

На правах рукописи



ТЕЛИМАН ИРИНА ВИКТОРОВНА

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ
И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ
МЕХАНИЗМОВ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА**

05.05.06 – «Горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2021

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

Научный руководитель –

Доктор технических наук, профессор Комиссаров Анатолий Павлович

Официальные оппоненты:

Герике Борис Людвигович, доктор технических наук, профессор, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Кемерово), главный научный сотрудник института угля;

Кривенко Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС» (г. Москва), доцент кафедры горного оборудования.

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (г. Санкт-Петербург).

Защита состоится 01 марта 2022 г. в 10-00 часов

(дата, время)

на заседании диссертационного совета Д 212.280.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» <http://www.ursmu.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
профессор, д.т.н.



Хазин Марк Леонтьевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях активного развития горнодобывающего сектора происходит рост доли открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых. Следует отметить тот факт, что увеличение объемов добычи полезных ископаемых открытым способом зависит от объемов и методов выемочных работ.

Основным технологическим оборудованием, выполняющим до 80 % от общего объема работ по выемки и перемещению полезных ископаемых, при производстве работ открытым способом, являются гидравлические экскаваторы. Следовательно, эффективная и высокопроизводительная работа гидравлического экскаватора прямо влияет на эффективность и рентабельность ведения горных работ.

Важным фактором развития горнодобывающей отрасли сегодня выступает повышение надежности технологических машин, а именно энергоэффективности, долговечности и ремонтпригодности оборудования.

На современном этапе развития горнодобывающей техники, все более широкую нишу занимает использование карьерных экскаваторов с гидравлическим приводом рабочего механизма, так как гидравлические карьерные экскаваторы обладают рядом технических и технологических преимуществ перед электромеханическими карьерными экскаваторами, основными из которых являются:

- возможность реализации всей установленной мощности привода в каждом исполнительном механизме;
- повышенная кинематическая подвижность рабочего органа (ковша).

Однако на практике реализация данных преимуществ сопряжена с рядом технических трудностей, большая часть которых связана со структурными особенностями рабочего оборудования. Обзор выполненных исследований показывает, что методики обоснования и выбора параметров главных исполнительных механизмов рассмотрены не в полной мере. Повышение эффективности функционирования данных механизмов экскаватора, рассматриваемого как основной вид выемочно-погрузочного оборудования на карьерах, позволит существенно повысить технико-экономические показатели горных предприятий за счет повышения эффективности проведения основных операции при выемке полезных ископаемых экскаватором, а так же за счет повышения межремонтного периода всего задействованного оборудования.

Выбор перспективных конструктивных схем рабочего оборудования, также затруднен, так как вопросы функционирования карьерных гидравлических экскаваторов как сложной многопараметрической системы изучены в неполной мере, качественная оценка конструктивных решений производится в большей степени по отдельным техническим показателям оборудования без учета влияния рассматриваемого параметра на остальные процессы.

В связи с этим **тема** исследования, обоснование методики выбора рациональных конструктивных и режимных параметров работы исполнительных

механизмов основного оборудования гидравлического экскаватора **является актуальной научной задачей** и соответствует потребностям развития производственной базы горнорудных предприятий.

Степень научной разработанности темы исследования.

Весомый вклад в развитие теоретической школы расчета и проектирования карьерных гидравлических экскаваторов и проектирования и конструирования оборудования для открытых горных работ внесли: М. С. Балаховский, Р. Ю. Подэрни, В. Р. Кубачек, Л. С. Скобелев, Г. С. Бродский, В. М. Штейнцайг, Р. М. Штейнцайг, В. Г. Мерзляков, К. Е. Веницкий, А. В. Самозов, Б. И. Сатовский, Б. В. Слесарев, В. Н. Гетопанов, Д. П. Волков, Л. И. Кантович, П. А. Зыков, А. В. Королев, А. В. Раннев, Н. Н. Мельников, Л. А. Андреева, Г. Ю. Козин, В. И. Русихин, А. П. Комиссаров, М. Г. Рахутин, П. Булес, а так же ряд зарубежных ученых: Висбек З., Вэблер Д., Frimpong S., Hall A., Кельш Х. Р., Le Q. H., Liu J., Rath H., Stefanov Gose.

Однако, необходимо отметить тот факт, что, несмотря на тенденцию преобладания гидравлических экскаваторов в секторе открытых горных работ, это вид выемочного оборудования имеет недостатки, которое обусловлено низкой эффективностью преобразования гидравлической энергии в механическую, кроме известного эффекта «выдавливании» породы из массива. Основными недостатками гидравлических экскаваторов являются следующие:

- осуществление высоких рабочих нагрузок ведет за собой увеличение металлоемкости рабочего оборудования, что, в свою очередь, влечет за собой повышение массогабаритных характеристик указанного оборудования;
- энергопотребление на экскавацию горной массы возрастает, ввиду того, что главный рабочий механизм действует совместно с эффектом регенерации гидравлической энергии «обратимыми» гидроцилиндрами;
- значительно усложняется управление процессом работы ковша, т.к. необходимо одновременно регулировать режимные параметры главных рабочих механизмов.

Нагрузки на рабочее оборудование и главные механизмы изменяются в широком диапазоне ввиду:

- 1) эффекта мультипликативности рабочих нагрузок при их передаче на «предыдущие» механизмы.
- 2) изменения моментов сил при выдвигании поршней со штоками гидроцилиндров. Это приводит к срабатыванию предохранительных клапанов и снижению производительности гидравлического экскаватора.

Приведенные положительные и отрицательные особенности работы гидравлических карьерных экскаваторов определили, в свою очередь, перспективные направления развития и совершенствования конструкций:

- совершенствование кинематических схем рабочего оборудования, что позволит упростить управление и увеличить область использования гидравлических экскаваторов;

– повышение эффективности энергосберегающих приводов, что позволит уменьшить энергопотребление при возрастании энерговооруженности.

Цель работы – повышение эффективности функционирования гидравлического экскаватора с обратной лопатой.

Задачи работы:

– определение кинематических и динамических передаточных функций (переменных передаточных механизмов) главных механизмов, являющихся рычажно-гидравлическими механизмами;

– определение соотношений между режимными параметрами главных механизмов при функционировании в режимах с действием активных и реактивных нагрузок;

– обеспечение условий эффективной передачи нагрузок между рычажно-гидравлическими механизмами.

Научная новизна полученных результатов заключается:

- в разработке математической модели для определения параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора;

- в разработке методики оценки нагруженности главных механизмов гидравлических экскаваторов на основе силовых передаточных функций, учитывающих кинематические свойства рычажно-гидравлических механизмов как при определении активных, так и реактивных нагрузок;

- в обосновании рациональных режимных параметров исполнительных механизмов рабочего оборудования гидравлического экскаватора, в частности, установлении зависимостей для определения кинематической и динамической передаточных функций главных механизмов.

Теоретическая значимость работы состоит:

- в разработке нового подхода к исследованию условий функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора.

- пополнении знаний в области совершенствования основных механизмов гидравлических экскаваторов.

Практическая значимость работы состоит:

- в разработке имитационной модели функционирования рабочего оборудования гидравлического экскаватора;

- в установлении взаимовлияния вида кинематической схемы и геометрических параметров механизмов рабочего оборудования на величину активных (определяемых по передаточным функциям механизмов) и реактивных нагрузок.

Методология и методы диссертационного исследования: использование достаточного объема статистической информации. При выполнении теоретических исследований использовались современные методики сбора и обработки исходной информации, основные положения и методы математического моделирования, методы теории машин и механизмов, имитационное моделирование.

Положения, выносимые на защиту:

1. Режимные параметры главных механизмов (механизмов поворота стрелы, рукояти и ковша), т. е. скорости ведомых звеньев и движущие (активные) силы (или моменты), действующие на ведомых звеньях зависят от положений звеньев механизмов и определяются значениями передаточных кинематических и динамических функций.

2. Рациональная форма динамических передаточных функций должна соответствовать закону изменения внешних нагрузок (сопротивлений) для механизма поворота ковша.

3. Выбор режимных параметров экскаватора должен основываться на анализе реактивных нагрузок с учетом динамических передаточных функций.

Степень достоверности подтверждается: корректным использованием методов математического моделирования, современного вычислительного оборудования и компьютерного программного обеспечения, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, расхождение между которыми не превышает 7...8 %.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических и практических конференциях: международной научно-практической конференции «Горная и нефтяная электромеханика 2016-2018», (г. Пермь), международной научно-технической конференции «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Чтения памяти В. Р. Кубачека» (г. Екатеринбург, 2017-2019), международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» (г. Севастополь, 2019), международном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2020-2021).

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2021-138/3).

Личный вклад автора заключается:

- в непосредственном участии во всех этапах диссертационного исследования: проведении экспериментальных исследований, статистической обработке с описанием полученных результатов, написании и оформлении рукописи диссертации, основных публикаций по выполненной работе;

- в работах, опубликованных в соавторстве;

- в разработке рекомендаций по определению степени совершенства конструктивных схем механизмов рабочего оборудования за счет оценки режимов работы гидравлического экскаватора;

- в моделировании напряженно-деформированного состояния основных механизмов рабочего оборудования гидравлического экскаватора, учитывающего взаимовлияния вида кинематической схемы и геометрических параметров механизмов рабочего оборудования на величину активных и реактивных нагрузок;

- в разработке методики оценки нагруженности главных механизмов гидравлических экскаваторов на основе силовых передаточных функций.

Реализация выводов и рекомендаций работы:

- предложена методика расчета рациональных параметров рабочей зоны экскаватора;

- предложена методика определения усилий копания в пределах рабочей зоны и элементах рабочего оборудования;

- получено Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом в Республике Казахстан на Программу для ЭВМ «Расчеты кинематических и силовых параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора обратная лопата».

- полученные результаты работы обсуждены и рассмотрены техническим советом предприятий ТОО «DBD Альянс» и КФ ТОО «ТОО ГАНЗА ФЛЕКС Гидравлик Алматы», получен акты о возможности внедрения результатов исследования в производственный процесс технического обслуживания и ремонта технологического оборудования.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 13 статей и тезисов докладов работ, в том числе 3 из перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, входящих в группу научных специальностей 05.05.0 - транспортное, горное и строительное машиностроение, 1 работа из рецензируемого журнала базы Scopus, 1 работа из рецензируемого журнала базы Web of Science.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и пяти приложений. Материал диссертации изложен на 122 страницах машинописного текста, в том числе содержит 7 таблиц, 42 рисунка, библиографический список из 75 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы, сформулированы цель и идея работы, изложены защищаемые научные положения, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов исследований.

В первой главе приведен анализ результатов выполненных научно-исследовательских работ по гидравлическим экскаваторам, приведены основные технические и технологические особенности данного вида технологических машин, дана предварительная оценка технического уровня конструкции карьерных гидравлических экскаваторов, приведены основные направления совершенствования, сформулированы задачи исследований.

Во второй главе на основе анализа особенности функционирования и проектирования гидравлических экскаваторов проведен структурный, кинематический и силовой анализы главных рычажно-гидравлических механизмов рабочего оборудования.

В третьей главе на основе проведенного математического моделирование рабочего процесса гидравлического экскаватора приведены оценка

нагруженности рабочего оборудования гидравлического экскаватора, определены соотношения активных и реактивных нагрузок в механизмах рабочего оборудования гидравлического экскаватора, получены выражения для определения кинематических передаточных функций механизмов;

В четвертой главе приведена методика расчета параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора Komatsu PC-1250SP-7. Приведены результаты эксперимента и результаты обработки полученных данных. осуществлен выбор параметров главных исполнительных механизмов гидравлического экскаватора.

В пятой главе произведено моделирование и расчет напряженно-деформированного состояния рабочего оборудования гидравлического экскаватора. Приведены результаты эксперимента и результаты обработки полученных данных – изменения геометрии стрелы гидравлического экскаватора Komatsu PC-1250SP-7.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Положение 1. *Режимные параметры главных механизмов (механизмов поворота стрелы, рукояти и ковша), т. е. скорости ведомых звеньев и движущие (активные) силы (или моменты), действующие на ведомых звеньях зависят от положений звеньев механизмов и определяются значениями передаточных кинематических и динамических функций.*

Гидрофицированное рабочее оборудование (рисунок 1) и главные механизмы (механизмы поворота стрелы, поворота рукояти и поворота ковша) гидравлического экскаватора представляют собой систему последовательно соединенных гидромеханических агрегатов, состоящих из двигателя (гидроцилиндра) и рычажно-гидравлического механизма, звеньями которого являются элемент рабочего оборудования (стрела, рукоять или ковш), а также собственно цилиндр и поршень со штоком. Следовательно, главные механизмы являются рычажными механизмами.

Наличие кинематической связи между двигателем и звеньями рычажно-гидравлического механизма обуславливает специфические кинематические свойства рычажно-гидравлического механизма, зависящие от положения двигателя (цилиндра) относительно остальных звеньев механизма.

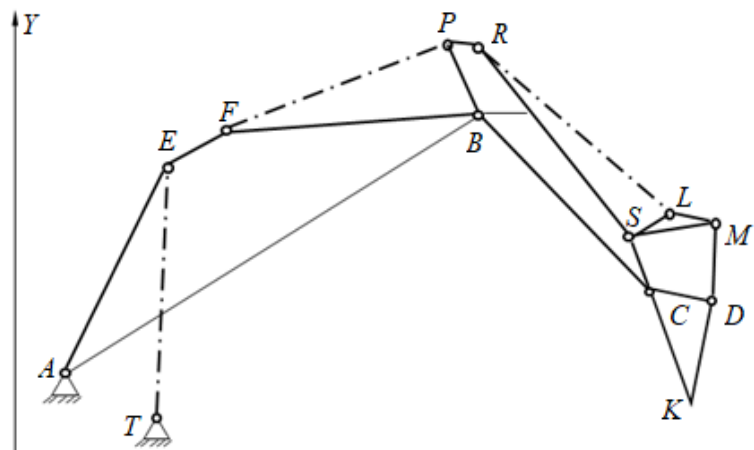


Рис. 1. Схема рабочего оборудования типа обратная лопата гидравлического экскаватора: AEFB - гидроцилиндры стрелы; BPRSC – гидроцилиндры рукояти; CDK – гидроцилиндры ковша

Основной задачей кинематического анализа рычажно-гидравлических механизмов является определение кинематических свойств механизмов, т. е. установления закономерностей формирования кинематических параметров – угловых скоростей ведомых звеньев (стрелы, рукояти и ковша) и скоростей отдельных точек звеньев механизма.

Положения звеньев механизма поворота рукояти определяются в зависимости от положений звеньев механизма поворота стрелы, а положения звеньев механизма поворота ковша определяются в зависимости от положений звеньев как механизма поворота стрелы, так и механизма поворота рукояти (рис. 2).

Силовой анализ механизма заключается в определении реакций в кинематических парах при заданных внешних нагрузках.

Силовой анализ механизмов поворота стрелы и поворота рукояти проводится при функции механизмов как в активном, так и пассивном (при дей-

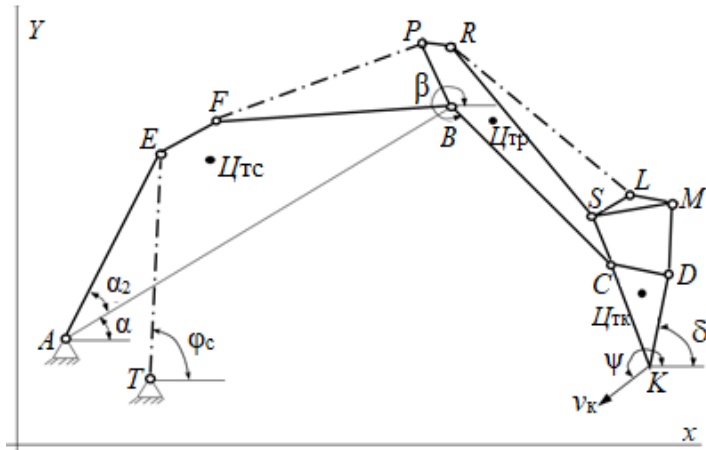


Рис. 2. Схема к определению параметров рабочей зоны и положений элементов рабочего оборудования: α , α_2 , φ_c , β , ψ – углы для расчета координат точек элементов рабочего оборудования; v_k – скорость перемещения зубьев ковша; A , T , E , F , P , R , B , S , L , M , C , D – шарниры; K – вершина зуба ковша

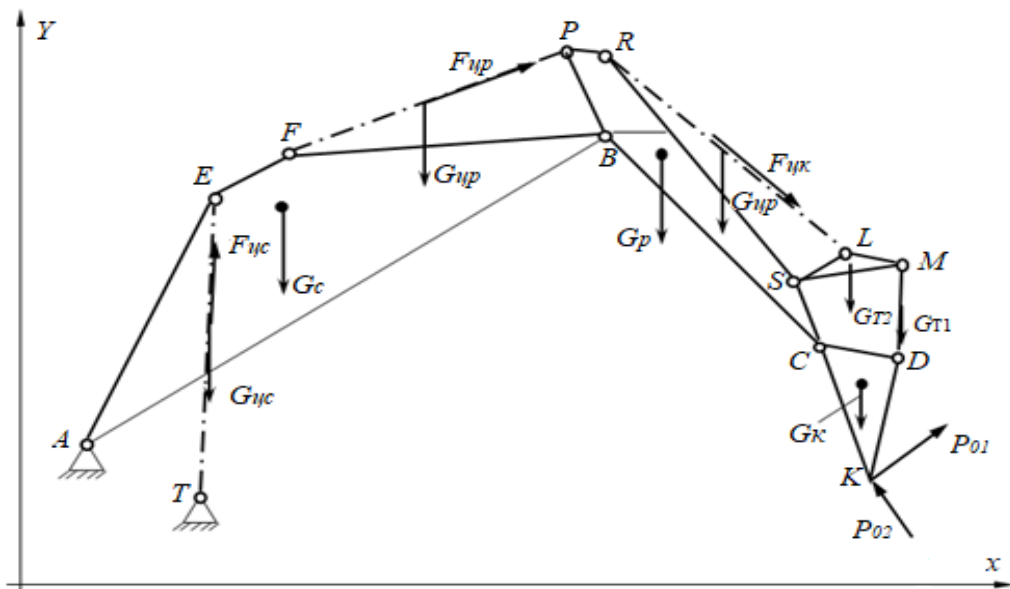


Рис.3. Схема к определению усилий:

G_c , G_p , G_k , $G_{цс}$, $G_{цр}$, $G_{цк}$, $G_{т1}$, $G_{т2}$ – силы тяжести стрелы, рукояти, ковша, цилиндров стрелу, рукояти, ковша; P_{01} , P_{02} – касательная и нормальная составляющие усилия сопротивления копанью; $F_{цс}$, $F_{цр}$, $F_{цк}$ – усилия на штоках гидроцилиндров

ствии реактивных нагрузок ,передаваемых от механизмов поворота ковша и поворота рукояти при копании) (рис.3).

Условие равновесия стрелы при активном режиме составит (рис 2.8):

$$\begin{aligned} \sum M_A = F_{учh_A} - G_{yc}(X_T + X_E) - X_A) - G_C(X_{YTC} - X_A) - G_{YP}(0.5(X_F + X_P) - X_A) - \\ G_p(X_{y_{TP}} - X_A) - G_{yK}(0.5(X_R + X_L) - X_A) - G_{TT}(X_{y_{TT}} - X_A) - G_T(0.5(X_M + X_D) - X_A) - \\ G_{K+П}(X_{y_{TK}} - X_A) = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где F_{yc} -усилие на штоке гидроцилиндра поворота стрелы;

h_A – плечо усилия F_{yc} относительно точки А;

$G_{yc}, G_C, G_{yp}, G_p, G_{yK}, G_{TT}, G_T, G_{K+П}$ –силы тяжести гидроцилиндра поворота стрелы ,стрелы, гидроцилиндра поворота рукояти, рукояти, гидроцилиндра поворота ковша, тяги треугольной LSM,тяги DM и груженого ковша.

Условие равновесия стрелы при пассивном режиме функционирования составит:

$$\begin{aligned} \sum M_A = F_{ycП}AE \sin \varphi - G_{yc}(0.5(X_T + X_E) - X_A) - \dots G_{K+П}(X_{y_{TK}} - X_A) + \\ F_{CX}^T(Y_A - Y_K) + F_{CY}^T(X_K - X_A) - F_{CX}^h(Y_A - Y_K) + F_{CY}^h(X_K - X_A) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

где F_{CX}^T, F_{CY}^T –проекции касательной составляющей силы сопротивления копанию на координатной оси;

F_{CX}^n, F_{CY}^n –проекции нормальной составляющей силы сопротивления копанию на координатные оси

Условие равновесия рукояти при пассивном режиме функционирования составит:

$$\begin{aligned} \sum M_B = F_{yp}h_B + G_{yp}(0.5(X_F + X_P) - X_B) - G_p(X_{U_{TP}} - X_B) - \dots - \\ -G_{K+П}(X_{y_{TK}} - X_B) + F_{CX}^T(Y_B - Y_K) + F_{CY}^T(X_K - X_B) + F_{CX}^n(Y_B - Y_K) + \\ +F_{CY}^n(X_K - X_B) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Условие равновесия ковша при активном режиме функционирования механизма поворота ковша составит:

$$\sum M_C = F_D h_C - G_K(X_{ЦTK} - X_C) - 0.5G_T(X_D - X_K) = 0 \quad (4)$$

где F_D -усилие, действующее в точке D и направленное перепендикулярно линии CD

h_C –плечо усилия F_D относительно точки C ,т.е. $h_C = CD$

Положение 2. Рациональная форма динамических передаточных функций должна соответствовать закону изменения внешних нагрузок (сопротивлений) для механизма поворота ковша.

Если уравнение движения механизма представлено линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами, то динамическая передаточная функция полностью определяет динамические свойства механизма при любых заданных законах изменения сил. Отсюда и происходит ее название.

Кинематические передаточные функции механизма непосредственно определяют только его кинематические свойства. Однако они входят в коэффициенты уравнения движения механизма и совместно с динамическими пе-

редаточными функциями дают возможность провести качественное исследование динамических свойств механизма.

На основе кинематического и силового анализа главных механизмов гидравлического экскаватора получены аналитические выражения для расчета кинематической $ПФ_V$ и силовой $ПФ_F$ передаточных функций.

Зависимости для определения передаточных функций главных механизмов имеют вид:

$$ПФ_V = \frac{V_{B.ЗВ}}{V_{шт}} = f_1(l_i, \alpha_j); \quad (5)$$

$$ПФ_F = \frac{F_{B.ЗВ}}{F_{шт}} = f_2(l_i, \alpha_j, G_i), \quad (6)$$

где $V_{B.ЗВ}$ – скорость ведомого звена механизма, т. е. скорости точки B стрелы, точки C рукояти и точки K ковша (скорость копания) соответственно;

$V_{шт}$ – скорость перемещения штока гидроцилиндра;

l_i – размеры (длины) звеньев механизма; α_j – углы, определяющие положения звеньев при перемещении штока гидроцилиндра;

$F_{шт}$ – усилие, действующее на штоке гидроцилиндра;

G_i – силы тяжести звеньев механизмов поворота стрелы, поворота рукояти и поворота ковша.

Динамическая передаточная функция рычажно-гидравлического механизма представляет собой функциональную зависимость между соотношением нагрузок, действующих на ведомом и ведущем звеньях механизма, и относительным перемещением поршня гидроцилиндра.

Она совместно с функцией положения механизма и кинематической передаточной функцией дает возможность провести качественные исследования динамических свойств механизма.

Данная функция определяет механическую характеристику механизма, зависимость соотношений между моментом на ведомом звене и усилием на штоке гидроцилиндра в зависимости от положений звеньев рычажно-гидравлического механизма.

Как видно из графика (рис.4), силовые параметры на ведомых звеньях (сила F_K и

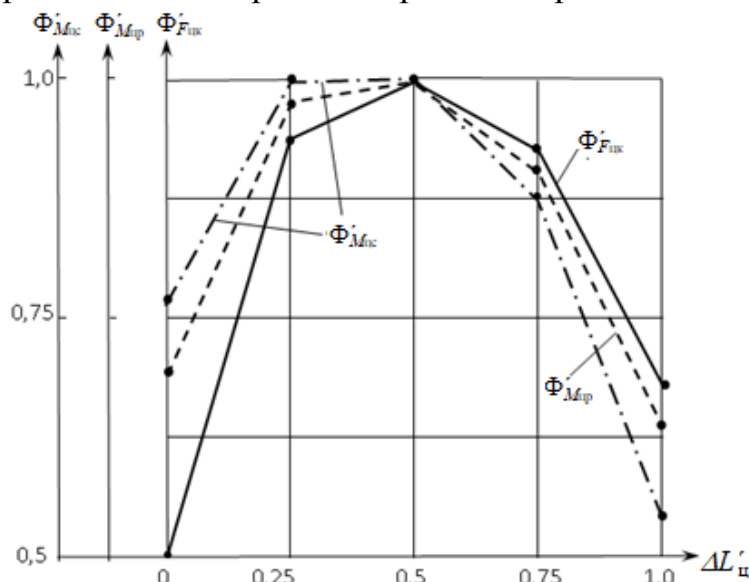


Рис. 4. Графики силовых передаточных функций главных механизмов:

$\Phi'_{Мцс}$, $\Phi'_{Мцр}$, $\Phi'_{Fцк}$ – относительные значения $\Phi' = \Phi / \Phi_{max}$ передаточных функций механизмов поворота ковша, рукояти и стрелы;

$\Delta L'_ц$ – относительная величина выдвигания штока гидроцилиндра

моменты M_p и M_c) существенно изменяются (в 1,5-2 раза) в течение рабочего хода при заданных параметрах двигателя.

Следовательно, при выдвигании поршня изменяется полная длина гидроцилиндра L_R и, соответственно, изменяется величина вращающегося момента на ковше.

На рис.5 приведена динамическая передаточная функция механизма поворота ковша.

Рабочая характеристика гидравлического экскаватора определяет фактические области рабочей зоны, в которых реализуются усилия на режущей кромке ковша из условия несрабатывания предохранительного клапана при действии реактивных усилий с учетом передаточных функций рабочих механизмов.

Положение 3. Выбор режимных параметров экскаватора должен основываться на анализе реактивных нагрузок с учетом динамических передаточных функций.

Условия эффективного функционирования механизма поворота ковша составит:

$$M_{к.а.р} \leq M_{а.к} M_{к.коп.р} \leq M_{а.к} \quad (7)$$

Условия эффективного функционирования механизма поворота рукояти:

$$M_{р.а.р} \leq M_{а.р}; M_{р.коп.р} \leq M_{а.р}; M_{р.п.р} \leq M_{а.р} \quad (8)$$

Условия эффективного функционирования механизма поворота стрелы:

$$M_{с.а.р} \leq M_{а.с}; M_{с.п.р} \leq M_{а.с} \quad (9)$$

При превышении значений рабочих и «реактивных» нагрузок, а также «активной» нагрузки необходимо изменить размеры гидроцилиндра и площадь поршневой полости.

Соблюдение размеров гидроцилиндра и площади поршневой полости, то есть условий эффективного функционирования главных механизмов, позволит повысить производительность экскаватора за счет надежного восприятия внешних нагрузок главными механизмами и передачи их на опорное устройство экскаватора.

Энергоемкость и производительность существенным образом зависят от выбора рациональных параметров рабочего оборудования.

Для реализации поставленных в методике задач была создан программный комплекс. Этот программный комплекс зарегистрирован как объект авторского права, получено свидетельство о внесении в Государственный Ре-

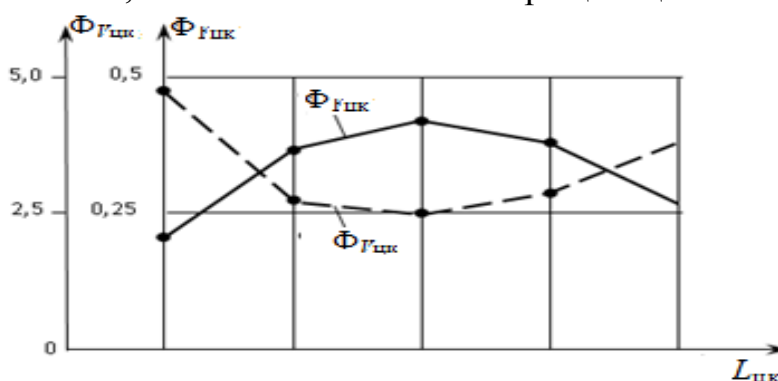


Рис. 5. График передаточных функций механизма поворота ковша: $\Phi_{вцк}$, $\Phi_{гцк}$ – кинематическая и силовая передаточные функции механизма поворота ковша; $L_{цк}$ – ход штока гидроцилиндра механизма поворота ковша

есть Республики Казахстан программы для ЭВМ «Расчет кинематических и силовых параметров гидравлического экскаватора обратная лопата».

Программа представляет собой одну самостоятельную книгу Microsoft Excel «ГЭ-обратная лопата», включающая листы, программные модули на Visual Basic для приложений, форму настройки параметров Visual Basic.

Расчет режимных параметров исполнительных механизмов рабочего оборудования гидравлического экскаватора произведен на примере гидравлического экскаватора Komatsu PC-1250SP-7. Согласно Акта выхода из строя №81510062017 от 10 июня 2017г. экскаватора Komatsu PC1250SP-7 борт №815 была обнаружена трещина на стреле (рис.6).



Рис.6. Трещина на стреле экскаватора Komatsu PC1250SP-7

В программном комплексе произведен расчет возможных режимов работы экскаватора. По данным таблицы (при выборе задания с выводом изображений) автоматически строятся траектории. Результаты проведенных исследований представлены в виде графиков (рис.7):

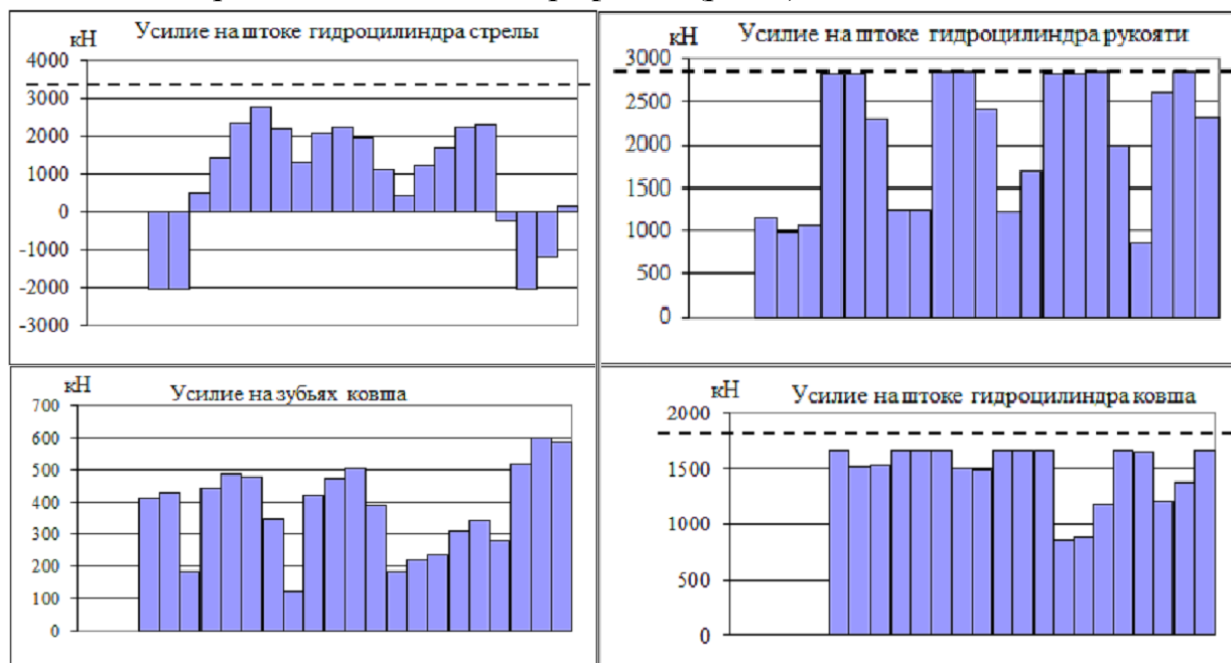


Рис.7. Усилия на штоках гидроцилиндров рабочего оборудования

По нагрузкам на рабочее оборудование определяются расчетные напряжения, которые могут быть использованы при проектировании новых моделей гидравлических экскаваторов и анализе причин выхода из строя существующих.

Программный модуль был составлен с использованием полученных режимных параметров. В среде программного модуля Ansys была сформирована геометрия стрелы экскаватора с помощью создания эскизов, которые необходимы для параметризации стрелы.

Прочностной расчет стрелы выполнен в модуле Static Structural, в которой в качестве исходных данных во вкладке Engineering Data заполнены механические характеристики материала стрелы (рис.8).

Проведено исследование изменения напряжения стрелы в зависимости от толщины и расстояния установки ребер жесткости (рис.9).

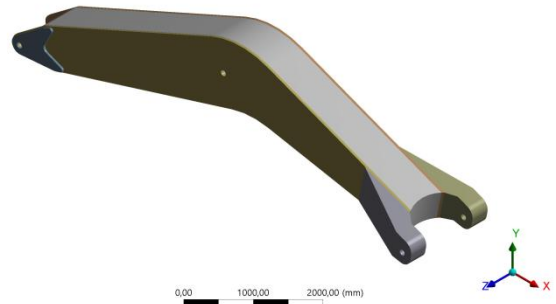


Рис. 8. 3D модель стрелы из склеенных сборных тел

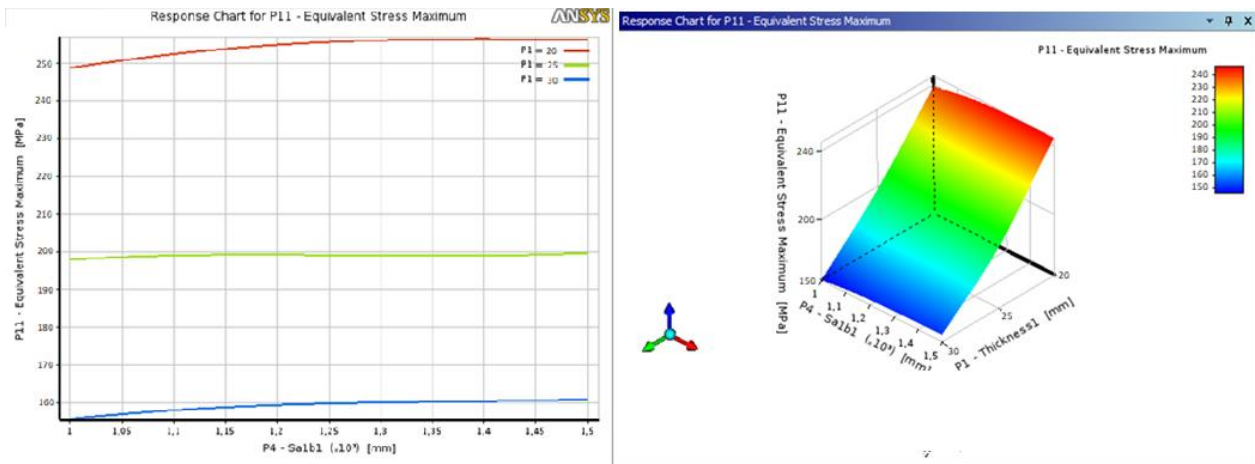


Рис.9. Зависимость максимального напряжения от расстояния установки ребер при заданных толщинах

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведения теоретических и экспериментальных исследований заключаются в следующем:

1. Установлено, что положения звеньев механизма поворота рукояти определяются в зависимости от положений звеньев механизма поворота стрелы, а положения звеньев механизма поворота ковша определяются в зависимости от положений звеньев, как механизма поворота стрелы, так и механизма поворота рукояти.

2. Предложена методика для определения основных параметров главных механизмов гидравлического экскаватора.

3. Полученные в результате расчетов зависимости позволяют выполнить кинематический и силовой анализ главных механизмов, а также определить размеры рабочей зоны экскаватора при расчете координат точек с минимальными и максимальными значениями длин гидроцилиндров.

4. На основе имитационных моделей механизмов рабочего оборудования гидравлических экскаваторов получены выражения для определения кинематических передаточных функций механизмов.

5. Анализ кинематических передаточных функций позволяет оценить режимы работы механизмов рабочего оборудования гидравлических экскаваторов и определить степень совершенства конструктивных схем механизмов, т. е. соответствия передаточных функций условиям функционирования механизмов.

6. «Предлагаемая методика оценки нагруженности главных механизмов гидравлических экскаваторов на основе силовых передаточных функций механизмов позволяет учесть кинематические свойства рычажно-гидравлических механизмов как при определении активных, так и реактивных нагрузок».

7. Разработанное математическое описание и методика, алгоритм которой реализован на алгоритмическом языке, обеспечивает расчет усилий копания во всей рабочей зоне.

8. Получено свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемых авторским правом в Республике Казахстан на программу для ЭВМ «Расчеты кинематических и силовых параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора обратная лопата».

9. Анализ результатов исследований позволит обосновать рациональные конструктивные и режимные параметры рабочего оборудования по условиям обеспечения требуемых технологических параметров для отработки забоя.

10. Результаты расчета усилий в элементах рабочего оборудования могут быть использованы для выполнения расчетов на прочность и надежность.

11. Результатами исследований доказана зависимость напряжений в элементах стрелы от конструктивных параметров: толщин листов, количества и расстояния между ребрами.

12. Применение данной методики при проектировании новых моделей экскаваторов позволит подобрать такие конструктивные параметры, при которых будет достигнута минимальная масса рабочего оборудования при обеспечении требуемой прочности и надежности.

13. Методика применима при модернизации существующих моделей экскаваторов, в которые могут быть добавлены элементы, перераспределяющие напряжения из областей с «избыточным» значением для обеспечения требуемой прочности в области, где напряжение допускает повышение величин.

14. Введен термин «эффект мультипликативности» рабочих нагрузок. Эффект мультипликативности – увеличение рабочих нагрузок при их передаче на предыдущие механизмы за счет увеличения плеч действия сил. Обеспечена эффективная передача нагрузок между механизмами (т.е. момент на стреле превышает моменты, возникающие из-за эффекта мультипликативности).

Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих изданиях

Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах по группе научных специальностей 05.05.0 - транспортное, горное и строительное машиностроение:

1. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Лукашук О. А., Телиман И. В. Обоснование рабочей характеристики карьерного экскаватора // Научно-аналитический и производственный журнал «Горное оборудование и Электромеханика», М: Новые технологии, 2017, № 2 (129), С. 7-10.

2. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С., Телиман И. В. Соотношения активных и реактивных нагрузок в механизмах рабочего оборудования гидравлического экскаватора // Научно-аналитический и производственный журнал «Горное оборудование и Электромеханика», М: Новые технологии, 2018, № 1 (135), С. 7-9.

3. Beysenbayev K. M., Reshetnikova O. S., Nokina Z. N., Teliman I. V., Asmagambet D. K. New technologies of mining stratal minerals and their computation // 11th International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2017, Tomsk, December 4-6, 2017

4. Телиман И. В. Обоснование конструктивных и режимных параметров рычажно-гидравлических механизмов карьерного гидравлического экскаватора // Научно-технический журнал «Известия высших учебных заведений. Горный журнал» Екатеринбург: УГГУ, 2019, С.132-135

5. Nabiullin R., Khoroshavin S., Teliman I. The interaction of the main actuators of hydraulic excavators // E3S Web of Conferences Volume 177 (2020) XVIII Scientific Forum “Ural Mining Decade” (UMD 2020) Ekaterinburg, Russia, April 2-11, 2020

Работы, опубликованные в прочих журналах и изданиях:

6. Комиссаров А. П., Лукашук О. А., Телиман И. В. Карьерные экскаваторы – эффективность и безопасность // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромышленного оборудования: материалы III международной научно-практической конференции «Горная и нефтяная электромеханика-2016», Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2016. – С. 65-71

7. Комиссаров А. П., Телиман И. В. Перспективы применения карьерных гидравлических экскаваторов на угольных разрезах Карагандинской области // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», Екатеринбург: УГГУ, 2017, С. 105-108.

8. Комиссаров А. П., Иванов И. Ю., Лукашук О. А., Телиман И. В.

Анализ рычажно-гидравлических механизмов рабочего оборудования гидравлических экскаваторов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XV международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», Екатеринбург: УГГУ, 2017, С. 51-54.

9. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Иванов И. Ю., Телиман И. В. Одноковшовые экскаваторы - энергетический барьер // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XXIV международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-17 сентября 2017 г.- Донецк: ДонГТУ, 2017. - 114-117

10. Комиссаров А. П., Телиман И. В., Опыт применения рабочего оборудования гидравлических экскаваторов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XVI международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», Екатеринбург: УГГУ, 2018, С. 121-124.

11. Комиссаров А. П., Хорошавин С. А., Телиман И. В. Выбор параметров главных исполнительных механизмов гидравлического экскаватора// Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XVI международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», Екатеринбург: УГГУ, 2018, С. 44-47.

12. Комиссаров А. П., Хорошавин С. А., Телиман И. В. Оценка нагруженности рабочего оборудования гидравлических экскаваторов// Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования: материалы III международной научно-практической конференции «Горная и нефтяная электромеханика-2018», Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – С. 86-93

13. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С., Телиман И. В. Методика определения реактивных нагрузок в гидравлических экскаваторах// Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XVII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», Екатеринбург: УГГУ, 2019, С. 264-266.

Патенты:

14. Телиман И. В., Малыбаев Н. С., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. Программа для ЭВМ Расчеты кинематических и силовых параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора обратная лопата // Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом № 8069 от 10 февраля 2020 года.

Подписано в печать __.__.20__ г. Печать на ризографе.
Бумага писчая. Формат 60x84 1/16. Гарнитура Times New Roman.
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ ____
Издательство УГГУ
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»
Отпечатано с оригинал-макета
в лаборатории множительной техники издательства УГГУ.