

На правах рукописи



КОТЬКИН СТАНИСЛАВ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРЕЛОВЫХ
ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ**

Специальность 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования
(промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Омск – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Щербаков Виталий Сергеевич,
декан факультета «Нефтегазовая и строительная техника» ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Файзуллин Рашит Тагирович,
проректор по информатизации ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

кандидат технических наук
Малахов Иван Игоревич,
заведующий кафедрой «Специальных технических дисциплин» Омского института водного транспорта (филиал) ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск

Защита диссертации состоится 28 мая 2012 г. в 14.00 ч. на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 212.250.03 при ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, зал заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)» по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, тел, факс: (3812) 65-03-23, e-mail: arhipenko_m@sibadi.org.

Автореферат разослан 25 апреля 2012 г.

Ученый секретарь объединенного диссертационного совета ДМ 212.250.03,
кандидат технических наук



М.Ю. Архипенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Стреловые грузоподъемные краны (СГК) являются наиболее распространенным средством механизации и автоматизации работ во всех отраслях промышленности. От их совершенства во многом зависит эффективность монтажных и погрузо-разгрузочных работ на промышленных предприятиях. В связи с этим остро стоит проблема создания и повышения эффективности функционирования систем автоматизированного проектирования (САПР) узлов, агрегатов, устройств управления, металлоконструкций и в целом СГК. Высокое качество проектных работ СГК может быть достигнуто только на основе использования современных методов моделирования и инженерного анализа. Выше изложенным объясняется актуальность темы – создание системы автоматизации моделирования СГК, без которой невозможно решение задач анализа и синтеза проектных решений образцов новой техники.

Работа посвящена разработке и исследованию модели СГК, алгоритмов и методик для анализа и синтеза проектных решений.

Одним из важнейших направлений совершенствования СГК является повышение их эффективности за счет снижения энергетических затрат. Повышение энергетической эффективности СГК осуществляется за счет оптимизации траекторий перемещения грузов, с помощью систем автоматического управления на базе микропроцессорной техники.

Цель диссертационной работы заключается в разработке методики и алгоритмов системы автоматизации моделирования рабочих процессов СГК.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

1. Разработана совокупность математических моделей подсистем сложной динамической системы рабочего процесса СГК;
2. Обоснован критерий энергетической эффективности перемещения грузов СГК;
3. Разработана методика и алгоритмы автоматизации моделирования рабочих процессов СГК и оптимизации их технологических параметров;
4. Выявлены закономерности, связывающие технологические параметры с критерием энергетической эффективности;
5. Разработаны алгоритмы и программное обеспечение, подтверждающие эффективность предложенных методик автоматизации моделирования и оптимизации технологических параметров рабочего процесса сложной динамической системы СГК.

Объектом исследования является процесс автоматизации моделирования СГК.

Предметом исследования являются закономерности процесса автоматизации моделирования СГК.

Методы исследования. При выполнении работы использовались методы системного анализа, регрессионного анализа, теории алгоритмов, математического и имитационного моделирования. Теоретические исследования проводились в среде Simulink программного комплекса MATLAB.

Научная новизна работы:

1. Разработана математическая модель сложной динамической системы СГК, позволяющая в автоматизированном режиме решать задачи анализа на этапах проектирования СГК;
2. Получены многофакторные регрессионные уравнения, устанавливающие взаимосвязь удельных энергетических затрат от технологических параметров при изменении управляемых координат СГК, и позволяющие получить значения расхода топлива ДВС для заданных перемещений грузов;
3. Разработан алгоритм аналитического решения обратной задачи кинематики СГК для реализации требуемой траектории перемещения груза;
4. Разработан алгоритм оптимизации по энергетическому критерию технологических параметров рабочего процесса, с учетом кинематической избыточности СГК;
5. Разработан алгоритм определения оптимальных значений координат базового шасси СГК на рабочей площадке, с учетом запретных для расположения зон.

Практическая ценность работы. Применение разработанных алгоритмов и программного обеспечения в качестве модуля САПР позволяет решать задачи анализа и синтеза оптимальных конструктивных параметров СГК. Предложенные методики и алгоритмы автоматизации моделирования рабочих процессов СГК позволяют анализировать различные конструкторские решения на этапах проектирования СГК, управлять качеством проектных работ. Полученные алгоритмические решения позволяют снизить энергетические затраты за счет оптимизации законов движения и положения СГК и могут быть использованы при создании систем автоматического управления СГК.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения диссертации докладывались на следующих конференциях: V, VI Всероссийских научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования» (Омск, 2010, 2011); Региональной научно-технической конференции молодых ученых, студентов, аспирантов (с международным участием) «Новые технологии на транспорте в энергетике и строительстве» (Омск, 2010); XII Международной научно-инновационной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с элементами научной школы «Теоретические знания – в практические дела» (Омск, 2011); Межрегиональной научно-практической конференции

«Производство, модернизация, эксплуатация многоцелевых гусеничных и колесных машин. Подготовка специалистов» (Омск, 2011); юбилейном международном конгрессе «Креативные подходы в образовательной, научной и производственной деятельности» (Омск, 2010); V Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы строительства» (Омск, 2012); научных семинарах кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия».

Публикации. Положения диссертации и основные результаты исследований опубликованы в 11 печатных работах (из них 4 - в изданиях, рекомендованных ВАК), получено одно свидетельство об отраслевой регистрации электронных ресурсов ОФЕРНИО (алгоритмов).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав с выводами, заключения, списка использованных источников, включающего 94 наименования, приложений. Общий объем диссертации 147 страниц, включая 80 рисунков, 9 таблиц и 2 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, показаны научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе диссертационной работы произведен анализ тенденций развития СГК и их систем автоматического управления, дается обзор и анализ конструкций СГК, обзор предшествующих работ по методам моделирования СГК. Рассмотрены современные САПР и системы автоматизации моделирования сложных динамических систем. Сформулированы цель и задачи работы.

Во второй главе обоснована общая методика исследования, которая носит комплексный характер и предусматривает как теоретические, так и экспериментальные исследования. Проведен анализ СГК как сложной динамической системы, состоящей из механической подсистемы, подсистем гидропривода и двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Определены структурные элементы и связи, входящие в состав модели.

На рисунке 1 представлена блок-схема сложной динамической системы СГК, на которой изображены подсистемы ДВС, гидропривода и механическая подсистема. Подсистема гидропривода представлена блоками: насос, гидроцилиндры, гидравлические распределители, гидромоторы и механические передачи. В механическую подсистему СГК входят следующие блоки: грунт, базовое шасси, поворотная платформа, стрела, телескопическое звено, грузовая лебедка, крюковая обойма с грузом.

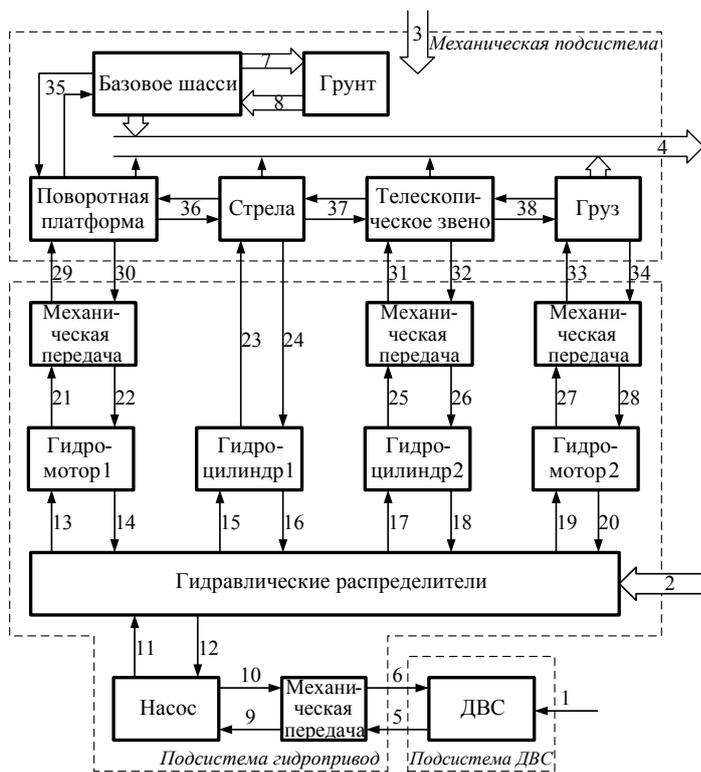


Рисунок 1 – Блок-схема сложной динамической системы стрелового грузоподъемного крана

оптимизации технологических параметров рабочего процесса СГК применена теория алгоритмов.

Математическое описание механической подсистемы СГК основывалось на следующих допущениях: СГК представляет собой шарнирно-сочлененный пространственный многозвенник, с наложенными на него упруго-вязкими связями; элементы металлоконструкций представляются абсолютно жесткими; инерционные свойства элементов металлоконструкций характеризуются массами, координатами центров масс, осевыми моментами инерции, центробежными моментами инерции; люфты в шарнирах отсутствуют; связи, наложенные на динамическую систему СГК, являются голономными и стационарными; внешние силы, действующие на звенья механической подсистемы СГК, являются сосредоточенными.

При моделировании гидропривода СГК были приняты следующие допущения: влияние волновых процессов на динамику гидропривода не учитывается; инерционные свойства жидкости в элементах гидропривода не учитываются; плотность, кинематическая вязкость, модуль упругости жидкости и коэффициент расхода элементов гидропривода принимают постоянные значения на протяжении моделирования; переход между ламинарным и турбулентными режимами происходит мгновенно; силы инерции и трения в элементах конструкции гидравлических устройств не учитываются.

Блоки соединены между собой связями, отражающими влияние одних блоков на другие. Объемные стрелки обозначают многопараметрические связи. Рассмотрение СГК как сложной динамической системы позволило выделить основные этапы автоматизированного построения модели. Теоретические исследования выполнены методами математического и имитационного моделирования. При построении регрессионной модели энергетических затрат использовались методы регрессионного анализа. При разработке методики

Обоснована методика экспериментальных исследований, предусматривающая проведение пассивного натурального эксперимента и активного вычислительного эксперимента на имитационной модели СГК. В соответствии с целью и задачами работы и принятой методикой исследований определена структура работы.

В третьей главе представлены математические модели подсистем сложной динамической системы СГК. На рисунке 2 изображена обобщенная расчетная схема механической подсистемы СГК, представляющая собой систему с пятью массами, звеньями которой являются: базовое шасси массой m_1 , включающее в себя массу ходовой рамы; поворотная платформа массой m_2 , включающая в себя массы кабины, противовеса и лебедки; стрела массой m_3 ; телескопическое звено массой m_4 ; груз массой m_5 , включающий в себя массу крюковой обоймы, траверсы. Расчетная схема СГК рассматривается в правой инерциальной системе координат $O_0X_0Y_0Z_0$.

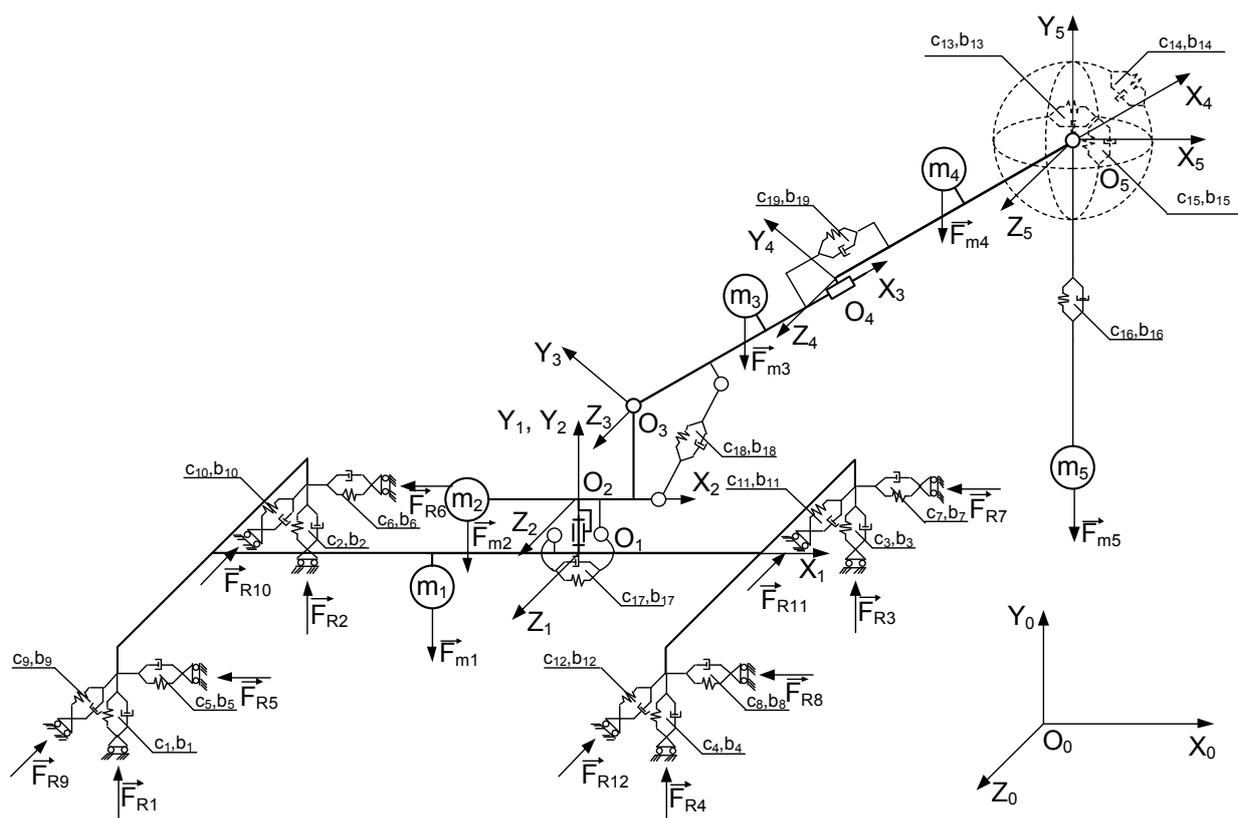


Рисунок 2 – Обобщенная расчетная схема стрелового грузоподъемного крана

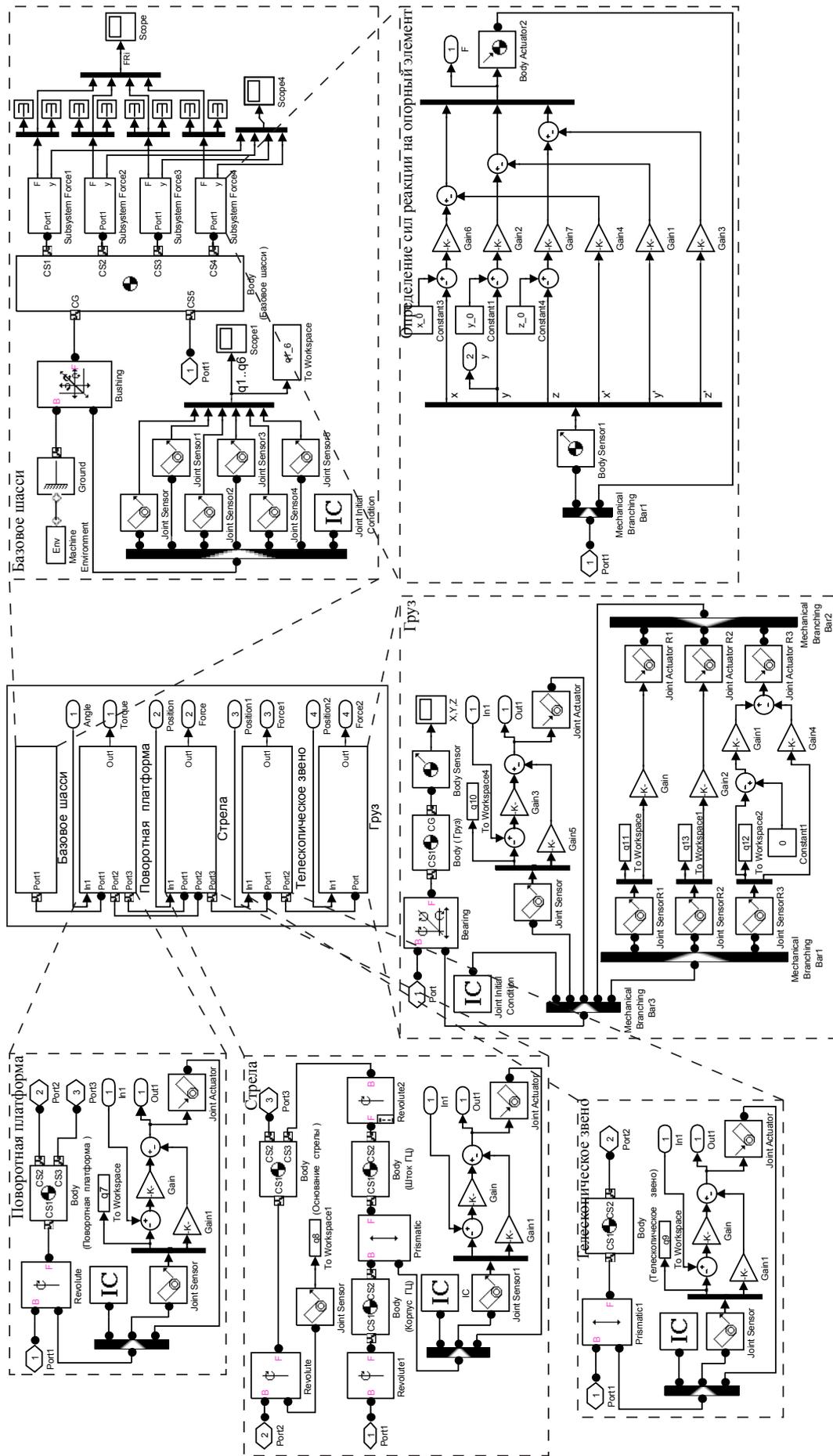


Рисунок 3 – Структурная схема механической подсистемы стрелового грузоподъемного крана в Simulink (пунктирными линиями обозначены блоки звеньев)

Каждому звену поставлена соответствующая локальная система координат. Массы звеньев в поле тяготения формируют силы веса, представленные на расчетной схеме векторами $F_{m1} \dots F_{m5}$. Со стороны грунта на опорные элементы действуют силы реакции, представленные на расчетной схеме векторами $F_{R1} \dots F_{R12}$. Упруго-вязкие свойства связей, наложенных на звенья системы, представлены на расчетной схеме упруго-вязкими телами Фохта, характеризуемыми коэффициентами жесткости $c_1 \dots c_{19}$ и коэффициентами вязкости $b_1 \dots b_{19}$. Для расчетной схемы СГК приняты 13 обобщенных координат $q_1 \dots q_{13}$ (таблица 1). Структурная схема механической подсистемы СГК в Simulink представлена на рисунке 3.

Таблица 1 – Обобщенные координаты $q_1 \dots q_{13}$

№	Характеристика координаты в локальной СК	Обозначение
1	Перемещение центра масс базового шасси вдоль оси X_0	q_1
2	Перемещение центра масс базового шасси вдоль оси Y_0	q_2
3	Перемещение центра масс базового шасси вдоль оси Z_0	q_3
4	Поворот базового шасси вокруг оси X_1	q_4
5	Поворот базового шасси вокруг оси Y_1	q_5
6	Поворот базового шасси вокруг оси Z_1	q_6
7	Поворот платформы вокруг оси Y_2	q_7
8	Поворот стрелы вокруг оси Z_3	q_8
9	Выдвижение телескопического звена вдоль оси X_4	q_9
10	Перемещение центра масс груза вдоль оси Y_5	q_{10}
11	Поворот системы координат $O_5X_5Y_5Z_5$ вокруг оси X_5	q_{11}
12	Поворот системы координат $O_5X_5Y_5Z_5$ вокруг оси Y_5	q_{12}
13	Поворот системы координат $O_5X_5Y_5Z_5$ вокруг оси Z_5	q_{13}

Гидропривод является важной подсистемой сложной динамической системы СГК. Подсистема гидропривод рассматривается как совокупность соединенных между собой элементов: трубопровод; гидравлический мотор; гидравлический насос; местное сопротивление (дроссель); гидроцилиндр; клапаны (предохранительный, обратный). Для каждого из элементов, входящих в гидропривод, составлена своя математическая модель, представляющая собой дифференциальные уравнения. Уравнения, описывающие гидравлические элементы, реализуются в среде Simulink при помощи блоков из библиотек SimHydraulics, Simscape. Структурная схема подсистемы гидропривод СГК, включающая в себя модели гидроэлементов, представлена на рисунке 4.

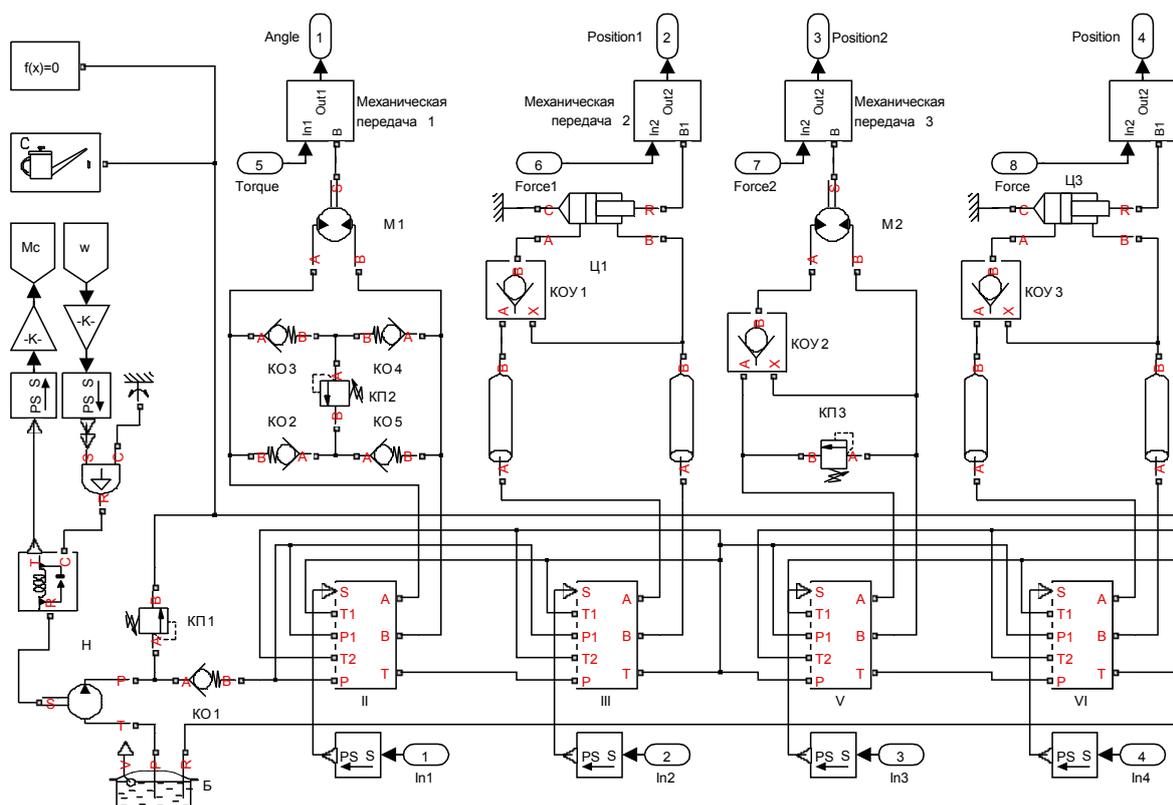


Рисунок 4 – Структурная схема подсистемы гидропривод стрелового грузоподъемного крана в Simulink

Двигатель внутреннего сгорания, оснащенный всережимным регулятором угловой скорости, описан известной системой уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} J \frac{d\omega_d}{dt} = M_d(\omega_d, z) - M_c; \\ M_d(\omega_d, z) = M'_d(\omega_d) + M_z - k_d z; \\ \nu \frac{dz}{dt} = (a + bz)\omega_d^2 \cdot i_p^2 - c_{пр} z - F; \\ 0 \leq z \leq z_{max}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где J – приведенный к валу ДВС момент инерции вращающихся частей; ω_d – угловая скорость коленчатого вала; M_d – крутящий момент на валу; M_c – момент сил сопротивления; $M'_d(\omega_d)$ – характеристика ДВС, аппроксимируемая конечным набором точек; z – перемещение муфты регулятора; k_d , a , b – постоянные настройки регулятора; $c_{пр}$ и F – жесткость и сила предварительного сжатия пружины; ν – коэффициент вязкого трения в регуляторе.

Часовой расход топлива (единица измерения: литр/час), определялся по формуле:

$$G_{ТЛ} = \frac{N_d \cdot g_e}{1000 \cdot \rho_T}, \quad (2)$$

где ρ_T – плотность топлива (кг/м^3); g_e – удельный расход топлива ($\text{кг/Вт} \cdot \text{час}$); N_d – мощность (Вт).

На рисунке 5 представлена структурная схема моделирования уравнений ДВС с регулятором в среде Simulink.

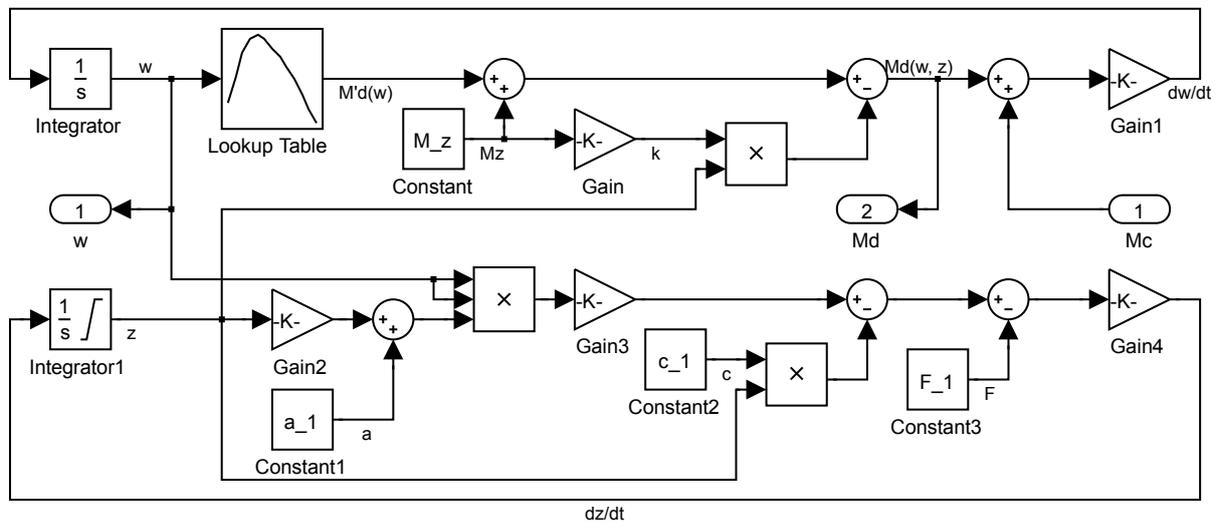


Рисунок 5 – Структурная схема моделирования двигателя внутреннего сгорания с регулятором в Simulink

В четвертой главе обоснован критерий энергетической эффективности перемещения груза в пространстве конфигураций СГК, который представляет собой затраты топлива, израсходованного ДВС:

$$\begin{aligned}
 Ae &= A_7 + A_8 + A_9 + A_{10} + A_T = \\
 &= \int_{q_{7нач}}^{q_{7кон}} G_7 dq_7 + \int_{q_{8нач}}^{q_{8кон}} G_8 dq_8 + \int_{q_{9нач}}^{q_{9кон}} G_9 dq_9 + \int_{q_{10нач}}^{q_{10кон}} G_{10} dq_{10} + T \cdot k_T, \quad (3)
 \end{aligned}$$

где $q_{iнач}$ и $q_{iкон}$ – соответственно начальное и конечное интервальные значения управляемой координаты q_i ; G_i – удельные энергетические затраты при изменении управляемой координаты q_i ; $i \in [7; 10]$ – номер управляемой обобщенной координаты; A_T – затраты топлива ДВС при некоторой заданной для рабочего режима угловой скорости вала в отсутствии перемещений рабочего оборудования; T – время перемещений; k_T – эмпирический коэффициент пропорциональности.

Управляемые координаты изменяются с рациональными скоростями, являющимися функциями массы поднимаемого груза и грузового момента, учитывающими конструктивные ограничения и ограничения, которые устанавливает человек-оператор. Целевая функция оптимизации рабочего процесса СГК: $Ae \rightarrow \min$.

На имитационной модели проведен полный факторный эксперимент. Экспериментальные исследования были проведены на СГК различных марок. В качестве примера представлены результаты экспериментальных

исследований и результаты имитационного моделирования крана Ивановец КС-45717. В процессе исследований были выявлены факторы, оказывающие влияние на удельные затраты топлива $G_7 \dots G_{10}$, значения управляемых координат: угла наклона стрелы q_8 , длины стрелы q_9 и массы груза $m_{гр}$. Установлено, что значения управляемых координат угла поворота платформы q_7 и длины грузового каната q_{10} не оказывают существенного влияния на изменения удельных затрат $G_7 \dots G_{10}$, создаваемых управляемыми координатами $q_7 \dots q_{10}$ на фоне затрат топлива в режиме холостого хода. Значения факторов q_8 , q_9 варьировались в пределах конструктивных ограничений СГК. Значение верхней границы предела варьирования фактора $m_{гр}$ определялось согласно диаграмме грузоподъемности СГК. По результатам обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, аппроксимирующие зависимости приращений удельных затрат топлива $G_7 \dots G_9$ относительно затрат топлива в режиме холостого хода при изменении управляемых координат $q_7 \dots q_9$ (единицы измерения: л/рад для q_7 и q_8 ; л/м для q_9):

$$\begin{aligned}
 G_7 \dots G_9 = & b_1 + b_2 \cdot m_{гр} + b_3 \cdot m_{гр}^2 + b_4 \cdot q_9 + b_5 \cdot q_9 \cdot m_{гр} + \\
 & + b_6 \cdot q_9 \cdot m_{гр}^2 + b_7 \cdot q_9^2 + b_8 \cdot q_9^2 \cdot m_{гр} + b_9 \cdot q_9^2 \cdot m_{гр}^2 + b_{10} \cdot q_8 + \\
 & + b_{11} \cdot q_8 \cdot m_{гр} + b_{12} \cdot q_8 \cdot m_{гр}^2 + b_{13} \cdot q_8 \cdot q_9 + b_{14} \cdot q_8 \cdot q_9 \cdot m_{гр} + \\
 & + b_{15} \cdot q_8 \cdot q_9 \cdot m_{гр}^2 + b_{16} \cdot q_8 \cdot q_9^2 + b_{17} \cdot q_8 \cdot q_9^2 \cdot m_{гр} + b_{18} \cdot q_8 \cdot q_9^2 \cdot m_{гр}^2 + \quad (4) \\
 & + b_{19} \cdot q_8^2 + b_{20} \cdot q_8^2 \cdot m_{гр} + b_{21} \cdot q_8^2 \cdot m_{гр}^2 + b_{22} \cdot q_8^2 \cdot q_9 + b_{23} \cdot q_8^2 \cdot q_9 \cdot m_{гр} + \\
 & + b_{24} \cdot q_8^2 \cdot q_9 \cdot m_{гр}^2 + b_{25} \cdot q_8^2 \cdot q_9^2 + b_{26} \cdot q_8^2 \cdot q_9^2 \cdot m_{гр} + b_{27} \cdot q_8^2 \cdot q_9^2 \cdot m_{гр}^2.
 \end{aligned}$$

Уравнение регрессии удельных затрат топлива G_{10} (единица измерения л/м), отнесенных к изменению управляемой координаты q_{10} , зависит только от одного из трех учитываемых факторов – массы груза $m_{гр}$, и имеет вид:

$$G_{10} = (b_1 + b_2 \cdot m_{гр})^2. \quad (5)$$

В уравнениях регрессии (4, 5) режимам подъема и опускания груза соответствуют разные значения коэффициентов. Все коэффициенты уравнений регрессии (4, 5), согласно t -критерию Стьюдента, значимы. Максимальная относительная погрешность аппроксимации не превышает 3,4%. Показатели качества полученных уравнений регрессии свидетельствуют о высокой объясняющей способности регрессии. В качестве примера на рисунке 6 представлены графические зависимости удельных затрат топлива при изменении управляемых координат, как функции технологических параметров рабочего процесса: q_8 , q_9 , $m_{гр}$.

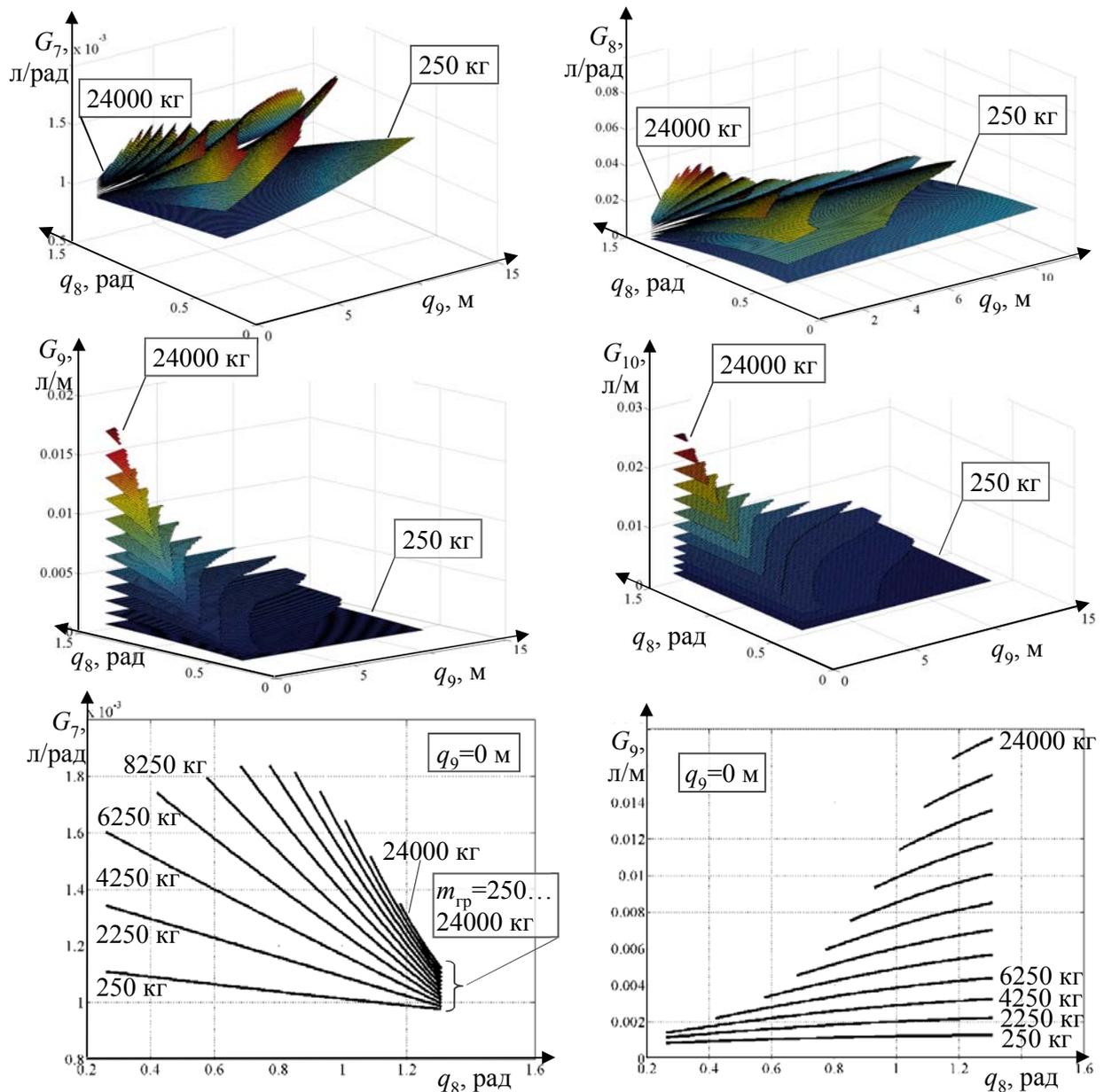


Рисунок 6 – Зависимости удельных затрат топлива, полученные по уравнениям регрессии в режиме опускания груза при значениях $m_{гр}$ от 250 до 24000 кг (пример)

Предложена методика оптимизации технологических параметров рабочего процесса СГК. Для решения обратной задачи кинематики СГК разработан алгоритм, блок-схема которого представлена на рисунке 7. Особенность алгоритма заключается в определении граничных значений интервалов ($[q_{8В}; q_{8Н}]$, ($[q_{9В}; q_{9Н}]$, ($[q_{10В}; q_{10Н}]$) управляемых координат и выборе решения из допустимых конфигураций механической подсистемы по значению одной из управляемых координат, заданному внутри соответствующего интервала с последующим определением значений двух оставшихся.

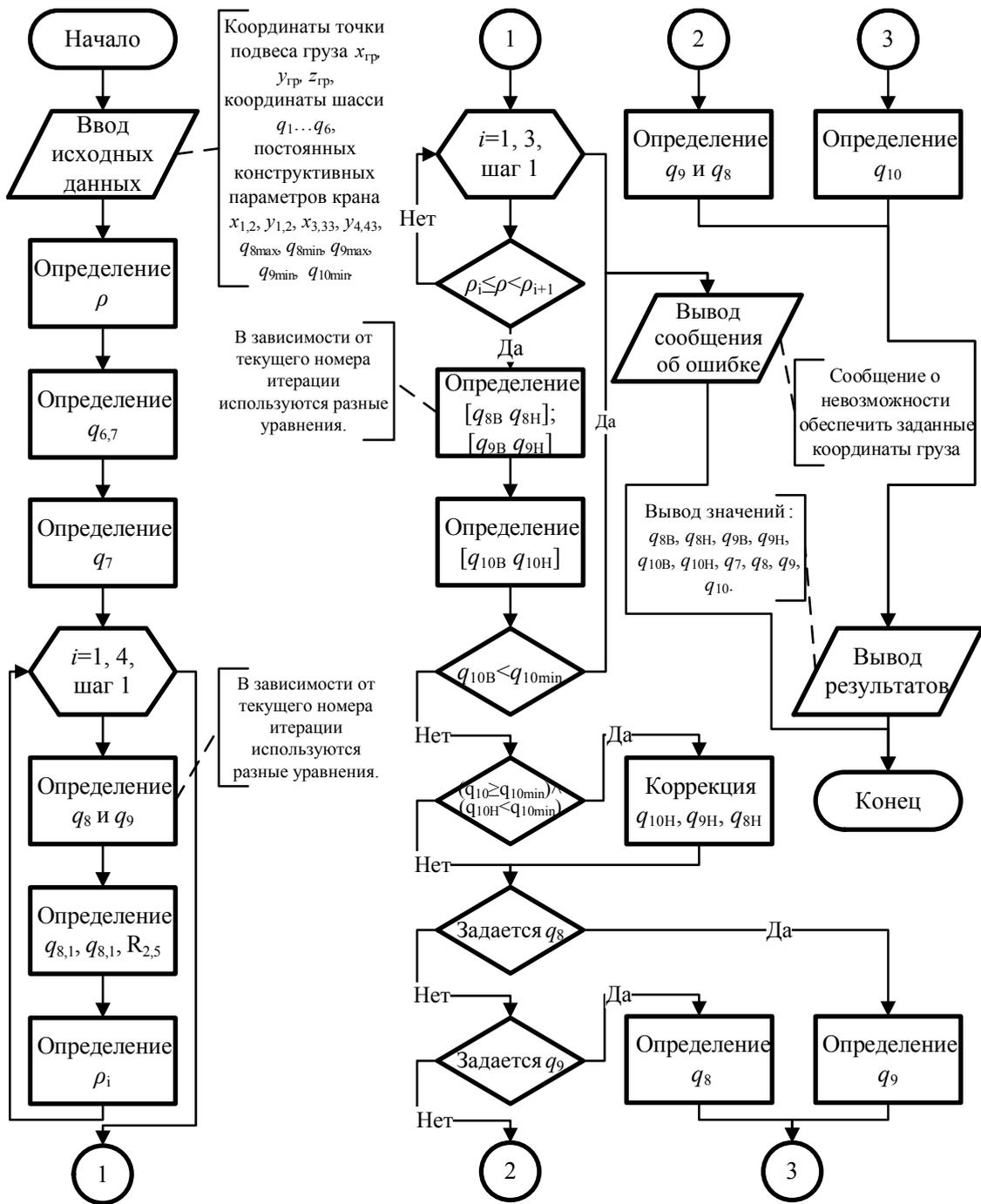


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма определения значений управляемых координат стрелового грузоподъемного крана

Блок-схема алгоритма определения оптимальных значений управляемых координат СГК для заданного перемещения груза приведена на рисунке 8. Данный алгоритм позволяет в автоматизированном режиме определять оптимальные значения управляемых координат СГК в начальной ($q_{7нач}$, $q_{8нач}$, $q_{9нач}$, $q_{10нач}$), конечной ($q_{7кон}$, $q_{8кон}$, $q_{9кон}$, $q_{10кон}$) и в промежуточных точках на всей траектории перемещения груза, используя критерий оценки энергетической эффективности. В качестве примера на рисунке 9 приведена зависимость критерия энергетической эффективности A_e от управляемых координат в начальной и конечной точках траектории.

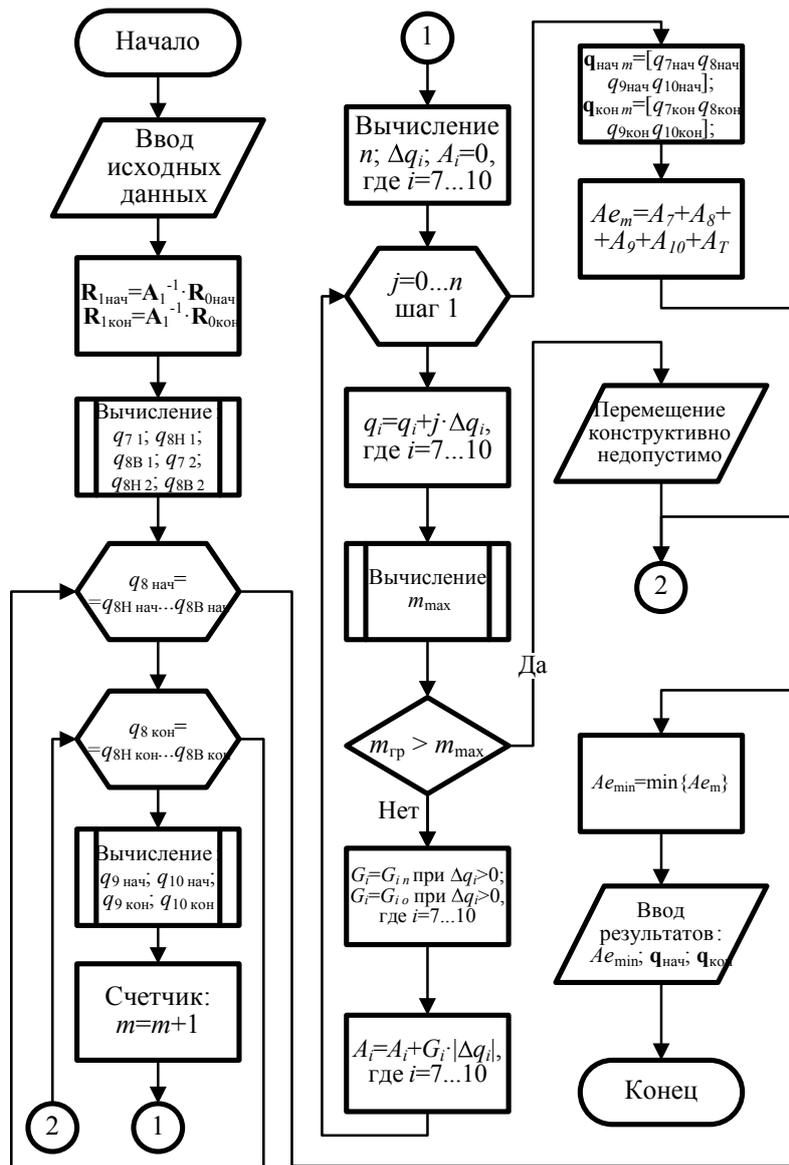


Рисунок 8 – Блок-схема алгоритма определения оптимальных значений управляемых координат стрелового грузоподъемного крана для заданной траектории перемещения груза

Эффективность СГК во многом определяется местом его установки на рабочей площадке. В связи с этим в работе был разработан алгоритм определения оптимальных значений координат базового шасси СГК относительно начального и конечного положений груза, с учетом запретных для расположения зон. Алгоритм заключается в оптимизации обобщенных координат базового шасси (q_1, q_3). В интервалах заданной области ($[x_{ш0min}; x_{ш0max}]; [z_{ш0min}; z_{ш0max}]$) положений начала системы координат, связанной с базовым шасси. С помощью двух вложенных циклов для каждого сочетания координат вычисляется значение целевой функции $Ae_{x_{ш0}, z_{ш0}}$ и выполняется проверка на принадлежность точки O_1 с координатами $x_{ш0}, z_{ш0}$ запретным зонам методом трассировки луча (рисунок 10). В качестве примера на рисунке 11 приведена зависимость критерия энергетической эффективности Ae от координат базового шасси q_1, q_3 .

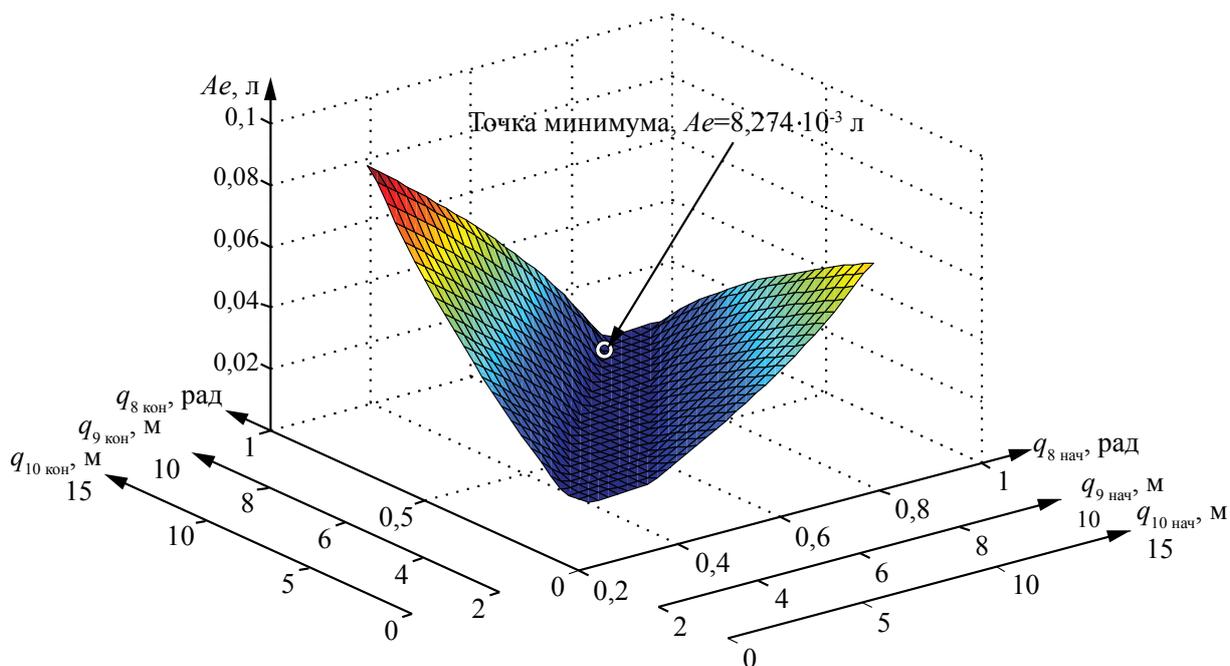


Рисунок 9 – Зависимость целевой функции от управляемых координат в начальной и конечной точках (пример)

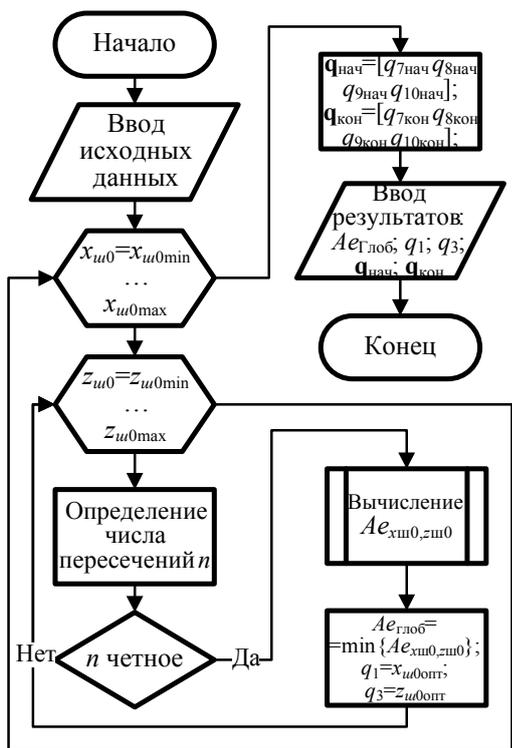


Рисунок 10 – Блок-схема алгоритма определения оптимальных значений координат базового шасси

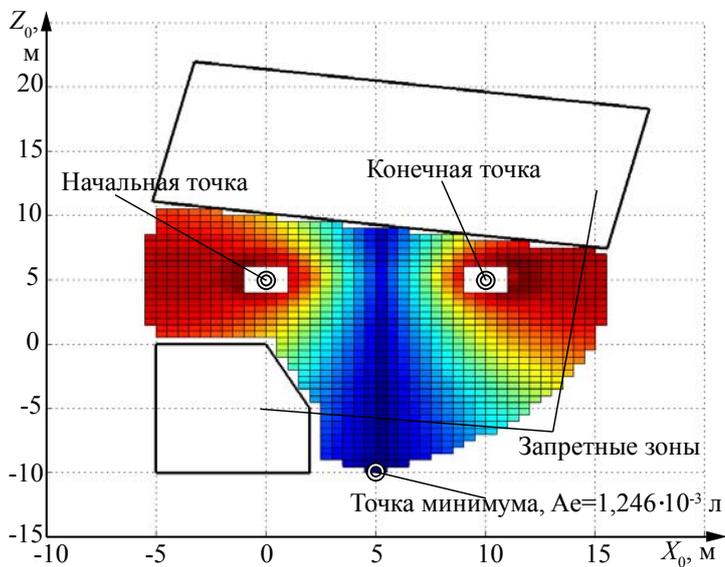


Рисунок 11 – Зависимость критерия энергетической эффективности Ae от положений базового шасси q1, q3 (пример)

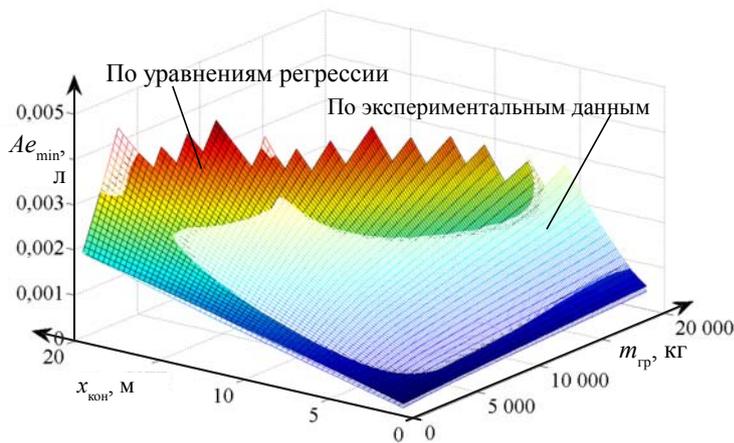


Рисунок 12 – Аппроксимация зависимости минимальных затрат топлива Ae_{\min} от массы перемещаемого груза $m_{\text{тр}}$ и расстояния между начальной и конечной точками $x_{\text{кон}}$ (пример)

начальной и конечной точками, массы груза. Проведена аппроксимация полученных зависимостей (рисунок 12).

Разработанные алгоритмы и методики легли в основу системы автоматизации моделирования СГК. Вид окна главного меню системы автоматизации моделирования СГК показано на рисунке 14, а. Графический интерфейс системы позволяет вводить параметры подсистем СГК и его элементов, параметры моделирования, возмущающие и управляющие воздействия, параметры вывода результатов в математическую модель (рисунок 14, б). Вывод

результатов моделирования осуществляется в графическом и табличном виде. Также возможен просмотр пространственных движений механической подсистемы СГК в виде трехмерной анимации (рисунок 14, в). Разработанное программное обеспечение внедрено в ОАО «Конструкторское бюро транспортного машиностроения» города Омска.

В пятой главе изложены результаты экспериментальных исследований СГК в реальных производственных условиях. Экспериментальные исследования производились на автокране Ивановец КС-45717К-2. В качестве регистратора параметров использовался прибор безопасности и его датчики, стационарно установленные на СГК.

На основе данной методики разработан модуль, входящий в состав системы автоматизации моделирования, подтверждающий работоспособность методики (рисунок 13). В качестве примера, иллюстрирующей работоспособность методики, получены зависимости критерия эффективности от высотных координат начальной и конечной точек, расстояния между

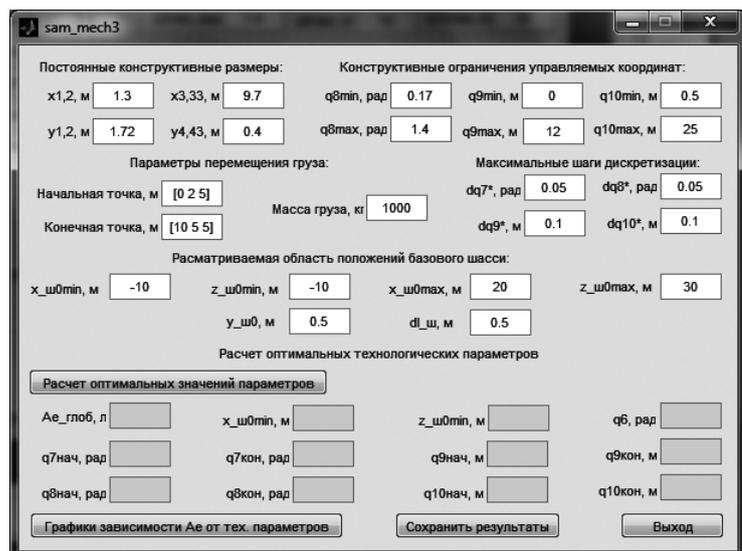
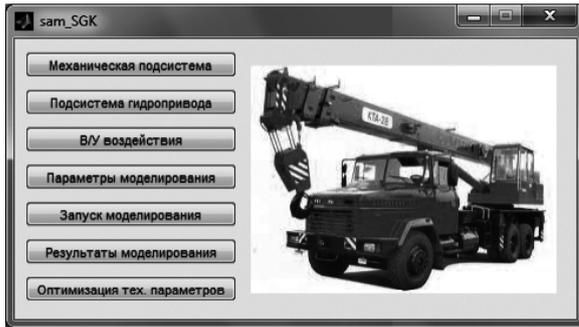


Рисунок 13 – Вид окна оптимизации параметров рабочего процесса



а)



б)



в)

Рисунок 14 – Графический интерфейс системы автоматизации моделирования СГК: а) вид окна главного меню; б) вид окна ввода параметров базового шасси СГК; в) вид окна трехмерной анимации механической подсистемы СГК в процессе моделирования (пример)

Проведенные экспериментальные исследования позволили составить уравнения регрессии максимальных рациональных скоростей изменения управляемых координат СГК от массы груза и грузового момента, получить численные значения параметров, входящих в математическую модель СГК и подтвердить адекватность математической модели. Расхождение значений параметров, полученных теоретически и экспериментально, не превышает 12%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработанные математические модели подсистем сложной динамической системы СГК: механической подсистемы, подсистемы гидропривода и ДВС, позволили решить задачи анализа, выявить закономерности влияния параметров модели на критерий эффективности. Проведенные экспериментальные исследования показали, что расхождения численных значений параметров не превышает 12%, что позволило подтвердить адекватность математических моделей.

2. Обоснованный критерий энергетической эффективности перемещения грузов в пространстве конфигураций СГК, представляет

собой приращение расхода топлива по управляемым обобщенным координатам относительно расхода топлива в режиме холостого хода;

3. Полученные многофакторные регрессионные уравнения, устанавливающие взаимосвязь удельных энергетических затрат при изменении управляемых координат СГК, от технологических параметров рабочего процесса, позволили определить расход топлива ДВС при выполнении заданных перемещений грузов, оптимизировать траектории перемещения груза по энергетическому критерию;

4. Разработанные методика и алгоритмы оптимизации технологических параметров рабочего процесса СГК позволили выявить закономерности, связывающие технологические параметры с критерием эффективности. Предложенные методика и алгоритм позволяют, в автоматизированном режиме путем оптимизации технологических параметров рабочего процесса СГК для различных значений конструктивных параметров, решать задачи синтеза оптимальных конструктивных параметров СГК;

5. Разработанные алгоритмы и программное обеспечение подтвердило эффективность предложенных методик оптимизации технологических параметров рабочего процесса и методику автоматизации моделирования сложной динамической системы СГК.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

В изданиях из перечня ВАК:

1. Котькин С.В., Кобытов М.С., Щербаков В.С. Методика решения обратной кинематической задачи грузоподъемного крана // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2011. № 2 (20). С. 71–76.

2. Котькин С.В., Софин А.Н. Моделирование рабочего оборудования гидравлического экскаватора с помощью Matlab // Вестник Академии военных наук. 2011. № 2 (35). С. 179–185.

3. Котькин С.В., Кобытов М.С., Щербаков В.С. Экспериментальные исследования рабочего процесса стрелового гидравлического автокрана // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. № 1 (24). С. 73–78.

4. Котькин С.В., Кобытов М.С., Щербаков В.С. Построение регрессионной модели определения энергетических затрат рабочего процесса грузоподъемного крана // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8, № 3. С. 92–95.

В других изданиях:

5. Котькин С.В. Simmechanics как система автоматизации моделирования строительных и дорожных машин // Сборник научных трудов. Вып. 8. Омск: ОИВТ (филиал) ФГОУ ВПО НГАВТ, 2010. С. 100–104.

6. Котькин С.В. Использование Simmechanics при моделировании рабочего оборудования строительных и дорожных машин // Теоретические

знания – в практические дела: Сборник научных статей XI Всероссийской научно-инновационной конференции аспирантов, студентов и молодых ученых. Ч. 2. Омск: Филиал ГОУ ВПО «РосЗИТЛП» в г. Омске, 2010. С. 156–158.

7. Котькин С.В. Моделирование элементов рабочего оборудования строительных машин в Simmechanics // Материалы 64 научно-технической конференции ГОУ «СибАДИ» в рамках юбилейного международного конгресса, посвященного 80-летию академии. Кн. 1. Омск: СибАДИ, 2010. С. 306–310.

8. Котькин С.В. Моделирование механической подсистемы рабочего оборудования гидравлического экскаватора в Matlab // Теоретические знания – в практические дела: Сборник научных статей XII Международной научно-инновационной конференции аспирантов, студентов и молодых ученых. Ч. 2. Омск: Филиал ГОУ ВПО «РосЗИТЛП» в г. Омске, 2011. С. 337–341.

9. Котькин С.В., Щербаков В.С., Корытов М.С. Simulink-модель двигателя внутреннего сгорания грузоподъемного крана // Вестник Сибирского отделения Академии военных наук. 2011. № 10. С. 393–398.

10. Котькин С.В. Моделирование стрелового грузоподъемного крана в среде Simulink // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы I всероссийской научно-технической конференции 23–25 ноября 2011 г. Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2011. С. 588–593.

11. Котькин С.В., Корытов М.С. Обоснование критерия оценки эффективности перемещения груза грузоподъемным краном // Научные труды молодых ученых, аспирантов и студентов. Межвузовский сборник. Вып. 9. Омск: СибАДИ, 2012. С. 116–119.

12. Электронный ресурс «Алгоритм оптимального по энергетическим затратам управления рабочим оборудованием стрелового грузоподъемного крана для реализации заданного перемещения груза в пространстве»: свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЕРНИО № 18055 / С.В. Котькин, М.С. Корытов, В.С. Щербаков. Инв.номер ВНТИЦ № 50201250381; заявл. 03.03.2012; опубл. 26.03.2012. 1 с.

Подписано к печати 10.04.2012.
Формат 60×90 1/16. Бумага писчая
Оперативный способ печати
Гарнитура Times New Roman
Усл. п. л. 1,25, уч.-изд. л. 0,95.
Тираж 120 экз. Заказ № 121