

На правах рукописи



КОРОВИН Константин Владимирович

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОГРАНИЧЕНИЯ
МАССЫ ПОДНИМАЕМОГО ГРУЗА
СТРЕЛОВЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ**

Специальность 05.13.06 — Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск – 2009

Работа выполнена на кафедре «Электротехника» Южно-Уральского государственного университета.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Г.И. Волович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Л.С. Казаринов;
кандидат технических наук,
доцент А.С. Знаев.

Ведущая организация: ООО «Головное специализированное
конструкторское бюро ЧТЗ»
(г. Челябинск).

Защита диссертации состоится 25 февраля 2010 г., в 12 часов, на заседании диссертационного совета Д 212.298.03 при ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, зал заседаний диссертационного совета (ауд. 1001).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан 14 января 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



А. Г. Щипицын

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Технология выполнения погрузочно-разгрузочных, строительно-монтажных и аварийно-спасательных работ предусматривает широкое применение мобильных стреловых грузоподъемных кранов на автомобильном, пневмоколесном и специальном шасси.

Нормативными требованиями по промышленной безопасности, для предотвращения опрокидывания крана или разрушения элементов его конструкций из-за перегрузки при подъеме груза, предусмотрено обязательное оснащение кранов автоматизированными системами ограничения нагрузки, отключающими механизмы подъема груза и изменения вылета в случаях подъема груза, масса которого превышает грузоподъемность крана на данном вылете более чем на 10%.

Технологический процесс настройки системы ограничения нагрузки крана в процессе изготовления грузоподъемного крана, а также периодически в процессе его эксплуатации через относительно небольшие интервалы времени, является трудоемким и сопряжен с существенными затратами.

Повышенная трудоемкость операций поиска настроечных коэффициентов и их ввода в систему ограничения массы поднимаемого груза на стреловых кранах с жесткой подвеской стрелового оборудования обусловлена необходимостью учета деформации стрелы под нагрузкой. Это требует увеличения числа точек грузовой характеристики крана, в которых производится настройка системы, и применения контрольных грузов с массой, близкой к максимальной грузоподъемности крана. Необходимость перегона крана на испытательный полигон и использования грузов известной массы для традиционно применяющейся ручной настройки и проверки системы является существенным недостатком существующих систем ограничения нагрузки.

Снижение трудоемкости технологического процесса настройки или исключение каких-либо операций регулирования системы ограничения нагрузки на кране является сложнейшей задачей, полное решение которой на сегодняшний день отсутствует.

Вопросам настройки систем ограничения нагрузки посвящены работы ученых В.В. Тазлова, Н.И. Озорнина, Д.М. Маша, Х. Киминкина, О. Вехно, Ю. Масамичи и др. Однако основное внимание в этих работах уделено вопросам повышения точности настройки систем ограничения массы поднимаемого груза с целью исключения неоправданного снижения грузоподъемности крана. Задачи снижения трудоемкости процесса настройки в этих работах либо не рассматриваются, либо затрагиваются лишь в плане постановки задачи. Научных

работ по вопросам автоматизации процесса настройки систем ограничения нагрузки в настоящее время не существует.

Таким образом, исследование автоматизированных систем защиты грузоподъемных кранов в плане улучшения их эксплуатационных характеристик путем автоматизации процесса их настройки в процессе производства и эксплуатации грузоподъемных кранов является актуальной научно-технической задачей.

Объектом исследования являются стреловые грузоподъемные краны на автомобильном или пневмоколесном шасси.

Предметом исследования являются автоматизированные системы ограничения массы поднимаемого груза.

Целью диссертационной работы является создание автоматизированной системы ограничения массы поднимаемого груза исключающей применение контрольных грузов при ее настройке.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Оценка возможности выполнения поиска настроечных данных системы ограничения нагрузки без вмешательства оператора.
2. Разработка алгоритма настройки системы ограничения массы поднимаемого груза без использования контрольных грузов.
3. Разработка способа измерения вылета с учетом деформации стрелы.
4. Разработка и практическая реализация автоматизированной системы ограничения массы поднимаемого груза, реализующей предложенные методы и алгоритмы ее настройки.

Методика исследования. В работе использовались методы теории автоматического управления, факторного анализа, оптимизации и цифрового моделирования на ЭВМ.

Источником экспериментальных данных явились результаты натурных исследований автомобильных кранов КС-45721, МКТ-25, КС-55730 и др.

Научная новизна работы.

В ходе исследования были получены следующие научные результаты:

- 1) построена факторная модель технологического процесса настройки систем ограничения массы поднимаемого груза;
- 2) алгоритм поиска настроечных коэффициентов каналов измерения массы груза и вылета без участия оператора и без использования контрольных грузов;
- 3) алгоритм автоматического определения в процессе работы крана интервалов времени, в которых должна осуществляться настройка;
- 4) алгоритмы измерения нагрузочных параметров грузоподъемных кранов.

Научная новизна основных результатов диссертационной работы подтверждена патентами на изобретения, полученными на соответствующие технические решения.

Практическое значение работы заключается в снижении трудоемкости и повышении точности настройки системы ограничения нагрузки без контрольных грузов, обеспечение возможности контроля точности работы и правильности настройки системы непосредственно в процессе эксплуатации крана, в снижении затрат на эксплуатационное сопровождение систем защиты и повышении безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются использованием математических моделей в расчетах статических и динамических процессов, удовлетворительным совпадением теоретических результатов с экспериментальными, полученными при проведении приемочных, периодических и сертификационных испытаний систем ограничения грузоподъемности, реализующих предложенные методы и алгоритмы настройки на грузоподъемных кранах различных моделей.

Реализация результатов работы. Научные результаты диссертационной работы в части структуры системы ограничения нагрузки и алгоритмов функционирования реализованы в системах ограничения грузоподъемности типа ОГМ240, выпущенных серийно ООО НПП «Резонанс» в количестве свыше 3000 шт., согласно разрешениям Ростехнадзора на применение этих систем.

С использованием базового варианта ОГМ240 разработаны и освоены в производстве различные модификации системы для установки на стреловые краны с телескопируемой стрелой и гидравлическим приводом (типа КС-3577, КС-35714 и др.), с фиксированными длинами стрелы и гидравлическим приводом (типа КС-2573), с решетчатой стрелой и механическим приводом стрелы (типа КС-4561А, СМК-101 и др.), с решетчатой стрелой на гусеничном шасси (типа ДЭК-251, МКГ-25БР, МКГС-100 и др.), с решетчатой стрелой на железнодорожном шасси (типа КЖ-461, КЖ-561 и др.).

Системы ограничения нагрузки ОГМ240 поставляются для комплектации серийно-выпускаемых грузоподъемных кранов на ОАО «Челябинский механический завод», ОАО «Кировский машзавод 1 мая», ООО «Юргинский машзавод» (г. Юрга Кемеровской области), ОАО «Клинцовский автокрановый завод» (г. Клинцы Брянской области), ОАО «Ульяновский механический завод №2» и др.

Совместно с ФГУП «НИИ ФИ» (г. Пенза) завершены работы по постановке на производство модификации системы ОГМ240В для кранов специального назначения — первой отечественной системы контроля с приемкой «5».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на конференциях «Приборы и системы безопасности грузоподъемных машин» 2-го московского подъемно-транспортного форума (г. Москва, 2006 г.) и 6-го общероссийского семинара-практикума «Подъемно-транспортная техника, внутризаводской транспорт, склады» (г. Москва, 2003 г.), на научно-практических семинарах по приборам и устройствам безопасности грузоподъемных машин (г. Ивантеевка Московской обл., 2002—2006 гг.), на курсах повышения квалификации государственных служащих Госгортехнадзора России, осуществляющих надзорную деятельность за подъемными сооружениями (г. Челябинск, 2004 г.), на 7-ом научно-практическом семинаре по приборам и системам безопасности грузоподъемных машин (г. Сочи, 2004 г.) и на научно-технических совещаниях по приборам безопасности на крановых заводах ОАО «Мотовилихинские завод» (г. Пермь), ОАО «Челябинский механический завод», ОАО «Галичский автокрановый завод», ОАО «Ульяновский механический завод №2» и др.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 17 печатных работ. С использованием выводов и предложений диссертационной работы созданы технические решения, на которые получено 5 патентов на изобретения.

Структура и объем диссертационной работы. Основная часть диссертации изложена на 136 страницах, включает в себя введение, 4 главы, заключение и список использованной литературы из 126 наименований.

Положения, выносимые на защиту:

1. Метод автоматизированной настройки системы ограничения массы поднимаемого груза стрелового крана без использования контрольных грузов.
2. Способ измерения вылета с учетом деформации стрелы.
3. Метод анализа и повышения надежности и живучести системы ограничения нагрузки грузоподъемного крана, характеризующийся взаимным сопоставлением выходных сигналов датчиков параметров рабочего процесса крана с данными априорно сформированной базы данных их возможных сочетаний.
4. Алгоритм функционального диагностирования силовой электронной схемы системы ограничения нагрузки и электромагнитных клапанов гидравлической системы крана, заключающийся в контроле характера изменения тока в каждом электромагните.
5. Метод интеллектуализации АСУ, обеспечивающий повышенную безопасность работы крана, за счет прогнозирования развития возможных штатных и аварийных ситуаций в процессе работы крана с выработкой АСУ соответствующих управляющих воздействий или рекомендаций крановщику по формированию безопасных управляющих воздействий.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Технологический процесс настройки системы ограничения нагрузки на мобильных стреловых кранах с телескопической стрелой состоит из операций по настройке каналов измерения длины стрелы и угла ее наклона (канал измерения вылета), азимута (поворота крановой платформы) и массы груза. Показано, что в существующих системах наиболее трудоемким является процесс настройки канала измерения массы груза из-за необходимости применения контрольных грузов, близких к максимальной грузоподъемности крана.

Математическая модель определения массы груза

Момент от сил тяжести груза и стрелы крана в его устойчивом положении уравнивается суммой моментов сил, развиваемых гидроцилиндром подъема стрелы, грузовой лебедкой и силами трения в оси вращения стрелы и уплотнениях в силовом гидроцилиндре. В соответствии с конструктивными особенностями крана и системой сил, приложенных к крану (рис. 1), уравнение моментов относительно оси вращения стрелы имеет вид

$$M'_{IP} + M_{CTP} = M_{IU} + M_{IL} + M_{TPO} \cdot \text{sign} \omega_{CTP}, \quad (1)$$

где: $M'_{ГР}$ — момент сил тяжести груза, Н·м; $M_{ГЦ}$ — момент, развиваемый гидроцилиндром подъема стрелы, Н·м; $M_{СТР}$ — момент силы тяжести стрелы, Н·м; $M_{ГЛ}$ — момент, создаваемой грузовой лебедкой, Н·м; $M_{ТРО}$ — момент, создаваемый силами трения, Н·м; $\omega_{СТР}$ — угловая скорость поворота стрелы, рад/с.

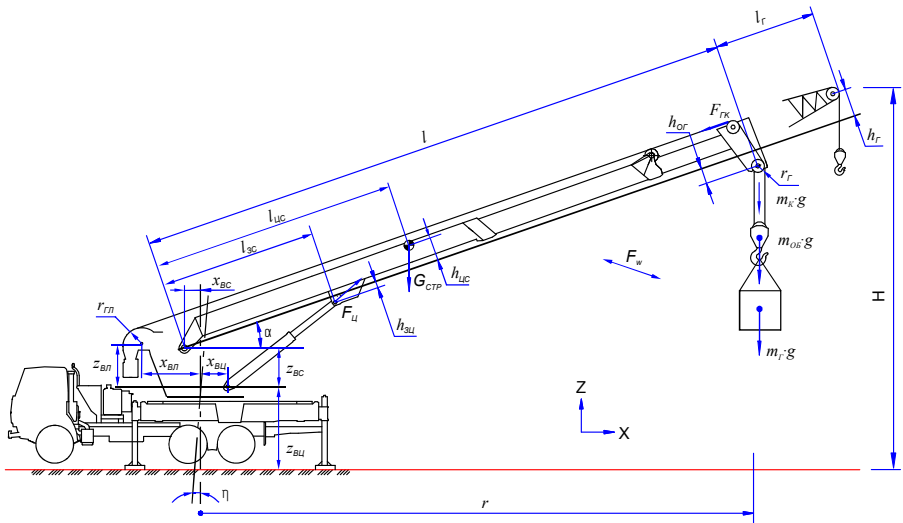


Рис. 1 — Расчетная схема стрелового крана

После подстановки выражений моментов в (1) и его преобразования, контролируемая масса груза (нетто) на грузозахватном устройстве запишется в виде

$$m_r = \frac{F_{ГЦ} d_{ГЦ} - G_{СТР} d_{СТР}(l)}{\left(r(\alpha, l) + x_{BC} - \frac{d_{ГК}}{k_{П} \cdot n} \right) \cdot g} - m_{ОБ} - m_K, \quad (2)$$

где $F_{ГЦ}$, $d_{ГЦ}$ — усилие и плечо силы гидроцилиндра подъема стрелы (кН, м); $G_{СТР}$ — вес стрелы, т; $d_{СТР}(l)$ — плечо силы тяжести стрелы, м; l — длина стрелы, м; α — угол наклона стрелы, град.; $r(\alpha, l)$ — вылет, м; x_{BC} — абсцисса оси вращения стрелы, м; $d_{ГК}$ — плечо силы грузового каната, м; $k_{П}$ — КПД полиспастной системы; n — кратность запасовки полиспаста; $m_{ОБ}$ — масса грузозахватного устройства, т; m_K — масса канатов и элементов полиспастной системы, т.

Усилие, развиваемое гидроцилиндром подъема стрелы, определяется через давления в поршневой и штоковой полостях гидроцилиндра

$$F_{ГЦ} = P_{П} S_{П} - P_{Ш} S_{Ш} + m_{Ш} \frac{dV_{Ш}}{dt} - \text{sign} \omega_{СТР} \cdot (F_{ПР} + F_{ШТ}), \quad (3)$$

где: $S_{П}$ — площадь поршня гидроцилиндра подъема стрелы, м²; $S_{Ш}$ — площадь поршня гидроцилиндра со стороны штока, м²; $P_{П}$, $P_{Ш}$ — давления в поршневой и штоковой полостях гидроцилиндра подъема стрелы соответственно, Па; $m_{Ш}$ — масса подвижных частей гидроцилиндра, приведенная к его штоку, кг; $V_{Ш}$ — скорость перемещения штока гидроцилиндра подъема стрелы, м/с; $F_{ПР}$ — сила трения поршня о стенки гидроцилиндра, Н; $F_{ШТ}$ — сила трения штока в уплотнении, Н.

Измерение вылета с учетом деформации стрелы.

При работе крана с нагрузками, близкими к максимально допустимой грузоподъемности, а также при большой длине стрелы и малом вылете из-за деформации стрелы точность измерения вылета может оказаться недостаточной. Эта деформация имеет нелинейную зависимость от момента сил изгиба стрелы, поэтому математическая модель учитывает деформацию стрелы крана и должна включать такие параметры, как углы наклона оголовка стрелы и удлинителя (рис. 2).

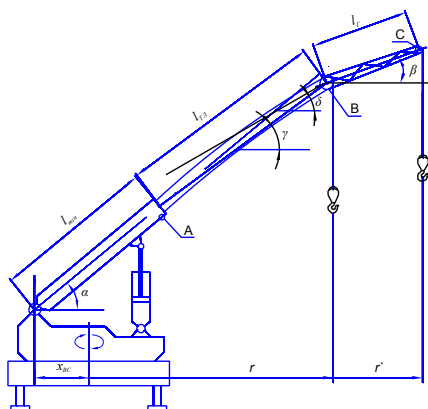


Рис. 2 — Определение вылета с учетом деформации стрелы и ее удлинителя

С введением этих параметров вылет запишется в виде:

$$r(\alpha, l) = l_{\min} \cos \alpha + (l - l_{\min}) \cos \gamma + h_{ог} \sin \alpha + x_{BC}, \quad (4)$$

или при наличии на кране удлинителя (гуська)

$$r'(\alpha, l) = l_{\min} \cos \alpha + (l - l_{\min}) \cos \gamma + l_r \cos \beta + h_{ог} \sin \alpha + x_{BC}, \quad (5)$$

где: α — угол наклона опорной секции стрелы (измеряется датчиком А), град.; γ — угол наклона выдвижных секций стрелы относительно гравитационной вертикали (измеряется датчиком В), град.; β — угол наклона удлинителя (измеряется датчиком С), град.

Погрешность измерения массы груза автоматизированной системой зависит от точности датчиков системы, погрешности монтажа датчиков на грузоподъемном кране, изменения массы стрелы и положения ее центра тяжести из-за технологических допусков деталей при изготовлении и сборке.

С учетом этого выражение (2) запишется в виде

$$m_r = \frac{F_{гц} d_{гц} - (m_{стр} + \Delta m_{стр}) d_{стр} \Delta l_{цс} (l) g}{\left(l_{\min} \cos \alpha + (l - l_{\min}) \cos \gamma + h_{ог} \sin \alpha + x_{BC} - \frac{d_{гк}}{k_{гн} n} \right) g} - m_{об} - m_k, \quad (6)$$

где: $\Delta m_{стр}$ — коэффициент, учитывающий изменение массы стрелы из-за технологических допусков её деталей при изготовлении; $\Delta l_{цс}$ — коэффициент, учитывающий изменение положения центра тяжести стрелы при её телескопировании.

Для датчиков с линейной передаточной функцией, к которым относятся примененные датчик длины стрелы с потенциометрическим чувствительным элементом и датчики углов наклона с чувствительным элементом в виде жидкостного инклинометра, погрешность измерения может быть выражена в виде суммы аддитивной и мультипликативной погрешностей

$$\Delta = \tilde{A} - y_{действ} = \Delta 0_y + \Delta y_i, \quad (7)$$

где: $\tilde{A}$ — результат однократного измерения; $y_{действ}$ — истинное значение измеряемой величины; $\Delta 0_y$ — аддитивная погрешность, показывающая величину смещения реальной характеристики относительно номинальной; Δy_i — мультипликативная погрешность, величина которой пропорциональна текущему значению x_i .

Аддитивная погрешность датчиков угла включает в себя отклонение оси чувствительного элемента от продольной оси стрелы. К аддитивной погрешности датчика длины приводит смещение датчика вдоль телескопической стрелы, вызванное неточностью монтажа этого датчиков на грузоподъемном кране.

Погрешности Δy_i можно принять равными 0, применив при создании системы датчики с калиброванным коэффициентом передачи.

Для вычисления массы груза на крюке с требуемой точностью, необходимо определить настроечные коэффициенты $\Delta\theta_\alpha$, $\Delta\theta_\gamma$, $\Delta\theta_l$ датчиков угла наклона корневой секции стрелы, оголовка стрелы и ее длины соответственно и коэффициенты $\Delta m_{СТР}$ и $\Delta l_{ДС}$. Настроечный коэффициент $\Delta l_{ДС}$ необходимо определять при различной степени выдвижения телескопической стрелы.

Выражение (6) в отличие от ранее известных моделей, позволяет осуществить разработку методов и алгоритмов определения настроечных коэффициентов системы ограничения нагрузки крана с учетом дополнительных параметров, характеризующих деформацию стрелы.

Автоматизированная система ограничения массы поднимаемого груза

Общая алгоритмическая структура разработанной системы ограничения нагрузки с автоматизированным поиском настроечных параметров приведена на рис. 3.

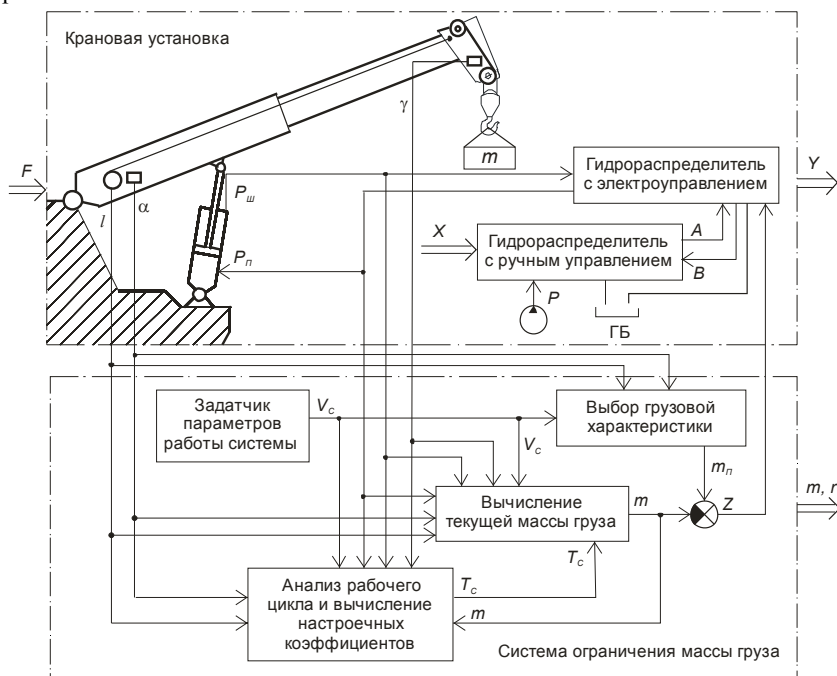


Рис. 3 — Структурная схема разработанной системы ограничения нагрузки крана

На объект управления воздействует вектор возмущений F , на вход объекта поступает вектор управляющих воздействий X . Перемещение груза обозначено вектором Y , информационные сигналы системы ограничения нагрузки: вычисленные значения массы груза и вылета — векторами m и r .

В системе измеряются значения α , γ , l , P_{II} , P_{III} — углов наклона корневой секции стрелы и ее оголовка, длины стрелы и давлений в поршневой и штоковой полостях гидроцилиндра подъема стрелы соответственно. Измеренные значения и заданные параметры и режимы работы системы V_c поступают на вход блоков вычисления массы груза, анализа рабочего цикла и вычисления настроечных коэффициентов. Блок выбора грузовой характеристики выполняет расчет предельной загрузки крана m_{II} исходя из параметров работы системы и пространственного положения стрелового оборудования

$$m_{II} = P(l, r, n, \lambda, \varepsilon, \mu, \varphi, \nu), \quad (8)$$

где: P — расчетная функция, полученная при проектировании крана и зависящая от его конструкции, класса ответственности крана, схемы опорного контура и т.д.; λ — параметры опорного контура (без опор, частичное выдвижение опор, полное выдвижение опор и т.д.); ε — положение и масса противовеса крана; μ — режим телескопирования стрелы (выдвижение секций пакетами, равномерное выдвижение секций, последовательное выдвижение секций и т.д.); φ — угол поворота крана; ν — длина и угол наклона удлинителя стрелы.

Блок анализа рабочего цикла анализирует сигналы каналов измерения массы груза, углов наклона и давлений в силовом гидроцилиндре и определяет оптимальные значения настроечных коэффициентов T_c .

Блок вычисления массы груза, с использованием измеренных параметров работы крана, введенных параметров работы системы и настроечных коэффициентов рассчитывает текущую массу груза на крюке m . Вычисленная масса груза m сравнивается с предельно-допустимой m_{II} . На основании результатов сравнения формируется выходной управляющий сигнал системы Z

$$Z(t) = \begin{cases} 1 & | m(t) \leq m_{II}(l, r, n, \lambda, \varepsilon, \mu, \varphi, \nu) \\ 0 & | m(t) > m_{II}(l, r, n, \lambda, \varepsilon, \mu, \varphi, \nu) \end{cases}. \quad (9)$$

Алгоритм настройки канала измерения массы груза

Идея предложенного алгоритма настройки канала измерения массы груза заключается в том, что определение настроечных параметров в (6) производится из условия обеспечения независимости результата прямого или косвенного измерения массы поднимаемого (или перемещаемого) груза от его пространственного положения

$$m_r(t) = \psi(l, \alpha, P_{II}, P_{III}, T_c) = \text{const} \quad | \quad t_0 \leq t \leq t_c \quad (10)$$

где: T_c — массив настроечных коэффициентов, t_0 , t_c — моменты отрыва и последующего касания грузом погрузочно-разгрузочных площадок.

Из-за отличий конструктивных параметров различных кранов, значение массы поднимаемого груза при отсутствии нагрузки на грузозахватном органе при перемещении стрелы будет отличным от нуля. Аналогично, при подъеме груза значение его массы, измеренное системой контроля, не будет совпадать с фактическим. Для поиска значений настроечных коэффициентов, при которых вычисленная масса поднимаемого груза при отсутствии груза на крюке при различных значениях длины и угла наклона будет стремиться к нулю, выразим целевую функцию в виде:

$$J_0(T_C) = \sum_{i=1}^N m_{T_i}^2(l_i, \alpha_i, P_{\Pi i}, P_{Ш i}, T_C) \rightarrow 0, \quad (11)$$

$$T_C = \{\Delta 0_a; \Delta 0_f; \Delta 0_l; \Delta m_{стр}; \Delta \mu_{цс}(l)\}, \quad (12)$$

где i — номер вычисления массы груза; $l_i, \alpha_i, P_{\Pi i}, P_{Ш i}$ — значения выходных сигналов датчиков системы в i -том опыте; N — общее число измерений.

Поиск оптимальных значений настроечных коэффициентов выполняется эвристическим алгоритмом с последовательным подбором, комбинированием и вариацией искомых параметров на основе механизмов, напоминающих биологическую эволюцию (генетический алгоритм). Данный метод не имеет значительной чувствительности к разрывам, существующим на поверхности ответа, не требует упрощения модели объекта и прост в реализации с помощью микропроцессорных средств АСУТП.

Для осуществления автоматической компенсации не только неточности нормализации выходных сигналов и погрешности монтажа датчиков, но и неконтролируемых изменений параметров крана и автоматизированной системы контроля, значения настроечных параметров в (6) должны определяться периодически, в частности, в каждом интервале времени, в котором отсутствует нагрузка на крюке. Т.е. как в начале работы грузоподъемного крана, так и через предварительно заданное число циклов подъема и перемещения груза. Необходимая периодичность уточнения значений настроечных параметров, зависит от максимально возможной скорости дрейфа параметров системы контроля.

Для автоматизированной настройки системы при работе крана, анализируются измерения сигналов в каналах измерения нагрузки, вылета и угла наклона стрелы (рис. 4), выявляются интервалы времени, в которых нагрузка на грузозахватном органе либо отсутствует, либо является постоянной, и автоматически определяются настроечные коэффициенты.

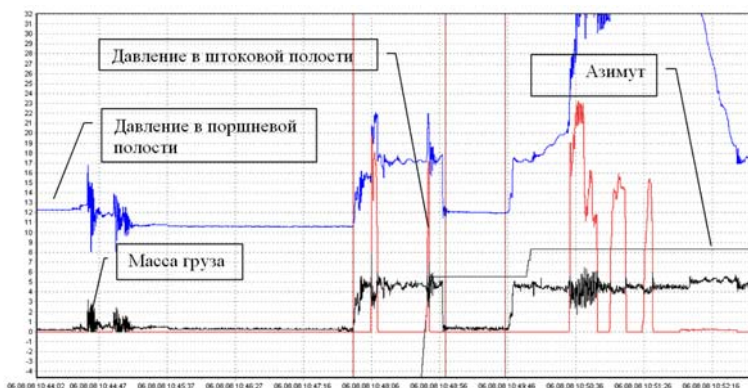


Рис. 4 — Рабочий цикл грузоподъемного крана

Система ограничения массы груза с принципом взаимного резервирования оператора и автоматики

После выполнения настройки системы ограничения массы поднимаемого груза на кране, возникновение аварийных и непредвиденных ситуаций из отказов системы порождает проблему доверия оператора к системе безопасности. Крановщик может как излишне полагаться на неисправную систему, так и наоборот — не доверять системе защиты даже при ее нормальном функционировании и выполнять функции по ограничению нагрузки самостоятельно (вручную), умышленно блокируя исполнительные устройства системы. Для решения этой задачи предложена автоматизированная система, в которой реализуется не только автоматизированная настройка, но и принцип взаимного резервирования оператора и автоматики (рис. 5).

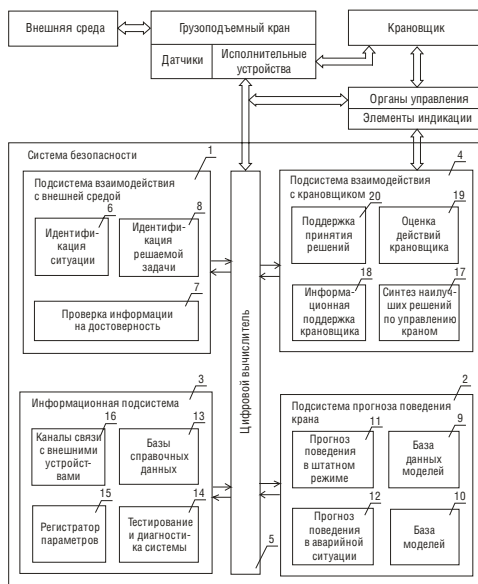


Рис. 5 — Автоматизированная система ограничения нагрузки с элементами экспертной системы

Резервирование автоматики оператором происходит посредством снижения степени автоматизации в случаях возникновения отказов грузоподъемного крана, системы контроля, а также в случаях, когда функция автоматической настройки не выполнена надлежащим образом.

Возможности проведения качественного, содержательного анализа ситуаций крановщиком определяются его профессиональным опытом, знаниями и умениями, способностями к творческому мышлению, психологической готовностью принятия ответственных решений в экстремальных условиях. Даже профессионал не во всех случаях способен выполнить функцию по резервированию автоматики в изначально неизвестных и неопределенных ситуациях, нелинейных и неустойчивых процессах межсистемного взаимодействия. В этих условиях возможны ошибочные, несанкционированные действия, несоблюдение профессиональных норм и даже отказ от деятельности. Выходом из ситуации может быть реализация обратной функции — резервирования оператора автоматикой.

В предложенном решении, система безопасности содержит подсистему взаимодействия с внешней средой 1, подсистему прогноза поведения крана 2, информационную подсистему 3 и подсистему взаимодействия с крановщиком 4. Все указанные подсистемы 1–4 объединены через интеллектуальный контроллер 5, который организует обмен данными между подсистемами и внешними каналами связи.

Определение работоспособности силовой электронной схемы и электромагнитных клапанов гидравлической системы крана

Неисправность электромагнитных клапанов, особенно в системах управления с электрическими пропорциональными электромагнитами, оказывает существенное влияние на характер движений стрелового оборудования крана, которые контролируются датчиками автоматизированной системы в процессе ее настройки. Для исключения погрешностей настройки предложено диагностирование исправности электромагнитных клапанов, включая отсутствие их умышленного блокирования в системе безопасности. Это достигается путем контроля характера изменения тока в каждом электромагните.

Срабатывание электромагнита определяется путем контроля времени трогания его якоря

$$t_{mp} = T_{\varepsilon} \ln \frac{I_y}{I_y - i_{mp}} \leq t_{mp0}, \quad (13)$$

где: T_{ε} — электромагнитная постоянная времени обмотки, I_y — установившееся значение тока; i_{mp} — значение тока трогания якоря; t_{mp0} — максимально допустимое значение времени, при котором якорь должен начать движение.

При подаче напряжения на электромагнит ток в нем возрастает (рис. 6). При достижении определенного уровня тока $i_{тр}$ начинается движение якоря. Это приводит к кратковременному снижению тока и последующему более медленному его увеличению. При умышленном блокировании (или заклинивании) якоря электромагнита или золотника связанного с ним электрогидравлического клапана, ток возрастает по экспоненциальному закону.

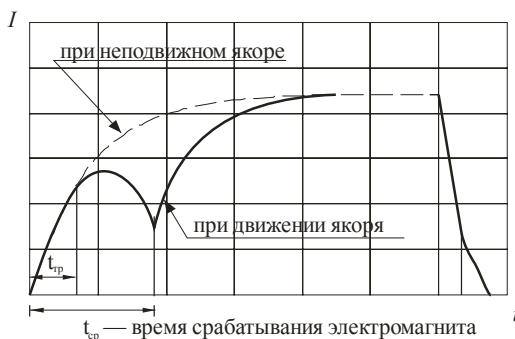


Рис. 6 — Рабочий цикл электромагнита

Метод анализа и повышения надежности и живучести системы ограничения

Для выполнения операций по настройке системы непосредственно в процессе работы крана необходим более высокий уровень самодиагностирования технического состояния системы. В противном случае, алгоритм автоматической настройки, используя недостоверные сигналы датчиков системы ограничения нагрузки, может внести недопустимые погрешности в ее работу.

Повышение уровня самодиагностирования технического состояния системы ограничения нагрузки и грузоподъемного крана достигается путем:

- взаимного сопоставления выходных сигналов датчиков параметров крана;
- выявления на основании математической модели крана сочетания величин (скоростей, знаков скоростей изменения и т.п.) выходных сигналов датчиков, которые не встречаются в процессе функционирования грузоподъемного крана при исправной системе контроля.

Представленная на рис. 9 автоматизированная система реализует как функции защиты грузоподъемной машины, так и функции самодиагностирования.

Микропроцессорный вычислитель при программной реализации анализа (взаимного сопоставления) выходных сигналов датчиков с использованием информации о допустимых комбинациях (сочетаниях, наборах и т.п.) величины, скоростей и знаков скоростей этих сигналов, осуществляет:

а) выявление противоречий в выходных сигналах дискретных датчиков — конечных выключателей, а именно — одновременное формирование взаимоисключающих сигналов с датчиков положения органов (рычагов) управления гидравлическими распределителями;

б) выявление несоответствий изменений выходных сигналов различных аналоговых датчиков. Аналоговые параметры, в частности угол наклона стрелы, длина стрелы и усилие в стреловом канате (или давление в гидроцилиндре подъема/опускания стрелы) при работе грузоподъемной машины (стрелового крана) являются взаимосвязанными. В целом, для различных грузоподъемных машин эти взаимосвязи различны из-за различий их конструкции. Но отдельные взаимосвязи имеют место для всех типов грузоподъемных машин.

Методика и результаты экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования были направлены на проверку адекватности разработанной модели реальному объекту, анализ процессов нагружения крана грузами различной массы и проверку реализуемости и эффективности разработанного алгоритма настройки системы безопасности в составе крана.

Исследования проводились на серийных стреловых автомобильных кранах КС-45721 «Челябинец» грузоподъемностью 25 т производства ОАО «Челябинский механический завод». Опытный образец системы выполнен в соответствии со структурной схемой, приведенной на рисунке 11. Краны устанавливались на аттестованную испытательную площадку с уклоном не более 3%. Для нагружения крана использовались эталонные грузы в наборе общей массой до 40 т.

Исследования показали, что среднеквадратичное отклонение расчетных данных, полученных с использованием (3) и фактических значений массы поднимаемого груза и вылета составляет 0,82% и 0,22% соответственно (рис. 7).

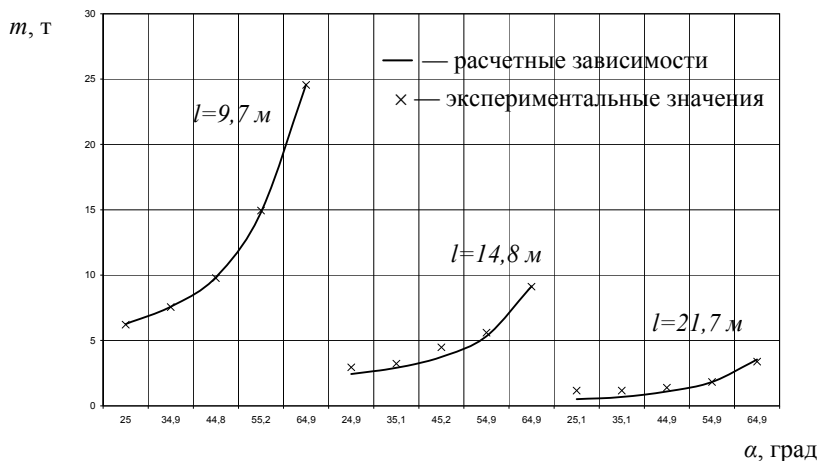


Рис. 7 — Сопоставление фактической (экспериментальной) и расчетной значений массы поднимаемого груза

Экспериментальные исследования показали, что с достаточной для решения задач исследования точностью использованная математическая модель адекватна реальному грузоподъемному крану.

В таблице 1 приведены полученные результаты фактических и вычисленных значений массы поднимаемого груза после выполнения алгоритма автоматического поиска настроечных коэффициентов при отсутствии груза на грузозахватном органе.

Табл. 1 — Результаты проверки точности настройки системы в самонастраивающемся режиме

α , град.	P_L , МПа	l , м	Масса груза (m)			Вылет (r)		
			факт. (m_f), т	изм. (m), т	погреш- ность, %	факт. (r_f), м	изм. (r), м	погреш- ность, %
25,1	3,95	9,7	0	0,01	—	7,50	7,5	0,00
25	132	9,7	6,27	6,18	-1,44	7,51	7,51	0,00
35	129,8	9,7	7,6	7,56	-0,53	6,68	6,67	-0,15
45,1	134	9,7	9,87	9,84	-0,30	5,58	5,58	0,00
54,9	153	9,7	14,7	14,69	-0,07	4,32	4,32	0,00
65	182,9	9,7	24,7	24,68	-0,08	2,85	2,84	-0,35
25	118	14,8	2,39	2,44	2,09	12,1	12,13	0,25
35	110,5	14,8	2,88	2,96	2,78	10,9	10,85	-0,46
45	106,9	14,8	3,66	3,75	2,46	9,31	9,2	-1,18
55	111	14,8	5,28	5,44	3,03	7,35	7,23	-1,63
65,1	125,4	14,8	9,16	9,31	1,64	5,1	5,05	-0,98
24,9	94,5	21,7	0,5	0,49	-2,00	18,8	18,78	-0,11
35	85,1	21,7	0,67	0,65	-2,99	16,9	16,87	-0,18
45	83,1	21,7	1,09	1,08	-0,92	14,5	14,6	0,69
55,1	83,7	21,7	1,83	1,82	-0,55	11,6	11,55	-0,43
64,9	92,9	21,7	3,57	3,55	-0,56	8,46	8,5	0,47

После выполнения настройки по разработанному алгоритму среднеквадратичная погрешность определения массы поднимаемого груза и вылета для крана КС-45721 в статическом режиме составила 1,48% и 0,43% соответственно.

Реализация системы ограничения массы поднимаемого груза.

Описаны основные конструктивные принципы построения системы. В целях создания промышленно применимой системы ограничения нагрузки, при синтезе системы учтены требования Правил ПБ 10-382-00 Ростехнадзора и конструктивные особенности крана: система дополнена датчиками угла поворота крановой платформы и опасного приближения к линиям электропередач. С целью регистрации параметров работы крана и системы безопасности в процессе работы, а также выполнения нормативных требований РД 10-399-01 Ростехнадзора, система дополнена регистратором параметров (бортовым самописцем).

Показано, что более перспективными являются системы ограничения массы поднимаемого груза, выполненные с использованием микропроцессорной техники и магистрально-модульного принципа их построения.

Рассмотрены основные существующие сетевые протоколы для передачи данных по мультиплексным линиям применительно к задачам управления грузоподъемными машинами. С учетом количества модулей системы, объема передаваемой информации и скорости изменения выходных параметров системы показано, что наиболее целесообразно использовать LIN-протокол со скоростью передачи данных не выше 10–20 тыс. бит/сек.

Реализованная система включает в себя блок индикации (рис. 8), контроллер поворотной части (блок входов и нагрузок) и датчики угла наклона стрелы, азимута, усилия и приближения к ЛЭП. Поиск настроечных коэффициентов математической модели с помощью генетического алгоритма был реализован на компилируемом языке программирования Си++. Структурная схема реализованной системы приведена на рис. 9.



Рис. 8 — Блок индикации и обработки данных системы

Для исключения механической регулировки положения датчиков и вскрытия корпуса блока индикации для выполнения регулирования системы безопасности, реализован предложенный электронный цифровой способ настройки — сложение и/или перемножение выходных сигналов с датчиков с настроечными параметрами, значения которых сохраняются в энергонезависимой памяти блока обработки.

Для уменьшения количества датчиков технически применены комбинированные датчики, осуществляющие измерение, преобразование и передачу по мультиплексной линии связи одновременно нескольких аналоговых и/или дискретных параметров работы крана. Датчики аналоговых параметров работы крана реализованы с возможностью обработки сигналов с концевых выключателей, расположенных с ними в одной конструкционной зоне крана, и с последующей совместной передачей сигналов этих датчиков в блок индикации и обработки данных.

В приложениях приведены постоянные величины математической модели стрелового крана КС-45721, внешний вид разработанной и установленной на грузоподъемный кран системы ограничения нагрузки, акт внедрения результатов исследования и расчет экономического эффекта от внедрения системы.

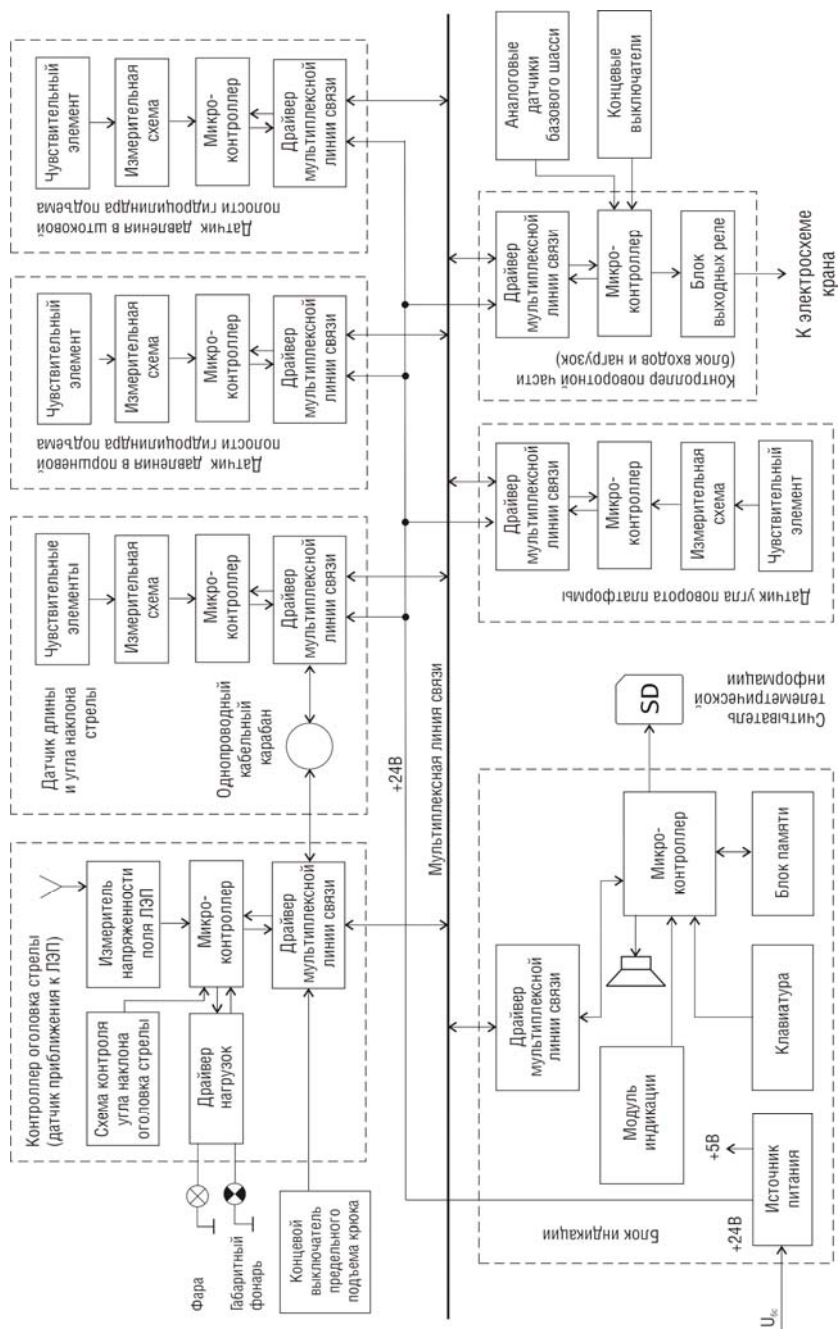


Рис. 9 – Структурная схема системы ограничения массы поднимаемого груза

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача снижения трудоемкости технологического процесса настройки автоматизированных систем ограничения массы поднимаемого груза стреловых кранов. В результате выполненных теоретических и экспериментальных исследований получены следующие выводы и результаты:

1. Для существенного снижения трудоемкости технологического процесса настройки систем ограничения нагрузки целесообразно оснащение кранов самонастраивающимися системами, исключающими необходимость применения контрольных грузов при их настройке. Возможность реализации таких систем доказана теоретически и подтверждена экспериментально.

2. Разработан метод автоматизированной настройки систем ограничения нагрузки без использования контрольных грузов, основанный на вычислении настроечных коэффициентов в режимах работы крана, при которых нагрузка на грузозахватном органе отсутствует или сохраняется неизменной.

Практическая реализация разработанного метода позволяет снизить время настройки системы с 3,5 чел.-ч до 0,8 чел.-ч, а также осуществлять настройку системы в процессе эксплуатации крана, обеспечивая компенсацию непредвиденных изменений параметров крана и системы ограничения нагрузки.

3. Разработан метод анализа и повышения надежности и живучести системы ограничения нагрузки грузоподъемного крана базирующийся на взаимном сопоставлении выходных сигналов датчиков параметров крана с использованием априорно сформированной базы данных об их возможных сочетаниях.

Полученное решение обеспечивает оперативный самоконтроль исправности системы, исключающий ошибки при настройке системы непосредственно в процессе работы крана, и уменьшение простоев грузоподъемной машины из-за необоснованного автоматического блокирования ее работы при несущественных отказах устройства безопасности.

4. Разработаны метод и алгоритм определения работоспособности силовой электронной схемы системы безопасности и электромагнитных клапанов гидравлической системы грузоподъемного крана. Полученное решение предотвращает некорректную настройку системы ограничения грузоподъемности и ее эксплуатацию с неисправными или умышленно заблокированными исполнительными устройствами.

5. Предложен алгоритм построения экспертной и диалоговой подсистем ограничения нагрузки крана по обеспечению безопасной работы крана при одновременном улучшении условий работы крановщика за счет оперативной выработки

управляющих воздействий и рекомендаций для крановщика по принятию решений по управлению краном, определения приоритетных, для безопасности крана, действий крановщика с учетом прогноза развития возможных штатных и аварийных ситуаций. Проработана возможность автоматической коррекции этих управляющих воздействий и рекомендаций для конкретного образца крана.

6. Разработан и апробирован на экспериментальных и серийных образцах комплекс программно-аппаратных средств системы безопасности грузоподъемного крана реализующий самонастраивающийся алгоритм.

После выполнения настройки в самонастраивающемся режиме среднеквадратичная погрешность определения массы поднимаемого груза и вылета для автомобильного крана модели КС-45721 составила 1,48% и 0,43% соответственно.

7. Разработана и поставлена на серийное производство автоматизированная система ограничения массы поднимаемого груза типа ОГМ240, представляющая собой мультимикропроцессорную систему с цифровым каналом обмена информации и датчиками, имеющими встроенные схемы усиления сигнала, термокомпенсации чувствительного элемента и калибровки передаточной функции.

Научные публикации по теме диссертации в журналах ВАК РФ

1. Коровин К.В. Интеграция систем защиты и управления стрелового грузоподъемного крана // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2006. – Вып. 4. – №14 (69). – С. 101-104.

2. Коровин К.В. Новые приборы безопасности для кранов // Подъемно-транспортное дело. – 2008. – № 4. – С. 11–12.

Патенты на изобретения

3. Пат. 2290361 Российская Федерация, МПК: В66С 15/06, В66С 23/88 Способ настройки прибора безопасности грузоподъемного крана / В.А. Коровин, К.В. Коровин. – №2005116352/11; заяв. 20.09.2005; опубл. 27.12.2006, Бюл. № 36.

4. Пат. 2326803 Российская Федерация, МПК: В66С 15/06, В66С 23/88 Способ настройки электронного устройства безопасности грузоподъемного крана и электронное устройство безопасности с его реализацией / В.А. Коровин, К.В. Коровин. – №2006128558/11; заяв. 04.08.2006; опубл. 20.06.2008, Бюл. №17.

5. Пат. 2271986 Российская Федерация, МПК: В66С 13/46, В66С 23/88 Способ измерения вылета в устройстве безопасности стрелового грузоподъемного крана / В.А. Коровин, К.В. Коровин. – №2004118777/11; заяв. 10.01.2005; опубл. 20.03.2006, Бюл. № 8.

6. Пат. 2277065 Российская Федерация, МПК: В66С 13/18, В66С 23/88 Способ диагностирования технического состояния устройства безопасности грузо-

подъемной машины / В.А. Коровин, К.В. Коровин. – №2004115436/11; заяв. 10.03.2005; опублик. 27.05.2006, Бюл. № 15.

7. Пат. 2280608 Российская Федерация, МПК В66С 13/18, В66С 23/88, В66С 23/90 Способ поддержки крановщика по обеспечению безопасной работы грузоподъемного крана / В.А. Коровин, К.В. Коровин. – №204134628/11; опублик. 27.07.2006, Бюл. №21.

Другие научные публикации по теме диссертации

8. Волович Г.И., Коровин К.В. Измерение прогиба стрелы в автоматизированных системах ограничения грузового момента // Сборник трудов приборостроительного факультета – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. – С. 56–59.

9. Коровин К.В. Снижение затрат на эксплуатационное сопровождение приборов безопасности // Все краны. – 2007. – №№ 8, 9. – С. 16–19.

10. Коровин К.В. Повышение безопасности работы грузоподъемных кранов в свете реформы технического регулирования // Все краны. – 2007. – № 12. – С. 23–28.

11. Коровин К.В. Применение мультиплексной линии управления в электрооборудовании крана-трубоукладчика. // Конструирование и эксплуатация наземных транспортных машин: Сборник трудов / Редколлегия: Ю.В. Рождественский (отв. редактор) и др. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 156–159.

12. Коровин К.В. Комплексная электронная микропроцессорная система управления трактором. // Конструирование и эксплуатация наземных транспортных машин: Сборник трудов / Редколлегия: Ю.В. Рождественский (отв. редактор) и др. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – С. 159–164.

13. Коровин К.В. Бесконтактный способ измерения угла азимута грузоподъемного крана // Изобретения и рацпредложения в нефтегазовой промышленности. – 2004. – №2. – С. 36–37.

14. Коровин К.В. Приборы безопасности для грузоподъемной техники // Изобретения и рацпредложения в нефтегазовой промышленности. – 2003. – № 4. – С. 29–30.

15. Коровин К.В. Современные цифровые многофункциональные приборы безопасности грузоподъемных машин // Техсовет. – 2006. – № 3(34). – С. 99.

16. Коровин В.А., Кретов М.Н., Токарев Д.В., Гераскин С.А., Коровин К.В., Давыдков А.В., Казанцев А.Ф. Комплексная система защиты и управления стрелового грузоподъемного крана // Все краны. – 2006. – № 2. – С. 8–11.

17. Коровин В.А., Кретов М.Н., Коровин К.В. Пути совершенствования регистраторов параметров грузоподъемных кранов // Федеральный строительный рынок. – 2006 № 3 (52). – С. 48–52.

Коровин Константин Владимирович

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОГРАНИЧЕНИЯ
МАССЫ ПОДНИМАЕМОГО ГРУЗА
СТРЕЛОВЫХ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ**

Специальность 05.13.06 — Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 11.01.2010. Формат 60×84 1/16.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1. Заказ №3. Тираж 100 экз.

Отпечатано с оригиналов заказчика в типографии «Два комсомольца»
г. Челябинск, Комсомольский проспект, д. 2