

Федеральное государственное автономное
Образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологии и геотехнологий

Кафедра «Горные машины и комплексы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.С. Морин

« ____ » _____ 2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04 «Горное дело»

(специальность)

21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»

(специализация)

Тема «Модернизация одноковшового экскаватора ЭКГ-10 с целью повышения
его производительности.

тема

Руководитель

подпись, дата

Т.А. Герасимова

Выпускник

подпись, дата

Р.Е. Ткачев

Консультанты:

Экономическая часть

подпись, дата

Р.Р. Бурменко

Безопасность
жизнедеятельности

подпись, дата

А.В. Галайко

Нормоконтролер

подпись, дата

Т.А. Герасимова

Красноярск 2021

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела геологии и геотехнологии

институт

Горные машины и комплексы

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.С. Морин

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 2021 г

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме дипломной работы**

Студенту Ткачеву Роману Евгеньевичу

фамилия, имя, отчество

Группа ГГ 15-12 ГМ Направление (специальность) 21.05.04 Горное дело,

номер

код

специализация 21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»

наименование

Тема выпускной квалификационной работы «Модернизация одноковшового экскаватора ЭКГ-10 с целью повышения его производительности.

Утверждена приказом по университету № 468/с от 19.01.2021

Руководитель ВКР Т.А. Герасимова, кандидат технических наук, доцент кафедры Горные машины и комплексы Института горного дела, геологии и геотехнологий
инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР емкость ковша – 10 м³; эксплуатационный вес – 395 т; вес конструкции – 334 т; вес ковша – 16,2 т; максимальная высота разгрузки – 6,7 м; максимальный радиус при разгрузке – 14,5 м; максимальная высота копания – 10,3 м; максимальный радиус копания – 14,5 м; просвет под платформой – 2,7 м; протяжение стрелы – 13,8 м; протяжение рукояти – 11,1 м; средняя сила давления на поверхность – 166 кПа; грузоподъемность – 100-140 т; высота относительно кабины – 8,6 м.

Перечень разделов ВКР Введение, анализ выемочного рабочего оборудования, анализ конструкций и методов исследования рабочих органов одноковшовых экскаваторов, расчет основных узлов механизма открывания днища ковша, экономическая часть, безопасность жизнедеятельности.

Перечень графического материала иллюстрационный материал для презентации ВКР в количестве 17 слайдов

Руководитель ВКР

подпись

Т.А. Герасимова

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись, инициалы и фамилия студента

Р.Е. Ткачев

« ____ » _____ 2021 г.

РЕФЕРАТ

Все возрастающие объемы добычи полезных ископаемых открытым способом требуют применения высокопроизводительной экскаваторной техники, в частности карьерных экскаваторов.

Анализ выполненных к настоящему времени работ по модернизации карьерных экскаваторов показывает, что основные исследования направлены преимущественно на совершенствование структур управления экскаватором, а также повышения его производительности

Актуальность данной темы обусловлена тем, что мировой и отечественный опыт работы карьерного выемочно-погрузочного оборудования показывает, что эффективными являются карьерные экскаваторы при разработке крепких скальных пород в сложных забоях.

Объектом исследования является карьерный гусеничный экскаватор ЭКГ-10, производства ПАО «Уралмашзавод». Предмет исследования: механизм открывания днища ковша.

В ходе модернизации был произведён анализ существующих конструкций и анализ данных, полученных в ходе эксплуатации экскаватора с базовой версией механизма. На основе этих анализов была выбрана оптимальная конфигурация механизма открывания днища ковша. При модернизации были приняты следующие технические решения:

- Предложена сварная конструкция днища ковша из высокопрочного листового металла типа RAEX с использованием дополнительной лёгкой футеровки из биметалла;
- Увеличена длина рычага на днище ковша;
- Заменена система пантографов на простую однорычажную компоновку;
- Использованы двухрядные шариковые подшипники закрытого типа для рычагов ОДК;
- Перенесены места крепления рычага и применено болтовое

крепление корпуса рычага к рукояти;

- Применен барабан лебедки ОДК под 26 мм полиамидный канат;
- Подобран более мощный электродвигатель.

Далее был произведен расчет основных параметров механизма и на основе полученных данных применена конструкция узлов механизма.

На основе полученных данных по эксплуатации экскаваторов с обоими видами механизма открывания ковша, был проведен анализ произведенной модернизации. Благодаря выполненному анализу, был сделан вывод об успешном проведении модернизации, данный вывод следует из того, что было увеличено время основной работы экскаватора на 6%, увеличен коэффициент использования рабочего фонда времени с 81 до 87 и увеличен объем выполненных работ.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 Анализ выемочного рабочего оборудования	10
1.1 Экскаватор с прямой лопатой	10
1.2 Сфера применения экскаваторов с прямой лопатой	10
1.3 Назначение прямой лопаты.....	11
1.4 Преимущества и недостатки	12
1.5 Принцип работы экскаватора прямая лопата.....	13
1.6 Технические особенности экскаватора ЭКГ 10	16
2 Анализ конструкций и методов исследования рабочих органов одноковшовых экскаваторов.....	18
2.1 Анализ существующих конструкций.....	21
2.2 Механизм открывания днища ковша (МОДК) карьерного экскаватора R&H 2300ХРС Joy Global (США).....	21
2.3 МОДК карьерного экскаватора Caterpillar CAT 7495HF (США).....	23
2.4 МОДК карьерного экскаватора ЭКГ-10	24
2.5 Ковш ЭКГ- 10	25
2.6 Достоинства и недостатки конструкции механизма открывания днища ковша ЭКГ-10	34
2.7 Техническое обслуживание механизма открывания днища ковша (МОДК)	35
2.8 Описание и конструктивные особенности, внедряемые в ходе модернизации МОДК.....	36
2.9 Обзор методов определения усилий копания	39
3 Расчет основных узлов механизма открывания днища ковша.....	40
3.1 Расчет вместимости ковша.....	40
3.2 Расчет механизма ОДК.....	42
3.3 Прочностной анализ рычага и корпуса МОДК.....	50
3.4 Результаты прочностного анализа.....	52
3.5 Результаты анализа работы до и после модернизации	53

4 Экономическая часть	56
4.1 Теоретические основы построения сетевой модели выполнения ВКР .	56
4.2 Расчет показателей сетевого графика выполнения ВКР.....	61
5 Безопасность жизнедеятельности.....	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	75

ВВЕДЕНИЕ

Все возрастающие объемы добычи полезных ископаемых открытым способом призывают использовать высокопроизводительную экскаваторную технику, особенно карьерных экскаваторов.

Было выявлено стремление постоянного роста использования основных видов твёрдых полезных ископаемых на основе анализа международного рынка. В связи с экономическими ростом и спадом, в разные периоды развития мировой промышленности, наблюдалась востребованность на минеральное сырьё. За последние 50 лет общая тенденция потребления полезных ископаемых неизменно растёт, данный рост определен устойчивым промышленным развитием и увеличением численности населения планеты.

Большая часть эксплуатируемого экскаваторного парка морально и физически устарела. Однако горные предприятия из-за экономических трудностей имеют ограниченные возможности для замены действующих типов на машины последних проектов. Поэтому основным, а зачастую, единственным способом улучшения технических характеристик экскаваторов и повышения их производительности, является модернизация.

Анализ выполненных к настоящему времени работ по модернизации карьерных экскаваторов показывает, что основные исследования направлены преимущественно на совершенствование структур управления экскаватором, а также повышения его производительности. [1]

Актуальность данной темы обусловлена тем, что мировой и отечественный опыт работы карьерного выемочно-погрузочного оборудования показывает, что эффективными являются электрические карьерные экскаваторы при разработке крепких скальных пород в сложных забоях. [2]

Объектом исследования является карьерный гусеничный экскаватор ЭКГ-10, производства ПАО «Уралмашзавод». Предмет исследования: механизм открывания днища ковша.

Механизм открывания днища ковша - один из основных узлов экскаватора,

от него напрямую зависит работа экскаватора. Безотказность и надежность данного механизма, позволяет обеспечивать высокую производительность. На основе данных, была произведена модернизация механизма открывания днища ковша, полученных в ходе эксплуатации.

Целью дипломной работы является модернизация механизма открывания днища ковша экскаватора ЭКГ-10, производства ПАО «Уралмашзавод».

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

- Анализ работы механизма открывания днища ковша;
- Прочностной анализ рычага и корпуса МОДК;
- Выбор и обоснование новой конструкции;
- Анализ результатов модернизации;
- Технико-экономическое обоснование модернизации.

При создании и модернизации машин особое внимание уделяется повышению скорости и усилий рабочих органов, повышение производительности, снижению массы и металлоемкости.

1 Анализ выемочного рабочего оборудования

1.1 Экскаватор с прямой лопатой

Модернизируемый экскаватор ЭКГ-10 одноковшовый, универсальный гусеничный с механической лопатой с канатным напором. Прямая лопата - основное рабочее оборудование для разработки (копания) грунта выше уровня стоянки экскаватора. Ковш прямой лопаты закреплен на рукояти. Рукоять в свою очередь шарнирно закреплена на стреле. Стрела шарнирно закреплена на поворотной платформе машины. У гидравлических экскаваторов ковш на рукояти закреплён подвижно - разгрузка ковша обеспечивается его опрокидыванием с помощью гидроцилиндра. У механических экскаваторов положение ковша относительно рукояти в процессе работы не меняется - разгрузка ковша выполняется при открывании его днища. Копают грунт в направлении от экскаватора. Прямая лопата обеспечивает наибольшее усилие копания и наибольшую производительность (за счёт минимального количества операций в одном цикле копания). Применяется для добычи полезных ископаемых и погрузочных работ. [3]

1.2 Сфера применения экскаваторов с прямой лопатой

Применяются экскаваторы, оборудованные прямой лопатой (рисунок 1), при планировке, разработке и выравнивании площадок на:

- слабых;
- средних;
- плотных грунтах.

В основном это такие виды разработок грунта в выемках, как:

- карьерные разработки и вскрышные работы;
- копание траншей.

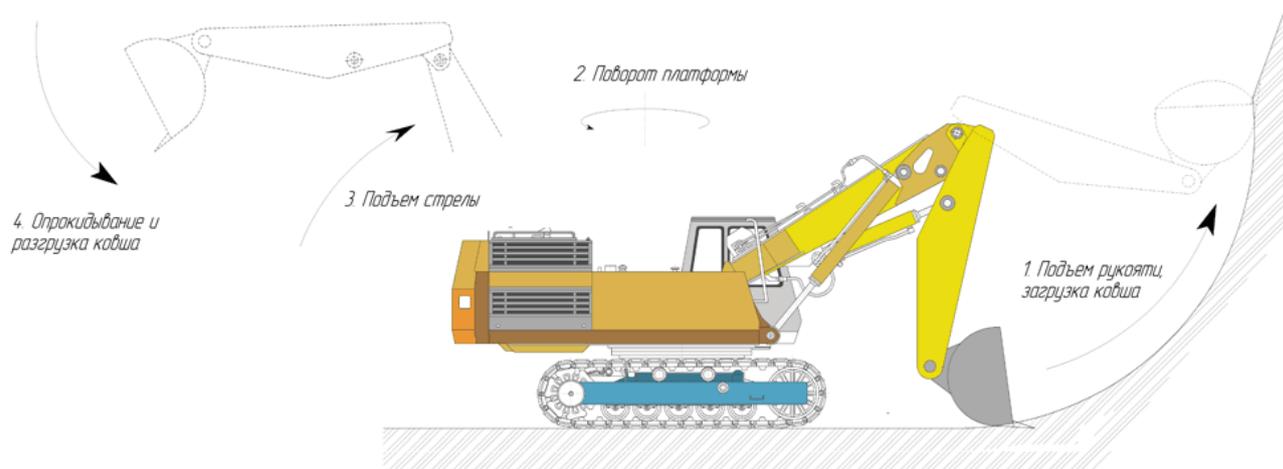


Рисунок 1 - Рабочее оборудование прямая лопата

1.3 Назначение прямой лопаты

Назначение прямой лопаты: рыхлить, снимать, копать грунт (слои земли, горные породы и прочее) выше уровня расположения техники.

Рабочее оборудование экскаватора включает стрелу 1, установленную на поворотной платформе 2, и рукоять 3 с ковшом. Ковш 4 снабжен днищем 5 с засовом 6, который через рычажную систему 7 соединен с тросом 8, намотанным на барабан 9, установленный на валу электродвигателя 10.

Применительно к типу привода, перемещение ковша и рукояти может быть:

- подвижным – опрокидывание ковша обеспечивают цилиндры (гидравлический);
- без движимым – высыпание материала происходит через открывающееся днище ковша (механический).

Число выполняемых в одном цикле операций у прямой лопаты мало, а усилие копания – максимально среди всех видов основного рабочего оборудования, поэтому она считается наиболее производительной.

Основное использование прямой лопаты – разработка земных недр и загрузка материалов в технику.

Рабочий цикл прямой лопаты включает:

- загрузку ковша материалом;

- поворот платформы по заданному вектору;
- подъем стрелы;
- выгрузку материала. [4]

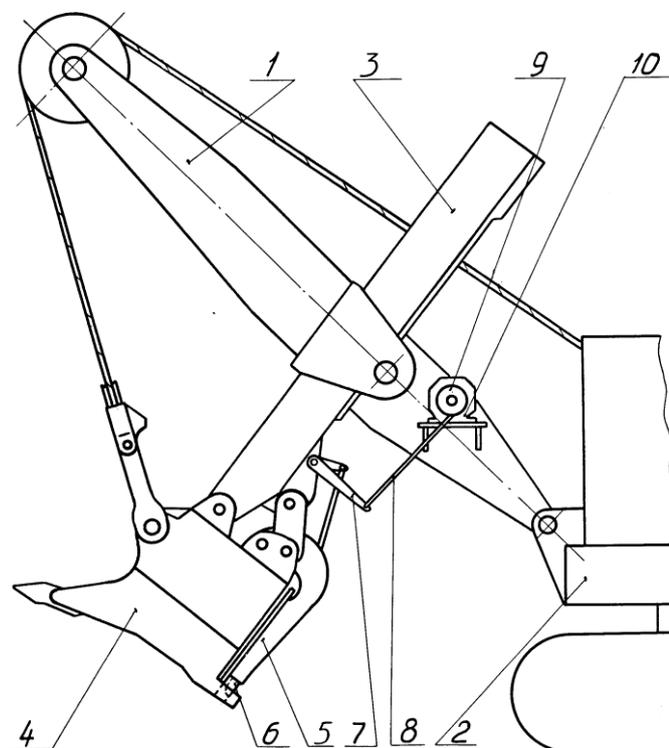


Рисунок 2 – Схема рабочего оборудования прямой лопаты

1 – стрела; 2 – поворотная платформа; 3 – рукоять; 4 – ковш; 5 – днище; 6 – засов; 7 – рычажная система; 8 – трос; 9 – барабан; 10 – электродвигатель

1.4 Преимущества и недостатки

Экскаватор с прямой лопатой. Этот вид землеройной техники особенно выгодно использовать при больших объемах работ. Без такой техники не будет эффективно работать ни одно горное предприятие и аналогичные ему фирмы. К преимуществам стоит отнести то, что при использовании этого вида экскаваторов, высота уступа может составлять десять-пятнадцать метров.

От экскаватора с обратной лопатой, этот вид отличается тем, что у него на одну группу гидроцилиндров больше. А также тем, что его техническое содержание и обслуживание является более сложным. [5]

1.5 Принцип работы экскаватора прямая лопата

Перед началом работ вся поверхность забоя должна быть очищена от камней и других крупных предметов, которые во время работы машины могут упасть, повредив машину или перегородив путь движения автотранспорта и самого экскаватора. При работе таких экскаваторов максимальная высота копания равняется максимальной высоте забоя. В этом случае также необходимо учитывать и безопасность работы: при слишком большой высоте забоя, существует вероятность подрезания стенки забоя ковшем, образуя своеобразный козырек над машиной, который в любой момент может обрушиться.

Рабочий цикл экскаватора с прямой лопатой состоит из следующих операций:

Загрузка ковша - выполняется поворотом рукояти относительно стрелы. Положение ковша относительно рукояти и стрелы относительно машины остается неизменным.

Поворот платформы - по окончании загрузки ковша выполняется поворот платформы с рабочим оборудованием экскаватора. Ковш перемещается к месту разгрузки. Его положение относительно поворотной платформы машины не изменяется.

Подъем стрелы - перед разгрузкой ковша выполняется подъем стрелы экскаватора для увеличения погрузочной высоты.

Разгрузка ковша - на гидравлических экскаваторах осуществляется поворотом ковша относительно рукояти (опрокидыванием). На механических экскаваторах выполняется открывание днища ковша.

Разработку грунта одноковшовыми экскаваторами ведут позиционно.

Разработка забоя начинается с той части, которая находится поближе к автотранспортным средствам, и дальше захватывать следующие области забоя;

Производить чистое срезание грунта на дне забоя, чтобы не планировать поверхность вспомогательными механизмами (бульдозерами и пр.), что ведет к существенным тратам времени;

Экскаватор должен передвигаться по забою на расстояние, которое не должно превышать половину вылета ковша по отношению к стреле.

Экскаватор с прямой лопатой заполняет ковш движением «от себя», поэтому он занимает при работе место перед массивом грунта, возвышающимся перед ним. Машина копает грунт, начиная с уровня стоянки машины и далее по дуге вперед и вверх с таким расчетом, чтобы ковш заполнялся в крайнем верхнем положении. После этого ковш при повороте платформы переносится для разгрузки в сторону к автосамосвалу или другому транспортному средству, выгружается и возвращается в исходное положение.

Ковш загружается за счет движения рабочего оборудования, создаваемого гидроцилиндрами на гидравлическом экскаваторе и канатами на экскаваторе с канатным приводом. Так как рабочее оборудование состоит из стрелы, рукояти и ковша, сочлененных между собой, то его движение складывается из движения каждой части.

При выгрузке грунта ковш гидравлического экскаватора опрокидывается вперед, на канатной машине грунт выгружается при откидывании днища ковша.

Модель ЭКГ-10 является большой электрической карьерной полноповоротной механической лопатой, обладающей гусеничным ходом, о чем как раз и говорит аббревиатура (экскаватор карьерный гусеничный). Данная модель была разработана Уральским машиностроительным заводом («Уралмаш»). Среди всего модельного ряда именно гусеничный экскаватор ЭКГ-10 является одной из наиболее производительных машин. Высокие мощностные показатели модели позволяют использовать технику при выполнении землеройных работ повышенной трудоемкости, поскольку для этого вида требуется исключительно мощная техника. Стоит отметить, что это как раз и повлияло на разработку ЭКГ-10. Техника обладает довольно специфичными характеристиками и параметрами, однако, большая популярность модели была достигнута благодаря возможности приспособления машины к решению множества различных задач. Помимо этого, экскаватор имеет весьма высокую ремонтпригодность, но ее ремонтом занимаются лишь специализированные

сервисные центры, которые способны осуществить тщательное тестирование электрической и механической составляющей экскаватора. При замене проблемных узлов и деталей не возникнет каких-либо проблем, поскольку все запасные части и съемные элементы конструкции довольно широко распространены.

Отличительные особенности

Отличительными особенностями данной модели является следующее: в процессе подъема ковша усилие автоматически выравнивается. Благодаря подъемной лебедке стрелы, был существенно упрощен процесс ремонтно-монтажных работ. Главные механизмы экскаватора были оснащены колодочными тормозами, имеющими пневматический привод, который служит для разжатия колодок. Экскаватор оснащен сварно-литым ковшом, имеющим самозатягивающиеся клиновые крепления зубьев, расположенных на передней режущей кромке. Днище ковша, свободно падающее с расставленными петлями, что исключает динамическое соприкосновение с рукояткой. В целях повышения эффективности техники при отработке плохо взорванных и крупнокусковых пород из тяжелых скальных забоев, производитель оснастил модель речным напорным механизмом с цельносварной стрелой коробчатого сечения и двух балочной рукояткой. Благодаря избыточному давлению в кузове, что достигается с помощью вентиляционных установок, все элементы и механизмы надежно защищены от пыли и других мелких частиц. Рукоятка и стрела экскаватора изготовлены из стали с повышенной прочностью, когда другие не менее важные элементы выполнены из легированной стали. В модели ЭКГ-10 была применена автоматическая система смазки, которая позволила существенно сократить затраты при техническом обслуживании техники. Экскаватор имеет двух гусеничную ходовую тележку с отдельным приводом для каждой гусеницы. Гусеничный ход имеет малоопорный открытый тип, что обеспечило увеличенный доступ к данным элементам в процессе ремонтных работ. Гусеницы обладают встроенными гидравлическими цилиндрами, посредством которых происходит натяжение гусеничных лент. Ходовые

двигатели были дополнены принудительной вентиляцией. Главные механизмы экскаватора оснащены индивидуальным регулируемым электроприводом. [6]

1.6 Технические особенности экскаватора ЭКГ 10

Технические характеристики ЭКГ 10:

- емкость ковша – 10 м³;
- эксплуатационный вес – 395 т;
- вес конструкции – 334 т;
- вес ковша – 16,2 т;
- максимальная высота разгрузки – 6,7 м;
- максимальный радиус при разгрузке – 14,5 м;
- максимальная высота копания – 10,3 м;
- максимальный радиус копания – 14,5 м;
- просвет под платформой – 2,7 м;
- протяжение стрелы – 13,8 м;
- протяжение рукояти – 11,1 м;
- средняя сила давления на поверхность – 166 кПа;
- грузоподъемность – 100-140 т;
- высота относительно кабины – 8,6 м.

Ковша экскаватора

- Тип устанавливаемого ковша — обратная лопата.
- Наименьшая вместимость устанавливаемого ковша — 4,6 метра кубических
- Наибольшая вместимость устанавливаемого ковша — 11,5 метров кубических.

Машины с прямой лопатой показывают очень высокую эффективность, благодаря наличию надежной гидросистемы и высокому уровню прочности устанавливаемых ковшей. Все это, дает возможность использовать экскаватор с

прямой лопатой в самых разных случаях, а именно, во время осуществления планировки, разработки и выравнивания площадок на всех видах грунтов, используют.

Существенным недостатком одноковшовых горных экскаваторов безусловно является их сравнительно малая производительность, сравнивая, например, с многоковшовыми экскаваторами. Но данный тип горной машины, конечно же, отличается высокой мобильностью, малыми габаритами, что и делает одноковшовые экскаваторы востребованными повсеместно, какого бы вида работ не требовалось.

Модернизацией рабочего органа экскаватора хочется повысить его надежность, срок службы, сократить сроки ремонта и технического обслуживания, увеличить межремонтный цикл, сократить затраты на ремонтные работы.

Далее рассмотрим конструктивные особенности рабочих органов одноковшовых экскаваторов. [7]

2 Анализ конструкций и методов исследования рабочих органов одноковшовых экскаваторов

Важную роль на производстве земельных дел играют универсальные одноковшовые экскаваторы. Среди которых занимает место большая группа специальных горных и карьерных одноковшовых экскаваторов, которые связаны с разработкой карьеров и добычей полезных ископаемых как подземным, так и открытым способом, а также сырья для энергетической отрасли, черной и цветной металлургии и других отраслей промышленности, в том числе, и производства строительных материалов. Основные конструктивные схемы рабочего оборудования одноковшовых экскаваторов являются общими, несмотря на значительное отличие в условиях эксплуатации.

Экскаваторы по типу привода рабочего оборудования делятся на экскаваторы с жестким подвесом (гидравлическим) и гибким (канатным) подвесом. Существует довольно внушительный ряд работ и регионов, где применение гидравлической техники практически невозможно или нерационально. К ним относится работа в промышленных шахтах и карьерах при работе с абразивными породами, а также при экстремальных температурных условиях, где элементы гидросистемы (шланги высокого давления, насосы, гидроцилиндры и др.) испытывают повышенное влияние внешней среды. Эти выводы подтверждаются опытом эксплуатации и рядом исследований. Многолетний опыт эксплуатации показывает, что после 6-7 лет работы гидравлических экскаваторов кардинально снижается экономическая целесообразность их дальнейшей эксплуатации, так как не только снижается производительность за счет увеличения простоев, но и увеличиваются затраты на текущие и капитальные ремонты, которые перекрывают средства амортизационных отчислений. Эксплуатация гидравлических экскаваторов при низких температурах возможна только за счет применения специальных гидравлических жидкостей, смазок и масел, а также средств и системы предварительного подогрева всех рабочих жидкостей. Очевидно, что такие

мероприятия приводят к значительному повышению себестоимости работ.

Поэтому и сегодня держится устойчивый спрос на экскаваторы с гибкой подвеской рабочего оборудования. Вследствие чего канатные экскаваторы продолжают выпускаться как Российскими, так и зарубежными заводами.

На сегодняшний день основу производства составляют колесные экскаваторы, на долю которых приходится свыше 52% выпуска. В размерных группах лидируют экскаваторы массой до 18 т. Среди гусеничных доля канатных экскаваторов в общем объеме выпуска составляет примерно 7%. Учитывая длительный срок работы экскаваторов с канатной подвеской (несколько десятков лет), а также тот факт, что массовый выпуск гидравлических экскаваторов начал осуществляться сравнительно недавно можно предположить, что общая суммарная доля канатных экскаваторов, реально занятых в настоящее время на производстве значительно выше.

Современное состояние рынка одноковшовых экскаваторов удостоверяет об устойчивом росте спроса на эту технику. При этом следует отметить новые позитивные, с точки зрения рассматриваемого вопроса, тенденции, связанные с переориентированием спроса на вторичный рынок техники, развитие сервисных центров и повышенный интерес к специальному навесному оборудованию.

За рубежом отсутствуют нормативные документы, устанавливающие квалификационные признаки горных и карьерных экскаваторов. Там в основу выбора основных параметров положен принцип оптимального сочетания вместимости ковша с грузоподъемностью карьерного самосвала.

Однако современная мировая тенденция все же отдает предпочтение гидравлическим экскаваторам. Определим основные причины этого явления. На наш взгляд, это следующие:

- эргономика и дизайн. Компактность и конструкция гидравлического оборудования позволяют создавать эстетически более выигрышный внешний вид машины; технологические преимущества для производителей экскаваторов. Изготовление сложного гидравлического оборудования на специализированных предприятиях позволяет иметь изделия высокого качества и по достаточно

низкой цене;

- удобство управления, возможность получения различных траекторий движения и точность позиционирования рабочего органа;
- возможность установки дополнительного оборудования динамического типа (гидромолот, ножницы и т.п.);
- более высокая производительность. При одинаковых объемах ковша, глубине копания и времени рабочего цикла дополнительная манипуляция непосредственно ковшом позволяет увеличить производительность экскаватора с рабочим органом прямая лопата, примерно, на 20 – 30% только за счёт более полного его наполнения.

В вопросах оценки конкурентоспособности одноковшовых экскаваторов отмечается, что конкурентоспособным будет тот экскаватор, который за счёт своих стоимостных и качественных характеристик в наибольшей мере соответствует требованиям рынка и потребительским оценкам. Оценка функционирования должна учитывать не только технические характеристики машины, но и экономические характеристики её функционирования. Для этого лучше всего подходит критерий удельных приведённых затрат. Для решения задачи повышения конкурентоспособности одноковшовых экскаваторов определены аргументы, которые влияют на минимизацию величины удельных приведённых затрат. К этим аргументам относится угол поворота ковша (угол, описывающий путь режущей кромки ковша при наполнении) и максимальная скорость движения режущей кромки ковша. То есть определяющими считаются аргументы, связанные с производительностью работы.

Очевидно, что для успешной конкурентной борьбы необходимо проведение модернизации канатных экскаваторов с рабочим органом обратная лопата. Источниками инновации в процессе модернизации канатного экскаватора могут быть:

- улучшение дизайнерской проработки конструкции.

Решение этих вопросов позволит не только сохранить имеющуюся нишу экскаваторов с тросовой подвеской, но и значительно увеличить её границы.

- разработка системы управления поворотом ковша относительно рукояти;
- разработка схемы дополнительного манипулирования ковшом (включая адаптацию траектории движения обратной лопаты к внешним условиям, как на участке копания, так и на участке разгрузки). [8]

2.1 Анализ существующих конструкций

На сегодняшний день преимущественно популярными производителями карьерного оборудования, а именно производителей электрических канатных карьерных экскаваторов типа прямая лопата, предназначенных для выемки и погрузки в транспортные средства полезных ископаемых и пород на открытых разработках, являются Caterpillar (США), P&H (США), Taiyuan Zhonggong (Китай), ПАО «Уралмашзавод» (Россия) и ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» (Россия).

На основе выше изложенного видно, что для эффективной работы экскаватора ЭКГ 10 в современных условиях необходима модернизация, для повышения производительности. Проанализировав возможные варианты, пришли к выводу, что недорогим, эффективным и достаточно простым способом может стать модернизация конструкции механизма открывания днища ковша. Далее рассмотрим особенности и конструкции механизмов открывания днища ковша.

2.2 Механизм открывания днища ковша (МОДК) карьерного экскаватора P&H 2300XPC Joy Global (США)

Модель 2300XPC (рисунок 3) с номинальной полезной нагрузкой 45 тонн применяется во всем мире для разработки медной и железной руды, угля, а также на золотых рудниках.

Ковши P&H Optima совмещают в себе неизменную производительность с

большим сроком службы и легкостью в обслуживании. При помощи различных комбинаций конструкций корпуса и режущей кромки, а также других уникальных разработок Р&Н, ковши могут быть адаптированы к конкретным горногеологическим и производственным требованиям предприятия. Дополнительно может быть заказан специальный комплект защиты от износа конструкций быстроизнашиваемых компонентов. Регулируемый крутящий момент электродвигателя с приводом предназначены для надежного управления.

Механизм открывания днища ковша данного экскаватора представляет собой однорычажную и безредукторную систему. Корпус рычагов приварен с правой стороны к корпусу рукояти. Имеет сварное днище ковша, за счет этого рычаг, расположенный на днище ковша, выходит за пределы петель днища, данная мера позволяет обеспечить необходимое передаточное отношение.

Достоинства:

- Высокая надежность;
- Простота конструкции;
- Высокий срок службы;

Недостатки:

- Стальной канат;
- Частая необходимость смазки оси рычагов;

Рукоять с приварным корпусом рычагов выходит за габаритные рамки транспортировки по ГОСТ 26653-2015. [9]

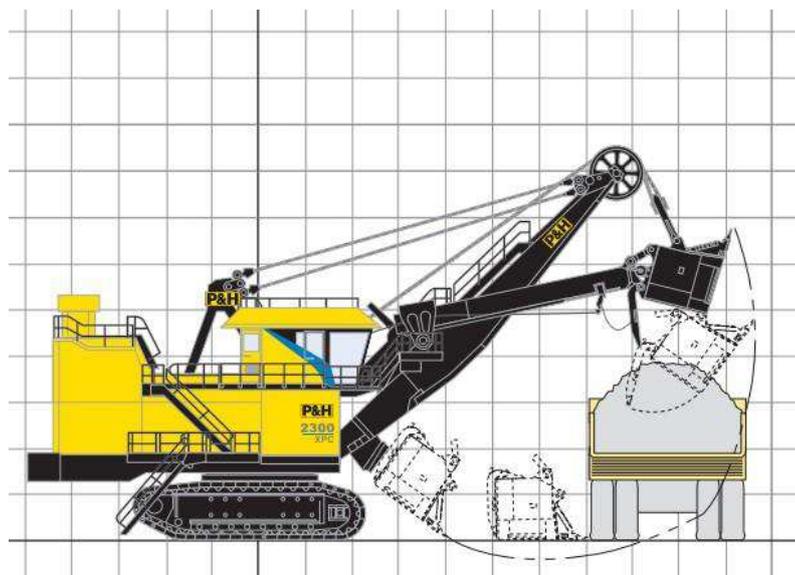


Рисунок 3 – P&H 2300XPC

2.3 МОДК карьерного экскаватора Caterpillar CAT 7495HF (США)

Ковш с канатным управлением расположен по центру передней части поворотной рамы машины. Он состоит из двигателя, тормоза, барабана и зубчатой передачи. Канаты изменения длины шага ковша и втягивания рукояти с ковшом с пластиковым наполнением используются для перемещения рукояти ковша вперед/назад.

Карьерные экскаваторы Caterpillar обладают уникальной системой открывания днища ковша (рисунок 4). Уникальность данной системы состоит в том, что в механизме отсутствует засов, а вся система располагается на корпусе ковша. В движение приводится дистанционно при помощи небольшого электромотора, который толкает пусковой кулачек, который в свою очередь толкает единственную петлю днища ковша, за счет противовеса и точного подбора, и анализа центра масс всех узлов, днище ковша сдвигается с точки покоя, и вся накопленная энергия высвобождается и открывает тем самым днище. Закрытие ковша происходит за счет собственной массы днища, во время процесса зачерпывания.

Достоинства:

- Высокая точность работы;
- Небольшие габариты системы;
- Отсутствие засова и других элементов, которые контактируют с породой.

Недостатки:

- Сложность конструкция;
- Необходимы технологии высокоточного литья;

Система запатентована.

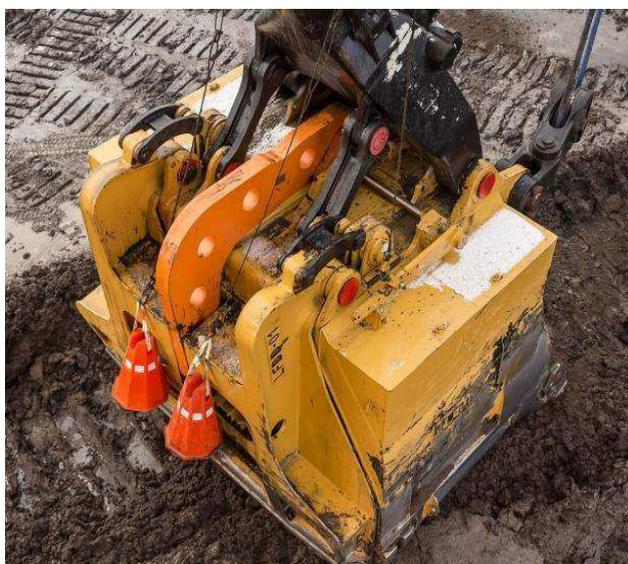


Рисунок 4 – МОДК Caterpillar CAT 7495HF

2.4 МОДК карьерного экскаватора ЭКГ-10

Механизм открывания днища ковша данного экскаватора обладает уникальной системой. Уникальность данной системы состоит в том, что благодаря системе пантографов обеспечивается достаточный момент для вытаскивания засова, а также возможностью работы без редуктора.

Механизм открывания днища ковша предназначен для выдергивания засова в момент разгрузки. Закрывание днища происходит самопроизвольно в

момент опускания ковша для начала копания.

Выдергивание засова осуществляется электродвигателем с помощью каната и системы рычагов. Электродвигатель, установленный на поворотной платформе, постоянно включен. На его валу консольно сидит барабан, с которого сматывается канат при выдвижении рукояти. Крутящий момент на барабане достаточен для выбора слабины каната. В момент открывания днища двигателя переключается на номинальный ток, что создает крутящий момент, достаточный для выдергивания засова.

Для подробного анализа МОДК сначала рассмотрим устройство ковша ЭКГ-10

2.5 Ковш ЭКГ- 10

Ковш – основной рабочий орган экскаватора, непосредственно взаимодействующий с разрабатываемым забоем.

Перемещение ковша под воздействием усилий подъемных канатов и поступательного движения рукояти, создаваемого напорным механизмом, обеспечивает рабочее движение ковша, посредством чего ковш заполняется грунтом, а затем разгружается в кузов транспортного средства. Открывание ковша производится механизмом открывания днища ковша.

Основная характеристика ковша - это его объем, так как он напрямую влияет на производительность спецтехники. В настоящее время можно увеличить емкость ковша, не утяжеляя его и не перегружая экскаватор. Для этого необходимо применять специальные виды стали. Тонкая, но при этом очень прочная сталь позволяет увеличить объем ковша и одновременно уменьшить его вес. В результате снижается нагрузка на экскаватор, увеличивается объем захвата грунта при копании и, следовательно, растет производительность спецтехники. Таким образом, сталь, из которой изготавливается ковш, является одним из важнейших факторов при выборе данного навесного оборудования. В зависимости от назначения ковша используются различные марки сталей.

Ковш экскаватора (рисунок 5) состоит из корпуса 3, днища 4, зубьев 2, подвески ковша 1 и механизма торможения днища ковша 5. Корпус ковша собирается из передней и задней стенок, а также двух боковых вставок, которые свариваются между собой стыковыми швами. Передняя стенка ковша отлита из высокомарганцовистой стали, а задняя – из легированной. Для повышения срока службы ковша верхний и нижний пояса передней стенки наплавлены твердым сплавом. По мере износа наплавленного металла во время ремонтов передняя стенка снова наплавляется. Для защиты боковых вставок ковша от износа сверху предусмотрены износостойкие накладки. На передней стенке ковша закреплены пять сменных зубьев 2. Зуб крепится на передней стенке с помощью осей. На оси надеваются шайбы и завариваются.

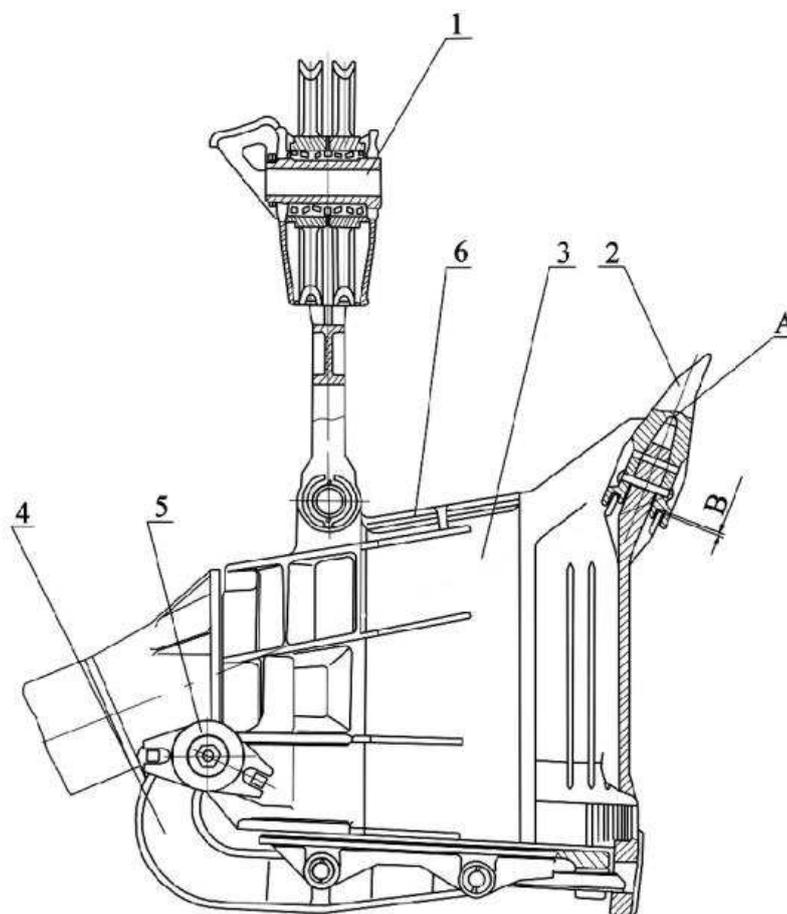


Рисунок 5 – Ковш ЭКГ-10

1 – подвеска; 2 – зуб; 3 – корпус; 4 – днище; 5 – механизм торможения ковша; 6 – накладка;

2.5.1 Корпус ковша

Корпуса ковшей, собираются из передней и задней литых стенок и двух боковых вставок, которые свариваются между собой стыковыми швами. Корпус ковша собирается из передней и задней стенок со сваркой встык. Передняя стенка отлита из высокомарганцовистой стали, задняя — из углеродистой. Для повышения срока службы верхний и нижний пояса передней стенки наплавлены твердым сплавом «Сормайт». По мере износа наплавленного металла передняя стенка снова наплавляется при ремонтах.

На передней стенке ковша закреплены пять сменных составных зубьев. Составной зуб состоит из основания и съемной коронки, которая удерживается на основании пальцем. Палец от выпадания удерживается стопором, подпружиненным подушкой.

2.5.2 Днище ковша

Днище ковша (рисунок 6) представляет собой плиту 5, выполненную из высокомарганцовистой стали, усиленную ребрами. На плите отлиты направляющие для перемещения засова 4 и проушины для крепления петель 6 днища ковша.

Днище ковша отливается из высокомарганцовистой стали вместе с петлями.

Подвеска ковша состоит из литого коромысла и обоймы с блоками, через которые проходят подъемные канаты. Подвеска ковша имеет обойму с одним уравнительным блоком.

Ковш оборудован механизмами торможения днища, позволяющими уменьшить колебания и ослабить удары днища о ковш при открывании. Интенсивность торможения регулируется нажимной пластиной дискового тормоза.

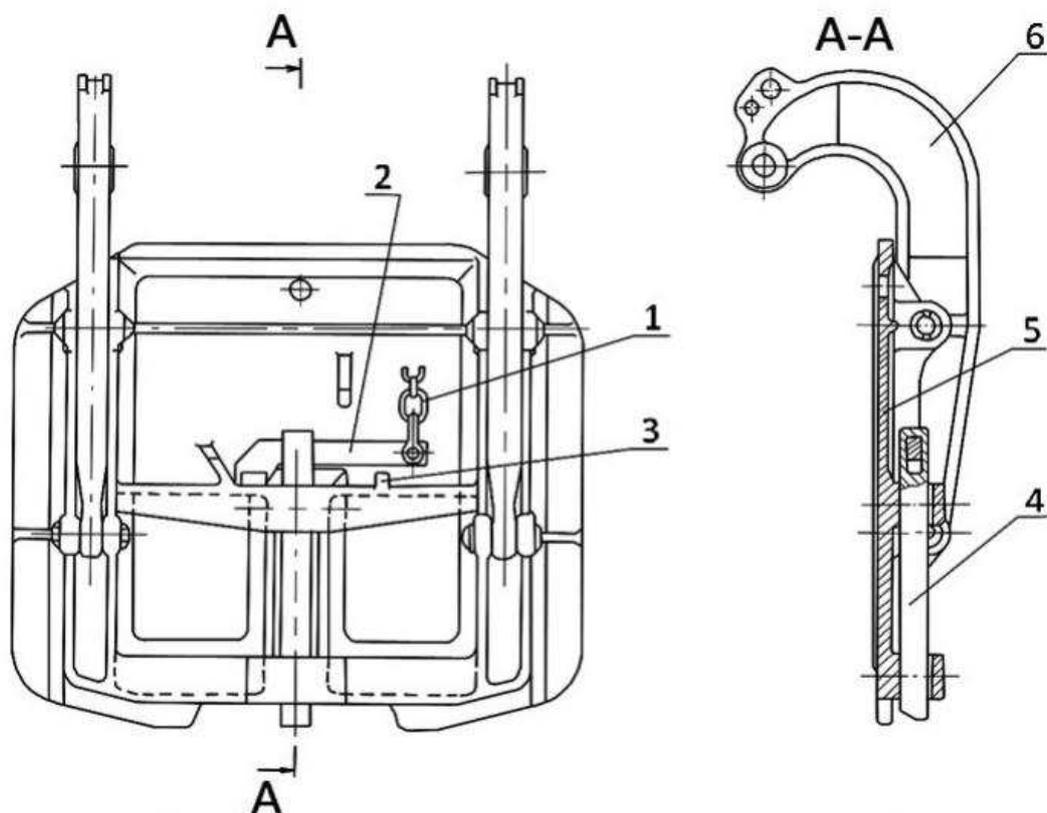


Рисунок 6 – Днище ковша 10 м³

1 – цепь; 2 – рычаг; 3 – упор; 4 – засов; 5 – плита днища; 6 - петля

2.5.3 Коромысло ковша

Коромысло ковша представляет собой отливку арочной формы из высокомарганцовистой стали. Поперечное сечение коромысла – двутавр, устойчивость стенок которого обеспечивается радиальными ребрами. Нижняя часть арки коромысла выполнены в виде четырех проушин, сопрягающихся с проушинами ковша. В верхней части арки имеются две проушины, сопрягающиеся с проушинами блоковой подвески. Отверстия в проушинах для установки осей механически обработаны.

2.5.4 Подвеска ковша

Подвеска ковша служит для присоединения коромысла ковша к подъемным канатам и выравниванию натяжения четырех ветвей каната.

Подвеска ковша экскаватора, включает внутренние и наружные головные блоки стрелы, пару уравнильных элементов, установленных перпендикулярно продольной плоскости подвески и соединенных с подъемными канатами, и третий уравнильный элемент, связанный с первыми двумя уравнильными элементами, отличающаяся тем, что, с целью повышения ее надежности, канаты с одного уравнильного элемента первой пары пропущены через внутренние головные блоки стрелы, а канаты с другого уравнильного элемента первой пары пропущены через наружные блоки, при этом третий уравнильный элемент расположен симметрично относительно продольной плоскости подвески.

2.5.5 Зуб ковша

Зуб ковша экскаватора, включает хвостовик, рабочую часть, состоящую из верхней, нижней криволинейных граней с режущей частью, смещенной относительно продольной оси зуба, отличающийся тем, что режущая часть смещена вверх на 0,05 - 0,09 по отношению к длине зуба, верхняя и нижняя грани зуба снабжены продольными цилиндрическими поверхностями, соответственно выпуклой, вогнутой и выпуклой с радиусами кривизны 400 - 550, 250 - 350 и 450 - 550 мм соответственно, верхнее ребро жесткости образовано четырьмя сопряженными выпуклой, вогнутой, вогнутой и выпуклой цилиндрическими поверхностями с радиусами кривизны 400 - 550, 900 - 1100, 350 - 450 и 100 - 140 мм, а нижняя грань в области режущей части имеет форму выгнутой цилиндрической поверхности с радиусом кривизны 700 - 900 мм, а далее до хвостовика, образована двумя сопряженными вогнутой и выпуклой цилиндрическими поверхностями с радиусами кривизны 200 - 300 и 450 - 550 мм

соответственно, нижнее ребро образовано двумя сопряженными вогнутой и выпуклой цилиндрическими поверхностями с радиусами кривизны 700 - 900 и 900 - 1100 мм соответственно.

2.5.6 Механизм торможения

Механизм торможения закрытого типа.

Механизм торможения закрытого типа представляет собой два дисковых тормоза, состоящих из неподвижных обойм, закрепленных сваркой к торцам внешних проушин корпуса ковша соосно с осями поворота днища ковша, при этом центровка обойм относительно расточек ковша осуществляется посредством крышек. В шлицевых полостях обоймы попеременно установлены неподвижные диски, сопрягающиеся со шлицами обойм и поворотными дисками, состоящими из металлических дисков, сопрягающихся со шлицевым валом и присоединенными к ним фрикционными кольцами. Сжатие пакетов дисков осуществляется посредством пружин установленных в гнездах нажимных дисков через диски с установленными пальцами, центрирующими пружины. Усилие сжатия пружин осуществляется нажимными винтами, установленными в центральных расточках крышек, закрепленных болтами на наружных торцах обойм.

2.5.7 Лебедка механизма открывания днища ковша и отклоняющие блоки

Механизм открывания днища ковша ЭКГ-10 имеет два варианта исполнения:

I. Вариант – Безредукторное;

Безредукторный механизм открывания днища ковша (рисунок 7) состоит из лебедки, постаменты, закрепленного болтами и гайками на верхнем настиле корпуса ковша. На барабан лебедки в несколько слоев намотан канат,

присоединённый к рычагу рукояти.

Электродвигатель соединен с моторным валом редуктора эластичной муфтой, состоящей из полумуф, резиновых дисков, пальцев и прокладок.

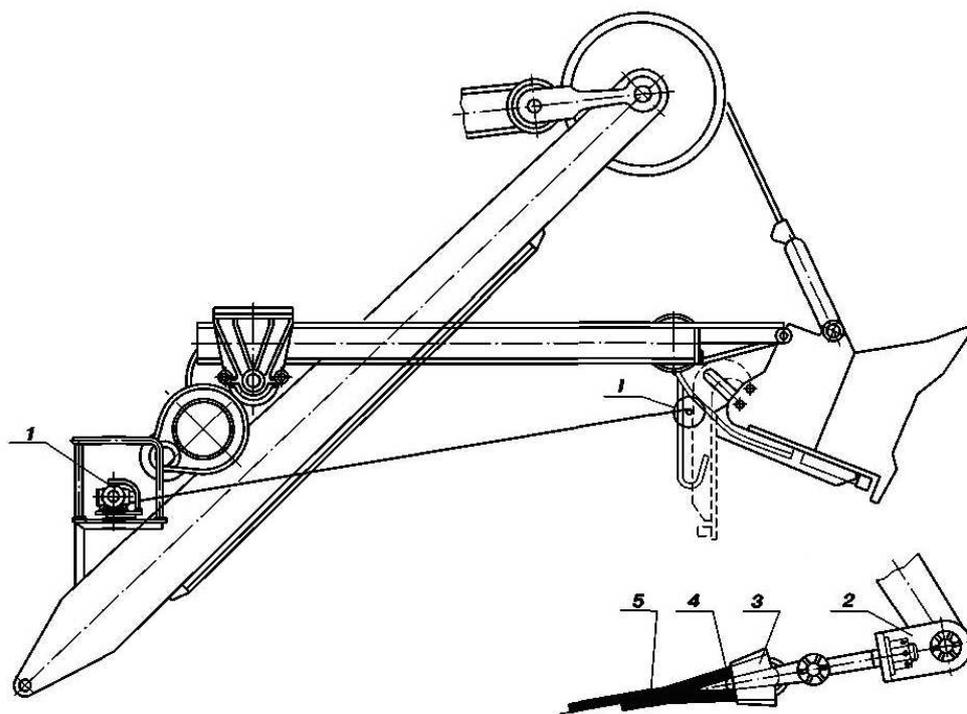


Рисунок 7 – Механизм открывания днища ковша.

1 – лебедка открывания днища ковша; 2 – скоба; 3 – коуш; 4 - клин; 5 - канат.

II. Вариант – Редукторное;

Редукторный механизм открывания днища ковша (рисунок 8) состоит из лебедки, редуктора и постамент, болтами и гайками закрепленного на верхнем настиле корпуса стрелы. На барабан лебедки в несколько слоев намотан канат, который присоединен к рычагу рукояти посредством клиновой втулки, клина, проушины, осей и скобы. Электродвигатель соединен с моторным валом редуктора эластичной муфтой, состоящей из полумуфт, резинокордных дисков, пальцев и прокладок.

Редуктор ОДК состоит из корпуса, крышки, напрессованных на вал барабана и зубчатого колеса, сопряженного с ним моторного вала-шестерни,

которые установлены в картерной полости редуктора. Валы редуктора вращаются в подшипниках. Подшипниковые полости отделены от картерной полости и атмосферы крышками, врезными кольцами и отбойными кольцами.

Уровень масла в картере контролируется маслоуказателем. Слив отработанного масла осуществляется посредством пробкового проходного крана. Крепление каната на барабане осуществляется прижимными планками.

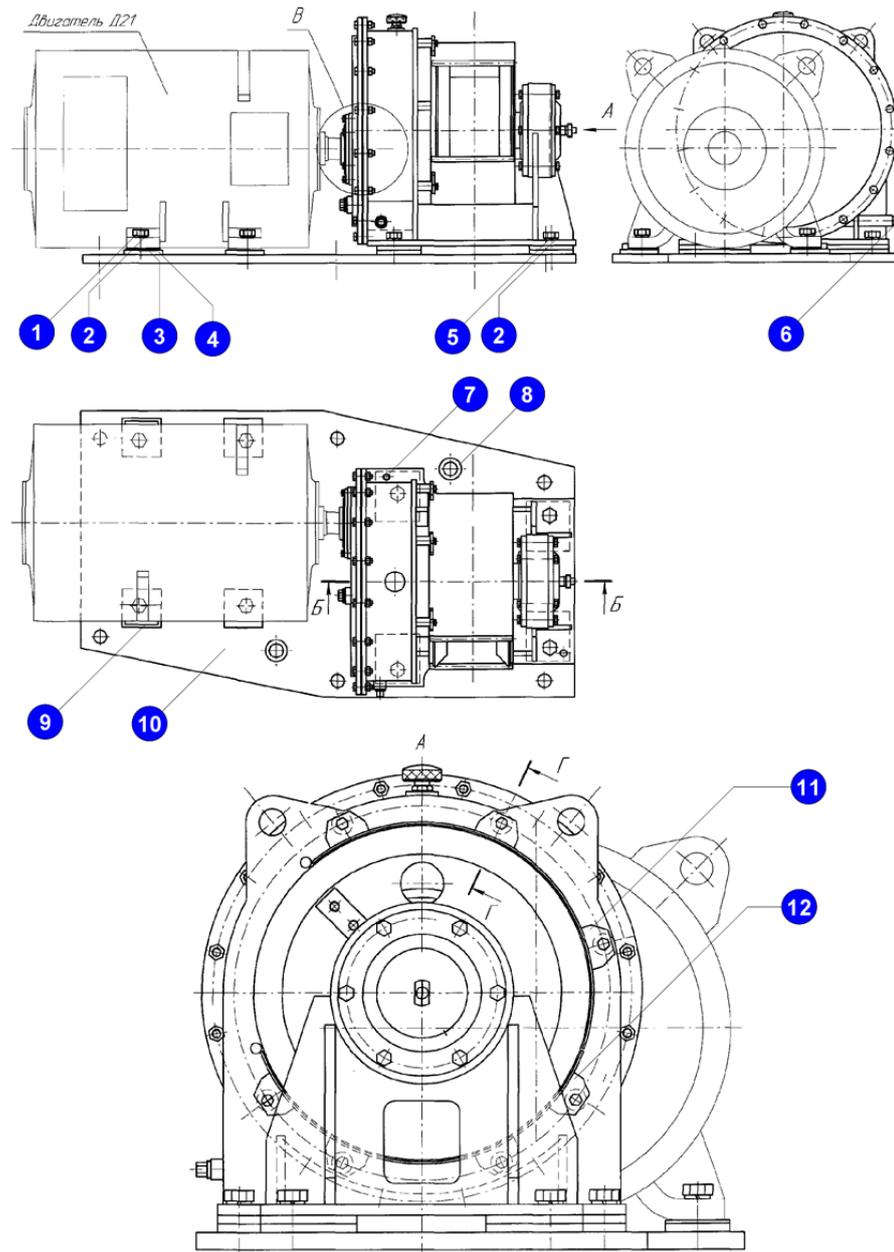


Рисунок 8 – Редукторный механизм открывания днища ковша.

1 – болт; 2 – шайба; 3 – прокладка; 4 – прокладка; 5 – болт; 6 – пробка; 7 – штифт; 8 – втулка; 9 – планка; 10 – плита; 11 – кожух; 12 – кожух.

Электродвигатель постоянного тока механизма открывания днища ковша при работе экскаватора в забое всегда включен на подмотку каната на барабан моментом до 10% от номинального значения, что необходимо для предотвращения значительного провисания каната при перемещении рукояти. Для открывания днища при разгрузке ковша электродвигатель включается на максимальный момент.

Отклоняющие блоки служат для ограничения колебаний каната и предотвращение попадания его в подвижные элементы рукояти при работе экскаватора.

Выбираем безредукторный механизм открывания днища ковша, так как его использование уменьшает динамику, исключает резонансные явления, снижает затраты на техническое обслуживание.

Для безредукторной лебедки выбираем двигатель Д806, который обеспечивает требуемый момент на барабане лебедки ОДК и позволяет проектировать конструкцию на базе уже имеющейся лебедки ОКД ЭКГ-10.

2.5.8 Барабан лебедки механизма открывания днища ковша

Барабан лебедки имеет возможность нескольких вариантов закрепления каната. Конструкцией барабана предусмотрено крепление:

- Стального каната диаметром 10 мм;
- Полиамидного каната диаметром 19 мм.

2.5.9 Рычаги механизма открывания днища ковша

Служит для передачи момента двигателя. Рычаг открывания днища ковша представлен в виде системы пантографов, состоит из двух рычагов, соединенных друг с другом при помощи осей. Закреплен данный механизм в проушинах, расположенных на корпусе рукояти.

2.6 Достоинства и недостатки конструкции механизма открывания днища ковша ЭКГ-10

Достоинства и недостатки конструкции механизма открывания днища ковша ЭКГ-10, были выявлены исходя из опыта эксплуатации. Около 20 машин с данной конструкцией механизма открывания днища ковша работает в разрезах по всей России, соответственно машина была испытана в различных эксплуатационных и погодных условиях. Далее рассмотрим достоинства и недостатки конструкции.

Достоинства конструкции:

- Система пантографов обеспечивает достаточный момент для высвобождения засова;

Механизм обеспечивает необходимое и достаточное передаточное отношение, для беспроблемного открывания засова с первого запуска мотора. (по расчетам – фактически из-за плохого обслуживания узла, а именно отсутствия регулярной смазки узлов и регулировки, механизм перестает работать исправно.

- Возможность использования разного типа канатов;

Конструкция барабана позволяет использовать разные типы канатов – полиамидный 19 мм, стальной 10 мм.

- Отлаженный процесс производства;

Подобная система устанавливалась на экскаваторах ЭКГ-5, ЭКГ-18.

Недостатки конструкции:

- Сложность конструкции;
- Большое количество изделий, а также сложных обособленных узлов.
- Большой вес системы пантографов.
- Трудности при монтаже;
- Из-за высокого веса, требуется спецтехника. Также, из-за сложности конструкции и большого количества деталей затрачивается большое время на

МОНТАЖ.

- Низкая надежность соединений;
- Отсутствует постоянная смазка осей, соответственно возникает высокий износ. Зарегистрировано несколько случаев поломки узла.
- Небольшая ходимость каната;
- Средняя ходимость полиамидного каната – 6-10 дня. Средняя ходимость стального каната 13-16 дней.
- Трудоемкий процесс производства.
- Трудоемкий процесс обслуживания.

2.7 Техническое обслуживание механизма открывания днища ковша (МОДК)

Основным фактором, определяющим необходимость проведения ремонта, является снижение технико-экономических показателей эксплуатируемого узла, происходящее в результате выхода из строя отдельных деталей, а также их значительное изнашивание, которое может привести к отказу узла, и, как следствие, аварийной остановке машины.

Капитальный ремонт – ремонт, осуществляемый в процессе эксплуатации для гарантированного обеспечения работоспособности изделия и состоящий в замене и восстановлении его отдельных частей и их регулировке.

Текущий ремонт – ремонт, осуществляемый в процессе эксплуатации для гарантированного обеспечения работоспособности изделия и состоящий в замене и восстановлении его отдельных частей и их регулировке. Текущий ремонт предотвращает необходимость проведения более частых капитальных ремонтов. Текущий ремонт проводится агрегатно-узловым методом, заключающимся в замене отдельных узлов или сборочных единиц, содержащих изношенные детали, на новые или заранее отремонтированные.

Каждый ремонт выполняется в объеме, восполняющем те потери в техническом состоянии оборудования, которые появились в результате его

эксплуатации в течение периода, предшествующего этому плановому ремонту.

Все плановые ремонты экскаватора – капитальный и текущие, производятся с периодичностью, установленной действующей нормативно-технической документацией. При этом предусматриваются:

- ведение учета работы экскаватора и установление продолжительности межремонтных периодов;
- надзор за состоянием всех узлов и регистрация всех обнаруженных дефектов;
- наличие рабочих чертежей на все быстроизнашивающиеся детали и сборочные единицы;
- организация изготовления или приобретения запасных частей, их складирование и хранение;
- наличие обоснованных нормативов на простой экскаватор в ремонте, на запас деталей и расход вспомогательных материалов. [10]

2.8 Описание и конструктивные особенности, внедряемые в ходе модернизации МОДК

В ходе эксплуатации экскаватора ЭКГ-10, был выявлен ряд проблем, связанных с механизмом открывания ковша, данные недостатки приведены ниже:

- Недостаточная смазка подвижных узлов механизма;
- Долгий и сложный процесс технического обслуживания механизма;
- Деформация осей и рычагов в связи с периодической перегрузкой узла (слишком долгое нажатие кнопки работы двигателя);
- Недостаточное усилие для открывания днища;
- Многочисленные случаи брака – редуктор открывания днища ковша;
- Предложены сложные методы закрепления каната на барабане, требуется демонтаж барабана для нормального закрепления. В связи с этими проблемами и частой необходимостью замены, экипаж не использует

предложенные варианты закрепления.

- Отсутствует ограничение хода системы пантографов. Соответственно возникают удары во время работы экскаватора и как следствие выход из строя рычагов.

- Зарегистрированы случаи, когда рычаг при работе задевал днище ковша и отклоняющие блоки.

В связи с вышеуказанными проблемами было решено провести модернизацию узла, с целью минимизировать затраты на монтаж, техническое обслуживание и себестоимость.

Для улучшения работы механизма, были внесены следующие изменения:

1. Днище ковша:

1.1 Была применена сварная конструкция днища ковша из высокопрочного листового металла типа RAEX с использованием дополнительной легкой футеровки из биметалла;

1.2. Увеличена длина рычага, соответственно увеличено передаточное отношение.

2. Изменение конструкции рычага;

Замена системы пантографов на однорычажную. Данная мера позволит значительно упростить и облегчить конструкцию. Помимо этого, особенностями конструкции являются:

- Использование двухрядных шариковых подшипников закрытого типа;

- Двухопорная конструкция, позволяет избавиться от консольного нагружения оси;

- Болтовое соединение корпуса рычага и корпуса рукояти;

- Использование прокатной стали. (Без использования поковок и литья).

- Предусмотрена возможность смазывания подвижных элементов.

3. Перенос места крепления рычага;

Рычаг переносится на место грузозацепной цапфы, которая используется

для монтажа рукояти. Использован специальный грузозахват с возможностью болтового соединения на фланце грузозахвата.

Данное изменение позволит нам избавиться от проблемы возможной встречи рычага с каким-либо подвижным объектом, таким как петли днища ковша или борт кузова самосвала.

4. Замена полиамидного каната диаметром 15 мм на канат диаметром 26 мм и полный отказ от использования стального троса;

Данная мера позволит увеличить ходимость каната до 3 месяцев. Данные показатели были получены в ходе полевых испытаний на аналогичном экскаваторе.

5. Изменение конструкции барабана;

Конструкция барабана была изменена под крепление полиамидного каната большего диаметра. Также был изменен метод крепления каната с завязывания на узел на болтовое притягивание каната к реборде барабана.

Помимо этого, был уменьшен диаметр барабана для того, чтобы обеспечить необходимый момент для открывания днища ковша.

6. Замена электродвигателя на более мощный;

7. Замена марки стали с СТЗСП5 на более морозостойкую низколегированную сталь 10ХСНД; Низколегированную сталь можно использовать в условиях крайнего севера, от -70°C . Эту сталь отличает большая прочность за счёт более высокого предела текучести, что важно для данной конструкции.

Данная мера обусловлена тем, что планируется поставка экскаватора на северные разрезы, где температура зимой может достигать -50°C ;

8. Оптимизация процесса монтажа и технического обслуживания;

Благодаря болтовому соединению корпуса рычага монтаж механизма можно вести на земле без использования крана. Помимо этого, корпус рычага и рычаг поставляются в сборе на монтаж, что облегчает его процесс. Также благодаря новой конструкции периодичность ТО для данного узла снижена за счет надежных закрытых подшипников.

2.9 Обзор методов определения усилий копания

Основными из внешних нагрузок, действующих на динамическую систему – одноковшовый экскаватор, являются усилия на рабочих органах при взаимодействии их с грунтом. Очевидно, что от точности определения величины, характера изменения и места приложения этих усилий зависит и точность расчетов основных параметров рабочего оборудования, выполняемых как при проектировании экскаватора, так и его модернизации. Этим, в частности, можно объяснить наличие значительного количества работ по данному вопросу. Многие специалисты, занимающиеся исследованием машин с ковшовым рабочим органом, стараются решать вопросы взаимодействия и определения соответствующих нагрузок на основании собственных воззрений. Такое положение подчеркивает всю сложность и неоднозначность данного вопроса и, как следствие, объясняет наличие достаточно больших расхождений в получаемых результатах.

По подходу к решению задачи по определению усилий копания все известные работы можно условно разделить на две группы. Базовым для работ первой группы является экспериментально-теоретический метод, а для второй аналитический.

3 Расчет основных узлов механизма открывания днища ковша

При модернизации механизма открывания днища ковша были произведены следующие расчеты:

- Расчет вместимости ковша;
- Расчет механизма открывания днища ковша;
- Прочностной анализ системы рычагов;
- Выбор электродвигателя лебедки открывания днища ковша и подбор каната.

3.1 Расчет вместимости ковша

Расчет вместимости ковша (рисунок 9) необходим для определения нагрузки, приходящейся на засов днища ковша.

Расчет на вместимость производится согласно ГОСТ 29290-92 (ИСО 7546-83) Машины землеройные. Ковши погрузчиков и погрузочные ковши экскаваторов. Расчет вместимости.

Номинальная вместимость ковша V_r согласно ГОСТ 29290-92 состоит из вместимости ковша заподлицо V_s и объема «шапки» с углом уклона $\frac{1}{2}$ - V_e . [11]

$$V_r = V_s + V_e [\text{м}^3] \quad (3.1)$$

Таблица 1 – Данные для расчета ковша ЭКГ-10

Параметры	Обозначения	Значения
Глубина ковша в верхней части, мм	L1	1580
Глубина ковша в нижней части	L2	1630
Глубина ковша от вершины режущей кромки до задней стенки, мм	L3	1700
Ширина ковша, мм	B	2950
Высота передней стенки, мм	h1	2540
Высота задней стенки, мм	h2	1500
Глубина скоса нижней кромки корпуса ковша, мм	N1	730
Высота скоса нижней кромки корпуса ковша, мм	N2	86
Зазор между днищем и корпусом ковша:		
Около пяты, мм	t1	35
В районе тяг рукояти, мм	t2	35

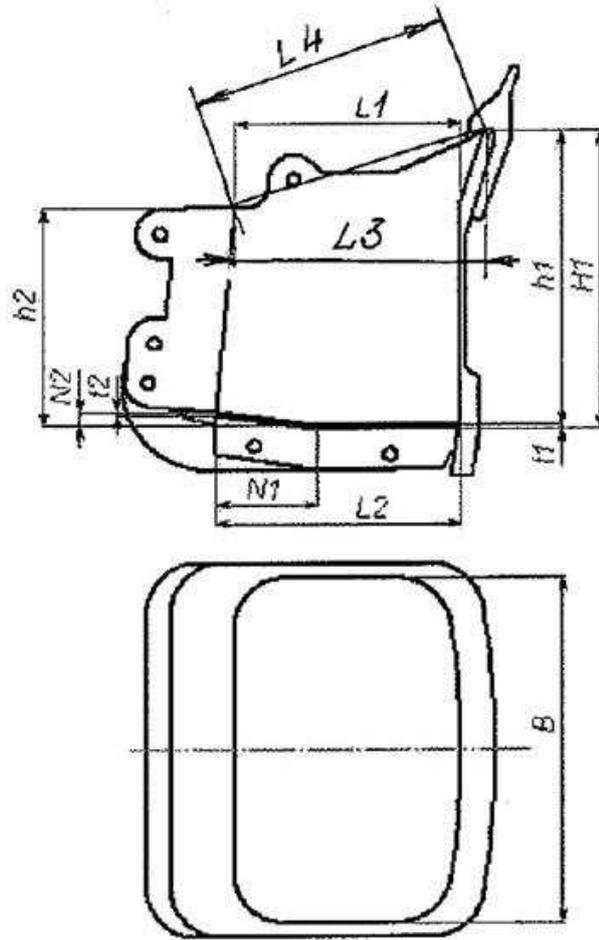


Рисунок 9 – Линейные параметры ковша.

$$H1=h1+t1, [\text{мм}]; \quad (3.2)$$

$$H2=h2+t2, [\text{мм}]; \quad (3.3)$$

$$H1=2540+35=2575 \text{ мм};$$

$$H2=1500+35=1535 \text{ мм};$$

Расчет V_r

$$V_S = \left(\frac{L1+L2}{2} \cdot \frac{H1+H2}{2} - \frac{N1 \cdot N2}{2} \right) \cdot B \cdot k, [\text{мм}^3.]; \quad (3.4)$$

Где k - коэффициент, учитывающий скругление углов корпуса ковша ($k=0,96$).

$$V_S = \left(\frac{1580+1630}{2} \cdot \frac{2575+1535}{2} - \frac{730 \cdot 86}{2} \right) \cdot 2950 \cdot 0,96 = 9,25 \text{ м}^3$$

Расчет V_e

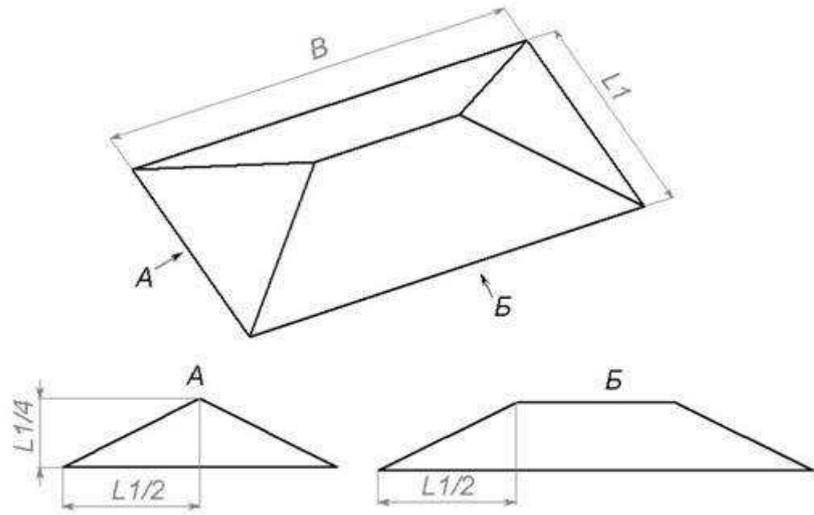


Рисунок 10 – Добавочная шапка ковша

Длина основания шапки (рисунок 10) L_4 :

$$L_4 = \sqrt{L_3^2 + (h_1 - h_2)^2}, \text{ [мм];} \quad (3.5)$$

$$L_4 = \sqrt{1700^2 + (2540 - 1500)^2} = 1993 \text{ мм};$$

$$V_e = \frac{L_4^2 \cdot \left(B - \frac{L_4}{3} \right)}{24}, \text{ [м}^3\text{];} \quad (3.6)$$

$$V_e = \frac{1993^2 \cdot \left(2950 - \frac{1993}{3} \right)}{24} = 0,38^2 \text{ мм};$$

$$V_r = V_S + V_e = 9,25 + 0,38 = 9,63 \text{ м}^3.$$

Примем объем ковша $V_r = 10 \text{ м}^3$

3.2 Расчет механизма ОДК

Целями данного расчёта являются:

- определение потребной мощности электродвигателя лебедки механизма ОДК;

- подбор геометрических параметров компонентов лебедки ОДК;
- подбор цепи и каната, входящих в состав механизма ОДК.

В расчёте для повышения точности принято раздельное обозначение центров масс грунта в ковше и днища в сборе.

Расчёт проведен для двух положений ковша с рукоятью:

- первый вариант – рукоять расположена горизонтальна;
- второй вариант – днище ковша расположено горизонтально.

Данные варианты выбраны из предположения, что в них будет достигаться наибольшая сила трения в засове.

Исходные данные для расчета:

Вес грунта в ковше $G_{гр} = 1,8^т / м^3 \cdot 9,7м^3 = 17,46 т = 171,3 кН$ (для расчёта принята погрузочная плотность грунта равная $1,8^т / м^3$).

Масса днища определена на основании модели.

При этом вес днища составит $G_{дн} = 11,2 т = 109,4 кН$.

Геометрические параметры расчётных схем определены на основании кинематической схемы.

Для вариант расчёта №1 они составляют:

$$l_{гр}^1 = 2560 \text{ мм}$$

$$l_{дн}^1 = 828 \text{ мм}$$

$$l_3^1 = 1935 \text{ мм}$$

$$\alpha = 20^\circ$$

Для варианта расчёта №2:

$$l_{гр}^2 = 1395 \text{ мм}$$

$$l_{дн}^2 = 1133 \text{ мм}$$

$$l_3^2 = 2265 \text{ мм}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

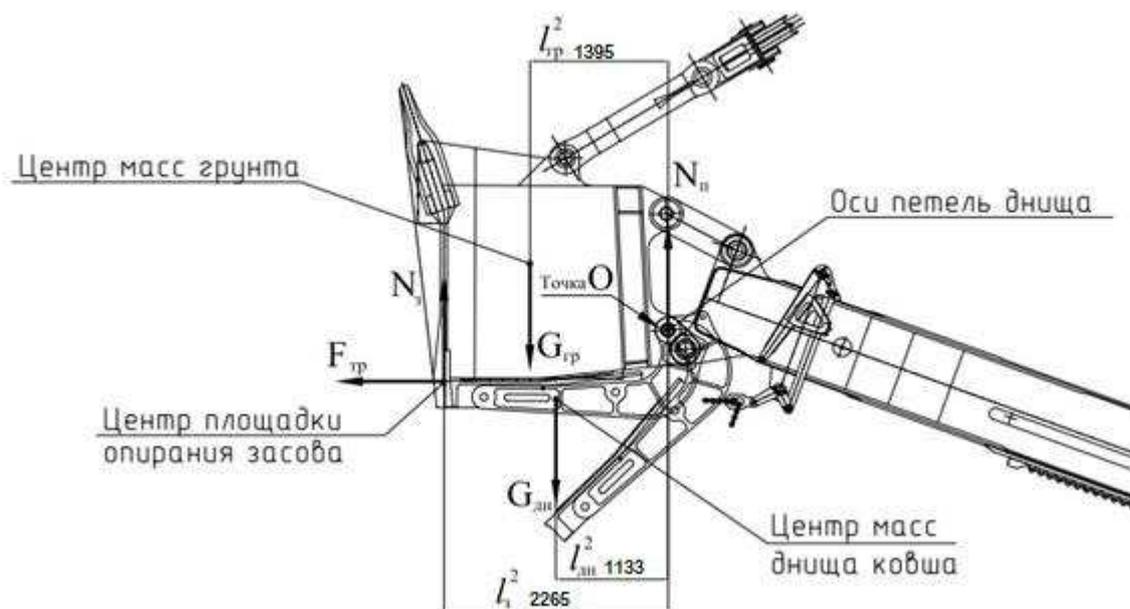


Рисунок 12 – Расчётная схема варианта 2

Учитывая, что

$$\sum Mo=0; \quad (3.7)$$

Тогда

$$N_3 \cdot l^2 \geq G_{гр} \cdot l_{гр}^2 - G_{дн} \cdot l_{дн}^2 = 0; \quad (3.12)$$

$$N_3 = \frac{G_{гр} \cdot l_{гр}^2 - G_{дн} \cdot l_{дн}^2}{l_3^2}; \quad (3.13)$$

$$N_3^n = N_3 \cdot \cos \alpha = \frac{G_{гр} \cdot l_{гр}^2 - G_{дн} \cdot l_{дн}^2}{l_3^2} \cdot \cos \alpha; \quad (3.14)$$

Примем коэффициент трения в засове равным $\mu = 0,4$, тогда

$$F_{тр2} = \mu \cdot N_3^n = \mu \cdot \frac{G_{гр} \cdot l_{гр}^2 - G_{дн} \cdot l_{дн}^2}{l_3^2} \cdot \cos \alpha \quad (3.15)$$

$$F_{тр2} = 0,4 \cdot \frac{171,3 \cdot 1395 + 109,4 \cdot 1133}{2265} \cdot \cos 0 = 64 \text{ кН}$$

Сравнивая значения сил трения, полученные для двух вариантов, видно, что в варианте 1 (рисунок 11) возникает большее сопротивление выдёргиванию засова. Поэтому принимаем для дальнейших расчётов значение силы трения $F_{тр}=99$ кН.

3.2.2 Расчёт потребного усилия на канате

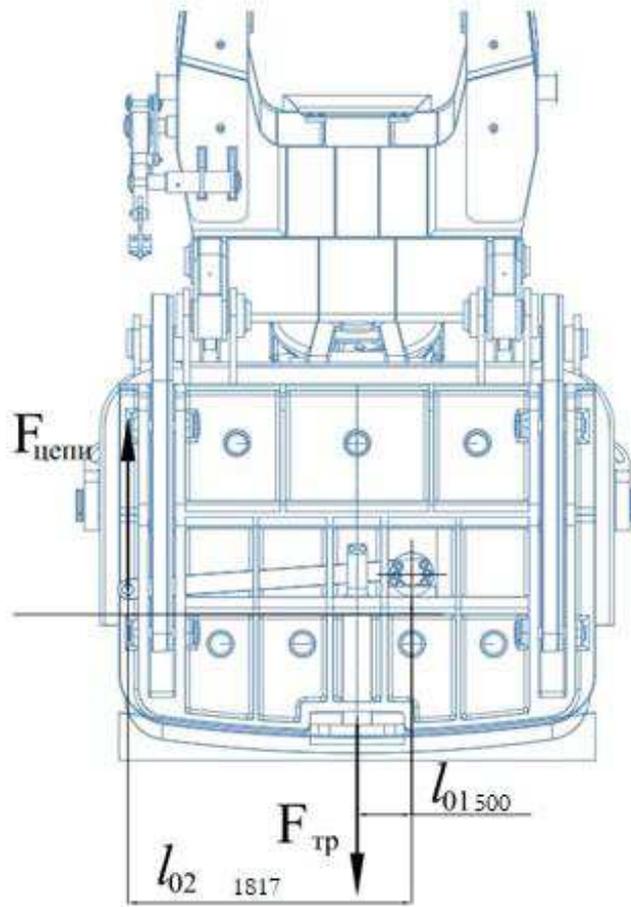


Рисунок 13 – Схема рычагов на днище ковша

В модели соотношение рычагов (система пантографов) (рисунок 13) составляет

$$l_{02}/l_{01} = \frac{1817}{500} = 5,194 \approx 3,6 \quad (3.16)$$

При этом

$$F_{\text{цепи}} = F_{\text{тр}} \frac{l_{01}}{l_{02}} = \frac{99}{3,6} = 27,5 \text{ кН} \quad (3.17)$$

При запасе прочности цепи $k_{\text{цепи}} = 3$ (работает 2 ветви цепи) суммарная нагрузка на 2 ветви цепи должна быть не менее

$$F_{\text{цепи}}^{k3} = 27,5 \cdot 3 = 82,5 \text{ кН} = 8412,6 \text{ кгс} \quad (3.18)$$

При запасе прочности цепи $k_{\text{цепи}} = 5$ (работает 2 ветви цепи) суммарная нагрузка на 2 ветви цепи должна быть не менее

$$F_{\text{цепи}}^{k3} = 27,5 \cdot 5 = 137,5 \text{ кН} = 14021 \text{ кгс} \quad (3.19)$$

Т.е. нагрузка на одну ветвь составит $68,75 \text{ кН} = 7010,3 \text{ кгс}$

Учитывая неравномерность распределения нагрузки на 2 ветви принимаем цепь 2,5-I-22x66 ТУ ВКРФ.303613.005-2005 [12], пробная нагрузка которой $F_{\text{пр}} = 70 \text{ кН}$.

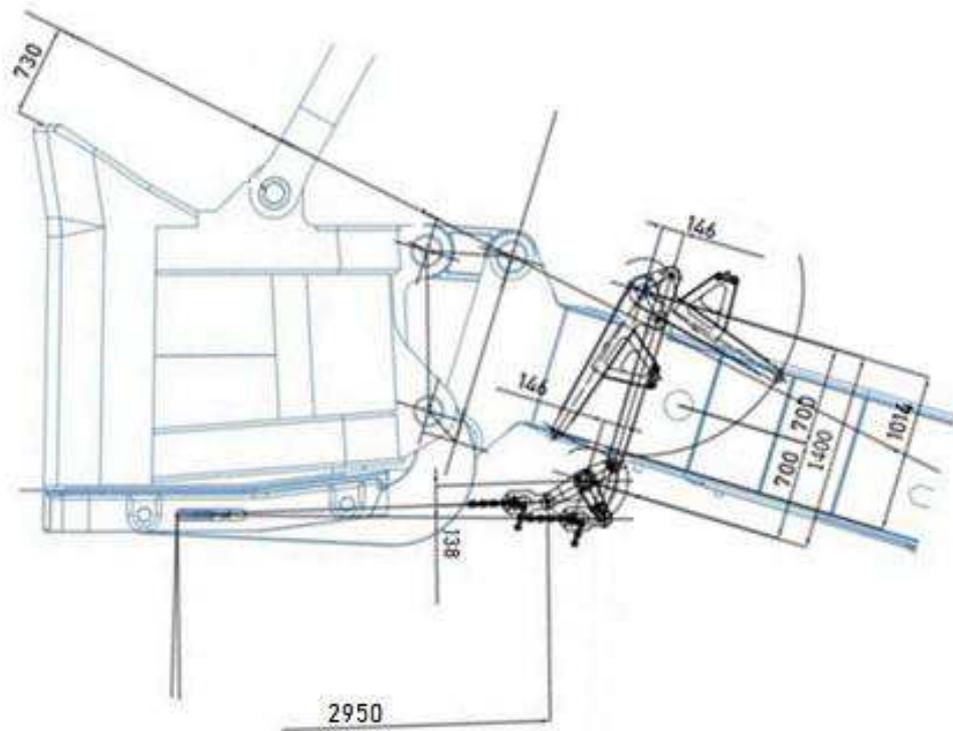


Рисунок 14 – Схема рычагов на рукояти

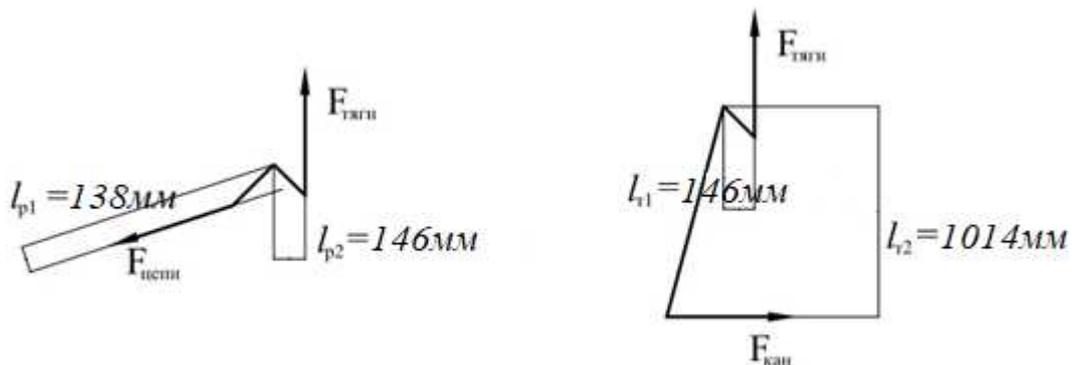


Рисунок 15 – План сил на рычагах на рукояти

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{цепи}} \frac{l_{p1}}{l_{p2}} \quad (3.20)$$

$$F_{\text{кан}} = F_{\text{тяги}} \frac{l_{r1}}{l_{r2}} = F_{\text{цепи}} \frac{l_{p1}}{l_{p2}} \cdot \frac{l_{r1}}{l_{r2}} = 27,5 \frac{138}{146} \cdot \frac{146}{1014} = 3,8 \text{ кН} = 387 \text{ кг} \quad (3.21)$$

На ЭКГ-10 применяется трос двойной свивки типа ТК 13,0-Г-В-Л-О-Н-1770 ГОСТ 3071-88. [13] Разрывная нагрузка каната составляет 9280 кгс = 91 кН.

В ходе модернизации предлагаю перейти на канат полиамидный тросовой свивки диаметром 26 мм ГОСТ 30055-93. [14] Разрывная нагрузка каната составляет 12170 кгс = 119 кН

Запас прочности каната Ø13 и Ø26 соответственно, составит

$$k_{\text{пр}}^A = \frac{9280}{378} = 23 \quad (3.22)$$

$$k_{\text{пр}}^A = \frac{12170}{378} = 32 \quad (3.23)$$

3.2.3 Выбор двигателя лебедки ОДК и подбор каната

Предварительно примем радиус барабан лебедки ОДК экскаватора ЭКГ-10 (радиус барабана до модернизации).

$$r_{\text{бар}} = 156,8 \text{ мм} \quad (3.24)$$

Тогда требуемый момент на барабане лебедки составит

$$M_{\text{бар}}^{\text{треб}} = F_{\text{кан}} \cdot \left(r_{\text{бар}} + \frac{d_{\text{кан}}}{2} \right) = 0,77228 \text{ кН} \cdot \text{м} = 772,28 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.25)$$

Одним из условий проектирования механизма ОДК ЭКГ-10 стоит задача спроектировать безредукторную лебедку.

Поэтому рассмотрим возможные двигатели.

На ЭКГ-10 также применяется редукторная схема с двигателем Д32 мощностью $N^{32} = 12 \text{ кВт}$, частота вращения $n^{32} = 780 \text{ об/мин}$.

Номинальный момент этого двигателя определим по формуле

$$N_{\text{дв}} = M_{\text{дв}} \cdot n_{\text{дв}} \quad (3.26)$$

$$M_{\text{дв}}^{32} = \frac{1000 \cdot N^{32}}{\frac{2\pi \cdot 780}{60}} = \frac{1000 \cdot 12}{\frac{2\pi \cdot 780}{60}} = 146,91 \text{ Н} \cdot \text{м} = 15,0 \text{ кгс} \cdot \text{м} \quad (3.27)$$

Двигатель допускает работу в режиме перегрузки с коэффициентом $k = 2,5$

$$M_{max}^{32} = 367,28 \text{ Н} \cdot \text{м} = 37,44 \text{ кгс} \cdot \text{м}$$

Очевидно, что двигатель Д32 не подходит для создания безредукторной лебедки ОДК.

Рассмотрим два следующих по мощности двигателя в линейке (таблица 2)

Таблица 2 – Параметры электродвигателей

Двигатель	Мощность	Обороты	Момент номинальный	Момент с перегрузкой 2,5
Д41	16 кВт	700 об/мин	218,27 Нм	545,67 Нм
Д806	22 кВт	650 об/мин	323,2 Нм	808,02 Нм

Двигатель Д806 обеспечивает требуемый момент на барабане лебедки ОДК и позволяет проектировать конструкцию на базе уже имеющейся лебедки ОКД ЭКГ-10.

Рассмотрим какой требуется радиус барабана лебедки ОДК чтобы было возможным использовать двигатель Д41.

$$M_{бар}^{41} = F_{кан} \cdot \left(r_{бар}^{треб} + \frac{d_{кан}}{2} \right) \quad (3.28)$$

$$r_{бар}^{треб} = \frac{M_{бар}^{41}}{F_{кан}} - \frac{d_{кан}}{2} = \frac{545,67}{4490} - \frac{0,019}{2} = 0,112\text{м} = 112\text{мм} \quad (3.29)$$

Таким образом, диаметр барабана при этом должен быть меньше 220 мм, тогда для проектирования нового барабана примем диаметр барабана равным 200 мм. Данная мера позволит обеспечить необходимый момент для открывания днища ковша, а также позволит использовать полиамидный канат 26 мм;

Для проектирования механизма ОДК выбраны следующие конструктивные составляющие:

- двигатель Д806 мощностью 22 кВт;
- канат трёхрядный полиамидный ПА ПлЗ 26(90) мм 345 ктекс А ГОСТ 30055-93;

- цепь 2,5-I-22x66 ТУ ВКРФ.303613.005-2005 с пробной нагрузкой $F_{пр} = 92$ кН.

По проделанным расчетам выбрали безредукторную лебедку с двигателем Д806, который обеспечивает требуемый момент на барабане лебедки ЭКГ-10.

Таким образом, мы рассчитали необходимый диаметр барабана лебедки ОДК, выбрали соответствующий ей двигатель Д806. Выбрали канат трёхпрядный полиамидный ПА ПлЗ 26 мм с запасом прочности 32.

3.3 Прочностной анализ рычага и корпуса МОДК

Модернизация рычага корпуса МОДК основывается на уже имеющемся аналоге, разработанного для ЭКГ-20.

Для расчета используем конструкцию рычага и корпуса (рисунки 16, 17, 18).

Расчет проводится для случая, когда засов днища ковша застрял и не выходит из зацепления, соответственно возникает ситуация, в которой все рычаги находятся под постоянной нагрузкой, создаваемой электродвигателем.

Данная ситуация предположительно является – наихудшим условием работы.

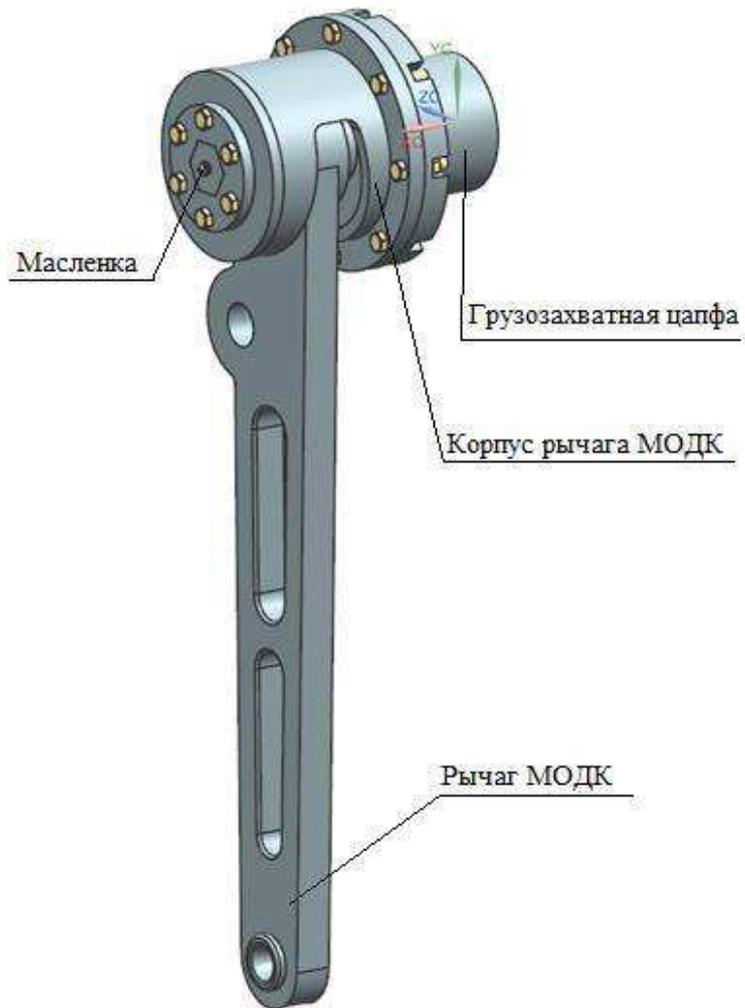


Рисунок 16 – Общий вид рычага и корпуса МОДК

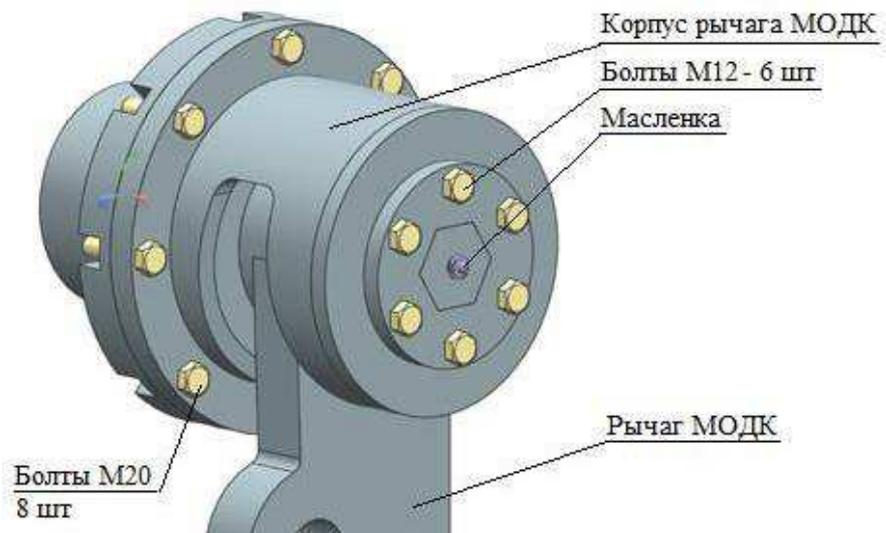


Рисунок 17 – Укрупнённый вид рычага и корпуса МОДК

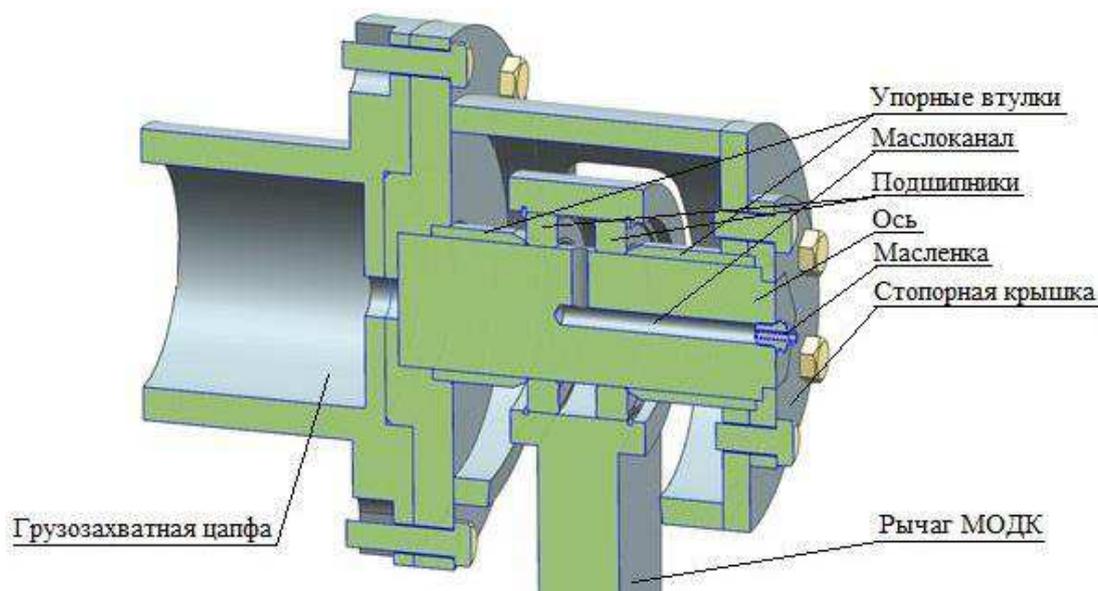


Рисунок 18 – Разрез рычага и корпуса МОДК

Все усилия и нагрузки берем из выше проделанных расчетов.

3.4 Результаты прочностного анализа

Целью данного анализа является сравнение характеристик до модернизации и после, а также выявление улучшений появившимся благодаря модернизации. Расчет производился в инженерной программе Ansys.

Первый случай нагружения (корпус МОДК):

Максимальное перемещение составило 0,7 мм, что является допустимым.

Максимальное напряжение 63,76 МПа, что является допустимым показателем. (Для стали 10ХСНД – максимальное напряжение равняется 284 МПа).

Для второго случая нагружения максимальные напряжения составили 57 МПа. Данная величина также является допустимой для предложенной марки стали. Делаем вывод, что предложенная конструкция эффективна.

Следующим шагом проводим анализ эксплуатационных характеристик экскаватора.

Основным показателем успешной модернизации является уменьшение количества часов простоев и увеличение производительности экскаватора.

3.5 Результаты анализа работы до и после модернизации

Таблица 3 – Сводные данные по простоям ЭКГ-10

Показатель	Значение	
	Ч	%
Технические и организационные простои	111	17
Климатические условия	7	1
Время простоев на ТОиР	340	52
Время организационных простоев	111	16
Прочие простои	62	7
Буровзрывные работы	55	7
Время основной работы	4637	82

Сводные данные простоев ЭКГ-10 (Таблица 3):

- Технические и организационные простои
- Климатические условия
- Буровзрывные работы
- Время простоев на ТОиР
- Время организационных простоев
- Прочие простои

Согласно статистическим данным делаем сводный график простоев.



Р

и

Из проделанного графика (рисунок 19) видно, что время простоев на ТОиР занимает больше всего времени, из этого следует, что необходимо его уменьшить.

н

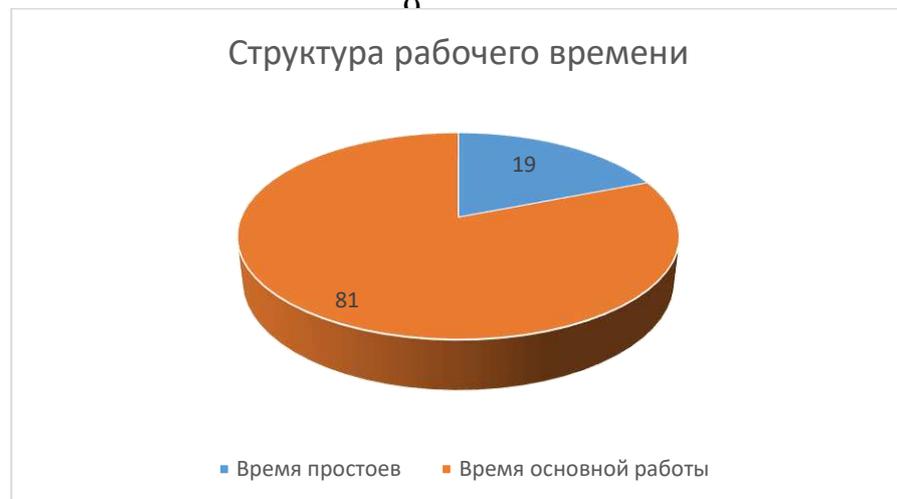
По полученным расчетам делаем предварительный вывод, что время простоев должно уменьшится.

к

По полученным данным строим диаграмму (рисунок 20):

1

о



Р

и 54

с

и

Аналогичную диаграмму, строим для модернизированного механизма, чтобы наглядно продемонстрировать изменения полученные в ходе модернизации механизма открывания днища ковша.

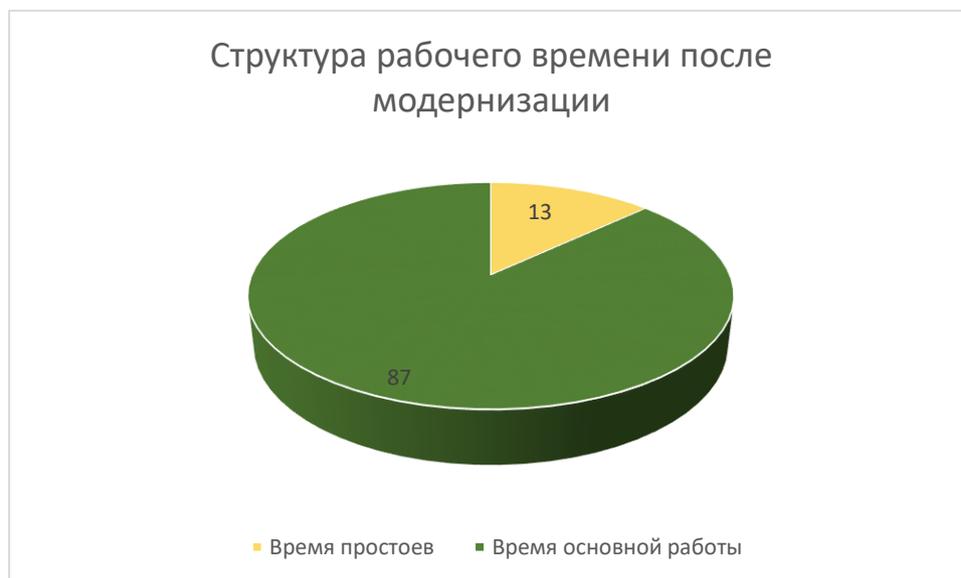


Рисунок 21 – Структура рабочего времени после модернизации

На графике (рисунок 21) видно, что время простоев после модернизации уменьшилось, благодаря более мощному двигателю на барабане лебедки. Результаты анализа работы экскаваторов до и после модернизации.

На основе полученных данных, можно сделать вывод об успешном проведении модернизации механизма открывания днища ковша экскаватора ЭКГ- 10.

Данный вывод следует из следующих показателей:

- Увеличено время основной работы на 6% с 81% до 87%;
- Уменьшено время простоев на ТОиР;
- Уменьшено время организационных простоев;

Делаем вывод, что данная модернизация является эффективной.

4 Экономическая часть

4.1 Теоретические основы построения сетевой модели выполнения ВКР

В данном разделе рассчитан сетевой график выполнения работ по модернизации одноковшового экскаватора с целью повышения его производительности.

Расчет сетевого планирования и управления (далее СПУ) позволил рационально распределить время по видам работ и выполнить дипломную работу в установленный учебным графиком срок.

Целью применения СПУ является разработка оптимального или достаточного близкого к нему варианта выполнения работ, обеспечивающего рациональную увязку во времени и пространстве выполняемых работ, наилучшее использование ресурсов, а также эффективное управление процессом реализации этого плана.

В основе СПУ лежит сетевая модель – графическое изображение событий и работ, которое получило название сетевого графика.

Работа является основным элементом сетевого графика. Существует три вида работ: действительная, работа-ожидание и фиктивная работа.

Элементами сетевого графика, построенного в форме «работа-стрелка», являются работа, событие и путь.

Действительная работа – это трудовой процесс, в котором участвуют люди, машины, потребляются материально -технические и денежные ресурсы (устройство перемычек, изготовление макета, монтаж металлоконструкций и т. д.) Она изображается в виде сплошной стрелки; над стрелкой – продолжительность выполнения работы, а под стрелкой – продолжительность выполнения работы в выбранных единицах времени. Выбор единицы измерения продолжительности работы зависит от уровня руководства, которому предназначен сетевой график. Так, в проекте организации строительства в

качестве единицы принимаются месяц или квартал, в проектах производства работ – дни, недели, месяцы; при планировании работы комплексных бригад – смены, часы. Продолжительность выполнения всех работ в одном сетевом графике должны быть определены в одних единицах. Предполагается, что время течет в направлении, указанном стрелкой: хвост стрелки – начало, а острие – окончание работы.

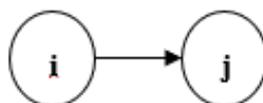


Рисунок 22 – Пример изображения события и работы

Событие – есть факт окончания одной работы и начала другой. Событие обычно изображается кружочком, в котором указан номер. Событие не связано с потреблением ресурсов и продолжительность его равна нулю. Считается, что работа выходит из одного события и входит в другое.

Работа – стрелка соединяет два события: i – предшествующее и j – последующее. Пара номеров событий образуют код (шифр) работы. Первым читается номер события, стоящего в – хвосте стрелки, и вторым – у острия.

Различают начальные и конечные события. Конечное событие иногда называют целью. По числу конечных событий различают одно- и многоцелевые сетевые графики.

Путь – это последовательность работ в сетевом графике, при которой окончание предшествующей работы совпадает с началом последующей.

Для работы или события существует предшествующий путь, ведущий из начального события к данному или из начального события к событию, предшествующему данной работе.

Сетевой график в форме работа – стрелка получил наибольшее распространение, так как содержит текстовую информацию (наименования

работ, указанных над стрелками) и облегчает восприятие графика человеком.

Аналогично для работы и события существуют последующие пути, связывающие данное событие с конечным или событие, последующее за данной работой, с конечным.

Полный путь связывает начальное событие с конечным. Самый длинный полный путь называется критическим.

Для каждой работы в сетевом графике определяют 6 временных параметров: $t^{p.n.}_{ij}$ – раннее начало; $t^{p.o.}_{ij}$ – раннее окончание; $t^{п.н.}_{ij}$ – позднее начало; $t^{п.о.}_{ij}$ – позднее окончание; $R^{п.}_{ij}$ – полный резерв времени; R^c_{ij} – свободный резерв времени.

Временной характеристикой всего сетевого графика является продолжительность критического пути $T_{кр}$. В одноцелевом графике существует по крайней мере один критический путь, хотя таких путей может быть и несколько. Возможны случаи, когда все пути в сетевом графике будут

критическими. В многоцелевом сетевом графике минимальное количество критических путей равно числу конечных события (целей), причем продолжительности этих путей могут быть разными.

Ранние начала и ранние окончания находятся в процессе расчета графика от начального события к конечному. Ранние начала и окончания находятся в процессе расчета графика от начального события к конечному. Раннее окончание работы связано с ее ранним началом зависимостью:

$$t^{p.o.}_{ij} = t^{p.n.}_{ij} + t_{ij} \quad (4.1)$$

где t_{ij} – продолжительность выполнения работы.

Раннее начало работы есть самый ранний срок, в который работа может начаться. Численно он равен продолжительности самого длинного предшествующего данной работе пути. Как бы много ни было этих

предшествующих путей им всегда будет принадлежать работы, непосредственно предшествующие данной.

Поздние начала и поздние окончания отыскиваются в процессе расчета графика «ходом назад» – от конечного события к начальному. Они связаны зависимостью

$$t^{п.н.}_{ij} = t^{п.о.}_{ij} - t_{ij} \quad (4.2)$$

Позднее окончание работы определяет самый поздний срок, в который работа может закончиться, не увеличивая продолжительности критического пути. Численно позднее окончание работы равно разности между продолжительностью критического пути и самого длинного последующего за данной работой пути. Как бы много ни было таких путей, им всегда будут принадлежать работы, непосредственно последующие за данной:

Полный резерв времени работы показывает, на какой промежуток времени можно отодвинуть сроки выполнения работы вправо (в сторону их увеличения), не увеличивая продолжительности критического пути.

$$R^{п.}_{ij} = t^{п.о.}_{ij} - t^{п.н.}_{ij} = (t^{п.н.}_{ij} + t_{ij}) - t^{п.н.}_{ij} \quad (4.3)$$

Если на какой-то работе использован весь полный резерв времени, то по крайней мере один из последующих за данной работой путей станет критическим.

Свободный резерв времени определяет промежуток времени, на который можно отодвинуть сроки выполнения работы вправо, не меняя ранних начал последующих за ней работ, и вычисляется как

$$R^c_{ij} = t^{п.н.}_{ik} - t^{п.о.}_{ij} \quad (4.4)$$

Работы, принадлежащие к критическому пути, имеют резервы времени, равные нулю.

Обязательна упорядоченная нумерация события. Работы заносятся в список в порядке возрастания первых чисел их кодов I , при этом вначале записываются все работы, выходящие из 1-го (начального) события и имеющие первое число кода 1, затем - все работы, выходящие из 2-го события (начальное число кода - 2); потом из 3-го и т.д. Работы, выходящие из одного события, заносятся в список в порядке возрастания вторых чисел их кодов j . Так, если из события 5 выходят работы 5-6, 5-9, 5-8, то в список они должны заноситься в порядке 5-6, 5-8, 5-9.

При упорядоченной нумерации события (для всех работ) и соблюдении правил занесения работ в список для любой работы ij вся информация о предшествующих работах будет расположена в строках таблицы, находящейся выше той, в которой записана информация о данной работе. При этом работы, непосредственно предшествующие данной, последним числом кода будут иметь i , т.е. начальное число кода данной работы. Вся информация о работах, последующих за работой ij , будет записана в строках таблицы, лежащих ниже. При этом работы, непосредственно последующие за данной, первым числом кода будут иметь j , т.е. последнее число кода данной работы.

Цель расчета состоит в определении ранних и поздних сроков выполнения работ, резервов времени, которыми располагают работы, а также в индикации критического пути и определении календарных сроков выполнения работ, например, по их ранним началам.

Расчет ранних сроков выполнения работ производится «ходом вперед», что соответствует движению в направлении от первой строки к последней.

Алгоритм расчета ранних сроков следующий:

1) определяются ранние начала работ, выходящих из начального события (первое число кода этих работ $i = 1$);

5) по формуле находятся ранние окончания тех работ, для которых определены их ранние начала (если определено раннее окончание последней работы, переходят к п. 4);

3) по формуле определяются ранние начала работ, первое число кода которых равно $i + 1$ (переход к п. 2);

4) конец.

Продолжительность критического пути равна максимальному из чисел 5-го столбца таблицы.

Расчет поздних сроков выполнения работ ведется «ходом назад».

Алгоритм расчета поздних сроков такой:

1) определяется позднее окончание работ, входящих в последнее событие (последнее число кода этих работ равно числу событий в графике j), оно равно продолжительности критического пути;

2) по формуле находятся поздние начала работ, для которых найдены их поздние окончания, если определено позднее начало работы, код которой записан в первой строке, переходят к п.4;

3) по формуле находятся поздние окончания работ, последнее число кода которых равно $j-1$, переход к п.2;

4) конец.

Далее следует расчет резервов времени, который можно выполнять в произвольном порядке. Однако целесообразно вначале вычислить полные резервы времени и если они окажутся равными нулю, то для этих работ можно будет не вычислять свободных резервов, ибо последние будут равны нулю.

По формуле определяют свободные резервы для всех остальных работ. [16]

4.2 Расчет показателей сетевого графика выполнения ВКР

Для того, чтобы выполнить дипломную работу в установленном учебным графиком срок и рационально распределить время по видам работ, необходимо выполнить расчет сетевой модели.

Исходные данные для расчета сетевой модели выполнения дипломной работы приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные данные

Код работы	Наименование работы	Код события	Наименование события	Продолжительность работы, дн.
		1	Получено задание на разработку технических рекомендаций	
1-2	Изучение литературы	2	Изучены основы теории надежности	4
2-3	Составление технического задания	3	Составлено техническое задание	3
3-4	Сбор информации	4	Информация собрана на предприятии «Полус»	8
4-5	Анализ конструкций рабочих органов одноковшовых экскаваторов	5	Произведен анализ конструкций и методов исследования рабочих органов одноковшовых экскаваторов	15
5-6	Модернизация конструкции	6	Разработаны метод модернизации конструкции рабочего оборудования одноковшового экскаватора и его обоснование	21
6-7	Составление пояснительной записки	7	Пояснительная записка готова	7
7-8	Защита дипломной работы	8	Дипломная работа защищена	1

На основе исходных данных строим сетевой график и рассчитываем параметры сетевого графика табличным методом. Сетевой график выполнения дипломной работы представлен на графике (рисунок 23).



Рисунок 23 – Сетевой график

Параметры сетевого графика выполнения дипломной работы представлены в таблице 4

Таблица 5 – Параметры сетевого графика выполнения дипломной работы

Предшествующее событие, i	Последующее событие, j	Продолжительность работы, t_{ij}	Ранний срок начала работы $t^{p.n.}_{ij}$	Раннее окончание работы $t^{p.o.}_{ij}$	Поздний срок начала работы $t^{п.н.}_{ij}$	Поздний срок окончания работы $t^{п.о.}_{ij}$	Полный резерв времени работы, $R^{п.}_{ij}$	Частный резерв времени работы, $Ч_{ij}$
1	2	4	0	4	0	4	0	0
2	3	3	4	7	4	7	0	0
3	4	8	8	16	8	16	0	0
4	5	15	16	31	16	31	0	0
5	6	21	24	45	24	45	0	0
6	7	7	40	47	40	40	0	0
7	8	1	58	59	58	59	0	0

В таблице 5 приведен расчет параметров сетевого графика табличным методом, где

- i – предшествующее событие;
- j – последующее событие;
- t_{ij} – продолжительность работы;
- $t^{p.n.}_{ij}$ – раннее начало работ;

$t^{p.o.}_{ij}$ – раннее окончание работ;

$t^{p.n.}_{ij}$ – позднее начало работ;

$t^{p.o.}_{ij}$ – позднее окончание работ;

$R^{p.}_{ij}$ – полный резерв времени работ;

$Ч_{ij}$ – частный резерв времени работ.

Для расчетов полного и частного резервов времени работ используют следующие формулы:

$$R^{p.}_{ij} = t_{п.о.} (ij) - t_{р.о.} (ij) \quad (4.5)$$

$$Ч_{ij} = t_{р.н.} (ih) - t_{р.о.} (ij) \quad (4.6)$$

где $t^{p.n.}_{ih}$ – раннее начало последующей работы.

На сетевом графике, представленном на рисунке 23, один путь. Критический путь равен 60 дней и не имеет резерва времени

$$L = 4 + 3 + 8 + 15 + 21 + 7 + 1 = 59$$

$$t = t_{L1} = 59$$

$$R_{L1} = 0$$

где $L1$ – первый путь (критический); R_{L1} – резерв времени первого пути.

Для расчетов резервов времени событий необходимо определить ранние и поздние сроки наступления событий. Расчет ранних и поздних сроков свершения событий и резервов времени событий для сетевого графика, представлен в таблице 6

Таблица 6 – Ранние и поздние сроки совершения событий и резервы времени

Код событий	Ранний свершения события	срок i-го	Поздний свершения события	срок i-го	Резерв времени i-го события
1	0		0		0
2	4		4		0
3	8		8		0
4	16		16		0
5	24		24		0
6	40		40		0
7	58		58		0
8	59		59		0

При построении сетевого графика с использованием графического метода расчета параметров и резервов используем данные таблиц 4 и 5, график показан на рисунке 23.

Из сетевого графика видно, что дипломная работа выполнена за 59 дней.

Разработана сетевая модель выполнения дипломной работы. Критический путь составляет 59 дней, что свидетельствует о выполнении работы в установленный учебным графиком срок.

Сетевой график позволил составить перечень конкретных работ, проконтролировать выполнение отдельных этапов и время на их проведения (максимальное, минимальное, наиболее вероятное). Опираясь на сетевой график, посчитали важнейшие его параметры: длительность путей, резервы времени всех работ.

Т.к. директивный срок выполнения работы меньше критического пути, то проводить оптимизацию сетевой модели не потребовалось.

Расчет сетевого графика провели всеми рекомендуемыми тремя способами.

5 Безопасность жизнедеятельности

При работе на экскаваторах следует руководствоваться строительными нормами и правилами СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования» [17] и СНиП 12-04-2002 «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство» [18], а также правилами, изложенными в инструкции по эксплуатации экскаватора. [19] В забое экскаватор необходимо устанавливать на ровной спланированной площадке. Работа на уклонах не разрешается.

При работе прямой лопатой в высоком забое необходимо удалять находящиеся сверху козырьки и крупные камни, поскольку при осыпанию грунта они могут повредить экскаватор и стать причиной несчастного случая.

Запрещается нахождение людей и производство каких-либо других работ в зоне действия экскаватора; путь передвижения экскаватора в пределах строительной площадки должен быть заранее спланирован, а на слабых грунтах усилен инвентарными щитами.

Производство земляных работ в зоне расположения подземных коммуникаций (газопроводов, электрокабелей и др.) допускается только с письменного разрешения организации, ответственной за эксплуатацию этих коммуникаций. К разрешению должен быть приложен план (схема) с указанием расположения и глубины заложения коммуникаций. До начала работ необходимо установить знаки, указывающие место расположения подземных коммуникаций.

При приближении к подземным коммуникациям земляные работы должны производиться под наблюдением прораба или мастера, а в непосредственной близости от газопровода и кабелей, находящихся под напряжением, кроме того, под наблюдением работников газового хозяйства и электрохозяйства.

Разработка грунта в непосредственной близости от действующих подземных коммуникаций допускается только вручную лопатами; использовать ломы, кирки и пневмомашины запрещается.

Погрузка грунта в самосвалы экскаватором должна производиться со стороны заднего или бокового бока самосвала. Нахождение людей во время погрузки между экскаватором и транспортным средством запрещается.

Во время перерывов в работе ковш экскаватора должен быть опущен на землю. После окончания работы машинист экскаватора обязан не только прочно установить ковш, но и затормозить экскаватор.

В пределах призмы обрушения запрещаются складирование материалов, движение и установка строительных машин и транспорта, а также установка столбов линий связи.

Производство работ в траншеях и котлованах, подвергающихся увлажнению после их полного или частичного открытия, допускается в том случае, если будут приняты меры предосторожности против обрушения грунта. Для этого прорабу или мастеру необходимо тщательно осмотреть состояние откосов перед началом работы каждой смены; необходимо обрушить грунт в местах обнаружения нависей и трещин у бровок и на откосах; временно прекратить работы до высыхания грунта; уменьшить крутизну откосов на участке, где производство работ является неотложным. [15]

Инструкция по охране труда и технике безопасности для машинистов одноковшовых гусеничных и пневмоколесных экскаваторов

Общие требования

1. К управлению экскаваторов допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие специальный курс обучения и получившие удостоверения на право управления экскаватором определенной модели.

2. Каждый экскаватор закрепляется за определенным обслуживающим персоналом. Один из машинистов назначается старшим (бригадиром).

3. Независимо от прохождения курса обучения весь обслуживающий персонал должен пройти инструктаж по технике безопасности в соответствии с условиями работы.

4. Персонал, обслуживающий экскаватор, должен быть в спецодежде и иметь все надлежащие защитные средства. Без этого работать на экскаваторе запрещается.

5. Перед началом смены машинист должен получить точные указания об условиях работы в порядке выполнения данного ему задания.

6. Обслуживающий персонал не имеет права приступать к работе на экскаваторе, не убедившись в его полной исправности.

7. Все вращающиеся детали - зубчатые, цепные и ременные передачи, маховики и т. д. - должны быть ограждены кожухами. Пуск экскаватора при снятых кожухах запрещается.

8. Пуск двигателя и механизмов разрешается только после подачи машинистом сигнала.

9. Во время работы экскаватора всем, кроме машиниста, категорически запрещается находиться на поворотной платформе. Не допускается иметь на поворотной платформе посторонние предметы.

10: Необходимо следить за тем, чтобы во всех шпоночных, болтовых и клиновых соединениях ответственных частей экскаватора была совершенно исключена возможность их самопроизвольного разъединения.

11. Заправлять двигатель топливом и смазкой следует только при естественном освещении и лишь в случае крайней необходимости ночью с электроосвещением (от сети или аккумулятора).

12. Во время заправки топливом запрещается курить, пользоваться спичками, керосиновыми фонарями и др. источниками открытого огня. После заправки все детали, облитые топливом или смазкой, следует насухо вытереть, а пролитое топливо тщательно засыпать песком.

13. Не разрешается пользоваться открытым огнем для подогрева двигателя. При запуске холодного двигателя необходимо налить в радиатор горячую воду, а в картер - подогретое масло.

14. Воспламенившееся около машины топливо нельзя тушить водой. Для этой цели необходимо использовать огнетушитель, который должен быть в кабине экскаватора, а также песок, брезент и т. д.

15. Машинист, сдающий смену, обязан предупреждать своего сменщика обо всех неисправностях экскаватора, обнаруженных им во время работы, а также делать записи об этом в журнале.

Рабочее место экскаватора

1. Площадка, на которой устанавливается экскаватор, должна быть хорошо спланирована, освещена и обеспечивать хороший обзор фронта работ. Экскаватор необходимо закрепить во избежание его самопроизвольного перемещения.

2. Расстояние от наружного края гусеницы до бровки траншеи и котлована определяется расчетом на устойчивость откосов, но оно должно быть не менее 1 м.

3. Забой для прямой лопаты должен представлять собой стенку, возвышающуюся над поверхностью стоянки экскаватора с наклоном под углом естественного откоса грунта в сторону от экскаватора. Вертикальные стенки забоя допускаются лишь в плотных грунтах.

4. Для обратной лопаты и драглайна забой должен представлять собой поверхность, находящуюся ниже поверхности стоянки экскаватора, наклонную под углом естественного откоса грунта в сторону от экскаватора.

5. Для прямой лопаты высота забоя не должна превышать максимальной высоты копания ковша. При этом нельзя допускать образования свесов (козырьков), которые могут обрушиться и засыпать людей, обслуживающих экскаватор.

6. Для обратной лопаты и драглайна высота забоя не должна превышать наибольшую глубину копания при данной установке экскаватора.

7. Машинист обязан следить за состоянием забоя и, если возникает опасность, что он обрушится, немедленно отвести экскаватор в безопасное место

и сообщить об этом производителю работ. Пути отхода экскаватора должны быть постоянно свободными.

Техника безопасности во время работы экскаватора

1. На каждом экскаваторе должны быть вывешены правила управления, ухода за оборудованием и схема пусковых устройств.

2. Заводя пусковой двигатель дизеля, нельзя брать рукоятку в обхват, все пальцы должны быть с одной стороны рукоятки. Запрещается заводить перегретый пусковой двигатель.

3. Во избежание ожогов руки не следует касаться выхлопной трубы при запуске и работе пускового двигателя и дизеля. Соблюдать осторожность следует также тогда, когда открываешь крышку радиатора и спускаешь из него горячую воду.

4. Недопустимо устранять неисправности при работающем двигателе.

5. Запрещается вносить в кабину экскаватора предметы, размер которых, превышает 1,5 м, независимо от того, из какого материала они сделаны, а также хранить в кабине бензин, керосин и др. легковоспламеняющиеся вещества.

6. При грозе работать в экскаваторе или около него, а также в зоне кабельной сети, запрещается.

7. Нельзя открывать бочку с бензином, ударяя по пробке металлическими предметами.

8. Во избежание несчастных случаев при обрыве подъемного каната или при аварии рабочего механизма во время работы экскаватора воспрещается, кому бы то ни было находиться в радиусе, равном длине его стрелы плюс 5 м, но не ближе 15 м от него.

9. Во время работы категорически воспрещается:

а) менять вылет стрелы при заполненном ковше (за исключением лопат, не имеющих напорного механизма);

б) регулировать тормоза при поднятии ковша;

в) подтягивать при помощи стрелы груз, расположенный сбоку.

10. В случае перерыва независимо от его продолжительности стрелу экскаватора следует отвести в сторону от забоя, а ковш опустить на грунт.

11. Чистку, смазку и ремонт экскаватора можно производить только после его остановки. При этом двигатель должен быть выключен, а все движущиеся и ходовые части экскаватора - застопорены.

12. Чистка ковша и осмотр головных блоков стрелы производятся с ведома машиниста во время остановки экскаватора при спущенном на землю ковше.

13. Если в зоне работы экскаватора расположены подземные кабели, водопроводные и канализационные трубы, а также газопроводы, то обслуживающий персонал должен быть специально проинструктирован о мерах предосторожности и вести работу под наблюдением представителей технадзора.

14. Производить работы под проводами действующих линий электропередач любого напряжения запрещается.

15. В охранной зоне ЛЭП можно работать только по согласованию с эксплуатирующей организацией в том случае, если расстояние по горизонтали между крайними точками механизма при наибольшем вылете рабочего органа груза и ближайшим проводом линии электропередач будет при напряжении 1 кВт - 1,5 м; до 20 кВт - 2 м; 35 - 110 кВт-4м; 154 кВт - 5м; 220 кВт - 6 м и 330-500 кВт - 9м.

16. Грунт на автомашину следует грузить со стороны заднего или бокового ее борта. Категорически запрещается проносить ковш над людьми и кабиной шофера. Во время погрузки шофер должен выходить из кабины, если она не имеет бронированного щита.

17. Ковш при разгрузке следует опускать как можно ниже, чтобы не повредить автомашины. Нельзя допускать сверхгабаритной загрузки кузова и неравномерного распределения грунта в нем.

18. Между машинистом экскаватора и обслуживающим персоналом транспортных средств должна быть увязана система сигнализации. Во время погрузки на транспортные средства рабочим запрещается находиться в них.

19. Если в забое производят взрывные работы, экскаватор необходимо отвести на безопасное расстояние и повернуть к месту взрыва задней частью кабины.

20. Дополнительные требования при работе экскаватора с прямой или обратной лопатой:

а) наполняя ковш, нельзя допускать чрезмерного врезания его в грунт. Торможение в конце поворота стрелы с заполненным ковшом следует производить плавно, без резких толчков;

б) поднимая ковш прямой лопаты, нельзя допускать упора его блока в блок стрелы;

в) при опускании стрела или ковш не должны ударяться о раму или гусеницу, а ковш еще и о грунт;

г) при копании в тяжелых грунтах нельзя выдвигать рукоять до отказа;

д) препятствия в забое, которые могут вызвать значительную перегрузку ковша или его повреждение, следует обходить путем поворота стрелы;

е) при разработке первой траншеи необходимо следить, чтобы при повороте ковша на разгрузку хвостовая часть экскаватора не задевала за боковую стенку забоя;

ж) во время экскавации необходимо следить за правильной намоткой канатов на барабан лебедки, чтобы они не перекрещивались на барабане. Нельзя направлять наматывающиеся канаты руками.

21. При работе драглайном или грейфером:

а) если во время заполнения ковша встречается препятствие, его необходимо обойти, подняв ковш. Делать резкие рывки ковшом запрещается;

б) после заполнения ковша его следует немедленно поднять.

22. При работе экскаваторов, оборудованных клин-бабой:

а) зона действия экскаватора от места работы клин-бабы, должна быть ограждена предупредительными знаками в радиусе 40 м;

б) к работе на экскаваторе, оборудованном клин-бабой, допускаются только экскаваторщики, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности;

в) перед началом работы необходимо тщательно, проверить крепление канатов. Канат должен иметь такую длину, чтобы после удара клин-бабы о подошву забоя на барабане лебедки оставалось не менее двух витков каната;

г) работа с клин-бабой разрешается при наклоне стрелы не менее 60° к горизонту;

д) при осмотре и ремонте, а также замене каната клин-баба должна находиться на земле.

Техника безопасности при передвижении экскаватора

1. Самостоятельный спуск и подъем экскаваторов осуществляется только под углом, не превышающим указанный в таблице. Спуск и подъем под углом большим, чем указано в таблице необходимо производить при помощи трактора или лебедки в присутствии механика, прораба или мастера.

2. Путь, по которому будет передвигаться экскаватор, должен быть заранее выровнен и спланирован, а на слабых грунтах усилен щитами или настилом из досок, брусьев или шпал. У таких сооружений, как мосты, трубопроводы, насыпи и др. необходимо предварительно проверить прочность и получить разрешение от соответствующей организации на перемещение по ним экскаватора.

3. Во время движения экскаватора стрелу его необходимо удерживать строго по направлению хода, а ковш приподнимать над землей на 0,5-0,7 м, считая от нижней кромки ковша. Передвижение экскаватора с нагруженным ковшом запрещается.

4. Передвижение экскаватора вблизи и под линиями электропередач должно производиться под наблюдением инженерно-технического работника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Механизм открывания днища ковша, один из основных узлов экскаватора, поэтому от него напрямую зависит работа данной машины. Высокую производительность экскаватора позволяет обеспечивать надежность и безотказность данного механизма. На основе данных, полученных в ходе эксплуатации, была произведена модернизация механизма открывания днища ковша.

В процессе выполнения дипломной работы был произведен анализ существующих конструкции и на его основе была выбрана оптимальная конструкция и расположение рычагов механизма открывания днища ковша. В результате модернизации были учтены и устранены все недостатки, которые были выявлены в ходе эксплуатации. Также был произведен расчет на прочность рычагов и корпуса рычагов, рассчитаны основные параметры механизма и подобраны в соответствии с нагрузками, канат, цепь и электродвигатель, которые удовлетворяют условиям эксплуатации карьерного экскаватора. На основе полученных данных, можно сделать вывод об успешном проведении модернизации механизма, так как было увеличено время основной работы на 6%, а также увеличен объем выполненных работ приблизительно на 1000 м³/мес добытой породы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Соин, А. М. Исследование работы карьерных экскаваторов и разработка средств оценки изменения ресурса их деталей при модернизации : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06 / Соин Алексей Михайлович. – Владикавказ, 2012. – 24 с.
2. Макаров, В. В. Повышение эффективности работы мощных экскаваторно-автомобильных комплексов карьеров на базе экспертных систем: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22 / Макаров Владимир Валерьевич. – Екатеринбург, 2006. – 24 с.
3. Строительная энциклопедия. Конструкции цепного экскаватора [Электронный ресурс] - Режим доступа : bibliotekar.ru
4. Рабочее оборудование экскаватора [Электронный ресурс] - Режим доступа : vtoariindustrializatsiya.rf
5. Пособия для повышения уровня профессиональной подготовки рабочих-станочников, обслуживающих деревообрабатывающие станки. Экскаватор с прямой лопатой [Электронный ресурс] - Режим доступа : <http://www.4ne.ru/stati/raznoe-oborudovanie/ekskavator-s-pryamoj-lopatoj.html>
6. Беркман, И. Л. Универсальные одноковшовые строительные экскаваторы : Учебник для сред. проф-техн. уч-щ / И. Л. Беркман, А. В. Раннев, А. К. Рейш. - 2-е изд., перераб. - Москва : Высш. школа, 1981. - 304 с.
7. Демченко, И. И. Горные машины карьеров : учеб. пособие / И. И. Демченко, И. С. Плотников. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. – 252 с.
8. Максимов, Ю. В. Обоснование структуры и выбор рациональных параметров адаптивного рабочего органа канатного экскаватора: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / Максимов Юрий Валерьевич. – Новочеркасск, 2015. – 20 с.
9. Электрические канатные экскаваторы P&H 2300XPC [Электронный ресурс] - Режим доступа : <https://mining.komatsu.ru/product-details/p-h-2300xpc>

10. Строй-Техника.Ру - информационная система по строительной технике. Основные факторы, определяющие необходимость ремонта [Электронный ресурс] - Режим доступа : <http://stroy-technics.ru/article/osnovnye-factory-opredelyayushchie-neobkhodimost-remonta>
11. ГОСТ 29290-92 (ИСО 7546-83) Машины землеройные. Ковши погрузчиков и погрузочные ковши экскаваторов. Расчет вместимости. – Введ. 01.07.1993. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 8 с.
12. ТУ ВКРФ.303613.005-2005 Цепи из круглого проката общего назначения некалиброванные. Технические условия. – Введ. 01.01.1994. - Слободской : ОАО «Красный якорь», 2004. – 22 с.
13. ГОСТ 3071-88 Канат стальной двойной свивки типа ТК конструкции 6х37(1+6+12+18)+1 о.с. Сортамент (с Изменением N 1) – Введ. 01.07.1990. - М.: Стандартиформ, 2011. – 3 с.
14. ГОСТ 30055-93 Канаты из полимерных материалов и комбинированные. Технические условия (с Изменением N 1) – Введ. 01.01.1995. - Минск: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 27 с.
15. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 01.03.2017. – Москва: Стандартиформ, 2018. – 24 с.
16. Гилёв, А. В. Монтаж горных машин и оборудования : учеб. пособие / А. В. Гилёв, В. Т. Чесноков, А. О. Шигин. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. – 256 с.
17. СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования – Введ. 01.07.2001. – Москва : Госстрой России, 2000. – 46 с.
18. СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство – Введ. 01.01.2003. – Москва : Госстрой России, 2003. – 34 с.
19. Демченко, И. И. Конструкции и эксплуатация экскаваторов ЭКГ-10, ЭКГ-8Ус, ЭКГ-5у : учеб. пособие / И. И. Демченко. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. – 136 с.

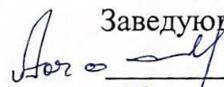
Федеральное государственное автономное
Образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт горного дела, геологии и геотехнологий

Кафедра «Горные машины и комплексы»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.С. Морин
« 29 » / 01 2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04 «Горное дело»

(специальность)

21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»

(специализация)

Тема «Модернизация одноковшового экскаватора ЭКГ-10 с целью повышения
его производительности.

тема

Руководитель	 подпись, дата	<u>Т.А. Герасимова</u>
Выпускник	<u>Мася - 27.01.21</u> подпись, дата	<u>Р.Е. Ткачев</u>
Консультанты:		
<u>Экономическая часть</u>	<u>Бурменко 27.01.21.</u> подпись, дата	<u>Р.Р. Бурменко</u>
<u>Безопасность жизнедеятельности</u>	 подпись, дата	<u>А.В. Галайко</u>
<u>Нормоконтролер</u>	 подпись, дата	<u>Т.А. Герасимова</u>

Красноярск 2021