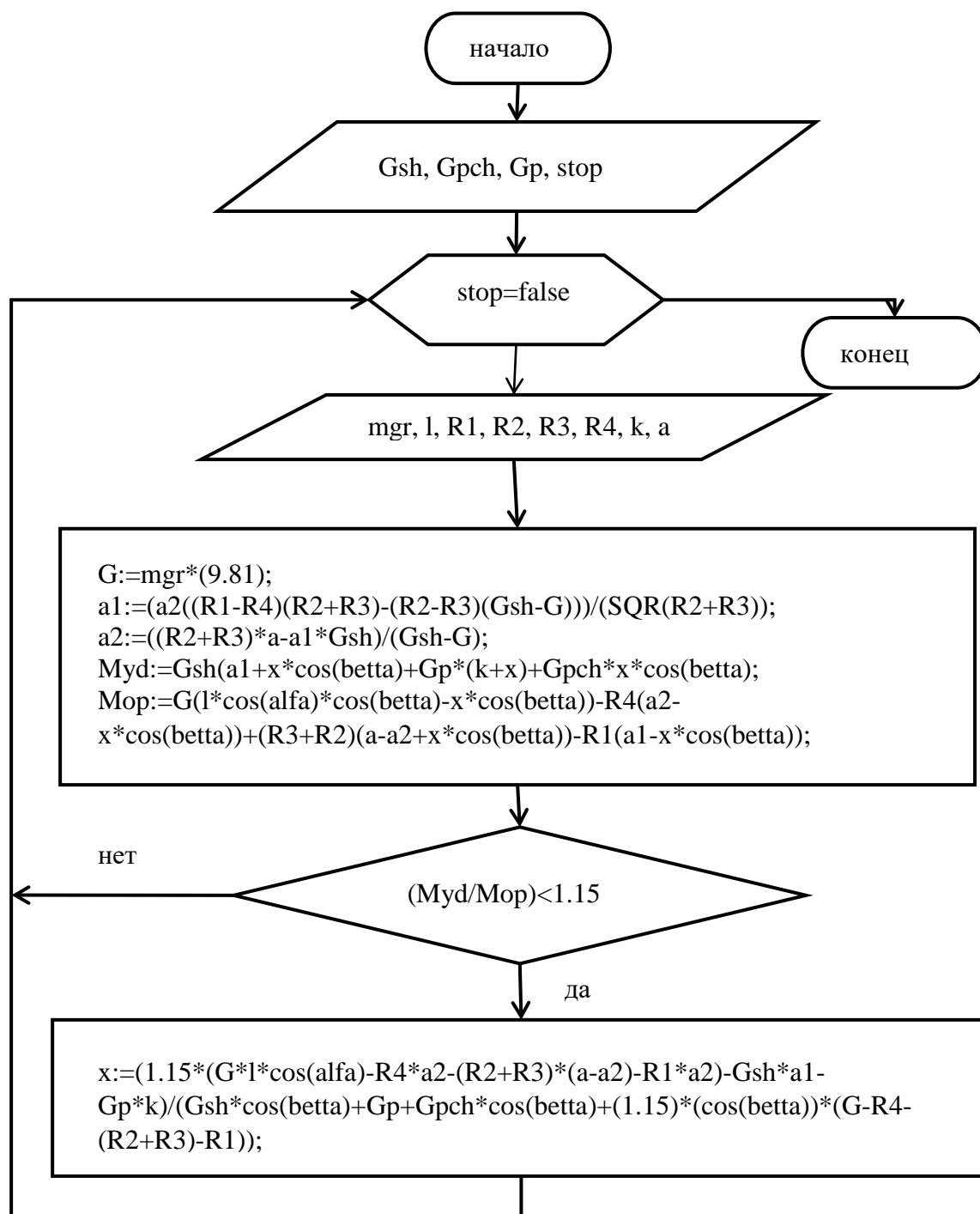


Рисунок 4.3 – Блок-схема программы расчета расстояния перемещения при изменении центра тяжести при работе ССК

Разработанная программа позволяет определять расстояние перемещения рамы для повышения устойчивости автокрана.

4.2 Программа логического контроллера обеспечения безопасности работы кранов

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 (рисунок 4.4).

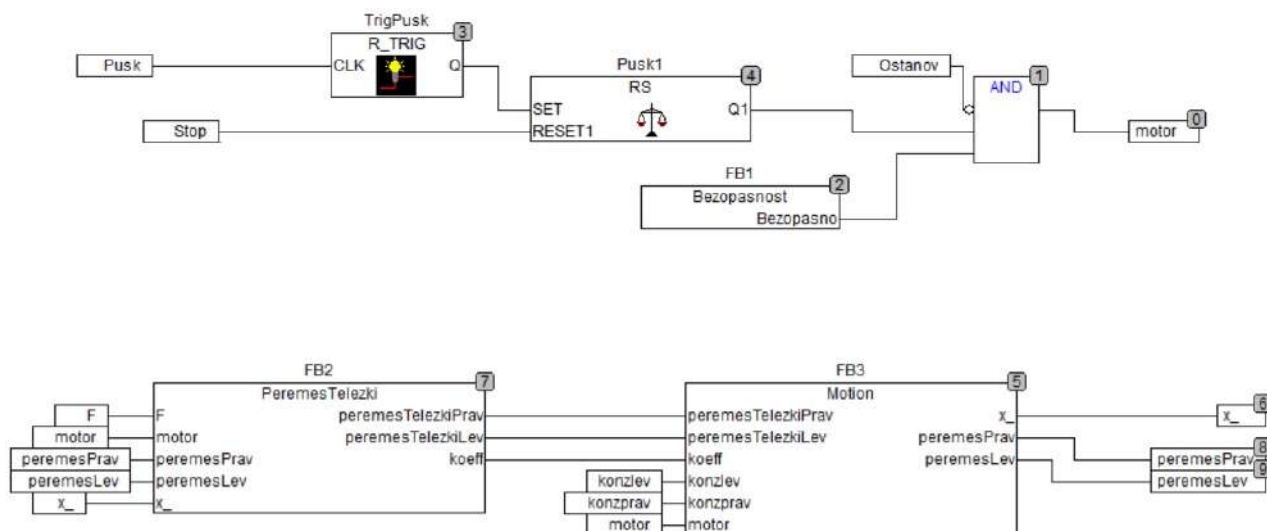


Рисунок 4.4 – Основная программа для ПЛК

Чтобы программа не была нагроможденной, то есть не содержала множество переменных и не была сложна для восприятия, были введены функциональные блоки, то есть подпрограммы, которые вынесены отдельно. Функциональными блоками являются:

- FB1. Подпрограмма, в которой реализована безопасность устройства;
- FB2. Подпрограмма, в которой происходит расчет параметров перемещения;
- FB3. Подпрограмма, которая отвечает за перемещение тележки.

Запуск программы осуществляется от кнопки Pusk, а также при срабатывании функционального блока FB1, считывающего параметры безопасности с датчиков, входящих в существующие системы ОНК, а также с учетом проведенных исследований. Таким образом, при попадании логической единицы на входы блока AND происходит запуск блока motor, который является входным сигналом для блоков FB2 и FB3.

4.2.1 Программы функциональных блоков

Функциональный блок FB1 также реализован на языке CFC (рисунок 4.5). Как описывалось ранее, в качестве приборов безопасности предлагается использовать следующие датчики:

- контролирующий угол наклона разрабатываемого устройства к горизонту (предельными значениями в соответствии с правилами безопасности приняты -5° и 5°) Peregruz2;
- контролирующий отсутствие перегруза Peregruz1;
- обрыва троса ObrivTrosa;
- контролирующий отсутствие препятствий в области производимых работ Chelovek;
- контролирующий силу ветра (предельным значением в соответствии с правилами безопасности принято 14м/с) Veter.
- функциональный блок Prosadka (рисунок 4.6), который срабатывает только в том случае, если расчетные значения реакций опор в аутригерах совпадает со значением датчиков аутригеров (реализация сравнения значений на языке CFC (рисунок 4.4) и реализация расчета значений в аутригерах согласно зависимости 2.49 на языке ST. Функциональный блок, контролирующий просадку аутригеров считывает информацию с датчиков расстояния, угла наклона, угла поворота и путем численного расчета по зависимостям, описанных [8], производит сравнение численных значений и действительных, считывающих с датчиков усилий, расположенных в аутригерах. При равенстве расчетных и реальных значений,

срабатывает сигнал об отсутствии просадки в аутригера и логическая единица передается на функциональный блок безопасности.

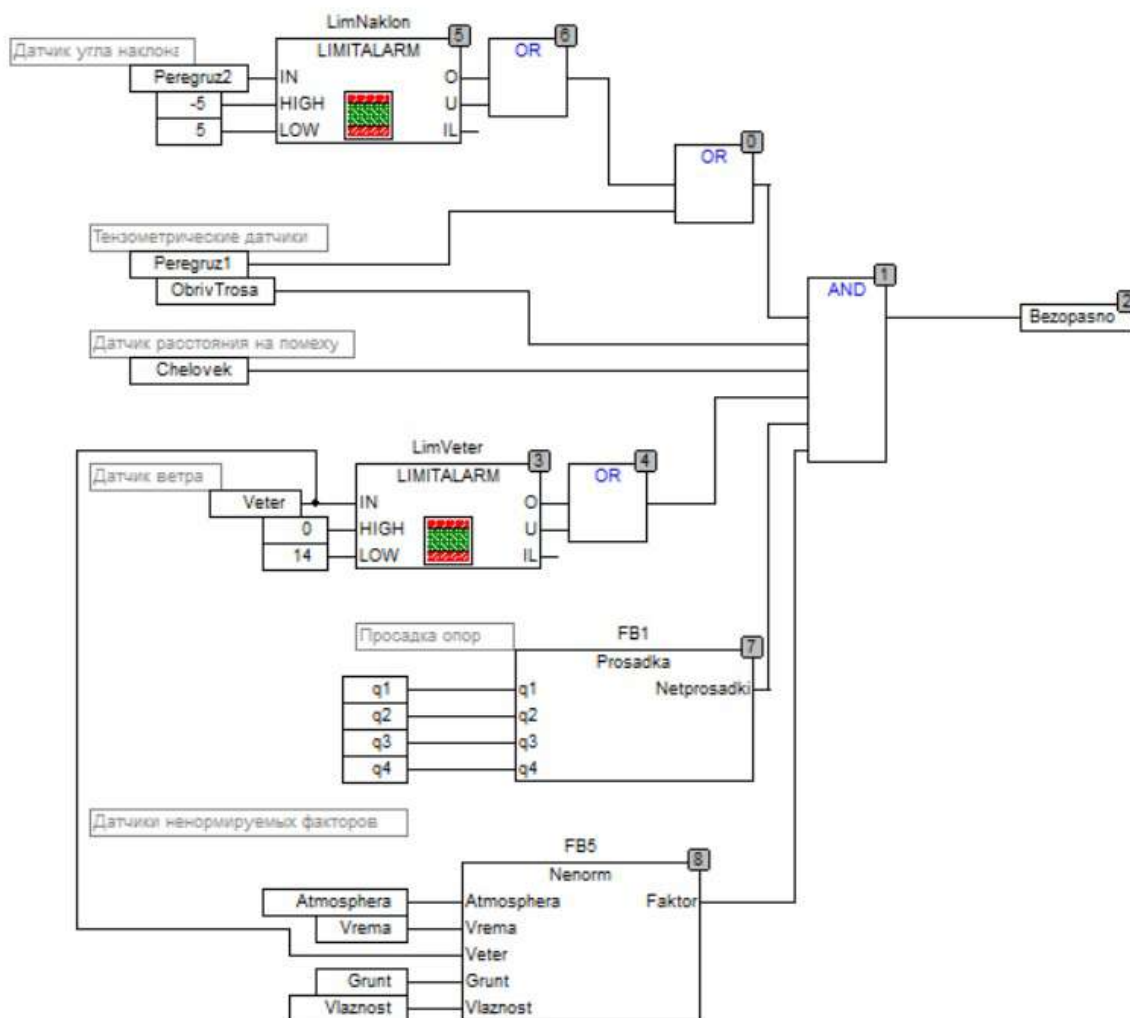


Рисунок 4.5 – Функциональный блок сравнения расчетных и фактических значений усилий в аутригерах

Функциональный блок FB5 Nenorm (рисунок 4.5) в качестве входных сигналов воспринимает информацию с датчиков, фиксирующих показатели внешних ненормируемых факторов (Atmosfera, Vlaznost, Grunt, Vrema), а также датчик ветра Veter, указанный выше. Расчет в функциональном блоке производится по алгоритму, описанному в пункте 1.3.4 (Приложение В).

Блоки Peregruz1, ObrivTrosa, Chelovek являются нормально замкнутыми, то есть рабочим состоянием таких датчиков является замкнутое (на вход поступает логическая 1). При поступлении на входы блока AND логических 1 со всех блоков

срабатывает выход Bezopasno, который, в свою очередь, передает логическую 1 на входы блоков основной программы ПЛК.

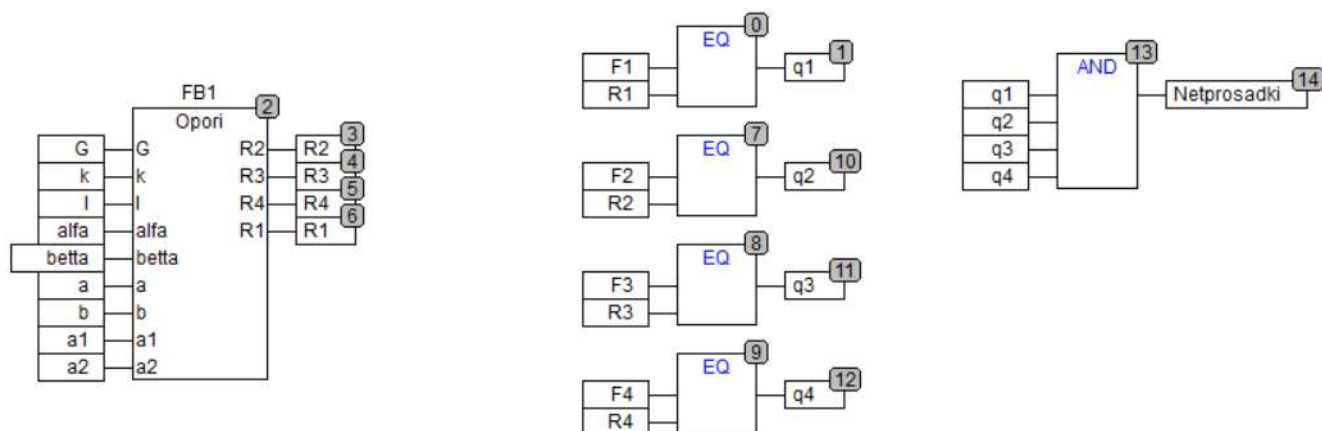


Рисунок 4.6 – Функциональный блок безопасности FB1

Функциональный блок FB2 реализован на языке ST, представляющий собой текстовый редактор высокого уровня (рисунок 4.7). В зависимости от выбранной методики расчета изменения центра тяжести функциональный блок FB2 вводится программа из Листинга 1 или Листинга 2, 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.

```

IF motor=TRUE THEN
REPEAT
IF x_ < 0 THEN
x:=-x_;
ELSE x:=x_;
END_IF
peremesTelezkiLev:=peremesLev;
peremesTelezkiPrav:=peremesPrav;
prom1:=((a-x)*F*COS(z))*((a-x)*F*COS(z));
prom2:= (F*(a-x)*SIN(z))*(F*(a-x)*SIN(z));
prom3:=(m*g*(a-x))*(m*g*(a-x));
prom4:=(Mleb-Mvr)*(Mleb-Mvr);
prom5:=m*g*m*g;
prom6:=F*F;
prom7:=SQRT(prom4/(prom6-prom5));
Mvr:= SQRT(prom1+prom2-prom3);
koeff:= a-prom7;
IF (Mleb<Mvr) AND (koeff>0) THEN
peremesTelezkiLev:= TRUE;
END_IF;
UNTIL z=90
END_REPEAT;
END_IF

```

Рисунок 4.7 – Расчет параметров перемещения FB2

В связи с тем, что большое время цикла CodeSys воспринимает как заикливание, структура программы была перестроена: введен цикл с постусловием, где условием является угол поднимаемого объекта (для рассматриваемого случая угол равен 90°), были введены промежуточные переменные, а также была введена задержка во времени цикла (переменная tm) с целью уменьшения скорости расчетов и наглядности при визуализации.

Функциональный блок FB3 реализован на языке ST (рисунок 4.8). В блоке было реализовано перемещение тележки на рассчитанную величину koeff. При подъеме центр смещение центра тяжести происходит в направлении корпуса машины, однако при написании программы был учтен случай, когда объект был опущен. В таком случае перемещение тележки будет осуществлено в противоположную сторону.


```

IF (peremesTelezkiPrav=TRUE) AND (konzprav=FALSE) AND (motor=TRUE) THEN
peremesPrav:=FALSE;
x_:=x_+koeff;

ELSE
IF (peremesTelezkiLev=TRUE) AND (konzlev=FALSE) AND (motor=TRUE) THEN
peremesLev:=FALSE;
x_:=x_-koeff;

END_IF;
END_IF;

```

Рисунок 4.8 – Блок перемещения тележки 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.

4.2.2 Визуализация моделирования перемещения уравновешивающего механизма в случае изменения центра тяжести

Программный комплекс CodeSys помимо составления программы для ПЛК производить визуализацию, наглядно отражающую полученные результаты моделирования. Недостатком визуализации в программном CodeSys является невозможность создания реалистичного чертежа, вследствие чего было составлено схематическое изображение, на котором механизм уравновешивания представлен в форме треугольника на колесах. Вследствие схожести алгоритмов изменения центра тяжести (отличием описанных способов являются методики расчета, как указывалось ранее, вне зависимости от позиционирования механизма уравновешивания), была проведена визуализация моделирования (рисунок 4.9). Также были созданы блоки визуализации системы безопасности (индикационная панель и панель управления крановщика (рисунок 4.10...4.11)).

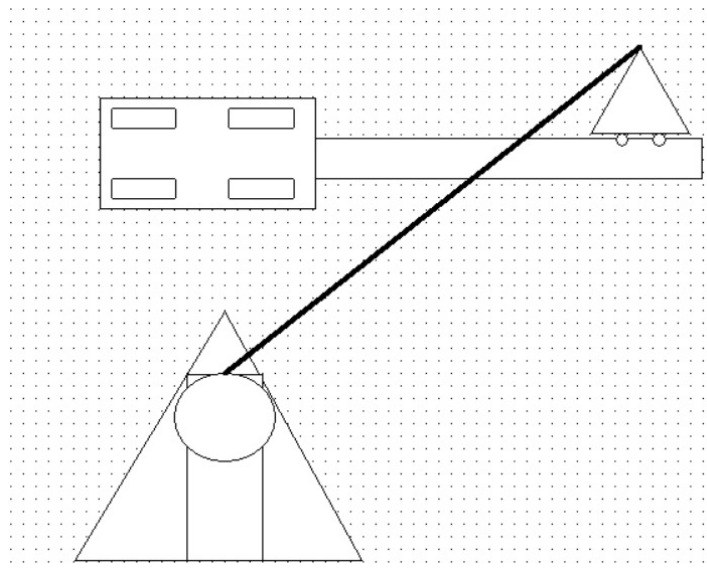


Рисунок 4.9– Визуализация перемещения уравнивателя при изменении центра тяжести

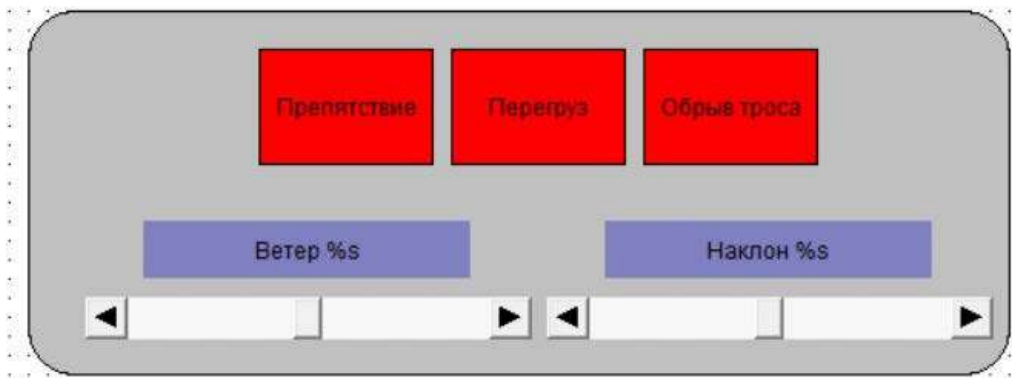


Рисунок 4.10 – Визуализация приборов безопасности

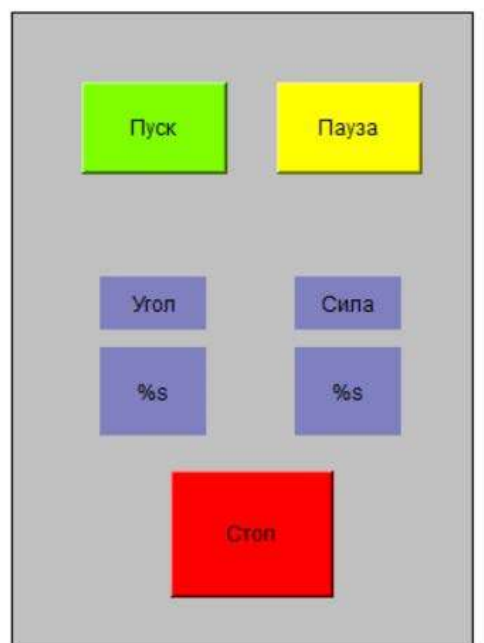


Рисунок 4.11 – Визуализация панели управления

Каждая кнопка связана с блоком из созданной программы для ПЛК. Символ %s означает, что значение параметра считывается с датчика и является числом, в остальных случаях значениями параметров являются логический 0 или логическая 1.

При запуске визуализации программы значения силы ветра и угла наклона устройства задаются при помощи полосы прокрутки. При нажатии кнопок для наглядности было реализовано изменение цвета (рисунок 4.12).



Рисунок 4.12 – Визуализация работы приборов безопасности

Результат работы программы представлен на рисунках 4.13...4.15, из которых видно, что произошло перемещение тележки в зависимости от угла подъема. В связи с невозможностью реализации подъема стрелы в визуализации программного комплекса CodeSys наглядно отражения изменения угла наклона стрелы относительно горизонта не видно, однако на рисунках 4.13...4.15 подписаны численные изменения угла наклона при перемещении тележки.

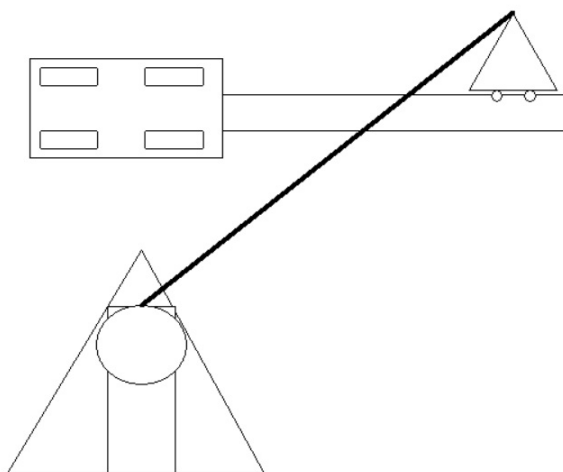


Рисунок 4.13 – Результат работы программы при $\alpha=0^\circ$

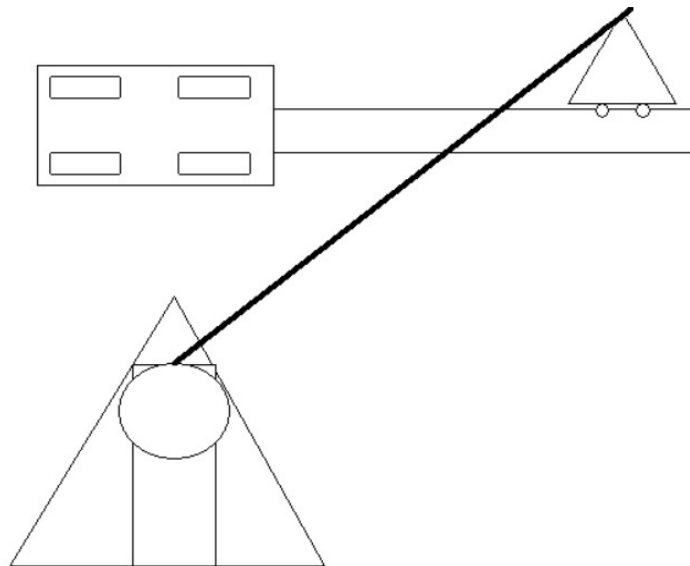


Рисунок 4.14 – Результат работы программы при $\alpha=20^\circ$

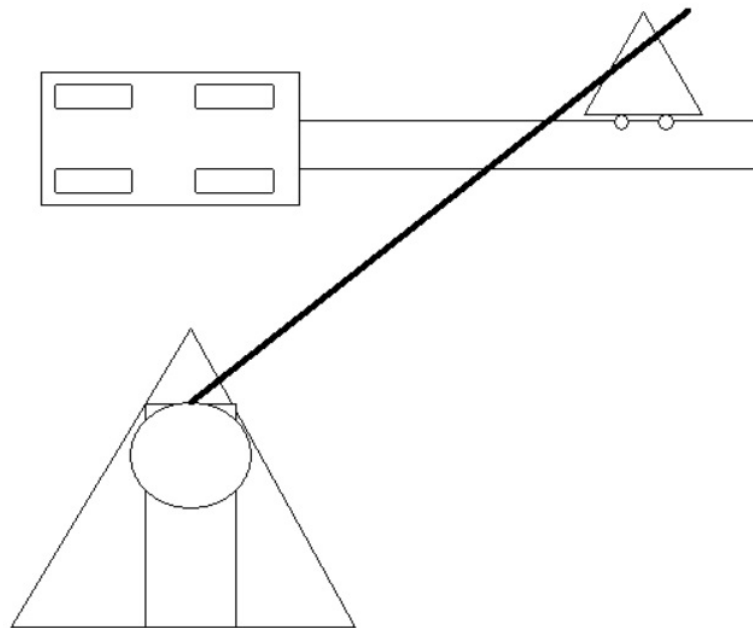


Рисунок 4.15 – Результат работы программы при $\alpha=90^\circ$

Время срабатывания устройства зависит от времени обрабатывания разработанной программы контролером и в среднем составляет 115200 бит/с. Учитывая время считывания с датчиков входных данных, а также учитывая время вывода и сетевого обмена данными рассогласование с работой механизма передвижения будет составлять около 12 мс, а с учетом запаса 20 %, который делают в случае кратковременных перебоев при работе системы безопасности, 15 мс.

4.3 Выводы по разделу 4

1 Несмотря на высокую скорость обработки данных, в результате инерционности систем, не исключены случаи опрокидывания от действия ненормируемых внешних факторов. Разработана методика моделирования процесса и программа подъема опрокинувшегося крана силой F , направленной вдоль оси каната подъема как в линейной связи двух тел.

2 Для создания модели использовались датчики (тензометрические, оптические и ультразвуковые), позволяющие контролировать: угол наклона разрабатываемого устройства к горизонту (предельные значения приняты в соответствии с правилами безопасности); обрыв троса; отсутствие перегруза; отсутствие препятствий в области производимых работ; силу ветра (предельные значения приняты в соответствии с правилами безопасности). При этом угол α и величина x могут изменяться в пределах, регламентируемых габаритами ССК и размерами тележечного устройства.

3 Разработана методика моделирования перемещения уравновешивания крановой конструкции при изменении центра тяжести, что способствует повышению безопасности при эксплуатации крановых конструкций. Практическая реализация полученного соотношения позволила разработать устройства, реализуемые в ССК [9], [10].

4 Разработана программа, которая позволяет определять расстояние перемещения рамы для повышения устойчивости автокрана. Реализация разрабатываемой системы безопасности ССК, визуализация, а также общая программа для программируемого логического контроллера (ПЛК) была произведена программного комплекса CodeSys.

5 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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- РУТ (МИИТ) – Федеральное государственной автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»;
- ССК – самоходный стреловой кран (в тексте «кран»)
- ФГБОУ ВО - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
- ТИУ - Тюменский индустриальный университет
- ФГБУ «ЦНИИИ ИВ» - Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский испытательный институт инженерных войск»
- РГАУ-МСХА - Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева
- БГТУ – Брянский государственный технический университет
- ФГАОУ ВО - Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
- ООО – Общество с ограниченной ответственностью
- ГУ МЧС – главного управления Министерства чрезвычайных ситуаций
- ОНК – ограничитель нагрузки крана
- ЖКИ – жидкокристаллический
- НПК - научно-производственный комплекс
- АЦП - аналого-цифрового преобразователя
- ПЛК - программируемый логический контроллер

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору РОСТЕХНАДЗОР 2013-2019. – Текст : электронный // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РОСТЕХНАДЗОР : [сайт]. – URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/index.php?sphrase_id=165633 б (дата обращения: 01.10.2019).
- 2 ГОСТ Р 54769-2011. (ИСО 4304:1987) Краны грузоподъемные. Общие требования к устойчивости = Cranes. General requirements for stability : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. № 914-ст : введен впервые: дата введения 2013-01-01 / разработан Некоммерческой организацией «Межгосударственный фонд «Сертификация подъемно-транспортного оборудования и услуг по техническому обслуживанию и ремонту машин» (ПТООУ «Фонд»). – Москва: Стандартинформ, 2012. – 7 с.
- 3 ГОСТ 32579.1-2013 (ИСО 8686-1:2012) Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 1. Общие положения = Cranes. Design principles for loads and load combinations. Part 1. General : межгосударственный стандарт: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 августа 2014 г. № 943-ст : введен впервые: дата введения 2015-06-01 / разработан Закрытым акционерным обществом «РАТТЕ» (ЗАО «РАТТЕ»). – Москва: Стандартинформ, 2015. – 33 с.
- 4 ГОСТ 32579.2-2013 (ИСО 8686-2:2004) Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 2. Краны стреловые самоходные = Cranes. Design principles for loads and load combinations. Part 2. Mobile cranes : межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального

- агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 августа 2014 г. № 944-ст : введен впервые: дата введения 2015-06-01 / разработан Закрытым акционерным обществом «РАТТЕ» (ЗАО «РАТТЕ»). – Москва: Стандартинформ, 2015. – 11 с.
- 5 Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РОСТЕХНАДЗОР : официальный сайт. – Москва. – URL: <http://www.gosnadzor.ru/industrial/equipment/Analysis/index.php> (дата обращения: 10.04.2022). – Текст : электронный.
- 6 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 ; Федеральное государственной автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта». – Москва, 2021. – 276 с.– Текст : непосредственный.
- 7 Мишин, А. В. Метод обеспечения устойчивости башенных кранов при действии случайных ветровых нагрузок : специальность 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов и детали машин» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Мишин Алексей Владимирович ; Федеральное государственной автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта». – Москва, 2014. – 158 с. – Текст : непосредственный.
- 8 Григорьев, П. А. Обеспечение устойчивости стреловых самоходных кранов при работе на слабонесущих грунтах : специальность 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов и детали машин» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Григорьев Павел Александрович ; Федеральное государственной автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта». – Москва, 2020. – 269 с. – Текст : непосредственный.

- 9 Патент № 2772847 С1 Российская Федерация, МПК В66С 23/78. Устройство обеспечения устойчивости машин : № 2021114566 : заявл. 24.05.2021 : опубл. 26.05.2022 / Горелова М. В., Сладкова Л. А., Крылов В. В. ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта». – 9 с. – Текст : непосредственный.
- 10 Патент № 2794284 С1 Российская Федерация, МПК В66С 23/78. Устройство обеспечения устойчивости машин: № 2022118742 : заявл. 08.07.2022 : опубл. 14.04.2023 / Сладкова Л. А., Горелова М. В., Крылов В. В. ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта». – 9 с. – Текст : непосредственный.
- 11 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 / Горелова М. В., Сладкова Л. А. ; заявитель Горелова М. В., Сладкова Л. А. – 9 с. – Текст : непосредственный.
- 12 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 / Горелова М. В., Крылов В. В., Сладкова Л. А. ; заявитель Горелова М. В., Крылов В. В., Сладкова Л. А. – 9 с. – Текст : непосредственный. Не нашла.
- 13 Jeng, S. L. Outrigger force measure for mobile crane safety based on linear programming optimization / S.L. Jeng, C.F. Yang, W.H. Fujioka // Mechanics Based Design of Structures and Machines. – 2010. – V.2 (38). – P.145-170.
- 14 Kacalak, W. Crane stability assessment method in the operation cycle / W. Kacalak, Z. Budniak, M. Majewski // Transport Problems. – 2017. – V.12. – P.141-151.

- 15 Kacalak, W. Stability Assessment as a Criterion of Stabilization of the Movement Trajectory of Mobile Crane Working Elements / W. Kacalak, Z. Budniak, M. Majewski // International Journal of Applied Mechanics and Engineering. – 2018. – V.23. – P.65-77.
- 16 Котельников, В. С. Аварийность и травматизм при эксплуатации грузоподъемных кранов : книга / В. С. Котельников, Н. А. Шишков. – Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». – Москва : ФГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2004. – 264 с. – ISBN 5-93586-158-5. - Текст : непосредственный.
- 17 Савченко, Н. В. Анализ причин аварий крановых механизмов / Н. В. Савченко, А. Н. Савченко, Ю. Г. Ежов – Текст : непосредственный // Журнал «Промышленные и строительные технологии» : [сайт]. – 2015. – № 1. – URL: <https://maspk.ru/journal/vypusk-1/savchenko-n-v-savchenko-a-n-ezhov-yu-g-analiz-prichin-avariy-kranovykh-mekhanizmov/> (дата обращения: 18.05.2020).
- 18 Анализ работы и способов обеспечения устойчивости стреловых самоходных кранов на слабонесущих грунтах материалы международной научно-технической конференции / П. А. Григорьев, В. В. Крылов, М. В. Горелова, Л. А. Сладкова. – Текст : непосредственный // Тюмень: ТюмИУ. – 2019 – С. 55-60.
- 19 Автокран рухнул в Нижнем Новгороде из-за деформации грунта. – Текст : электронный // Regnum.ru : [сайт]. – URL: <https://regnum.ru/news/accidents/2507049.html> (дата обращения: 18.05.2020).
- 20 В центре Воронежа начали поднимать упавший 400-тонный автокран. – Текст : электронный // Kommersant.ru : [сайт]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/2927234> (18.05.2020).
- 21 Аварии автомобильных кранов из-за нарушения требований охраны труда – Текст : электронный // Gosthelp.ru : [сайт].

- URL: <https://gosthelp.ru/text/Avariiavtomobilnyxkranovi.html> (дата обращения: 03.02.2021).
- 22 В Нижнем Новгороде упал автокран, один человек пострадал – Текст : электронный // РИА НОВОСТИ : [сайт]. – URL: <https://ria.ru/20071129/90089856.html> (дата обращения: 03.02.2021).
- 23 Штормовой ветер в Москве повалил кран, погиб рабочий – Текст : электронный // РИА НОВОСТИ : [сайт]. – URL: <https://ria.ru/20110418/365809178.html> (дата обращения: 03.02.2021).
- 24 Сладкова, Л. А. Анализ научно-технической литературы о влиянии ветровой нагрузки на стреловые конструкции / Л. А. Сладкова, В. В. Крылов, М. В. Горелова. – Текст : непосредственный // Строительные и дорожные машины. – 2020. – № 12. – С. 9-13.
- 25 Вершинский, А. В. Технологичность и несущая способность крановых металлоконструкций / А. В. Вершинский. – Москва : Машиностроение, 1984. – 167 с. – Текст : непосредственный.
- 26 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. – Текст : непосредственный // Наземные транспортно- технологические комплексы и средства. Материалы международной научной-технической конференции. – 2019. – С. 55-60.
- 27 Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. – Текст : электронный // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору РОСТЕХНАДЗОР : [сайт]. – URL: http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/index.php?sphrase_id=165633 б (дата обращения: 01.02.2021).
- 28 Катаев, В. А. Аварии грузоподъемных механизмов: причины и последствия / В. А. Катаев, А. П. Манаков, А. А. Глухов. – Текст : непосредственный // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда. – 2015. – № 7 (104). – С. 96-97.

- 29 Милованова, И. М. Основные причины и нарушения, которые привели к авариям и инцидентам при эксплуатации кранов. – Текст : непосредственный // Промышленная и экологическая безопасность, охрана труда. – 2015. – № 8 (105). – С. 22-25.
- 30 Патент 2723503 Устройство обеспечения горизонтирования кранов на слабонесущих грунтах : № 2019121342 : заявл. 08.07.2019 : опубл.: 11.06.2020 / Григорьев П. А., Крылов В. В., Сладкова Л. А. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), РУТ (МИИТ)). – Бюл. № 17. – 5 с. – Текст : непосредственный.
- 31 Причины возникновения аварий на подъемных устройствах. – Текст : электронный // Единый Стандарт : [сайт]. – 2020. – URL: <https://1cert.ru/stati/prichiny-vozniknoveniya-avariy-na-podemnykh-ustroystvakh> (дата обращения: 10.11.2020).
- 32 Растегаев, И. К. Машины для вечномёрзлых грунтов: учеб. пособие для вузов по спец. «Строит. и дор. машины и оборуд.» / И. К. Растегаев. – Москва.: Машиностроение, 1986. – 215 с. – Текст : непосредственный.
- 33 Скупов, Б. «Кранопад» на стройках страны усиливается. Кто виноват и что делать? – Текст : непосредственный // ТехНАДЗОР. – 2016. – № 1 (110). – С. 34-37.
- 34 Сладкова, Л. А. Анализ научно-технической литературы о влиянии ветровой нагрузки на стреловые конструкции / Л. А. Сладкова, В. В. Крылов, М. В. Горелова. – Текст : непосредственный // Строительные и дорожные машины. – 2020. – № 12. – С. 9-13.
- 35 Сладкова, Л. А. Изменение нагруженности стрелового крана при проведении погрузочно-разгрузочных работ / Л. А. Сладкова, В. В. Крылов, М. В. Горелова. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 2. – С. 311-317.
- 36 Сладкова, Л. А. Моделирование усилий в опорах машин основного технологического назначения на примере стрелового самоходного крана /

- Л. А. Сладкова, П. А. Григорьев, В. В. Крылов. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – №4. – С. 516-522.
- 37 Сладкова, Л. А. Технические основы создания машин: учебное пособие для обучающихся по техническим специальностям / Л. А. Сладкова, В. С. Ивановский. – Балашиха : ВТУ, 2010. – Текст : непосредственный.
- 38 Состояние аварийности с грузоподъемными механизмами. – Текст : электронный // ООО «Прикладная Экономика» 2013-2020 : [сайт]. – URL: <https://www.a-economics.ru/news/theme-withouttheme/code-4293/> (дата обращения: 13.12.2020).
- 39 Требования к организации и проведению работ по монтажу (демонтажу) грузоподъемных кранов: РД 22-28-37-02. – Москва : ФГУП СКТБ БК, 2002. – 95 с. – Текст : непосредственный.
- 40 Тюрин, Ю. Н. Причины возникновения аварий при эксплуатации подъемных сооружений / Ю. Н. Тюрин, Д. Е. Васильев, В. Д. Чугаев, С. Л. Масякин. – Текст : непосредственный // Химическая техника. – 2015. – № 11. – С. 28-29.
- 41 Погода в городах и странах. – Текст : электронный // Gismeteo : [сайт]. – URL: <https://xn--80aeabfj7apnbee8a.xn--p1ai/> (дата обращения: 23.01.2021).
- 42 Хэй-метод. – Текст : электронный // Kommersant.ru : [сайт]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/859659> (дата обращения: 05.03.2021).
- 43 Грейдирование должностей (метод Хэя). – Текст : электронный // Kommersant.ru. : [сайт]. – URL: https://studme.org/81108/menedzhment/greydirovanie_dolzhnostey_metod (дата обращения: 05.03.2021).
- 44 Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников : учебное пособие / А. И. Кобзарь ; Электрон. текстовые данные. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с. – ISBN 978-5-9221-1375-5. – Текст : непосредственный.
- 45 Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – Москва : Наука, 1973. – 832 с. – Текст : непосредственный.

- 46 Открытый курс машинного обучения. Тема 4. Линейные модели классификации и регрессии. – Текст : электронный // Хабр : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/323890> (дата обращения: 04.04.2021).
- 47 Почему инициализировать веса нейронной сети одинаковыми значениями (например, нулями) – это плохая идея. – Текст : электронный // Хабр : [сайт]. – URL: <https://habr.com/ru/post/592711> (дата обращения: 04.04.2021).
- 48 Патент 2171754 Российская Федерация, МПК⁷ В66С23/36, В60Р1/54. Универсальное грузоподъемное устройство : № 2000115262/28 : заявл. 16.06.2000 : опубл. 10.08.2001 / Пишевец С. П., Старостин М. М, Ковалев В. П., Буцких С. М., Власов В. П.; Патентообладатель: Общевойсковая академия вооруженных сил Российской Федерации. – Текст : электронный // FindPatent.ru : [сайт]. – URL: <https://findpatent.ru/patent/217/2171754.html> (дата обращения: 15.11.2020).
- 49 Патент 1321666 СССР, МПК В66С23/42. Стреловой самоходный кран : № 4036295/27-11 : заявл. 06.02.1986 : опубл. 07.07.1987 / Адриенко Н. Н., Штейнберг Л. Б., Яблонский Н. А., Корень В. Л. ; Патентообладатель Одесское производственное объединение тяжелого краностроения им. Январского восстания. – Текст : электронный // FindPatent.ru : [сайт]. – URL: <https://findpatent.ru/patent/132/1321666.html> (дата обращения: 15.11.2020).
- 50 Патент 1555266 СССР, МПК В66С23/72. Самоходный кран : № 4148001/23-11 : заявл. 15.09.1986 : опубл. 07.04.1990 / Райгородский С. Р., Мачабели Ш. Л., Рошасс Б. Я., Буцкий В. С., Евсеев Н. П. ; Патентообладатель Центральный научно-исследовательский проектно-экспериментальный. – Текст : электронный // FindPatent.ru : [сайт]. – URL: <https://findpatent.ru/patent/155/1555266.html> (дата обращения: 15.11.2020).
- 51 Патент 2545223 Российская Федерация, МПК В66F7/22. Устройство для подъема аварийного опрокинутого транспортного средства : № 2013151648/11 : заявл. 21.11.2013 : опубл. 27.03.2015 / Новожилов М. В., Ворочко А. Г. ; Патентообладатель Федеральное Государственное Унитарное предприятие «Центр Эксплуатации Объектов Наземной Космической Инфраструктуры» . –

- Текст : электронный // FindPatent.ru : [сайт]. – URL: <https://findpatent.ru/patent/254/2545223.html> (дата обращения: 15.11.2020).
- 52 Заббаров, А. Ш. Механизм подъема для грузов со смещенным центром тяжести / А. Ш. Заббаров, А. Г. Мудров. – Текст : непосредственный // Научный потенциал молодежи и технический прогресс : материалы I международной научно-практической конференции. – Казань : КГАСУ, 2018. – С. 12-13.
- 53 Патент 165312 Российская Федерация, МПК⁷ В66С 23/64. Выносная опора подъемно-транспортной машины : № 2016116467/11 : заявл. 26.04.2016 : опубл. 10.10.2016 / Лагерев И. А., Ковальский В. Ф., Толкачев Е. Н., Шатунова Е. А., Лагерев А. В. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского». – 6 с. – Текст : непосредственный.
- 54 Патент 186456 Российская Федерация, МПК⁷ В66С 23/78. Выносная опора мобильной грузоподъемной машины : № 2018136727 : заявл. 17.10.2018 : опубл. 21.01.2019 / Лагерев А. В., Лагерев И. А., Остроухов И. О. ; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского».–17 с.– Текст : непосредственный.
- 55 Щербаков, В. С., Система автоматизированного моделирования стрелового грузоподъемного крана : монография / В. С. Щербаков, С. А. Зырянова, Корытов М.С. ; Федер. агентство по образованию, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. – Омск : СибАДИ, 2009. – 106 с. – ISBN 978-5-93204-444-5. - Текст : непосредственный.
- 56 Щербаков, В. С. Определение диапазонов управляемых координат автокрана для системы автоматического управления / В. С. Щербаков, М. С. Корытов ; Федер. агентство по образованию, Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. – Омск, 2017. – 6 с. – Текст : непосредственный
- 57 Козлов, М. В. Устойчивость мобильных грузоподъемных машин при ненормируемых внешних воздействиях : специальность 05.02.13 «Машины,

- агрегаты и процессы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Крылов Максим Владимирович ; ГОУ ВПО «Тульский государственный университет». – Тула, 2006. – 153 с. – Текст : непосредственный.
- 58 Обеспечение безопасности строительно-монтажных работ. Устойчивость грузоподъемных кранов : методические указания к практическим занятиям / сост. С. Г. Кашина, Д. К. Шарафутдинов ; Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань : Изд-во КГАСУ, 2012. – 39 с. – Текст : непосредственный.
- 59 Кифер, Л. Г. Грузоподъемные машины : учебное пособие для машиностроительных вузов : в 2 частях / Л. Г. Кифер, И. И. Абрамович ; – 2-е изд., переработанное и дополненное ; Главное управление политехнических и машиностроительных вузов Министерства высшего образования СССР. – Москва : Государственное научно-техническое издательство Машиностроительной литературы (Машгиз), 1956. – 486 с. – Текст : непосредственный.
- 60 Александров, М. П. Грузоподъемные машины : учебник для вузов по специальности «Подъемно-транспортные машины и оборудование» / М. П. Александров, Л. Н. Колобов, Н. А. Лобов [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1986. – 400 с. – Текст : непосредственный.
- 61 Александров, М. П. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов справочник по кранам : в 2 томах, Т. 2 / М. П. Александров, М. М. Гохберг, А. А. Ковин [и др.] ; под общ. ред. М. М. Гохберга. – Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 560 с. – ISBN 5-217-00289-1 (т. 2). – Текст : непосредственный.
- 62 Иванченко, Ф. К. Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин : Учебник для студентов технических вузов / Ф. К. Иванченко ; Министерство высшего и среднего специального образования УССР. – Киев : Головное

- издательство издательского объединения «Вища школа», 1983. – 424 с. – Текст : непосредственный.
- 63 Раннев, А. В. Строительные машины : справочник : в 2 томах, Т.1 : Машины для строительства промышленных, гражданских сооружений и дорог / А. В. Раннев, В. Ф. Корелин, А. В. Жаворонков ; под ред. Э. Н. Кузина. – Москва : Машиностроение, 1991. – 496 с. – ISBN 5-217-01397-4. – Текст : непосредственный.
- 64 Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики : учебник для вузов / С. М. Тарг ; Министерством образования и науки Российской Федерации ; – 20-е изд., стер. – Москва : «Высшая школа», – 2010. – 416 с. – ISBN 978-5-06-006193-2. – Текст : непосредственный.
- 65 Горелова, М. В. Приборы обеспечения безопасной эксплуатации стреловых самоходных кранов / М. В. Горелова, Л. А. Сладкова. – Текст : непосредственный // 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.
- 66 Сладкова, Л. А. Теоретическое обоснование и моделирование устройства подъема крана / Л. А. Сладкова, М. В. Горелова, Р. О. Ногин. – Текст : непосредственный // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2020. – № 3. – С. 434-441.
- 67 Приказ № 461 от 26.11.2020 Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». – Текст : электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275657> (дата обращения: 13.10.2021).
- 68 Приборы безопасности автомобильных кранов. – Текст : электронный // DARAJA.RU : [сайт]. – URL: <https://daraja.ru/priboryi-bezopasnosti-avtomobilnyih-kranov> , свободный – (дата обращения: 15.10.2021).

- 69 Приборы безопасности автокранов. – Текст : электронный // Основные средства : [сайт]. – URL: <https://os1.ru/article/4370-pribory-bezopasnosti-avtokranov> (дата обращения: 15.10.2021).
- 70 Горелова, М. В. Приборы обеспечения безопасной эксплуатации стреловых самоходных кранов / М. В. Горелова, Л. А. Сладкова. – Текст : непосредственный // 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.
- 71 Приборы безопасности. – Текст : электронный // Научно-производственный комплекс Автоматизированные Системы : [сайт]. – URL: <https://www.asnpk.ru/page-86.html> (дата обращения: 15.10.2021).
- 72 Приборы безопасности и контроля кранов. – Текст : электронный // Кранмастер : [сайт]. – URL: https://kran-master74.ru/spares/sistemy_kontrolya_i_upravleniya_stroitelno_dorozhnoy_tekhnikoju (дата обращения: 15.10.2021).
- 73 Приборы безопасности. – Текст : электронный // МАШСЕРВИС : [сайт]. – URL: <https://ms-74.ru/Pribory-bezopasnosti> (дата обращения: 15.10.2021).
- 74 Приборы безопасности. – Текст : электронный // Группа компаний Вира : [сайт]. – URL: <https://ooovira.ru/pribory-bezopasnosti> (дата обращения: 15.10.2021).
- 75 Hirschmann приборы безопасности. – Текст : электронный // Олниса : [сайт]. – URL: <https://olnisa.ru/blog/hirschmann-pribory-bezopasnosti> (дата обращения: 15.10.2021).
- 76 Кузнецов, Ф. А. Программные платформы при моделировании технических систем башенных кранов / Ф. А. Кузнецов, М. В. Горелова. – Текст : непосредственный // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы : Сборник статей 26-ой Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва,

12–13 мая 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 104-111.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Статистические показатели ненормируемых факторов

Таблица А.1 – Статистические показатели фактора влажности

№	Авария	Дата, год	Место	Условия	Количество аварий в заданном интервале (n)		
				Влажность	0-39%	40-60%	61-100%
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Автокран завалился на бок во время погрузочных работ	08.11.2014	Москва, Нахимовский пр-т	100 %	0	0	1
2	Стрела крана опрокинулась во время разгрузки бетонных плит	20.09.2016	Москва, Севастопольский пр-т	93 %	0	0	1
3	Стрела автокрана рухнула на пристройку детского сада	24.10.2018	Нижний Новгород, Анатолия Григорьева ул	81 %	0	0	1
4	На строительной площадке, расположенной на Витебском проспекте, упал автокран	03.04.2007	Санкт-Петербург, Витебский пр-т	90 %	0	0	1
5	Автокран упал в котлован	29.11.2007	Нижний Новгород	80 %	0	0	1
6	Два человека пострадали при падении автокрана на юге Москвы	20.12.2010	Москва, Электролитный пр-д	77 %	0	0	1
7	Штормовой ветер в Москве повалил кран, погиб рабочий	18.04.2011	Москва, Болотниковская ул	78 %	0	0	1
8	Кран перевернулся на стройке в Воронеже, один пострадавший	26.04.2011	Воронеж, Сакко и Ванцетти ул	64 %	0	0	1
9	В Москве на роддом упал строительный кран	30.09.2011	Москва, Коптевский б-р	66 %	0	0	1
10	В Барнауле строительный кран упал на дорогу	26.01.2011	Барнаул, Мерзликина ул	34 %	1	0	0
11	При ремонте моста через реку Тулва упал автокран	04.05.2006	Пермский край, р. Тулва	60 %	0	1	0

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8
12	Рухнувший строительный кран на Кутузовском проспекте	06.02.2016	Москва, кутузовский пр-т	80 %	0	0	1
13	Авария крана на производственной базе ООО «ГиГ"Мет»	04.03.2006	пос. Мошково	50 %	0	1	0
14	Автокран опрокинулся в котлован у строящейся станции "Раменки"	14.11.2013	Москва, Мичуринский пр-т	97 %	0	0	1
15	Один человек погиб после падения автокрана на стройке у МКАД в районе Калужского шоссе	25.07.2020	Москва, 42-км МКАД	55 %	0	1	0
16	В Каневском районе рабочий погиб после падения автокрана	23.03.2021	станция Стародеревянковская, ул. Красная	70 %	0	0	1
17	Опрокинувшийся на МКАДе автокран перекрыл движение	03.10.2018	Москва, 19-км МКАД	94 %	0	0	1
18	При строительстве в аэропорту "Емельяново" упал автокран с водителем	11.07.2017	Красноярск, аэропорт Емельяново	10 %	1	0	0
19	В Холмске при опрокидывании автокрана пострадал работник железной дороги	23.01.2019	Дальний Восток станция Холмск-Сортировочный	7 %	1	0	0
20	Кран придавил машину и обесточил 30 домов в Павлодаре	13.03.2021	Павлодар, на перекрестке улицы Естая и Больничного переулка	20 %	1	0	0
21	Автокран перевернулся в Усть-Куте при спуске судна на воду	17.05.2018	Усть-Кут, причал Осетровского завода металлоконструкций	3 %	1	0	0
22	Автокран рухнул в Хостинском районе Сочи	02.09.2021	Сочи, ул. Абрамова	53 %	0	1	0
	Итого Количество	n		22	5	4	13
	Левая граница	А(лев)			0	40	61
	Правая граница	А(прав)			39	60	100
	Среднее значение	А(ср)	(А(лев)+А(прав))/2	61,909091	19,5	50	80,5

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8
	Вероятность	p	$n/\Sigma n$		0,227273	0,181818	0,590909
	Математическое ожидание	m	$\Sigma(p \cdot A(cp))$	61,090909	4,431818	9,090909	47,56818
	Дисперсия	d	$(\Sigma((A(cp)-m)^2) \cdot p) / \Sigma n$	29,00479			
	Среднее квадратичное отклонение	σ	$d^{0,5}$	5,3856095			
	кол*вер		$n \cdot p$	9,5454545	1,136364	0,727273	7,681818
	Кси квадрат	X^2	$\Sigma(((p-n \cdot p)^2)/(n \cdot p))$	7,6818182			
	Доверительная вероятность	p(дов)		0,975			
	Кси квадрат теоретическое	$X^2(теор)$		7,3778			
	Расчетная вероятность	p(расч)					
	Отклонение расчетного от теоретического		$100 - X^2 \cdot 100 / X^2(теор)$	-4,120716			

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Таблица А.2 – Статистические показатели фактора температуры воздуха

№	Авария	Дата, год	Место	Условия	Количество аварий в заданном интервале (n)						
				t воздуха	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Автокран завалился на бок во время погрузочных работ	08.11.2014	Москва, Нахимовский пр-т	+7	0	0	0	0	1	0	0
2	Стрела крана опрокинулась во время разгрузки бетонных плит	20.09.2016	Москва, Севастопольский пр-т	+9	0	0	0	0	1	0	0
3	Стрела автокрана рухнула на пристройку детского сада	24.10.2018	Нижний Новгород, Анатолия Григорьева ул	+7	0	0	0	0	1	0	0
4	На строительной площадке, расположенной на Витебском проспекте, упал автокран	03.04.2007	Санкт-Петербург, Витебский пр-т	+2	0	0	0	1	0	0	0
5	Автокран упал в котлован	29.11.2007	Нижний Новгород	-3	0	0	1	0	0	0	0
6	Два человека пострадали при падении автокрана на юге Москвы	20.12.2010	Москва, Электролитный пр-д	-7	0	0	1	0	0	0	0
7	Штормовой ветер в Москве повалил кран, погиб рабочий	18.04.2011	Москва, Болотниковская ул	+7	0	0	0	0	1	0	0
8	Кран перевернулся на стройке в Воронеже, один пострадавший	26.04.2011	Воронеж, Сакко и Ванцетти ул	+20	0	0	0	0	0	0	1
9	В Москве на роддом упал строительный кран	30.09.2011	Москва, Коптевский б-р	+11	0	0	0	0	1	0	0

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	В Барнауле строительный кран упал на дорогу	26.01.2011	Барнаул, Мерзликина ул	-21	1	0	0	0	0	0	0
11	При ремонте моста через реку Тулва упал автокран	04.05.2006	Пермский край, р. Тулва	+9	0	0	0	0	1	0	0
12	Рухнувший строительный кран на Кутузовском проспекте	06.02.2016	Москва, кутузовский пр-т	-1	0	0	0	1	0	0	0
13	Авария крана на производственной базе ООО «ГиГ"Мет»	04.03.2006	пос. Мошково	-6	0	0	1	0	0	0	0
14	Автокран опрокинулся в котлован у строящейся станции "Раменки"	14.11.2013	Москва, Мичуринский пр-т	+3	0	0	0	1	0	0	0
15	Один человек погиб после падения автокрана на стройке у МКАД в районе Калужского шоссе	25.07.2020	Москва, 42-км МКАД	+22	0	0	0	0	0	0	1
16	В Каневском районе рабочий погиб после падения автокрана	23.03.2021	станция Стародеревянковская, ул. Красная	+4	0	0	0	1	0	0	
17	Опрокинувшийся на МКАДе автокран перекрыл движение	03.10.2018	Москва, 19-км МКАД	+10	0	0	0	0	1	0	0
18	При строительстве в аэропорту "Емельяново" упал автокран с водителем	11.07.2017	Красноярск, аэропорт Емельяново	+22	0	0	0	0	0	0	1

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19	В Холмске при опрокидывании автокрана пострадал работник железной дороги	23.01.2019	Дальний Восток станция Холмск-Сортировочный	-3	0	0	1	0	0	0	0
20	Кран придавил машину и обесточил 30 домов в Павлодаре	13.03.2021	Павлодар, на перекрестке улицы Естая и Больничного переулка	+15	0	0	0	0	0	1	0
21	Автокран перевернулся в Усть-Куте при спуске судна на воду	17.05.2018	Усть-Кут, причал Осетровского завода металлоконструкций	+16	0	0	0	0	0	1	0
22	Автокран рухнул в Хостинском районе Сочи	02.09.2021	Сочи, ул. Абрамова	+25	0	0	0	0	0	0	1
	Итого Количество	n		22	1	0	4	4	7	2	4
	Максимальное значение	Amax		25							
	Минимальное значение	Amin		-21							
	Интервал		$(A_{max}-A_{min})/7$	6,571429							
	Левая граница	A(лев)			-21	-14,4286	-7,85714	-1,28571	5,28571	11,8571	18,4286
	Правая граница	A(прав)			-14,4286	-7,85714	-1,28571	5,28571	11,8571	18,4286	25
	Среднее значение	A(ср)	$(A(лев)+A(прав))/2$	0,636364	-17,7143	-11,1429	-4,57143	2	8,57143	15,1429	21,7143
	Вероятность	p	$n/\Sigma n$		0,04545	0	0,18182	0,18182	0,31818	0,09091	0,18182
	Математическое ожидание	m	$\Sigma(p*A(ср))$	6,779221	-0,80519	0	-0,83117	0,36364	2,72727	1,37662	3,94805
	Дисперсия	d	$(\Sigma((A(ср)-m)^2)*p)/\Sigma n$	4,672013							
	Среднее квадратичное отклонение	σ	$d^{0,5}$	2,161484							
	кол*вер		$n*p$	4,636364	0,04545	0	0,72727	0,72727	2,22727	0,18182	0,72727
	Кси квадрат	X^2	$\Sigma(((p-n*p)^2)/(n*p))$	2,909091							

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Доверительная вероятность	p(дов)		0,975							
	Кси квадрат теоретическое	X^2(теор)		12,59							
	Расчетная вероятность	p(расч)		0,2							
	Отклонение расчетного от теоретического		$100 - X^2 * 100 / X^2(\text{теор})$	76,89364							

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Таблица А.3 – Статистические показатели фактора времени суток

№	Авария	Дата, год	Место	Условия	Количество аварий в заданном интервале (n)			
				Время	09.00-12.00	12.01-16.00	16.01-18.00	18.01-08.59
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Автокран завалился на бок во время погрузочных работ	08.11.2014	Москва, Нахимовский пр-т	8:00				1
2	Стрела крана опрокинулась во время разгрузки бетонных плит	20.09.2016	Москва, Севастопольский пр-т	19:30				1
3	Стрела автокрана рухнула на пристройку детского сада	24.10.2018	Нижний Новгород, Анатолия Григорьева ул	15:00		1		
4	На строительной площадке, расположенной на Витебском проспекте, упал автокран	03.04.2007	Санкт-Петербург, Витебский пр-т	13:50		1		
5	Автокран упал в котлован	29.11.2007	Нижний Новгород	15:00		1		
6	Два человека пострадали при падении автокрана на юге Москвы	20.12.2010	Москва, Электролитный пр-д	11:00	1			
7	Штормовой ветер в Москве повалил кран, погиб рабочий	18.04.2011	Москва, Болотниковская ул	17:30			1	
8	Кран перевернулся на стройке в Воронеже, один пострадавший	26.04.2011	Воронеж, Сакко и Ванцетти ул	14:00		1		
9	В Москве на роддом упал строительный кран	30.09.2011	Москва, Коптевский б-р	9:30	1			
10	В Барнауле строительный кран упал на дорогу	26.01.2011	Барнаул, Мерзликина ул	9:00 (6:00 мск)				1
11	При ремонте моста через реку Тулва упал автокран	04.05.2006	Пермский край, р. Тулва					
12	Рухнувший строительный кран на Кутузовском проспекте	06.02.2016	Москва, кутузовский пр-т	14:30		1		

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Авария крана на производственной базе ООО «ГиГ"Мет»	04.03.2006	пос. Мошково					
14	Автокран опрокинулся в котлован у строящейся станции «Раменки»	14.11.2013	Москва, Мичуринский пр-т	12:30		1		
15	Один человек погиб после падения автокрана на стройке у МКАД в районе Калужского шоссе	25.07.2020	Москва, 42-км МКАД	17:00			1	
16	В Каневском районе рабочий погиб после падения автокрана	23.03.2021	станция Стародеревянковская, ул. Красня	12:30		1		
17	Опрокинувшийся на МКАДе автокран перекрыл движение	03.10.2018	Москва, 19-км МКАД	18:00			1	
18	При строительстве в аэропорту «Емельяново» упал автокран с водителем	11.07.2017	Красноярск, аэропорт Емельяново	17:00			1	
19	В Холмске при опрокидывании автокрана пострадал работник железной дороги	23.01.2019	Дальний Восток станция Холмск-Сортировочный	15:30		1		
20	Кран придавил машину и обесточил 30 домов в Павлодаре	13.03.2021	Павлодар, на перекрестке улицы Естая и Больничного переулка	17:03			1	
21	Автокран перевернулся в Усть-Куте при спуске судна на воду	17.05.2018	Усть-Кут, причал Осетровского завода металлоконструкций	14:00		1		
22	Автокран рухнул в Хостинском районе Сочи	02.09.2021	Сочи, ул. Абрамова	13:30		1		
	Итого Количество	n		20	2	10	5	3

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Левая граница	A(лев)			9	12	16	18
	Правая граница	A(прав)			12	16	18	33
	Среднее значение	A(ср)	$(A(\text{лев})+A(\text{прав}))/2$		10,5	14	17	25,5
	Вероятность	p	$n/\Sigma n$		0,1	0,5	0,25	0,15
	Математическое ожидание	m	$\Sigma(p*A(\text{ср}))$	16,125	1,05	7	4,25	3,825
	Дисперсия	d	$(\Sigma((A(\text{ср})-m)^2)*p)/\Sigma n$	0,9302734				
	Среднее квадратичное отклонение	σ	$d^{0,5}$	0,9645068				
	кол*вер		$n*p$	6,9	0,2	5	1,25	0,45
	Кси квадрат	X^2	$\Sigma(((p-n*p)^2)/(n*p))$	5,1				
	Доверительная вероятность	p(дов)		0,9				
	Кси квадрат теоретическое	X^2(теор)		6,2514				
	Расчетная вероятность	p(расч)						
	Отклонение расчетного от теоретического		$100-X^2*100/X^2(\text{теор})$	18,418274				

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Таблица А.4 – Статистические показатели фактора атмосферное давление

№	Авария	Дата, год	Место	Условия	Количество аварий в заданном интервале (n)		
				Давление	Низкое	Нормальное	Повышенное
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Автокран завалился на бок во время погрузочных работ	08.11.2014	Москва, Нахимовский пр-т	1010	0	0	1
2	Стрела крана опрокинулась во время разгрузки бетонных плит	20.09.2016	Москва, Севастопольский пр-т	995	0	0	1
3	Стрела автокрана рухнула на пристройку детского сада	24.10.2018	Нижний Новгород, Анатолия Григорьева ул	986	0	0	1
4	На строительной площадке, расположенной на Витебском проспекте, упал автокран	03.04.2007	Санкт-Петербург, Витебский пр-т	1004	0	0	1
5	Автокран упал в котлован	29.11.2007	Нижний Новгород	978	0	0	1
6	Два человека пострадали при падении автокрана на юге Москвы	20.12.2010	Москва, Электролитный пр-д	992	0	0	1
7	Штормовой ветер в Москве повалил кран, погиб рабочий	18.04.2011	Москва, Болотниковская ул	985	0	0	1
8	Кран перевернулся на стройке в Воронеже, один пострадавший	26.04.2011	Воронеж, Сакко и Ванцетти ул	753	0	1	0
9	В Москве на роддом упал строительный кран	30.09.2011	Москва, Коптевский б-р	998	0	0	1
10	В Барнауле строительный кран упал на дорогу	26.01.2011	Барнаул, Мерзликина ул	769	0	0	1
11	При ремонте моста через реку Тулва упал автокран	04.05.2006	Пермский край, р. Тулва	960	0	0	1
12	Рухнувший строительный кран на Кутузовском проспекте	06.02.2016	Москва, кутузовский пр-т	749	0	1	0
13	Авария крана на производственной базе ООО «ГиГ"Мет»	04.03.2006	пос. Мошково	869	0	0	1

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5	6	7	8
14	Автокран опрокинулся в котлован у строящейся станции «Раменки»	14.11.2013	Москва, Мичуринский пр-т	746	0	1	0
15	Один человек погиб после падения автокрана на стройке у МКАД в районе Калужского шоссе	25.07.2020	Москва, 42-км МКАД	750	0	1	0
16	В Каневском районе рабочий погиб после падения автокрана	23.03.2021	станция Стародеревянковская, ул. Краснся	752	0	1	0
17	Опрокинувшийся на МКАДе автокран перекрыл движение	03.10.2018	Москва, 19-км МКАД	735	1	0	0
18	При строительстве в аэропорту «Емельяново» упал автокран с водителем	11.07.2017	Красноярск, аэропорт Емельяново	727	1	0	0
19	В Холмске при опрокидывании автокрана пострадал работник железной дороги	23.01.2019	Дальний Восток станция Холмск-Сортировочный	751	0	1	0
20	Кран придавил машину и обесточил 30 домов в Павлодаре	13.03.2021	Павлодар, на перекрестке улицы Естая и Больничного переулка	752	0	1	0
21	Автокран рухнул в Хостинском районе Сочи	02.09.2021	Сочи, ул. Абрамова	752	0	1	0
22	Автокран перевернулся в Усть-Куте при спуске судна на воду	17.05.2018	Усть-Кут, причал Осетровского завода металлоконструкций	727	1	0	0
	Итого Количество	n		22	3	8	11
	Максимальное значение	A_{max}		1010			
	Минимальное значение	A_{min}		727			
	Интервал		$(A_{max}-A_{min})/3$	94,33333			
	Левая граница	A(лев)			727	746	766
	Правая граница	A(прав)			745	765	1010
	Среднее значение	A(ср)	$(A(лев)+A(прав))/2$	851,8182	736	755,5	888
	Вероятность	p	$n/\Sigma n$		0,136364	0,363636	0,5

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.4

1	2	3	4	5	6	7	8
	Математическое ожидание	m	$\Sigma(p \cdot A(cp))$	819,0909	100,3636	274,7273	444
	Дисперсия	d	$(\Sigma((A(cp)-m)^2) \cdot p) / \Sigma n$	217,5533			
	Среднее квадратичное отклонение	σ	$d^{0,5}$	14,74969			
	кол*вер		$n \cdot p$	8,818182	0,409091	2,909091	5,5
	Кси квадрат	X^2	$\Sigma(((p-n \cdot p)^2) / (n \cdot p))$	6,954545			
	Доверительная вероятность	p(дов)		0,975			
	Кси квадрат теоретическое	$X^2(теор)$		7,3778			
	Расчетная вероятность	p(расч)		0,2			
	Отклонение расчетного от теоретического		$100 - X^2 \cdot 100 / X^2(теор)$	5,736867			

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Таблица А.5 – Статистические показатели фактора день недели

№	Авария	Дата, год	Место	День недели	Количество аварий в заданном интервале (n)						
					пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Автокран завалился на бок во время погрузочных работ	08.11.2014	Москва, Нахимовский пр-т	сб	0	0	0	0	0	1	0
2	Стрела крана опрокинулась во время разгрузки бетонных плит	20.09.2016	Москва, Севастопольский пр-т	вт	0	1	0	0	0	0	0
3	Стрела автокрана рухнула на пристройку детского сада	24.10.2018	Нижний Новгород, Анатолия Григорьева ул	ср	0	0	1	0	0	0	0
4	На строительной площадке, расположенной на Витебском проспекте, упал автокран	03.04.2007	Санкт-Петербург, Витебский пр-т	вт	0	1	0	0	0	0	0
5	Автокран упал в котлован	29.11.2007	Нижний Новгород	чт	0	0	0	1	0	0	0
6	Два человека пострадали при падении автокрана на юге Москвы	20.12.2010	Москва, Электролитный пр-д	пн	1	0	0	0	0	0	0
7	Штормовой ветер в Москве повалил кран, погиб рабочий	18.04.2011	Москва, Болотниковская ул	пн	1	0	0	0	0	0	0
8	Кран перевернулся на стройке в Воронеже, один пострадавший	26.04.2011	Воронеж, Сакко и Ванцетти ул	вт	0	1	0	0	0	0	0
9	В Москве на роддом упал строительный кран	30.09.2011	Москва, Коптевский б-р	пт	0	0	0	0	1	0	0

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	В Барнауле строительный кран упал на дорогу	26.01.2011	Барнаул, Мерзликина ул	ср	0	0	1	0	0	0	0
11	При ремонте моста через реку Тулва упал автокран	04.05.2006	Пермский край, р. Тулва	чт	0	0	0	1	0	0	0
12	Рухнувший строительный кран на Кутузовском проспекте	06.02.2016	Москва, кутузовский пр-т	сб	0	0	0	0	0	1	0
13	Авария крана на производственной базе ООО «ГиГ"Мет»	04.03.2006	пос. Мошково	сб	0	0	0	0	0	1	0
14	Автокран опрокинулся в котлован у строящейся станции «Раменки»	14.11.2013	Москва, Мичуринский пр-т	чт	0	0	0	1	0	0	0
15	Один человек погиб после падения автокрана на стройке у МКАД в районе Калужского шоссе	25.07.2020	Москва, 42-км МКАД	сб	0	0	0	0	0	1	0
16	В Каневском районе рабочий погиб после падения автокрана	23.03.2021	станция Стародеревянковская, ул. Красня	вт	0	1	0	0	0	0	0
17	Опрокинувшийся на МКАДе автокран перекрыл движение	03.10.2018	Москва, 19-км МКАД	ср	0	0	1	0	0	0	0

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	При строительстве в аэропорту «Емельяново» упал автокран с водителем	11.07.2017	Красноярск, аэропорт Емельяново	вт	0	1	0	0	0	0	0
19	В Холмске при опрокидывании автокрана пострадал работник железной дороги	23.01.2019	Дальний Восток станция Холмск-Сортировочный	ср	0	0	1	0	0	0	0
20	Кран придавил машину и обесточил 30 домов в Павлодаре	13.03.2021	Павлодар, на перекрестке улицы Естая и Больничного переулка	сб	0	0	0	0	0	1	0
21	Автокран рухнул в Хостинском районе Сочи	02.09.2021	Сочи, ул. Абрамова	чт	0	0	0	1	0	0	0
22	Автокран перевернулся в Усть-Куте при спуске судна на воду	17.05.2018	Усть-Кут, причал Осетровского завода металлоконструкций	чт	0	0	0	1	0	0	0
Итого Количество		n		22,00	2,00	5,00	4,00	5,00	1,00	5,00	0,00
Среднее значение		A(ср)	$\Sigma n/7$	3,142857							
Вероятность		p	$n/\Sigma n$	1	0,090909	0,227273	0,181818	0,227273	0,045455	0,227273	0
Математическое ожидание		m	$\Sigma(p*n)$	4,363636	0,181818	1,136364	0,727273	1,136364	0,045455	1,136364	0
Дисперсия		d	$(\Sigma(((n-m)^2)*p))/\Sigma n$	0,060105							
Среднее квадратичное отклонение		σ	$d^{0,5}$	0,245164							
кол*вер			$n*p$	4,363636	0,181818	1,136364	0,727273	1,136364	0,045455	1,136364	0
Кси квадрат		X^2	$\Sigma(((p-n*p)^2)/(n*p))$	2,636364							

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Доверительная вероятность	p(дов)		4,466084							
	Кси квадрат теоретическое	X^2(теор)		14,4494							
	Расчетная вероятность	p(расч)		0,3							
	Отклонение расчетного от теоретического		$100 - X^2 * 100 / X^2(\text{теор})$	81,75451							

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Таблица А.6 – Статистические показатели фактора облачность

№	Авария	Дата, год	Место	Условия	Количество аварий в заданном интервале (n)	
				Облачность	обл	нет
1	2	3	4	5	6	7
1	Автокран завалился на бок во время погрузочных работ	08.11.2014	Москва, Нахимовский пр-т	обл	1	0
2	Стрела крана опрокинулась во время разгрузки бетонных плит	20.09.2016	Москва, Севастопольский пр-т	обл	1	0
3	Стрела автокрана рухнула на пристройку детского сада	24.10.2018	Нижний Новгород, Анатолия Григорьева ул	обл	1	0
4	На строительной площадке, расположенной на Витебском проспекте, упал автокран	03.04.2007	Санкт-Петербург, Витебский пр-т	обл	1	0
5	Автокран упал в котлован	29.11.2007	Нижний Новгород	нет	0	1
6	Два человека пострадали при падении автокрана на юге Москвы	20.12.2010	Москва, Электролитный пр-д	нет	0	1
7	Штормовой ветер в Москве повалил кран, погиб рабочий	18.04.2011	Москва, Болотниковская ул	обл	1	0
8	Кран перевернулся на стройке в Воронеже, один пострадавший	26.04.2011	Воронеж, Сакко и Ванцетти ул	обл	1	0
9	В Москве на роддом упал строительный кран	30.09.2011	Москва, Коптевский б-р	нет	0	1
10	В Барнауле строительный кран упал на дорогу	26.01.2011	Барнаул, Мерзликина ул	нет	0	1
11	При ремонте моста через реку Тулва упал автокран	04.05.2006	Пермский край, р. Тулва	нет	0	1
12	Рухнувший строительный кран на Кутузовском проспекте	06.02.2016	Москва, кутузовский пр-т	обл	1	0
13	Авария крана на производственной базе ООО «ГиГ"Мет»	04.03.2006	пос. Мошково	обл	1	0

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

Продолжение таблицы А.6

1	2	3	4	5	6	7
14	Автокран опрокинулся в котлован у строящейся станции «Раменки»	14.11.2013	Москва, Мичуринский пр-т	обл	1	0
15	Один человек погиб после падения автокрана на стройке у МКАД в районе Калужского шоссе	25.07.2020	Москва, 42-км МКАД	нет	0	1
16	В Каневском районе рабочий погиб после падения автокрана	23.03.2021	станция Стародеревянковская, ул. Красня	обл	1	0
17	Опрокинувшийся на МКАДе автокран перекрыл движение	03.10.2018	Москва, 19-км МКАД	обл	1	0
18	При строительстве в аэропорту «Емельяново» упал автокран с водителем	11.07.2017	Красноярск, аэропорт Емельяново	нет	0	1
19	В Холмске при опрокидывании автокрана пострадал работник железной дороги	23.01.2019	Дальний Восток станция Холмск-Сортировочный	нет	0	1
20	Кран придавил машину и обесточил 30 домов в Павлодаре	13.03.2021	Павлодар, на перекрестке улицы Естая и Больничного переулка	нет	0	1
21	Автокран перевернулся в Усть-Куте при спуске судна на воду	17.05.2018	Усть-Кут, причал Осетровского завода металлоконструкций	нет	0	1
22	Автокран рухнул в Хостинском районе Сочи	02.09.2021	Сочи, ул. Абрамова	обл	1	0
1	Итого Количество	n		22	12	10
	Вероятность	p	$n/\Sigma n$		0,54545455	0,45454545
	кол*вер		$n*p$		6,54545455	4,54545455
	Математическое ожидание	m	$\Sigma(n*p)$	11,0909091		
	Дисперсия	d	$(\Sigma((m-(n*p))^2))/\Sigma n$	2,88655147		
	Среднее квадратичное отклонение	σ	$d^{0,5}$	1,69898542		
	Кси квадрат	X^2	$\Sigma(((p-n*p)^2)/(n*p))$	9,18181818		
	Доверительная вероятность	p(дов)		0,975		

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

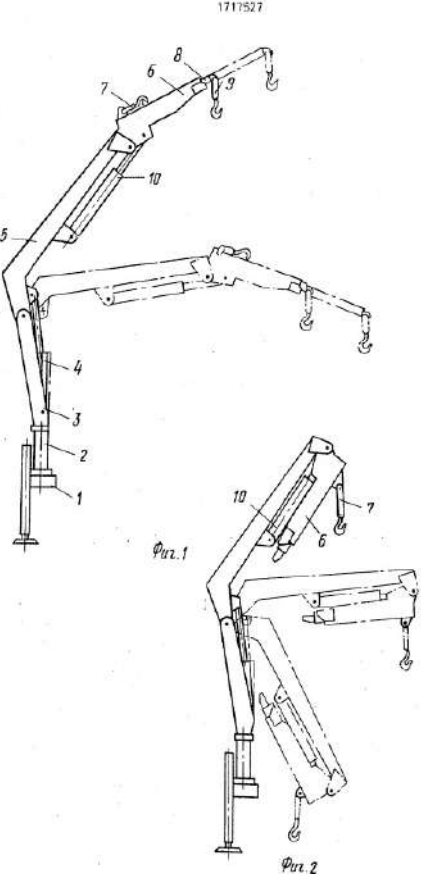
Продолжение таблицы А.6

1	2	3	4	5	6	7
	Кси квадрат теоретическое	X²(теор)		5,0239		
	Расчетная вероятность	p(расч)				

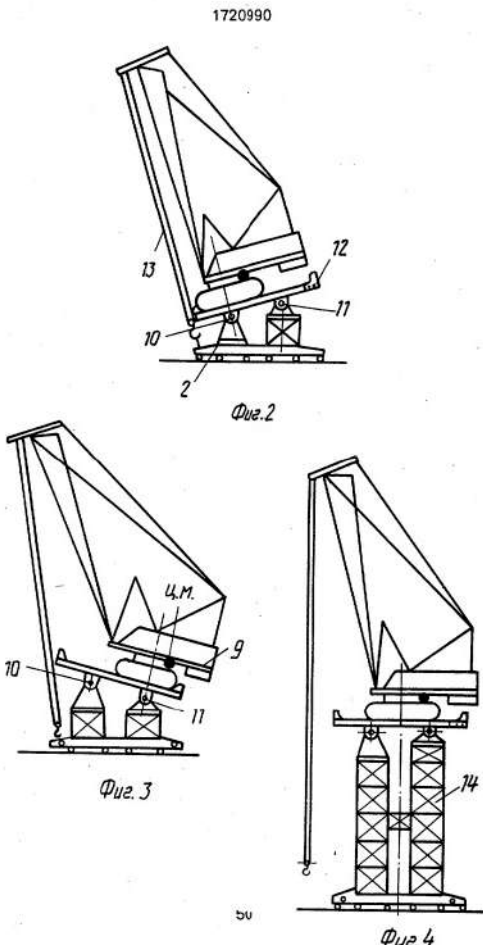
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Анализ существующих технических решений

Таблица Б.1 – Патентный анализ

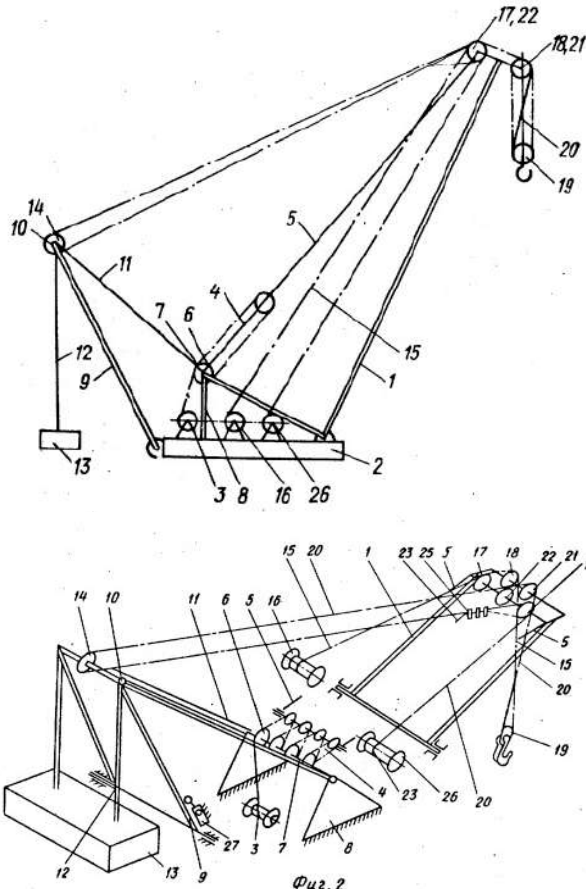
Патент	Изображение	Формула изобретения
1	2	3
<p>1717527</p> <p>Грузоподъемный кран</p> <p>МПК В66С 23/06, В66С 23/44</p> <p>Автор: Остапчук Евгений Ильич</p>	 <p>The drawing consists of two views of a crane. Figure 1 (top) shows the crane in an extended position. It has a vertical base (1), a first telescopic section (2) pivoted at the top (3), and a second telescopic section (4) pivoted to the first section (5). A hook (6) is attached to the end of the second section. Figure 2 (bottom) shows the crane in a folded position. The second section (4) is pivoted downwards, and the hook (6) is positioned below the first section. The drawing is labeled with '1717527' at the top and 'Фиг. 1' and 'Фиг. 2' at the bottom.</p>	<p>1. Грузоподъемный кран, содержащий смонтированную на основании поворотную колонну, установленную на последней своим первым звеном с возможностью принудительного поворота в вертикальной плоскости стрелу со вторым телескопическим звеном, установленным своей корневой частью на первом с возможностью принудительного поворота в указанной плоскости, и крюковые подвески, одна из которых связана с корневой частью второго звена, а другая - с выдвижной, отличающаяся тем, что, с целью улучшения эксплуатационных характеристик, второе звено стрелы установлено с возможностью расположения под первым вдоль него, а крюковая подвеска шарнирно закреплена на обращенной вниз при сложенной стреле стороне второго звена.</p>

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>1720990</p> <p>Устройство для подъема стрелового самоходного крана</p> <p>МПК В66С 23</p> <p>Авторы: Брайнин Яков Лазаревич</p>		<p>1. Устройство для подъема стрелового самоходного крана, содержащее грузовую платформу, смонтированные на ее передней и задней частях ограничительные упоры для взаимодействия с крайними опорными элементами поднимаемого крана, попарно разновысокие опоры, шарнирно связанные с передней и задней частями платформы, связанные с указанными опорами съемные опорные секции и соединенное с последними подвижное основание.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>1321666</p> <p>Стреловой самоходный кран</p> <p>МПК В66С 23/42</p> <p>Авторы: Андриенко Николай Николаевич Штейнберг Лев Борисович Яблонский Николай Андреевич Корень Вилен Липович</p>	 <p>Фиг. 2</p>	<p>1. Стреловой самоходный кран, содержащий установленные на платформе на одном ее конце поворотную в вертикальной плоскости и снабженную полиспастной грузовой. подвеской стрелу, на другом конце - шарнирную противовесную и в средней части двуногую стойку, несущие на свободных концах блоки соответственно для тяги, несущей контргруз, и для оттяжки и грузового каната, и грузовую и стреловую лебедки, на которых закреплены одними концами соответственно грузовой и стреловой канаты.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>1555266</p> <p>Самоходный кран</p> <p>МПК В66С 23/72</p> <p>Авторы: Райгородский Станислав Рафаилович Мачабели Шота Леванович Рошасс Борис Яковлевич Буцкий Валерий Семенович Евсеев Николай Пейсахович</p>		<p>1. Самоходный кран, содержащий поворотную платформу со стрелой, с которой связана одним концом. через полиспаст закрепленная другим концом шарнирно на платформе стойка, с первым концом которой соединена тяга постоянной длины, на которой закреплен противовес, и шарнирно одним концом штанга, соединенная шарнирно другим концом с платформой, на которой закреплены направляющие для противовеса отличающийся тем, что, с целью улучшения эксплуатационных характеристик, на противовесе с обеих его сторон в нижней его части симметрично продольной оси платформы закреплены планки, несущие на свободных концах, обращенных к платформе, ориентированные навстречу друг другу выступы, расположенные в направляющих с возможностью ограниченного смещения вдоль продольной оси платформы и вывода из направляющих при смещении, большем упомянутого смещения, причем штанга выполнена жесткой, а ее шарнирное соединение с платформой – быстроразъемным.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>1657467</p> <p>Стреловой кран</p> <p>МПК В66С 23</p> <p>Авторы: Биджелов Камбулат Харитонович Павлов Анатолий Михайлович Моносос Павел Михайлович</p>	<p style="text-align: center;">II Фиг. 5</p> <p style="text-align: center;">II Фиг. 6</p>	<p>1. Стреловой кран, содержащий основание, на котором закреплена поворотная в вертикальной плоскости стрела, шарнирно соединенное со стреловой оттяжкой соединительное звено с продольной прорезью, 30 через которую пропущен палец, закрепленный в кронштейне, установленном на основании, отличающийся тем, что, с целью повышения надежности, он снабжен дополнительным пальцем и закрепленными на основании дополнительными кронштейнами с отверстиями.</p> <p>2. Стреловой кран имеет три возможных вылета стрелы 5 за счет изменения длины оттяжки. Для установки стрелы 5 на минимальный вылет звено 7 оттяжки находится в горизонтальном положении относительно рамы 2. Палец 12 соединяет проушину 11 пальцем 12 с кронштейном 13. Для перевода стрелы 5 от одного вылета к другому крюк зацепляют за проушину, закрепленную в корне стрелы 5, и с помощью грузовой лебедки 3 запрокидывают стрелу "назад", освобождая звено 7 и палец 9 от воздействия на них веса стрелы и крюковой подвески.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>RU 2 267 458 C1</p> <p>Система контроля грузовой устойчивости мобильных грузоподъемных машин</p> <p>МПК В66С 23/90 G01М 1/12</p> <p>Авторы: Сорокин Павел Алексеевич Редькин Алексей Владимирович Козлов Максим Владимирович</p>	 <p>Фиг.1</p>  <p>Фиг.2</p>	<p>1. Система контроля грузовой устойчивости мобильных грузоподъемных машин, содержащая тензометрические датчики нагрузки, установленные на выносных опорах, аналого-цифровой преобразователь, подключенный к выходам датчиков нагрузки, бортовой микропроцессор, установленный с возможностью обработки сформированного аналого-цифровым преобразователем информационного массива, управления гидрораспределителем гидроцилиндров опорного контура и выдачи необходимой информации на табло машинисту, отличающаяся тем, что бортовой микропроцессор снабжен релейным модулем, в память бортового микропроцессора введена математическая модель грузоподъемной машины, выполненная с возможностью изменения в зависимости от типа грузоподъемной машины, а параллельно упомянутому гидрораспределителю подключен дополнительный гидрораспределитель, связанный через систему контроллеров с релейным модулем бортового микропроцессора и предназначенный для перераспределения объема жидкости из поршневых областей гидроцилиндров при угрозе опрокидывания грузоподъемной машины.</p> <p>2. Система по п.1, отличающаяся тем, что бортовой микропроцессор выполнен с возможностью периодического определения положения проекции центра масс на плоскость опорного контура относительно ребра опрокидывания в пределах опорного контура системы, выявления направления смещения проекции центра масс за пределы области гарантированной устойчивости, генерирования сигнала опасного снижения запаса устойчивости и формирования направленного воздействия стабилизирующего характера для ограничения скоростей или блокирования перемещений технологического оборудования.</p>

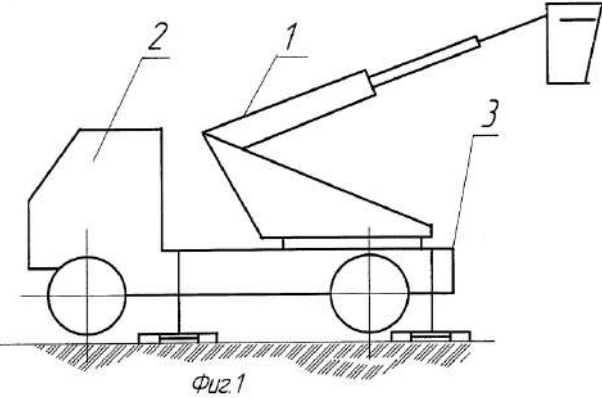
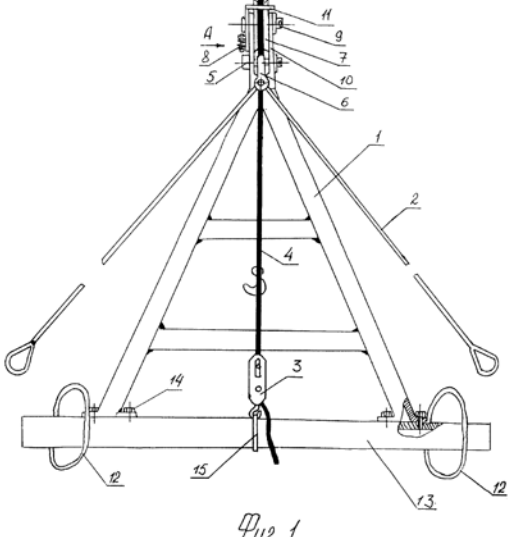
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>RU 2 349 536 C1</p> <p>Способ управления грузовой устойчивостью мобильного грузоподъемного крана и устройство для его осуществления</p> <p>МПК В66С 15/00</p> <p>Авторы: Сорокин Павел Алексеевич Чернов Александр Викторович Редькин Алексей Владимирович Жильцов Александр Вячеславович</p>	 <p style="text-align: center;">Фиг.1</p>	<p>1. Способ управления устойчивостью мобильного грузоподъемного крана, заключающийся в том, что осуществляют вычисление грузового момента и сравнивают его с предельно допустимым, в зависимости от полученных данных формируют сигнал включения тех исполнительных механизмов, которые обеспечивают уменьшение грузового момента, отличающийся тем, что дополнительно измеряют скорости изменения давления в гидроцилиндрах выносных опор и определяют их знак, составляют контрольные комбинации скоростей изменения давления, которые сравнивают с эталонными, в зависимости от совпадения или не совпадения полученных контрольных комбинаций с эталонными формируют сигнал управления параметрами, влияющими на устойчивость.</p> <p>2. Устройство для осуществления способа управления устойчивостью мобильного грузоподъемного крана, содержащее гидрелинию выносных опор, механизм поворота стрелы, аналого-цифровой преобразователь, бортовой микропроцессор, в память бортового микропроцессора введена математическая модель мобильного грузоподъемного крана, выполненная с возможностью изменения в зависимости от типа грузоподъемного крана, отличающееся тем, что в гидрелинию выносных опор дополнительно включены датчики давления, бортовой микропроцессор имеет связь с датчиками давления, механизм поворота стрелы снабжен регулируемым аксиально-поршневым гидродвигателем.</p>

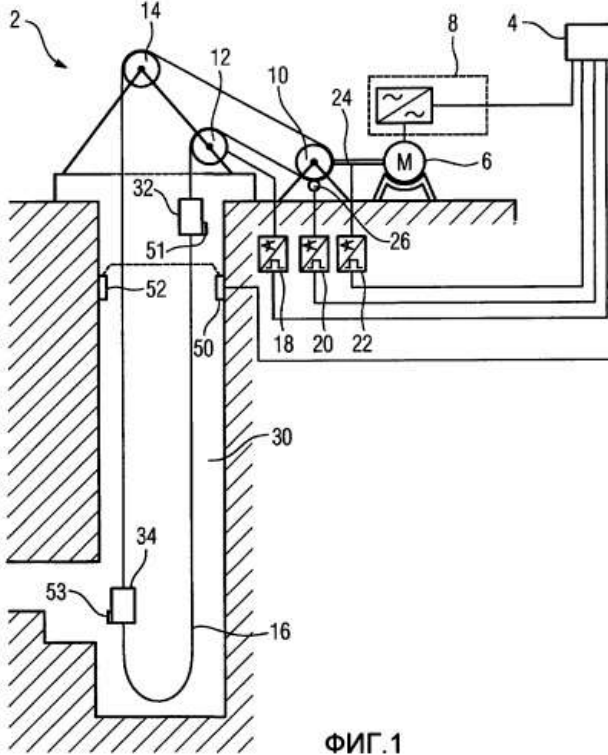
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>2268231</p> <p>Способ контроля безопасной эксплуатации подъемно-транспортных машин и устройство для его осуществления</p> <p>МПК В66С 13/06</p> <p>Авторы: Гудков Юрий Иванович Тарасов Кирилл Витальевич</p>		<p>1. Изобретение относится к подъемно-транспортным машинам, а именно к автомобильным подъемникам, и касается способов контроля устройств безопасной эксплуатации автомобильных подъемников и вышек. Способ заключается в контроле усилия поджатия опорной подошвы к поверхности и создании удерживающих нагрузок, противодействующих отрыву подошвы от опорной поверхности, путем измерения нагрузок датчиком давления и преобразования сигнала через аналого-цифровые преобразователи и микро ЭВМ. Сигналы подаются через гидрораспределитель на гидроцилиндры, которые регулируют поджатие выносных опор. Устройство реализует способ безопасной эксплуатации подъемно-транспортных машин. Технический результат - контроль за устойчивостью и исключение опрокидывания подъемно-транспортной машины.</p>
<p>2171754</p> <p>Универсальное грузоподъемное устройство</p> <p>МПК В66С 23/36 В66Р 1/54</p> <p>Авторы: Пишевец С.П. Старостин М.М. Ковалев В.П. Буцких С.М. Власов В.П.</p>		<p>1. Универсальное грузоподъемное устройство, включающее основание стрелы, трос-оттяжку, проходящий через серьгу, лебедку с тросом лебедки, проходящим через блок с осью, отличающееся тем, что основание стрелы в нижней части крепится болтами к навешенной тросами крепления на буксирные крюки бронеобъекта или автомобиля опорной трубе, к которой тросами крепления лебедки фиксируется лебедка, трос которой прижимается закрепленной на щеках основания стрелы скобой, которая фиксируется стопором, закрепленным на щеках, на которых закреплена серьга и блок с осью, при этом трос-оттяжка крепится за крюки башни бронеобъекта или за раму автомобиля, а опорная труба опирается на наклонный броневой лист бронеобъекта или на бампер автомобиля.</p>

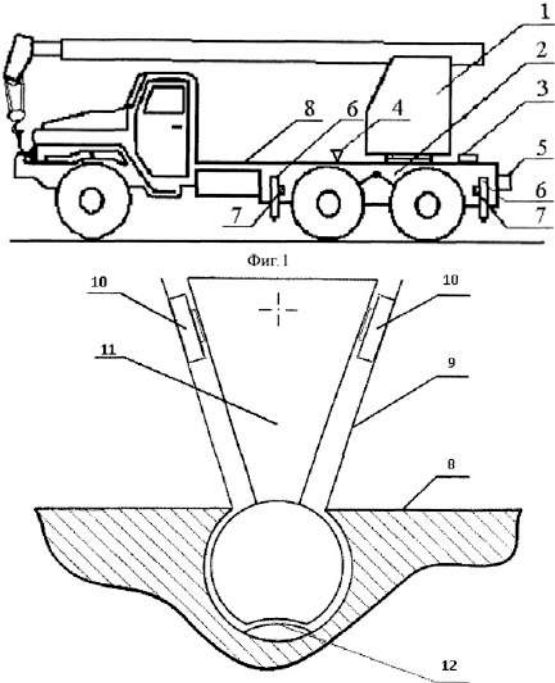
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>2392215</p> <p>Способ контроля скорости в системе автоматизации для подъемно-транспортной установки</p> <p>МПК В66С 5/06 В66С 1/16</p> <p>Авторы: Хаала Маркус Глесс Герхард Тюсхаус Бернхард</p>	 <p>ФИГ.1</p>	<p>1. Изобретение относится к технике управления подъемно-транспортными, в частности шахтными, установками. Посредством по крайней мере одного счетчика импульсов определяют фактическое значение пути (X_a) и фактическое значение скорости (V_a). С применением фактического значения пути (X_a) определяют первое граничное значение скорости (V_1) и второе граничное значение скорости (V_2) и соответственно сравнивают с фактическим значением скорости (V_a). При этом второе граничное значение скорости (V_2) считывают из заложенной в системе автоматизации (4), представляющей ступенчатую кривую граничных значений (46) таблицы данных, а первое граничное значение скорости (V_1) вычисляют посредством заложенного в системе автоматизации (4) вычислительного оператора. Первое граничное значение скорости (V_1) и второе граничное значение скорости (V_2) соответственно представляют собой верхние граничные значения скорости. При превышении фактическим значением скорости (V_a) первого граничного значения скорости (V_1) и/или второго граничного значения скорости (V_2) в системе автоматизации (4) запускают влияющее на надежность действие. Предложенный способ не требует расположенных вдоль пути транспортировки детекторных элементов для определения положения и вместе с тем удовлетворяет требованию высокой надежности.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>2483018</p> <p>Устройство выравнивания платформы подъемных механизмов</p> <p>МПК В66С 23/88</p> <p>Авторы: Руденко Сергей Викторович Великанов Алексей Викторович Великанова Нина Алексеевна Летуновский Константин Петрович Тылик Александр Васильевич</p>	 <p style="text-align: center;">Фиг. 1</p> <p style="text-align: center;">Фиг. 2</p>	<p>1. Изобретение относится к области машиностроения, и может быть использовано при конструировании подъемно-транспортных машин. Устройство выравнивания платформы подъемных механизмов содержит передвигное шасси, опорную платформу, датчики уровня горизонтального положения, гидроприводы, панель управления подъемов и опускания штоков выносных гидравлических цилиндров. Датчик уровня горизонтального положения состоит из корпуса, в верхней части которого по периферии расположены четыре коммутационных контакта, ориентированные по углам периметра опорной платформы, шаровой опорой с конусом, имеющим центр масс на оси конуса у основания, фиксирующей пружины. Достигается повышение точности выравнивания.</p>

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>2406679</p> <p>Способ предотвращения раскачивания груза на гибком подвесе</p> <p>МПК В66С 23/88 В66С 13/06</p> <p>Авторы: Коровин Константин Владимирович Коровин Владимир Андреевич</p>		<p>1. Изобретения относятся к вариантам способа предотвращения раскачивания груза на гибком подвесе при его подъеме стреловым краном. Способ заключается в том, что путем воздействия на органы управления краном инициируют формирование сигналов управления приводами механизмов перемещения стрелы и/или грузовой тележки, при этом грузозахватный орган подвешен на грузовом канате к стреле или к грузовой тележке грузоподъемного крана. Посредством датчиков контролируют нагрузку грузоподъемного крана и пространственное положение его стрелы и/или грузовой тележки. С помощью цифрового вычислительного устройства формируют сигналы управления приводами и предотвращают раскачивание груза в конечной точке его перемещения. Достигается сокращение рабочего цикла стрелового грузоподъемного крана и повышение эффективности предотвращения раскачивания груза.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>2737639</p> <p>Устройство управления и грузовой кран с устройством управления</p> <p>МПК В66С 13/40</p> <p>Авторы: Райшауэр Рихард Хандлехнер Пауль Бергмайр Бенджамин</p>	<p>5/6</p> <p>ФИГ. 3</p> 	<p>1. Устройство управления для грузового крана (14) содержит управление (1) крана для активирования исполнительных элементов грузового крана (14), пространственно отдельное от управления (1) крана устройство (2) ввода для ввода команд управления для управления (1) крана. Управление (1) крана имеет первое телекоммуникационное устройство (4) для обмена информационными сигналами с устройством (2) ввода. Подаваемые управлением (1) крана информационные сигналы включают сенсорные данные, устройство (2) ввода имеет второе телекоммуникационное устройство (6) для обмена информационными сигналами с первым телекоммуникационным устройством (4). Подаваемые устройством (2) ввода информационные сигналы включают в себя команды управления, а устройство (2) ввода имеет передающее устройство (6) для подачи информационных сигналов, и предусмотрено пространственно отдельное от устройства (2) ввода, носимое пользователем (41) на теле сигнализирующее устройство (3), которое имеет приемное устройство (7) для приема подаваемых передающим устройством (6) информационных сигналов, и устройство (9) индикации, с помощью которого могут отображаться аудиоданные и/или графические данные. Сигнализирующее устройство (3) передает аудиоданные и/или графические данные в виде сигналов пользователю (41). Достигается улучшение управления краном</p>


ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>2676210</p> <p>Устройство и способ управления раскачиванием груза, подвешенного на подъемном устройстве</p> <p>МПК В66С 13/06</p> <p>Авторы: Винати Мариакьяра Винати Самуэле Винати Джакомо Винати Маттео Винати Феличе Саварези Серджио М.</p>		<p>1. Предложено устройство для управления раскачиванием груза, подвешенного на снабженном двигателем подвижном элементе (20), который может перемещаться вдоль горизонтальной оси. Устройство управления содержит блок управления (40) и инерциальную платформу (30). Инерциальная платформа (30) способна определять характерные значения угла наклона троса (27), который поддерживает груз, относительно вертикали и снабжена средством передачи этих значений в блок управления (40). Блок управления (40) снабжен средством измерения и управления скоростью снабженного двигателем подвижного элемента (20) и способен так обработать эти значения, характеризующие угол наклона троса (27) относительно вертикали, чтобы рассчитать и передать управляющие действия, направленные на динамическое изменение скорости снабженного двигателем подвижного элемента (20) в зависимости от желаемого угла наклона троса (27) относительно вертикали. Блок (40) управления содержит пропорциональный контроллер с изменением коэффициента усиления, снабженный средством вычисления переменного коэффициента усиления, применяемого для управления скоростью снабженного двигателем подвижного элемента (20) в зависимости от расстояния от груза до снабженного двигателем подвижного элемента (20). Указанное расстояние находится между максимальным и минимальным значениями, при этом переменный коэффициент усиления вычисляется как функция расстояния (h) от груза до снабженного двигателем подвижного элемента (20). Предложены также способ управления раскачиванием груза и устройство управления для подъемного устройства. Достигается стабилизация колебаний груза как во время обычных операций, так и из-за этапов резкого торможения или ускорения</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>RU 2 525 351 C1</p> <p>Способ обеспечения устойчивости башенных кранов и устройство для его реализации</p> <p>МПК В66С 13/18</p> <p>Авторы: Сорокин Павел Алексеевич Мишин Алексей Владимирович Хряков Кирилл Станиславович</p>	 <pre> graph TD 5[Датчик скорости ветра] --> 4[Система сбора данных] 6[Сейсмодатчик] --> 4 4 --> 3[Анализатор спектра реального времени] 3 --> 1[Программируемый логический контроллер] 1 <--> 2[Панель оператора] 1 --> 7[Исполнительные устройства] 7 --> 8[Привод изменения вылета] </pre>	<p>1. Способ обеспечения устойчивости башенных кранов осуществляемый путем учета параметров внешних факторов, отличающийся тем, что перед началом эксплуатации башенного крана в память программируемого логического контроллера закладываются значения собственных частот колебаний башенного крана, полученные предварительно из модального анализа, затем в процессе работы башенного крана с помощью анализатора спектра реального времени производят оценку частотного состава ветрового и сейсмического воздействий на металлоконструкцию, далее на базе алгоритма программируемого логического контроллера сравнивают частоты колебаний ветровой и сейсмической нагрузок с частотами собственных колебаний металлоконструкции башенного крана, и при приближении одной из частот собственных колебаний к одной из частот ветрового и/или сейсмического нагружений из полосы резонанса, программируемый логический контроллер формирует команду управления для приведения в действие противоугонных захватов (для передвижных башенных кранов) и команду управления, поступающую на привод изменения вылета крюковой обоймы, для изменения жесткости металлоконструкции, при этом происходит изменение собственных частот колебаний металлоконструкции башенного крана.</p> <p>2. Устройство для обеспечения устойчивости башенных кранов, содержащее программируемый логический контроллер, первый вход которого соединен с выходом панели оператора, датчик скорости ветра, исполнительные устройства, вход которых соединен с выходом программируемого логического контроллера, привод изменения вылета стрелы, вход которого соединен с выходом исполнительных устройств, отличающееся тем, что оно дополнительно содержит сейсмодатчик, выход</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

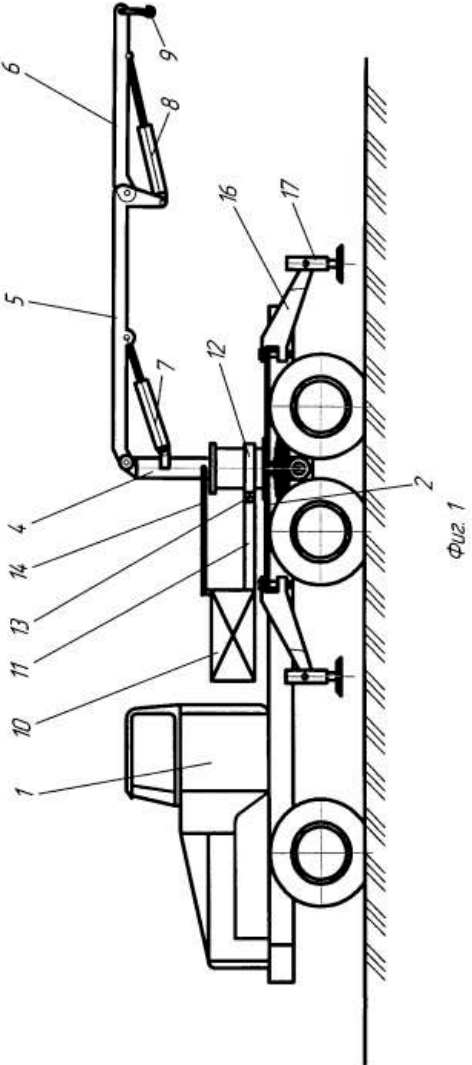
1	2	3
		<p>которого соединен с первым входом системы сбора данных, второй вход которой соединен с выходом датчика скорости ветра, анализатор спектра реального времени, вход которого соединен с выходом системы сбора данных, а выход - со вторым входом программируемого логического контроллера.</p>
<p>2381172</p> <p>Система безопасности грузоподъемного крана</p> <p>МПК В66С 23/88 В66С 15 В66С 13/18</p> <p>Авторы: Коровин Константин Владимирович Коровин Владимир Андреевич</p>		<p>1 При работе грузоподъемного крана датчики 8 осуществляют измерение параметров, характеризующих загрузку крана (посредством датчика нагрузки 9) и положение его грузоподъемного оборудования. Значения рабочих параметров крана от датчиков 8 передаются в цифровой блок 1, который, работая по программе, определенной при проектировании системы безопасности и предварительно записанной в запоминающее устройство 3 микроконтроллера 2, осуществляет сравнение фактического нагружения крана с предельно допустимым, а также сравнение фактического положения грузоподъемного оборудования с зоной его допустимых положений. В зависимости от результатов этих сравнений цифровой блок 1 выдает на исполнительный блок 7 сигнал на разрешение или запрещение отдельных видов движений крана. Одновременно при помощи блока визуальной индикации 5 и блока предупредительной сигнализации 6 для крановщика формируются необходимые информационные и предупреждающие сигналы.</p>

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>2314248</p> <p>Система безопасности крана стрелового типа</p> <p>МПК В66С 23/88 В66С 13/18</p> <p>Авторы: Пятницкий Игорь Андреевич Маш Дмитрий Матвеевич Ерзутов Александр Васильевич Фёдоров Игорь Германович Затравкин Михаил Иванович Червяков Анатолий Петрович Каминский Леонид Станиславович</p>	<p>Фиг. 1</p>	<p>1. Работа данной системы безопасности крана аналогична работе описанной выше системы по первому примеру исполнения и отличается только тем, что силовой управляющий элемент 119 включен и разрешает движения крана только при наличии на четвертом управляющем входе модуля 105 блокировки движений разрешающего сигнала от датчика 112 ограничения минимального числа витков каната на барабане грузовой лебедки. В случае достижения максимальной величины опускания грузозахватного органа срабатывает датчик 112 и на четвертый вход модуля 105 приходит сигнал логического нуля. На выходах третьего элемента «ИЛИ» 120 и второго элемента «И» 118 устанавливаются логические нули, силовой управляющий элемент 119 блокирует движения крана. В этом случае разрешена только операция подъема грузозахватного органа, когда от датчика 113 включения механизма подъема грузозахватного органа приходит разрешающий сигнал на пятый управляющий вход модуля 105 блокировки движений. При этом на выходе третьего элемента «ИЛИ» 120 и выходе второго элемента «И» 118 устанавливаются сигналы логической единицы, включая силовой управляющий элемент 119.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>2547100</p> <p>Кран-манипулятор</p> <p>МПК В66С 23/00</p> <p>Авторы: Усиков Виталий Юрьевич Бояркина Ирина Владимировна Дегтярь Владимир Владимирович Исмаилов Мурат Сайдохмедович Хламцов Федор Николаевич Малый Вячеслав Витальевич Нагорных Алексей Геннадьевич Тарасов Владимир Никитич</p>		<p>1. Изобретение относится к строительным кранам, а именно к кранам-манипуляторам на грузовом автомобиле. Кран-манипулятор содержит шасси грузового автомобиля, раму крана, основание, закрепленное на раме крана, поворотную колонну, секции стрелы, гидроцилиндры секции стрелы, крюковую обойму, противовес, поворотный механизм, выносные опоры. Противовес крана расположен внизу и шарнирно соединен с основанием колонны и подвешен на шарнирных тягах к поворотной колонне с возможностью синхронного вращения с поворотной колонной. Грузовая лебедка закреплена на поворотной колонне, а оголовки первой и второй секций стрелы снабжены сдвоенными блоками для направления каната, крюк снабжен двукратным полиспастом. Достигается уравновешенность стрелы и общая устойчивость крана, а также расширение технологических возможностей крана</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>RU 2 597 043 C2</p> <p>Способ и устройство для контроля устойчивости погрузочного крана, установленного на транспортном средстве</p> <p>МПК В66С 23/90</p> <p>Авторы: Цинке Томас</p>	<p>Фиг.1</p>	<p>1. Способ контроля по меньшей мере одного параметра устойчивости установленного на транспортном средстве (1) погрузочного крана (2), причем транспортное средство (1) при работе крана опирается на грунт колесами (3а, 3b) и опорными элементами (4), отдельными от колес (3а, 3b), отличающийся тем, что как вкладыши колес (3а, 3b), так и вкладыши опорных элементов (4) в величину параметра устойчивости регистрируют и эту величину сравнивают с по меньшей мере одним predetermined предельным значением.</p> <p>2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что при превышении или недостижении по меньшей мере одного predetermined предельного значения выдается по меньшей мере один предупредительный сигнал и/или проводится по меньшей мере одно мероприятие для повторного соблюдения по меньшей мере одного predetermined предельного значения.</p> <p>3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что регистрируется угол (α) поворота погрузочного крана (2) вокруг вертикальной оси и/или регистрируется выдвинутое положение опорных элементов (4).</p> <p>4. Способ по п. 3, отличающийся тем, что контролируется по меньшей мере один параметр устойчивости в зависимости от угла (α) поворота погрузочного крана (2) и/или в зависимости от выдвинутого положения опорных элементов (4).</p> <p>5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве параметра устойчивости контролируется количество (а) колес (3а, 3b) и опорных элементов (4), через которые транспортное средство (1) опирается на грунт.</p>

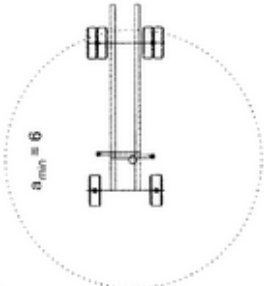
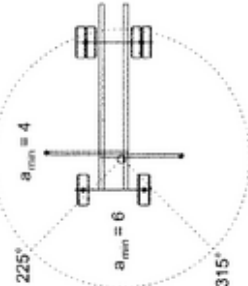
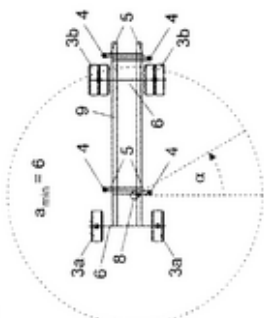
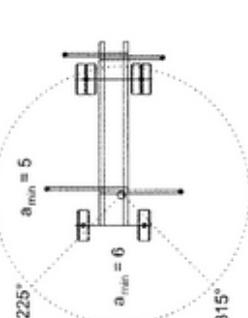
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
		<p>6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в качестве параметра устойчивости контролируется коэффициент (SF) устойчивости силы, причем коэффициент (SF) устойчивости силы рассчитывается из опорных сил (Fi), возникающих через колеса (3а, 3b) и опорные элементы (4).</p> <p>7. Способ по п. 6, отличающийся тем, что коэффициент (SF) устойчивости силы рассчитывается по следующей формуле:</p> $S_F = \frac{\sum_{i=1}^{a_{ges}} F_i}{\sum_{i=1}^{a_{min}-1} F_{i,max}},$ <p>где (ages) - общее количество колес (3а, 3b) и опорных элементов (4), (amin) - предопределенное минимальное количество колес (3а, 3b) и опорных элементов (4), через которые транспортное средство (1) должно опираться, по меньшей мере, на грунт и (Fi,max) - наибольшие (amin-1) опорные силы.</p> <p>8. Способ по п. 7, причем транспортное средство (1) является опираемым на грунт через два передних колеса (3а) и через два, в частности образованных в качестве сдвоенных колес, задних колеса (3b), а также через два выдвигаемых вбок опорных расширения (5) с соответственно двумя опорными элементами (4) и регистрируется угол (α) поворота погрузочного крана (2) вокруг вертикальной оси, как и регистрируется выдвинутое положение опорных элементов (4), отличающийся тем, что при полностью выдвинутых вбок опорных расширениях (5) в зависимости от угла (α) поворота погрузочного крана (2) выбирается amin=6 или amin=5, а при не полностью выдвинутых вбок опорных расширениях (5) выбирается amin=6.</p>

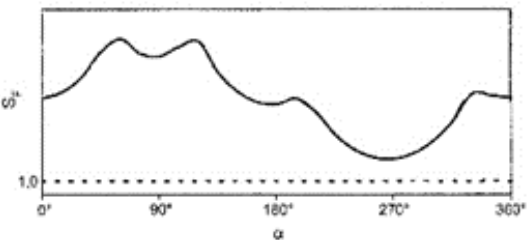
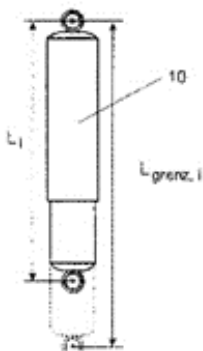
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="text-align: center;">  <p>Фиг.4а</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Фиг.4б</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Фиг.3а</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Фиг.3б</p> </div> </div> </div>	<p>9. Способ по п. 7, причем транспортное средство (1) является опираемым на грунт через два передних колеса (3а) и через два, в частности образованных в качестве сдвоенных колес, задних колеса (3б), а также через одно выдвигаемое вбок опорное расширение (5) с двумя опорными элементами (4) и регистрируется угол (α) поворота погрузочного крана (2) вокруг вертикальной оси, как и регистрируется выдвинутое положение опорных элементов (4), отличающийся тем, что при полностью выдвинутом вбок опорном расширении (5) в зависимости от угла (α) поворота погрузочного крана (2) выбирается $a_{min}=6$ или $a_{min}=4$, а при не полностью выдвинутом вбок опорном расширении (5) выбирается $a_{min}=6$.</p> <p>10. Способ по п. 1, причем колеса (3а, 3б) транспортного средства (1) расположены на осях (6), отличающийся тем, что контролируются нагрузки на оси, причем нагрузки на оси рассчитываются из опорных сил (F_i), возникающих через колеса (3а, 3б).</p> <p>11. Способ по п. 6, отличающийся тем, что возникающие через колеса (3а, 3б) опорные силы (F_i) определяются через измерение ходов рессор.</p> <p>12. Способ по п. 1 или 7, отличающийся тем, что регистрируются длины (L_i) колебательных амортизаторов (10) колес (3а, 3б) и что контролируется коэффициент (SL) устойчивости длин, причем коэффициент (SL) устойчивости длин рассчитывается из измеренных длин (L_i).</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
	<p>Фиг.5</p>  <p>Фиг.6</p> 	<p>13. Способ по п. 12, отличающийся тем, что коэффициент (SL) устойчивости длин рассчитывается по следующей формуле:</p> $S_L = \frac{\sum_{i=1}^{r_{ges}} L_{rest,i}}{\sum_{i=1}^{r_{min}-1} L_{rest,i,max}}, \text{ с } L_{rest,i} = L_{grenz,i} - L_i,$ <p>где (rges) - общее количество колес (3а, 3b), (rmin) - predetermined минимальное количество колес (3а, 3b), через которые транспортное средство (1) должно опираться, по крайней мере, на грунт, (Lrest,i) - остаточные длины колебательных амортизаторов (10) до поднятия колес (3а, 3b), (Lgrenz,i) - предельные длины колебательных амортизаторов (10), при которых колеса (3а, 3b) поднимают с грунта, и (Lrest,i,max) наибольшие (rmin-1) остаточные длины колебательных амортизаторов (10).</p> <p>14. Способ по п. 7 или 13, отличающийся тем, что при работе крана соблюдается условие $SF > 1$ и/или условие $SL > 1$.</p> <p>15. Способ по п. 1, отличающийся тем, что рассчитываются кромки (Kj) опрокидывания транспортного средства (1) при работе крана.</p> <p>16. Способ по п. 15, отличающийся тем, что рассчитываются расстояния (li,Kj) от колес (3а, 3b) и опорных элементов (4) до кромок (Kj) опрокидывания.</p> <p>17. Способ по п. 16, причем регистрируется угол (α) поворота погрузочного крана (2) вокруг вертикальной оси и определяются опорные силы (Fi), возникающие через колеса (3а, 3b) и опорные элементы (4), отличающийся тем, что в зависимости от угла (α) поворота погрузочного крана (2) относительно мгновенной кромки (Kα) опрокидывания контролируется остаточный удерживающий момент (Mrest,Kα) в качестве параметра</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
		<p>устойчивости, причем остаточный удерживающий момент ($M_{rest,K\alpha}$) рассчитывается по следующей формуле:</p> $M_{rest,K\alpha} = \sum_{i=1}^{a_{ges}} F_i \cdot l_{iK\alpha},$ <p>где (a_{ges}) - общее количество колес (3а, 3б) и опорных элементов (4).</p> <p>18. Устройство для контроля по меньшей мере одного параметра устойчивости установленного на транспортном средстве (1) погрузочного крана (2), причем транспортное средство (1) при работе крана выполнено с возможностью опирания на грунт одновременно через колеса (3а, 3б) и через опорные элементы (4), отдельные от колес (3а, 3б), отличающееся тем, что устройство имеет: - измерительные устройства опорного элемента и колеса, посредством которых могут быть зарегистрированы как вклады колес (3а, 3б), так и вклады опорных элементов (4) в величину по меньшей мере одного параметра устойчивости, и - блок (7) управления и регулировки, в который могут подаваться измерительные сигналы измерительных устройств опорного элемента и колеса, причем посредством блока (7) управления и регулировки может регистрироваться величина упомянутого по меньшей мере одного параметра устойчивости и сравниваться с по меньшей мере одним predetermined предельным значением.</p> <p>19. Устройство по п. 18, отличающееся тем, что посредством блока (7) управления и регулировки при превышении или недостижении упомянутого по меньшей мере одного predetermined предельного значения производится по меньшей мере один предупредительный сигнал и/или управляется по меньшей мере одно мероприятие для повторного соблюдения по меньшей мере одного predetermined предельного значения.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
		<p>20. Устройство по п. 18, отличающееся тем, что устройство имеет измерительное устройство угла поворота для регистрации угла (α) поворота погрузочного крана (2) вокруг вертикальной оси и/или измерительное устройство выдвинутого положения для регистрации выдвинутого положения опорных элементов (4), причем измерительные сигналы измерительного устройства угла поворота и/или выдвинутого положения могут передаваться к блоку (7) управления и регулировки.</p> <p>21. Устройство по п. 18, причем опорные элементы (4) расположены на по меньшей мере одном выдвигаемом вбок опорном расширении (5) и погрузочный кран (2) стоит на крановом основании (8), которое соединено с по меньшей мере одним опорным расширением (5), отличающееся тем, что измерительные устройства опорного элемента расположены в опорных элементах (4), и/или на соединении опорных элементов (4) с опорным расширением (5), и/или на соединении опорного расширения (5) с крановым основанием (8).</p> <p>22. Устройство по п. 18, отличающееся тем, что посредством измерительных устройств опорного элемента и колеса могут регистрироваться опорные силы (F_i), возникающие через колеса (3a, 3b) и опорные элементы (4).</p> <p>23. Устройство по п. 22, отличающееся тем, что возникающие через колеса (3a, 3b) опорные силы (F_i) могут регистрироваться через измерение ходов рессор.</p> <p>24. Устройство по п. 18, отличающееся тем, что посредством измерительных устройств колес могут регистрироваться длины (L_i) колебательных амортизаторов (10) колес (3a, 3b).</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>RU 2 307 784 C1</p> <p>Устройство автоматического выравнивания в горизонтальной плоскости опорной платформы подъемных механизмов</p> <p>МПК В66С 23/78</p> <p>Авторы: Великанов Алексей Викторович Танчук Павел Владимирович Пурусов Юрий Михайлович Нилов Владимир Александрович</p>	<p>Fig. 1</p> <p>Fig. 2</p> <p>Fig. 3</p>	<p>Устройство автоматического выравнивания в горизонтальной плоскости опорной платформы подъемных механизмов, содержащий передвижное шасси, выносные опорные гидравлические цилиндры, устройство управления, отличающееся тем, что устройство управления выполнено в виде электронного блока, имеет датчики контакта штоков гидравлических цилиндров с опорной поверхностью, датчики уровня горизонтального положения, расположенные по углам опорной платформы, представляющие собой цилиндры, выполненные из диэлектрического материала, заполненные токопроводящей жидкостью и соединенные между собой в пересечении трубопроводов с центральным датчиком, выполненным в виде цилиндра с эталонным уровнем жидкости для угловых датчиков при достижения ими горизонтального положения.</p>

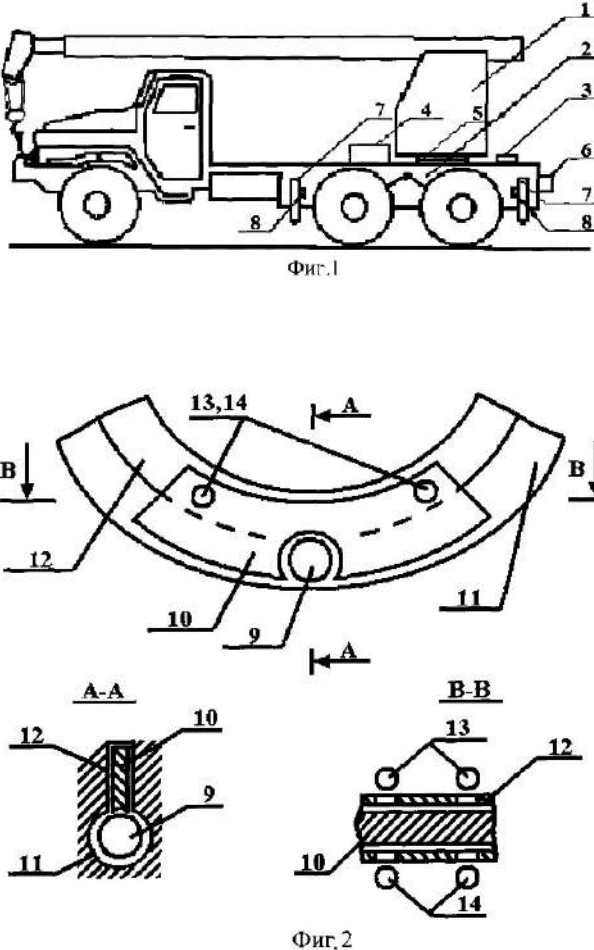
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>RU 2 556 136 C1</p> <p>Устройство автоматического выравнивания грузоподъемных механизмов</p> <p>МПК В66С В66С 23/90</p> <p>Авторы: Великанов Алексей Викторович Курганников Иван Владимирович</p>	 <p>Fig. 1 shows a side view of a truck-mounted crane with leveling cylinders (1, 5) and a leveling sensor assembly (2, 7). Fig. 2 shows a detailed view of the leveling sensor assembly, which is a conical structure (10) with a central rod (11) and a base (8) supported by springs (9). The base contains a light source and photoelements (12) for horizontal leveling.</p>	<p>Устройство автоматического выравнивания грузоподъемных механизмов, состоящее из опорной платформы, передвижного шасси, выносных опорных гидравлических цилиндров, устройства управления, датчиков контакта штоков гидравлических цилиндров с опорной поверхностью, блока управления, датчика выравнивания опорной платформы в горизонтальное положение, отличающееся тем, что датчик выравнивания опорной платформы в горизонтальное положение установлен на опорной платформе посредством демпфирующего устройства для увеличения точности регулирования и содержит корпус в форме конуса, внутри которого расположены фотоэлементы, источник света, область по центру основания конуса для фиксации горизонтального положения.</p>

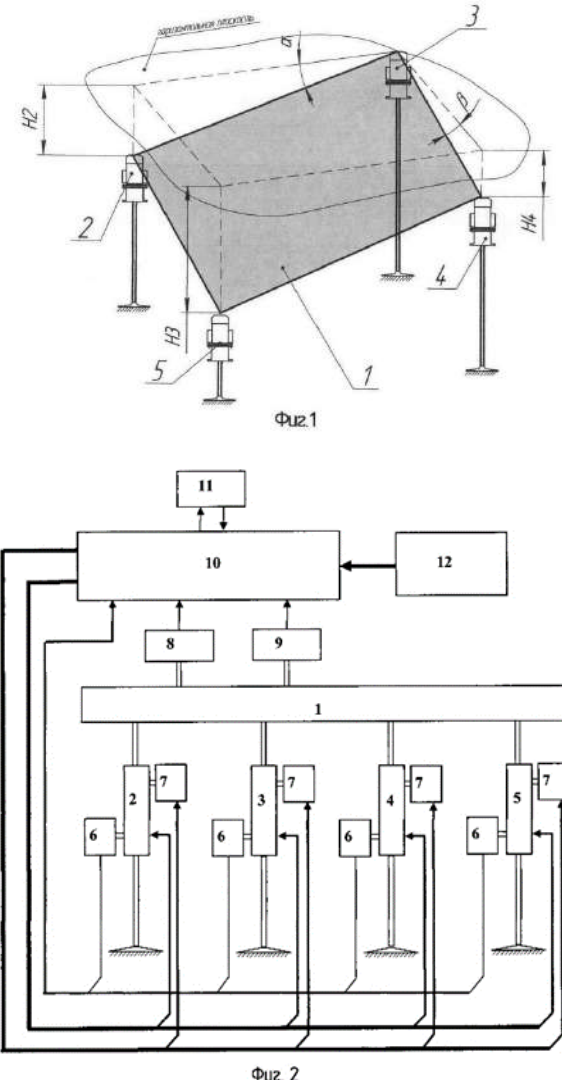
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>RU 2 342 310 C1</p> <p>Устройство автоматического выравнивания опорной платформы</p> <p>МПК В66С 5/00 В66С 23/78</p> <p>Авторы: Великанов Алексей Викторович Иванищев Павел Иванович Танчук Павел Владимирович Нилов Владимир Александрович</p>	 <p>Фиг.1</p> <p>Фиг.2</p>	<p>Устройство автоматического выравнивания опорной платформы, содержащее опорную платформу передвижного шасси, поворотную кабину, выносные опорные гидравлические цилиндры, устройство управления, отличающееся тем, что на выносных гидравлических цилиндрах жестко закреплены датчики контакта штоков гидравлических цилиндров с опорной поверхностью, подающих сигнал о контакте всех штоков на усилительный блок управления, который в свою очередь усиливает сигнал с датчиков наклона, ориентированных в продольном и поперечном направлениях, представляющих собой тяжелый шарик и легкую шторку, которые имеют возможность перемещаться в тороидальном канале и кольцевой полости соответственно, до полного перекрытия светочувствительных элементов при достижении горизонтального положения.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>RU 2 496 710 C2</p> <p>Способ пространственной ориентации-установки несущей грузовой платформы</p> <p>МПК В66F 7/20 E21В 7/02 В66С 23/78</p> <p>Авторы: Артемов Валерий Валентинович Говоров Николай Сергеевич Говоров Сергей Николаевич Красноперов Алексей Валерьевич Молокин Юрий Валентинович Савельев Виктор Юрьевич</p>	 <p>Fig. 1</p> <p>Fig. 2</p>	<p>1. Способ пространственной ориентации-установки несущей грузовой платформы, включающий первичную и окончательную установку, заключающийся в том, что в процессе первичной установки платформу предварительно устанавливают на рабочей площадке, после чего приводят одновременно в действие с одинаковой скоростью домкраты, присоединенные к платформе в ее периферийных зонах, в количестве не менее четырех; в процессе действия домкратов непрерывно измеряют развиваемое каждым из них усилие, определяя момент упора с определенным одинаковым усилием подвижной части каждого из домкратов в грунт рабочей площадки и в этот момент действие соответствующего домкрата останавливают; после остановки и упора всех домкратов в грунт с заданным усилием домкраты повторно приводят одновременно в действие с одинаковой скоростью, причем также непрерывно измеряют усилие упора каждого домкрата; по мере действия домкратов непрерывно вычисляют суммарное усилие всех домкратов и при достижении суммарным усилием всех домкратов заданной величины, составляющей определенную долю от веса платформы, останавливают действие всех домкратов, что завершает первичную установку; далее осуществляют окончательную установку, в процессе которой измеряют достигнутые в первичной установке угол крена и угол тангажа платформы; по знакам разности соответственно между заданными значениями углов тангажа и крена и достигнутыми в результате первичной установки значениями углов тангажа и крена определяют опорный домкрат-домкрат, которому необходимо нулевое перемещение подвижной части до заданного положения ориентации платформы, и скоростной домкрат-домкрат, которому необходимо максимальное перемещение подвижной части до заданного положения ориентации платформы; далее</p>

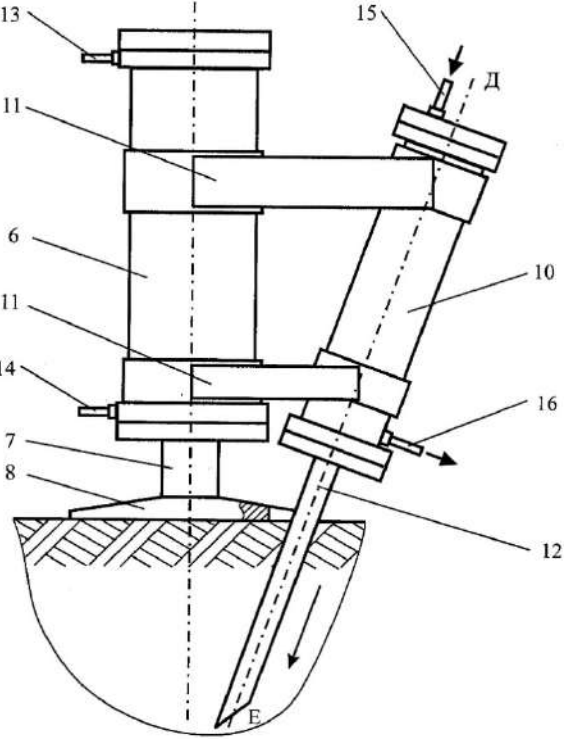
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
		<p>вычисляют перемещения для подвижной части каждого домкрата, потребные для достижения заданных значений угла крена и угла тангажа платформы, при условии неподвижности подвижной части опорного домкрата, потребное перемещение которой задается нулевым; далее задают значение скорости перемещения подвижной части скоростного домкрата; вычисляют достигнутые разности заданных и достигнутых значений соответственно угла тангажа и угла крена и сравнивают модули этих разностей с величиной допуска по каждому из указанных углов, при удовлетворительных результатах сравнения положение домкратов фиксируют; при неудовлетворительных результатах сравнения осуществляют повторную окончательную установку, отличающийся тем, что после задания значения скорости перемещения подвижной части домкрата вычисляют время действия домкратов как отношение потребного перемещения подвижной части скоростного домкрата к его заданной скорости; далее вычисляют скорость перемещения подвижной части каждого домкрата как отношение рассчитанного для данного домкрата потребного перемещения к времени действия домкратов; далее начинают отсчет времени и одновременно приводят в действие все домкраты, кроме опорного, задавая движению подвижной части каждого домкрата вычисленную для нее скорость; далее, по истечении времени действия домкратов с начала его отсчета, все домкраты останавливают.</p> <p>2. Способ по п.1, отличающийся тем, что первичную установку завершают при достижении суммарным усилием всех домкратов величины, составляющей половину от веса платформы с размещенным на ней оборудованием.</p> <p>3. Способ по п.1, отличающийся тем, что все необходимые вычисления и управление скоростями и перемещениями</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
		<p>домкратов осуществляют в автоматическом режиме с использованием процессорного блока алгоритмической обработки информации.</p>
<p>RU 165312 U1</p> <p>Выносная опора подъемно-транспортной машины</p> <p>МПК В66С 23/64</p> <p>Авторы: Лагерев Игорь Александрович (RU) Ковальский Виктор Федорович (RU) Толкачев Евгений Николаевич (RU) Шатунова Елена Александровна (RU) Лагерев Александр Валерьевич (RU)</p>		<p>Выносная опора подъемно-транспортной машины, включающая смонтированный на раме машины кронштейн, снабженный подъемно-опускным с помощью приводного механизма опорным устройством для передачи на грунт нагрузки от машины и транспортируемого груза, и анкерное устройство для восприятия действующих на машину опрокидывающих и сдвиговых эксплуатационных нагрузок, отличающаяся тем, что рабочий элемент анкерного устройства выполнен в виде плоского ножа с прямолинейной продольной осью, который для установки в свое рабочее положение совершает прокалывающее поступательное движение в грунте при помощи приводного гидроцилиндра, причем плоскость рабочего элемента наклонна по отношению к поверхности грунта, и в рабочем положении рабочий элемент находится под площадкой контакта опорного устройства с поверхностью грунта.</p>

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Продолжение таблицы Б.1

1	2	3
<p>RU 186456 U1</p> <p>Выносная опора мобильной грузоподъемной машины</p> <p>МПК В66С 23/78</p> <p>Авторы: Лагерев Александр Валерьевич (RU) Лагерев Игорь Александрович (RU) Остроухов Игорь Олегович (RU)</p>	<p style="text-align: center;">Фиг. 4</p>	<p>1. Выносная опора мобильной грузоподъемной машины, включающая смонтированный на раме машины кронштейн, снабженный подъемно-опускным с помощью приводного механизма опорным устройством для передачи на грунт нагрузки от машины и транспортируемого груза, и анкерное устройство для восприятия действующих на машину опрокидывающих и сдвиговых эксплуатационных нагрузок, снабженное рабочим элементом в виде плоского ножа с прямолинейной продольной осью, который для установки в свое рабочее положение совершает прокалывающее поступательное движение в грунте при помощи приводного гидроцилиндра, причем плоскость рабочего элемента наклонна по отношению к поверхности грунта и в рабочем положении рабочий элемент находится под площадкой контакта опорного устройства с поверхностью грунта, отличающаяся тем, что вдоль не менее чем одной боковой поверхности рабочего элемента выполнена полка шириной более толщины рабочего элемента.</p> <p>2. Выносная опора мобильной грузоподъемной машины по п. 1, отличающаяся тем, что поперечное сечение рабочего элемента анкерного устройства имеет Х-образную форму, причем угол скрещивания β соседних плоских выступов составляет более $\beta=2\arcsin(b/M)$, где b - толщина плоского выступа; M - ширина поперечного сечения рабочего элемента.</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ В**Листинг программы для расчета весов ненормируемых факторов**

```
import numpy as np

def sigmoid(x):
    # Сигмоидная функция активации:  $f(x) = 1 / (1 + e^{-x})$ 
    return 1 / (1 + np.exp(-x))

def deriv_sigmoid(x):
    # Производная сигмоиды:  $f'(x) = f(x) * (1 - f(x))$ 
    fx = sigmoid(x)
    return fx * (1 - fx)

def mse_loss(y_true, y_pred):
    # y_true и y_pred - массивы numpy одинаковой длины.
    return ((y_true - y_pred) ** 2).mean()

class OurNeuralNetwork:

    def __init__(self):
        # Веса
        self.w1 = np.random.normal()
        self.w2 = np.random.normal()
        self.w3 = np.random.normal()
        self.w4 = np.random.normal()
        self.w5 = np.random.normal()
        self.w6 = np.random.normal()
        self.w7 = np.random.normal()
```


ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В

```
self.w8 = np.random.normal()
self.w9 = np.random.normal()
self.w10 = np.random.normal()
self.w11 = np.random.normal()
self.w12 = np.random.normal()
self.w13 = np.random.normal()
self.w14 = np.random.normal()
self.w15 = np.random.normal()
self.w16 = np.random.normal()
self.w17 = np.random.normal()
self.w18 = np.random.normal()
self.w19 = np.random.normal()
self.w20 = np.random.normal()
self.w21 = np.random.normal()
self.w22 = np.random.normal()
self.w23 = np.random.normal()
self.w24 = np.random.normal()
self.w25 = np.random.normal()
self.w26 = np.random.normal()
self.w27 = np.random.normal()
self.w28 = np.random.normal()
self.w29 = np.random.normal()
self.w30 = np.random.normal()
```

```
# Пороги
```

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В

```

self.b1 = np.random.normal()
self.b2 = np.random.normal()
self.b3 = np.random.normal()
self.b4 = np.random.normal()
self.b5 = np.random.normal()
self.b6 = np.random.normal()

def feedforward(self, x):
    # x is a numpy array with 2 elements.

    h1 = sigmoid(self.w1 * x[0] + self.w2 * x[1] + self.w3 * x[2]+ self.w4 * x[3]+self.w5
* x[4]+ self.b1)

    h2 = sigmoid(self.w6 * x[0] + self.w7 * x[1] + self.w8 * x[2]+ self.w9 *
x[3]+self.w10 * x[4]+ self.b2)

    h3 = sigmoid(self.w11 * x[0] + self.w12 * x[1] + self.w13 * x[2]+ self.w14 *
x[3]+self.w15 * x[4] + self.b3)

    h4 = sigmoid(self.w16 * x[0] + self.w17 * x[1] + self.w18 * x[2]+ self.w19 *
x[3]+self.w20 * x[4]+ self.b4)

    h5 = sigmoid(self.w21 * x[0] + self.w22 * x[1] + self.w23 * x[2]+ self.w24 *
x[3]+self.w25 * x[4]+ self.b5)

    o1 = sigmoid(self.w26 * h1 + self.w27 * h2+ self.w28 * h3+ self.w29 * h4+ self.w30
* h5 + self.b6)

    return o1

def train(self, data, all_y_trues):

    learn_rate = 0.1
    epochs = 1000
    for epoch in range(epochs):
        for x, y_true in zip(data, all_y_trues):

```

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В

```
# --- Прямой проход

sum_h1 = self.w1 * x[0] + self.w2 * x[1] + self.w3 * x[2] + self.w4 * x[3] + self.w5 * x[4] + self.b1
h1 = sigmoid(sum_h1)

sum_h2 = self.w6 * x[0] + self.w7 * x[1] + self.w8 * x[2] + self.w9 * x[3] + self.w10 * x[4] + self.b2
h2 = sigmoid(sum_h2)

sum_h3 = self.w11 * x[0] + self.w12 * x[1] + self.w13 * x[2] + self.w14 * x[3] + self.w15 * x[4] + self.b3
h3 = sigmoid(sum_h3)

sum_h4 = self.w16 * x[0] + self.w17 * x[1] + self.w18 * x[2] + self.w19 * x[3] + self.w20 * x[4] + self.b4
h4 = sigmoid(sum_h4)

sum_h5 = self.w21 * x[0] + self.w22 * x[1] + self.w23 * x[2] + self.w24 * x[3] + self.w25 * x[4] + self.b5
h5 = sigmoid(sum_h5)

sum_o1 = self.w26 * h1 + self.w27 * h2 + self.w28 * h3 + self.w29 * h4 + self.w30 * h5 + self.b6
o1 = sigmoid(sum_o1)
y_pred = o1

d_L_d_ypred = -2 * (y_true - y_pred)

# Нейрон o1
```

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В

$d_ypred_d_w30 = h5 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_w29 = h4 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_w28 = h3 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_w27 = h2 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_w26 = h1 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_b6 = deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_h1 = self.w26 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_h2 = self.w27 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_h3 = self.w28 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_h4 = self.w29 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

$d_ypred_d_h5 = self.w30 * deriv_sigmoid(sum_o1)$

Нейрон h1

$d_h1_d_w1 = x[0] * deriv_sigmoid(sum_h1)$

$d_h1_d_w2 = x[1] * deriv_sigmoid(sum_h1)$

$d_h1_d_w3 = x[2] * deriv_sigmoid(sum_h1)$

$d_h1_d_w4 = x[3] * deriv_sigmoid(sum_h1)$

$d_h1_d_w5 = x[4] * deriv_sigmoid(sum_h1)$

$d_h1_d_b1 = deriv_sigmoid(sum_h1)$

Нейрон h2

$d_h2_d_w6 = x[0] * deriv_sigmoid(sum_h2)$

$d_h2_d_w7 = x[1] * deriv_sigmoid(sum_h2)$

$d_h2_d_w8 = x[2] * deriv_sigmoid(sum_h2)$

$d_h2_d_w9 = x[3] * deriv_sigmoid(sum_h2)$

$d_h2_d_w10 = x[4] * deriv_sigmoid(sum_h2)$

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В

```
d_h2_d_b2 = deriv_sigmoid(sum_h2)
# Нейрон h3
d_h3_d_w11 = x[0] * deriv_sigmoid(sum_h3)
d_h3_d_w12 = x[1] * deriv_sigmoid(sum_h3)
d_h3_d_w13 = x[2] * deriv_sigmoid(sum_h3)
d_h3_d_w14 = x[3] * deriv_sigmoid(sum_h3)
d_h3_d_w15 = x[4] * deriv_sigmoid(sum_h3)
d_h3_d_b3 = deriv_sigmoid(sum_h3)

# Нейрон h4
d_h4_d_w16 = x[0] * deriv_sigmoid(sum_h4)
d_h4_d_w17 = x[1] * deriv_sigmoid(sum_h4)
d_h4_d_w18 = x[2] * deriv_sigmoid(sum_h4)
d_h4_d_w19 = x[3] * deriv_sigmoid(sum_h4)
d_h4_d_w20 = x[4] * deriv_sigmoid(sum_h4)
d_h4_d_b4 = deriv_sigmoid(sum_h4)

# Нейрон h5
d_h5_d_w21 = x[0] * deriv_sigmoid(sum_h5)
d_h5_d_w22 = x[1] * deriv_sigmoid(sum_h5)
d_h5_d_w23 = x[2] * deriv_sigmoid(sum_h5)
d_h5_d_w24 = x[3] * deriv_sigmoid(sum_h5)
d_h5_d_w25 = x[4] * deriv_sigmoid(sum_h5)
d_h5_d_b5 = deriv_sigmoid(sum_h5)

# --- Обновляем веса и пороги
# Нейрон h1
```

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В

```
self.w1 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h1 * d_h1_d_w1
self.w2 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h1 * d_h1_d_w2
self.w3 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h1 * d_h1_d_w3
self.w4 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h1 * d_h1_d_w4
self.w5 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h1 * d_h1_d_w5
self.b1 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h1 * d_h1_d_b1
```

Нейрон h2

```
self.w6 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h2 * d_h2_d_w6
self.w7 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h2 * d_h2_d_w7
self.w8 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h2 * d_h2_d_w8
self.w9 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h2 * d_h2_d_w9
self.w10 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h2 * d_h2_d_w10
self.b2 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h2 * d_h2_d_b2
```

Нейрон h3

```
self.w11 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h3 * d_h3_d_w11
self.w12 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h3 * d_h3_d_w12
self.w13 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h3 * d_h3_d_w13
self.w14 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h3 * d_h3_d_w14
self.w15 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h3 * d_h3_d_w15
self.b3 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h3 * d_h3_d_b3
```

Нейрон h4

```
self.w16 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h4 * d_h4_d_w16
self.w17 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h4 * d_h4_d_w17
self.w18 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h4 * d_h4_d_w18
```

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В

```

self.w19 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h4 * d_h4_d_w19
self.w20 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h4 * d_h4_d_w20
self.b4 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h4 * d_h4_d_b4
# Нейрон h5
self.w21 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h5 * d_h5_d_w21
self.w22 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h5 * d_h5_d_w22
self.w23 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h5 * d_h5_d_w23
self.w24 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h5 * d_h5_d_w24
self.w25 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h5 * d_h5_d_w25
self.b5 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_h5 * d_h5_d_b5

# Нейрон o1
self.w26 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_w26
self.w27 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_w27
self.w28 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_w28
self.w29 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_w29
self.w30 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_w30
self.b6 -= learn_rate * d_L_d_ypred * d_ypred_d_b6

# --- Полные потери в конце каждой эпохи
if epoch % 10 == 0:
    y_preds = np.apply_along_axis(self.feedforward, 1, data)
    loss = mse_loss(all_y_trues, y_preds)
    print("Epoch %d loss: %.3f" % (epoch, loss))

# Набор данных
data = np.array([

```

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В

```
[18.57, 38.09, -6.03, 1.3, -0.02], # 1
```

```
[15.64, 18.09, -6.03, 1.0, -0.02], # 1.1
```

```
[14.81, 15.09, 0.97, -2.7, -0.04], # 2.1
```

```
[15.75, 19.09, 0.97, -0.7, -0.04], # 3
```

```
)
```

```
all_y_trues = np.array([
```

```
    1, # 1
```

```
    0, # 1.1
```

```
    0, # 2.1
```

```
    1, # 3
```

```
)
```

```
network = OurNeuralNetwork()
```

```
network.train(data, all_y_trues)
```


ПРИЛОЖЕНИЕ Г**Акты об использовании результатов диссертационной работы**

Общество с ограниченной ответственностью
«БАЗИС ВИСТА»
121309, г. Москва, ул. Баркляя, д. 13, стр. 2, этаж 5, ком. 26
ИНН / КПП 7730228480 / 773001001
ОГРН 1177746139845 / ОКПО 06689534

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «БАЗИС ВИСТА»



Магдеев Р.И.

15 мая 2022

АКТ

о практическом использовании результатов
диссертационной работы Гореловой Марии Витальевны
«Автоматизация контроля управления подъемно-транспортными
средствами при работах большемерными грузами»

Настоящим актом организация ООО «БАЗИС ВИСТА» подтверждает теоретическую и практическую значимость результатов диссертационной работы Гореловой М.В. по автоматизации управления и исследованию обеспечения устойчивой работы подъемно-транспортных средств при работе с большемерными грузами.

Исследования в области повышения устойчивости подъемно-транспортных средств являются важными и необходимыми для строительной сферы, так как имеющиеся способы избегания опрокидывания указанного вида техники опираются исключительно на опыт и мастерство крановщиков. Созданная система позволит формировать и получать дополнительную информацию, которая увеличит скорость реагирования и облегчит скорость принятия решения при возникновении аварийной ситуации.

Полученные результаты диссертационного исследования позволят избегать опрокидывания при влиянии ненормируемых внешних воздействий,

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Г

что существенно облегчит работу операторов подъемно-транспортных средств. Кроме того, разработки в области автоматизации контроля управления подъемно-транспортных средств позволят эксплуатировать технику в сложных условиях, где существует повышенный риск опрокидывания техники.

Предлагаемые автором рекомендации по учету влияния комплекса ненормируемых воздействий, подтвержденные теоретически и экспериментально, позволяют учитывать наиболее опасные условия эксплуатации подъемно-транспортных средств при производстве погрузочно-разгрузочных работ.

Полученные в ходе исследования результаты диссертационных изысканий Гореловой М.В. при их практическом применении позволяют в значительной степени рассчитывать на повышение безопасности всего комплекса строительно-монтажных работ. Проведенные автором исследования отличаются актуальностью, наглядностью и презентативностью.

Инженер ПТО



Мудриков И.А.

Водитель-экспедитор



Неплюхин А.А.



ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Г

**Общество с ограниченной ответственностью
"Строительное Управление -9"**

121309, г. Москва, ул. Барклай, д. 13, стр. 2, комн. № 24
ИНН 7730181306 КПП 773001001 ОГРН 1157746770499
тел. 8(499)110-00-39

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «СУ-9»



Шерстюков И.А.
«20» мая 2022 г.

АКТ

о практическом использовании результатов
диссертационной работы Гореловой Марии Витальевны
«Автоматизация контроля управления подъемно-транспортными
средствами при работах большемерными грузами»

Настоящим актом организация ООО «СУ-9» подтверждает теоретическую и практическую значимость результатов диссертационной работы Гореловой М.В. по автоматизации контроля управления подъемно-транспортными средствами при работах с большемерными грузами.

Исследования, проведенные автором в сфере автоматизации системы контроля управления в частности самоходных кранов, имеют большое значение для строительных компаний, так как позволяют предупредить негативное влияние комплекса внешних факторов, которые могут привести к возникновению аварий при производстве работ, минимизировав ответственность крановщика при принятии решений по избеганию аварий.

Предлагаемая автором система автоматизации контроля управления может позволить повысить безопасность при проведении работ, так как учитываются

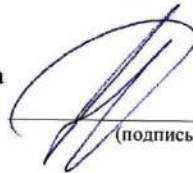
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Г

изменения не только внешних факторов, но также и изменения, происходящие в процессе подъема и перемещения груза (изменение центра тяжести).

Предлагаемые в работе мероприятия существенно повысят производительность работ и снизят экономические риски, связанные с вызовом дополнительной техники для подъема упавших кранов и проведением иных мероприятий, связанных с последствием устранения аварий.

Таким образом, результаты диссертационного исследования Гореловой М.В. позволят повысить безопасность и экономическую эффективность техники, в частности стреловых самоходных кранов, при производстве погрузочно-разгрузочных работ.

**Заместитель генерального директора
ООО «СУ-9»**



(подпись)

Панчук М.В.

**Технический директор
ООО «СУ-9»**



(подпись)

Кондратьев Н.Ю.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021663692

Программа для определения пульсации ветровой нагрузки и энергии ветра при исследовании опрокидывания стреловых самоходных кранов

Правообладатели: *Горелова Мария Витальевна (RU), Крылов Вадим Викторович (RU), Сладкова Любовь Александровна (RU)*

Авторы: *Горелова Мария Витальевна (RU), Крылов Вадим Викторович (RU), Сладкова Любовь Александровна (RU)*

Заявка № 2021618407

Дата поступления 31 мая 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 20 августа 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021663916

Программа для безаварийной установки подъема
опрокинутого стрелового самоходного крана

Правообладатели: *Горелова Мария Витальевна (RU), Сладкова
Любовь Александровна (RU)*

Авторы: *Горелова Мария Витальевна (RU), Сладкова
Любовь Александровна (RU)*

Заявка № 2021618208

Дата поступления 24 мая 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 25 августа 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Г

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 772 847**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
B66C 23/78 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B66C 23/78 (2022.02)

(21)(22) Заявка: 2021114566, 24.05.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.05.2021

Дата регистрации:
26.05.2022

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 24.05.2021

(45) Опубликовано: 26.05.2022 Бюл. № 15

Адрес для переписки:
117133, Москва, ул. Академика Виноградова,
6, кв. 127, Гореловой Марии Витальевне

(72) Автор(ы):
Горелова Мария Витальевна (RU),
Сладкова Любовь Александровна (RU),
Крылов Вадим Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Горелова Мария Витальевна (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2723503 C1, 11.06.2020. RU 87417
U1, 10.10.2009. JP S5758539 A, 08.04.1982. JP
H1067305 A, 10.03.1998.

(54) УСТРОЙСТВО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МАШИН

(57) Реферат:

Изобретение к грузоподъемным, строительным машинам, в частности к самоходным кранам, а также к другим транспортным средствам, работающим на слабонесущих грунтах. Машина содержит базовый тягач с выносными опорами, раму базового тягача, раму с расположенными на ней противовесом и поворотной платформой с

рабочим оборудованием. В нижней части рамы выполнены направляющие с возможностью перемещения рамы по направляющим балкам рамы базового тягача. Форма направляющих рамы соответствует форме направляющих рамы с поворотной платформой. Обеспечивается устойчивость машины в 3...4 раза без изменения вылета стрелы. 2 ил.

RU 2 7 7 2 8 4 7 C 1

RU 2 7 7 2 8 4 7 C 1

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Г

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 794 284**⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
B66C 23/78 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B66C 23/78 (2023.02)

(21)(22) Заявка: 2022118742, 08.07.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.07.2022

Дата регистрации:
14.04.2023

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 08.07.2022

(45) Опубликовано: 14.04.2023 Бюл. № 11

Адрес для переписки:
127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, РУТ
(МИИТ)

(72) Автор(ы):
Сладкова Любовь Александровна (RU),
Горелова Мария Витальевна (RU),
Крылов Вадим Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Российский университет
транспорта" (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ),
РУТ (МИИТ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2772847 C1, 26.05.2022. RU 22659
U1, 20.04.2002. JP S5758539 A, 08.04.1982. RU
2723503 C1, 11.06.2020.

(54) Устройство обеспечения устойчивости машин

(57) Реферат:
Изобретение относится к грузоподъемным
строительным машинам, в частности к
самоходным кранам. Машина содержит базовый
тягач с выносными опорами, раму базового
тягача, раму. На верхней части рамы установлен
поворотный круг, жестко соединенный с
платформой, состоящей из двух частей. Верхняя

часть платформы содержит направляющие с
возможностью их перемещения по направляющим
нижней части платформы совместно с
размещенными на ней противовесом и рабочим
оборудованием. Достигается обеспечение
устойчивости машины в 3...4 раза без изменения
вылета стрелы. 2 ил.

RU 2 7 9 4 2 8 4 C 1

RU 2 7 9 4 2 8 4 C 1