

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»

На правах рукописи



БУЯНКИН ПАВЕЛ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОВОРОТНЫХ ПЛАТФОРМ
ЭКСКАВАТОРОВ-МЕХЛОПАТ**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
профессор, доктор технических наук
Богомолов Игорь Дмитриевич

Кемерово - 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ.....	10
1.1. Место и роль экскаваторов в технологии открытой добычи угля	10
1.2. Особенности эксплуатации экскаваторов-мехлопат на открытых горных работах	18
1.3. Обзор и анализ существующих конструкций опорно-поворотных устройств и устройств контроля углов наклона.....	24
1.4. Анализ научно-технических подходов к определению параметров нагружения элементов опорно-поворотных устройств экскаваторов- мехлопат.....	35
1.5. Выводы и задачи исследований	41
2. УСТАНОВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИ- ОННЫХ НАГРУЗОК НА НЕСУЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОПОРНО- ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА	43
2.1. Исследование характера повреждений несущих элементов опорно- поворотных устройств и установление причин их возникновения.....	43
2.2. Условия возникновения эксплуатационных нагрузок в элементах опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат	57
2.3. Определение параметров устойчивости платформы при воздей- ствии эксплуатационных нагрузок	66
2.4. Аналитический расчет статических и динамических нагрузок на опорно-поворотное устройство при воздействии внешних факторов...	71
2.5. Выводы.....	74
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНО- ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА.....	75
3.1. Исходные данные для расчета устойчивости и нагрузок в опорно- поворотном устройстве мехлопаты при воздействии внешних факторов.	75

3.2. Оценка устойчивости платформы и расчет нагрузок в опорно-поворотном устройстве	78
3.3. Моделирование нагрузок в опорно-поворотном устройстве с применением конечно-элементной модели.....	102
3.4. Сопоставление полученных результатов исследований напряженно-деформированного состояния различными методами.....	113
3.5. Выводы.....	116
4. ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДОПУСТИМЫХ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНО-ПОВОРОТНЫХ УСТРОЙСТВ.....	118
4.1. Разработка устройства контроля угла наклона и ограничения работы механизмов одноковшового экскаватора	118
4.2. Предложения по усовершенствованию конструкции элементов опорно-поворотных устройств	124
4.3. Расчет возможной экономической эффективности от реализации технических решений.....	127
4.4. Выводы.....	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	130
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	132
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	137
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	145

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности

Современные открытые горные работы невозможны без использования выемочно-погрузочного оборудования, являющегося неотъемлемым звеном технологической цепочки. Развитие открытого способа добычи полезных ископаемых в настоящее время идет по пути концентрации горных работ, увеличения единичной мощности одноковшовых экскаваторов-мехлопат, но вместе с тем и с отставанием процессов обновления экскаваторного парка.

Тяжелые условия работы выемочно-погрузочного оборудования связаны с нестабильностью горнотехнических условий, знакопеременными нагрузками и износом элементов оборудования

Острота проблемы повышения надежности и качества обслуживания оборудования экскаваторов-мехлопат обуславливается цикличным характером производства, где в большинстве случаев эти машины являются основным звеном всего технологического процесса.

Опорно-поворотное устройство является одним из важнейших узлов экскаватора-мехлопаты, определяющим надежную и безопасную эксплуатацию машины в целом. Вместе с этим устойчивость поворотных платформ и нагрузки в опорно-поворотных устройствах в различных условиях недостаточно полно исследованы и отражены в научно-технической литературе.

Отсутствие учета движения центра массы механической системы поворотной платформы за время черпания приводит к недостаточно точному определению устойчивости поворотной платформы.

Имеющиеся научно-технические подходы не учитывают усилия резания и напора при расчете нагрузок, возникающих в процессе черпания и определяющих напряженно-деформированное состояние опорно-поворотных устройств.

Существующие системы контроля работы экскаваторов-мехлопат, несмотря на их многообразие и технические возможности, не ограничивают работу машины при превышении предельного угла наклона. Поэтому решение о дальнейшей экс-

плутации в этих условиях принимается машинистом экскаватора, что приводит к возникновению дополнительных нагрузок в опорно-поворотных устройствах.

Одним из направлений решения задачи повышения надежности опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат является обеспечение устойчивости платформ и снижение уровня нагруженности и за счет применения технических решений, увеличивающих техническую готовность оборудования.

Повышение технической готовности оборудования горного производства увеличит производительность труда, что соответствует выполнению требований Указа Президента России от 07.05.2012 №596 «О долгосрочной государственной экономической политике».

Таким образом, исследование устойчивости платформ и нагруженности опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат и повышение надежности за счет применения новых устройств и конструкций является актуальной научной задачей.

Объект исследования – опорно-поворотное устройство экскаваторов-мехлопат в различных условиях его нагружения.

Цель работы состоит в повышении эффективности эксплуатации опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат с учетом возможных нагрузок при обеспечении устойчивости платформы.

Идея работы – обеспечение оперативного контроля потери устойчивости поворотной платформы при эксплуатации экскаватора-мехлопаты.

Основные задачи исследований:

1. Проанализировать состояние экскаваторного парка, конструкции опорно-поворотных устройств и устройств контроля угла наклона на примере экскаваторов-мехлопат ОАО «УК «Кузбассразрезуголь».

2. Исследовать отказы элементов опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат и причины наклона поворотной платформы.

3. Определить параметры устойчивости поворотной платформы экскаваторов-мехлопат и оценить ее воздействие на опорно-поворотное устройство.

4. Разработать модель нагружения конструктивных элементов опорно-поворотных устройств.

5. Обосновать и разработать технические решения по обеспечению допустимых параметров нагружения опорно-поворотных устройств и контролю устойчивости поворотной платформы.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Положение центра масс механической системы поворотной платформы экскаватора-мехлопаты в пространстве должно определяться с учетом траектории движения ковша и рукояти, степени наполнения ковша горной массой за время черпания и при наклоне платформы более 4 градусов может привести к потере ее устойчивости.

2. Нагрузки в опорно-поворотном устройстве, в том числе отрывающее усилие на цапфе, зависят от времени черпания, усилий резания и напора, траектории движения центра масс платформы и угла ее наклона и носят знакопеременный характер. При потере устойчивости платформы происходит перераспределение вертикальной нагрузки с роликов на центральную цапфу.

3. Использование разработанного устройства контроля угла наклона и блокирования подъемного механизма позволяет рационально перераспределить напряжения в узлах опорно-поворотного устройства за счет взаимодействия горизонтальной нагрузки и изгибающего момента на центральную цапфу, вертикальной нагрузки на верхний рельс, а также обеспечить контроль устойчивости поворотной платформы.

Научная новизна исследований:

- определены координаты центра масс механической системы поворотной части экскаватора-мехлопаты как функция от времени, зависящие от движения и степени наполнения ковша горной массой при черпании;
- получены зависимости отрывающего усилия на центральной цапфе и нагрузок в опорно-поворотном устройстве от времени черпания с учетом усилий резания и напора, движения центра масс поворотной части при черпании, при

наличии угла наклона, определяющие условия устойчивости поворотной платформы;

- установлены, на основе анализа построенной методом конечных элементов модели напряженно-деформированного состояния, наиболее нагруженные элементы и разработаны технические решения по снижению влияния нагрузок и устойчивости поворотной платформы на узлы опорно-поворотного устройства для повышения их надежности.

В ходе выполнения работы **использована следующая методология и комплекс методов исследования, включающие:**

- натурные методы исследований и методы математической статистики при обработке материала;
- силовой и кинематический анализы методами теоретической механики, аналитические методы расчетов нагрузок;
- компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния с помощью метода конечных элементов.

Степень достоверности научных положений, выводов и результатов исследований подтверждается корректным использованием аналитических методов расчета нагрузок; удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также моделирования, относительное расхождение между которыми не превышает 8 %.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в разработке последовательности определения устойчивости платформы и расчете нагрузок в опорно-поворотном устройстве;
- в обосновании и разработке устройства контроля угла наклона и блокировки подъемного механизма, что обеспечивает устойчивость платформы и увеличивает надежность опорно-поворотного устройства за счет исключения экскавации с превышением допустимого угла наклона поворотной платформы;
- в рационализации конструкции центральной цапфы, определенной по результатам моделирования напряженно-деформированного состояния опорно-поворотного устройства.

Реализация работы

Теоретические и методические положения, разработанные в ходе диссертационных исследований, изложены во «Временной инструкции по оценке долговечности и остаточного ресурса металлоконструкций экскаваторов, продления межремонтных сроков их работы и сроков безопасной эксплуатации» (Кемерово, 2007) и «Методических указаниях по проведению экспертизы промышленной безопасности одноковшовых экскаваторов для предприятий Кузбасса» (Кемерово-Новокузнецк, 2008).

Практические результаты переданы для реализации заводу-изготовителю экскаваторов ЭКГ-10 ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова». Устройство контроля угла наклона и блокирования механизма подъема ковша испытано в филиале ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез». Предложенный комплекс научно-технических решений повышает уровень долговечности и безотказности работы опорно-поворотных устройств и безопасности эксплуатации экскаваторов.

Апробация работы. Основное содержание работы, отдельные её положения и результаты были доложены и обсуждены на: Международных научно-практических конференциях «Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах» (2005), Региональных конференциях на базе КузГТУ в 2005, 2008, 2009 гг., «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири («Сибресурс-2008», 2008), «Энергетическая безопасность России: Новые подходы к развитию угольной промышленности» (Кемерово, 2007, 2009, 2013 гг.); Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2014» (Москва, 2014 г.).

Ряд работ, выполненных с участием автора и включающих основные результаты диссертации, удостоены дипломов международной выставки-ярмарки «ЭКСПО-УГОЛЬ» за лучшие доклады (2007, 2012, 2013 гг.).

Публикации. Основные научные результаты опубликованы в шестнадцати работах, в том числе в четырех из перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК при Министерстве образования и науки РФ.

Личный вклад автора состоит в формулировании цели и идеи работы, постановке задач исследований, выборе методов исследований, анализе полученных результатов и подготовке на их основе расчетов и разработке рекомендаций, а также в участии в публикациях.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, словаря терминов, списка литературы из 83 наименований. Работа изложена на 150 страницах машинописного текста, в том числе содержит 68 рисунков, 24 таблицы и 3 приложения на 6 страницах.

Автор выражает благодарность и глубокую признательность за помощь при работе над диссертацией д.т.н., проф. Хорешку А.А., к.т.н., доц. Е.К. Соколовой и к.т.н., доц. А.В. Воробьеву, а также коллективу кафедры «Горных машин и комплексов» за оказанное внимание и ценные советы.

Структура и оформление настоящей работы выполнены с соблюдением требований ГОСТ Р 7.0.11-2011 [1].

1. СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

1.1. Место и роль экскаваторов в технологии открытой добычи угля

Россия - крупнейшая угольная держава и один из мировых лидеров по производству и торговле углем. В недрах России сосредоточена треть мировых ресурсов угля (193,3 млрд. т), и пятая часть разведанных запасов. Из них 101,2 млрд. т бурого угля, 85,3 млрд. т каменного угля (в том числе 39,8 млрд. т коксующегося) и 6,8 млрд. т антрацитов. Промышленные запасы действующих предприятий составляют почти 19 млрд. т, в том числе коксующихся углей – около 4 млрд. т. При существующем уровне добычи угля его запасов хватит более чем на 550 лет [2, 3].

В связи с благоприятными горно-геологическими условиями месторождений Западной Сибири и Востока страны, а также более низкой рентабельностью подземной добычи угля, возрастает значение открытого способа добычи, доля которого составляет, в настоящее время, более 71,2 % и в дальнейшем будет увеличиваться [2, 3].

Из угледобывающих регионов самым мощным является Кузнецкий бассейн – здесь производится 57,6% всего добываемого угля в стране [4, 5]. Общие запасы угля, пригодные для разработки, составляют здесь более 11 млрд. т, в том числе около 2 млрд. т – коксующихся марок, причем в большинстве случаев имеется возможность применения открытой технологии добычи. Эти запасы сосредоточены в основном в мощных и средней мощности пластах в Кемеровском, Ленинск-Кузнецком, Бачатском, Прокопьевско-Киселевском, Ерунаковском, Томусинском, Мрасском, Бунгуро-Чумышском и Терсинском геолого-экономических районах.

Количество угольных пластов, их мощность, условия залегания, физико-механические свойства вмещающих пород и другие горно-геологические характеристики в указанных районах отличаются большим разнообразием. Здесь можно найти практически все возможные горно-геологические условия, которые встречаются в других угольных регионах. Поэтому Кузбасс используется как полигон для отработки новых технических и технологических решений в области добычи угля открытым способом.

Добыча угля в России (по способам добычи) приведена на рис. 1.1, распределение объемов угля по основным угледобывающим регионам дано на рис. 1.2.

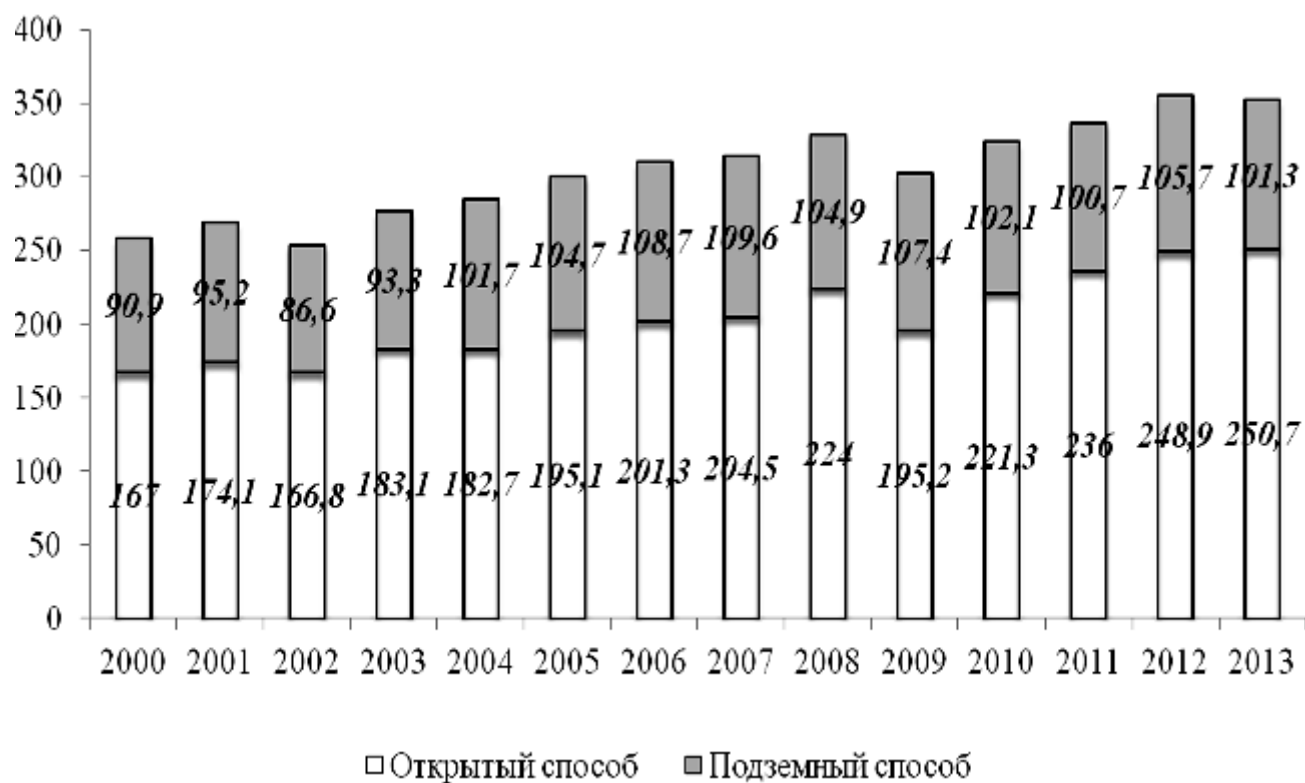


Рисунок 1.1 – Добыча угля в России (по способам добычи), млн. т [5].

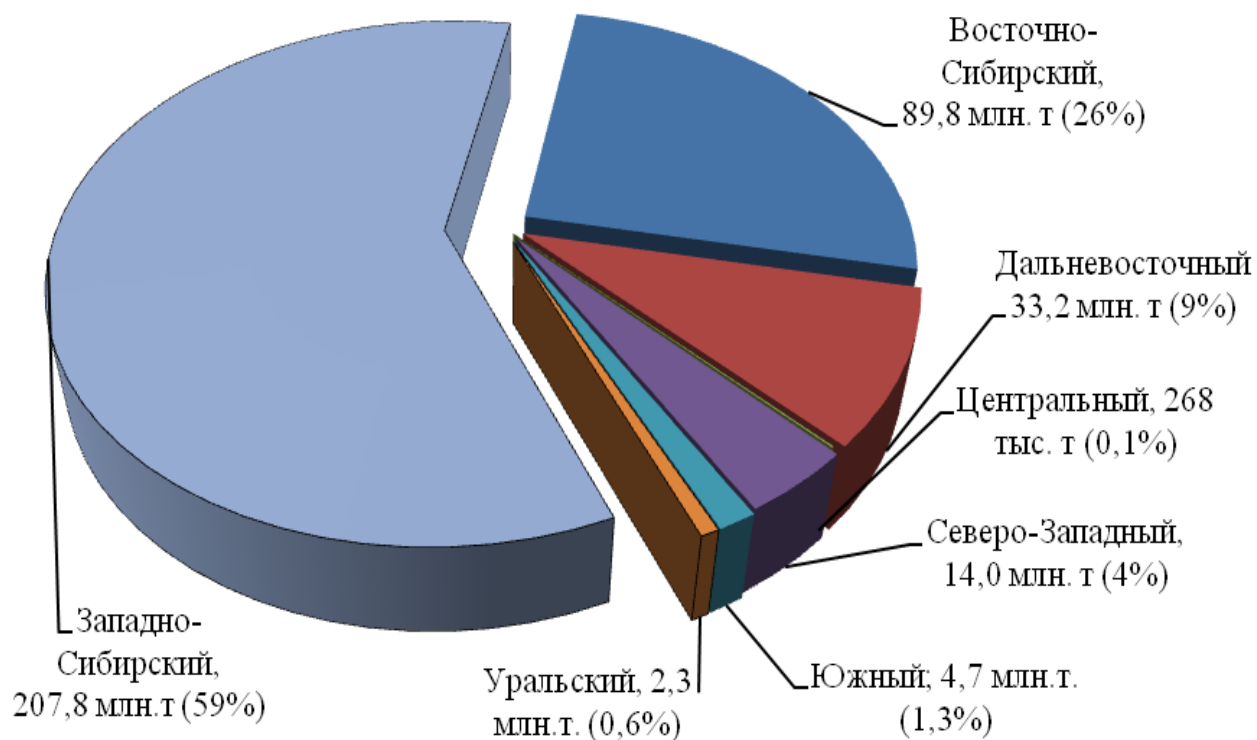


Рисунок – 1.2 Распределение добычи угля по основным угледобывающим регионам России [5].

В Кузбассе на октябрь 2013 г. эксплуатировалось более 63 шахт, 57 разрезов, 42 обогатительных фабрик и установок. Ведущими угольными предприятиями Кузбасса, осуществляющими добычу угля открытым способом являются ОАО «УК «Кузбассразрезуголь», «СДС-Уголь», ОАО «Южный Кузбасс» на долю которых сегодня приходится 38% всего добываемого в регионе и около 22% российского угля [6, 7].

Экскаваторы на открытых горных работах выполняют свыше 80% общего объёма работ, общий годовой объём которых достигает 15 млрд. м³ [8].

Самым распространённым классом экскаваторов являются одноковшовые экскаваторы. Их рабочий цикл складывается из операций копания, перемещения заполненного ковша к месту разгрузки, выгрузки грунта из ковша в транспортное средство или отвал и возвращения ковша в забой. Продолжительность рабочего цикла в зависимости от мощности и типа экскаватора и условий работы колеблется от 20 до 80 с. Производительность одноковшового экскаватора на 1 м³ ёмкости ковша в зависимости от условий работы составляет от 100 до 350 тыс. м³ в год, или 80-180 м³/ч. Одноковшовые экскаваторы используются для разработки любых, в том числе самых крепких и неоднородных грунтов с крупными твёрдыми включениями. Для работы в более мягких грунтах одноковшовые экскаваторы могут снабжаться ковшами увеличенной ёмкости. Скальные породы и мёрзлые грунты перед разработкой одноковшовым экскаватором разрыхляют буровзрывным способом.

Основными видами одноковшовых экскаваторов на карьерах Кузбасса являются шагающие драглайны (ЭШ), гусеничные карьерные экскаваторы-мехлопаты (ЭКГ) и гидравлические экскаваторы с рабочим оборудованием «прямая лопата» и «обратная лопата» (ЭГ) [8].

Целесообразность применения того или иного вида выемочно-погрузочного оборудования и транспорта обуславливается оценкой преимуществ и недостатков при действии множества факторов. К факторам, оказывающими влияние на выбор вида выемочно-погрузочного оборудования и транспорта можно отнести: производственную мощность карьера и расстояние транспортирования; физико-

механические свойства вскрышных пород и полезного ископаемого, условия их залегания, принятая схема разработки месторождения, глубина карьера, уклоны рабочей площадки и трассы для перегона.

Все это приводит к тому, что в настоящее время на карьерах применяется не один, а несколько видов выемочно-погрузочного оборудования, каждый из которых в наибольшей степени отвечает данным условиям эксплуатации и обеспечивает высокую эффективность горного производства.

Карьерные экскаваторы-мехлопаты имеют в 2-3 раза больший срок службы, чем гидравлическая машина. Значительные дополнительные затраты, связанные с необходимостью замены выработавших свой ресурс гидравлических экскаваторов, приводят к росту себестоимости добычи полезного ископаемого и делают более целесообразным применение «мехлопат» [9].

Благодаря меньшему числу подвижных деталей и узлов экскаватор-мехлопата более надежен и имеет более высокий коэффициент готовности.

Предпочтение гидравлическим экскаваторам обусловлено возможностью селективной выемки полезного ископаемого, их мобильностью, плавностью и скоростью движения узлов. Траектория движения ковша и высокое усилие резания обуславливает их применение в сложных горно-геологических условиях, сокращая потери угля.

Достоинством гидравлических лопат является также возможность черпания гораздо ниже уровня стояния, подготавливая рабочую площадку требуемых параметров (уклон, зачистка поверхности).

Вместе с тем они до сих пор не достаточно изучены производством в условиях эксплуатации, а малый радиус черпания гидравлических экскаваторов заставляет устанавливать их ближе к забою и автосамосвалу, что отрицательно влияет на безопасность работ. Использование на гидравлических машинах дизельного двигателя внутреннего сгорания приводит к значительному отрицательному влиянию на окружающую среду, что особенно актуально для глубоких карьеров, проветривание которых затруднено. Высокая стоимость обслуживания и ремонтов также негативно сказывается при эксплуатации таких машин.

Отсутствие обновления экскаваторного парка шагающими драглайнами обусловлена их высокой первоначальной стоимостью, а также отсутствием необходимости в них при увеличении глубин горных работ. Однако они эффективно работают при безтранспортной технологии разработки угля и укладке пород в отвал. Стоимость экскаватора ЭШ-20/90, монтируемого на разрезе «Красногорский» ОАО УК «Южный Кузбасс» составляет 1 млрд. руб. [10].

Высокие требования заводов-изготовителей к несущей способности опорной поверхности и качеству подготовки рабочей площадки также снижают технологические возможности шагающих экскаваторов.

ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» - крупнейшая компания в Кузбассе РФ, специализирующаяся на добыче угля открытым способом. В состав УК входят 6 филиалов: «Кедровский», «Моховский», «Бачатский», «Краснобродский», «Талдинский», «Калтанский», осуществляющие добычу угля открытым способом [11].

Балансовые запасы УК «Кузбассразрезуголь» составляют более 2 млрд. тонн угля. Ежегодно предприятия компании добывают около 45 млн. т топлива. Основные марки угля - Д, ДГ, Г, СС, Т, КО, КС. Около 50% добываемого угля реализуется на экспорт [5, 6].

По данным дирекции по производству ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» на 01.01.2014 г. в эксплуатации на разрезах (филиалах) находится 273 экскаваторов, различных конструкций и марок. Из них карьерных экскаваторов типа «мехлопата» - 177, шагающих драглайнов - 56 и гидравлических экскаваторов - 40 единиц [12].

Основным видом выемочно-погрузочного оборудования являются одноковшовые карьерные экскаваторы типа «прямая мехлопата» (далее по тексту экскаваторы-мехлопаты). Общая доля в числе экскаваторного парка ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» составляет 65%. При этом количество экскаваторов ЭКГ-8И, ЭКГ-10 и их модификаций составляет 36% от общего количества мехлопат.

В ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» происходит обновление экскаваторного парка за счёт приобретения новых мехлопат с вместимостью ковша (18-56 м³) и применения гидравлических экскаваторов.

С начала 2013 г. на предприятиях ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» введено в эксплуатацию пять экскаваторов-мехлопат, списано четыре единицы, из них три гидравлических экскаватора.

Сведения о состоянии экскаваторного парка в филиалах ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» на 01.01.2014 г. приведены на рис. 1.3.

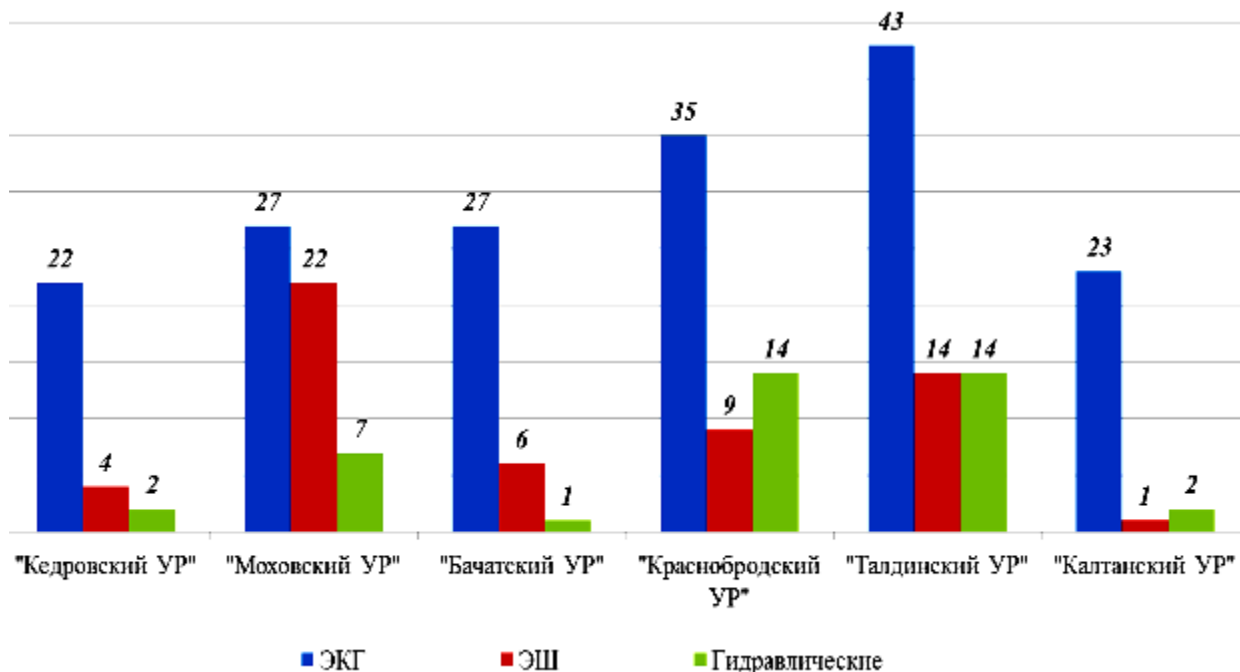


Рисунок 1.3 - Состояние экскаваторного парка в филиалах ОАО «УК Кузбассразрезуголь» на 01.01.2014 г.

Экскаваторы-мехлопаты различных производителей нашли широкое применение на предприятиях ОАО «УК «Кузбассразрезуголь». В настоящее время на открытых горных работах компании (филиалы «Бачатский угольный разрез» и «Талдинский угольный разрез») эксплуатируются две самые большие в России машины с вместимостью ковша 56 м³, производства P&H Mining Equipment (Harnischfeger Corp. (США)). Этим производителем могут также поставляться машины модели P&H 4800XPC с различными ковшами грузоподъемностью до 135 т [13].

В ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» (филиалы «Бачатский угольный разрез», «Краснобродский угольный разрез» и «Талдинский угольный разрез») эксплуатируется пять экскаваторов модели WK-35 производства Тайюаньского завода тяжелого машиностроения (КНР), достигших высоких производственных показателей

при обеспечении норм и правил безопасности [14]. В июне 2012 г. на этом заводе изготовлен и представлен экскаватор WK-75 с ковшем вместимостью 75 м³ [15].

В филиале ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Краснобродский угольный разрез» эксплуатируется первый номер экскаватора ЭКГ-32Р, выпущенный ООО «ИЗ-Картэкс» им. П.Г. Коробкова». Конструкторским бюро этого российского производителя проектируются машины с вместимостью ковша до 50 м³. Также успешно работают экскаваторы ЭКГ-18Р, произведенные ОАО «Уралмашзавод» и ООО «ИЗ-Картэкс» им. П.Г. Коробкова», введенные в эксплуатацию в период 2012-2013 гг. [16].

Экскаваторы-мехлопаты производства фирмы Caterpillar, в состав которой в настоящее время входит Вискус, на открытых горных работах Кузбасса не эксплуатируются. Опыт эксплуатации машин 395В и 495В на угольных предприятиях ОАО «СУЭК» в республике Бурятия (разрез «Тугнуйский») показал их высокую производительность и надежность [17].

Несмотря на обновление экскаваторного парка, в эксплуатации ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» находится большое количество физически и морально изношенного оборудования. Нормативы заводов-изготовителей экскаваторов и данные «Справки о нормативных сроках службы горного оборудования» (утверждена постановлением Совета министров СССР от 22.10.1990 г. №1072) [15] предусматривают определение износа по следующим критериям: срок эксплуатации и объем переработанной горной массы.

Заводы-изготовители определяют нормативы на каждую машину, а вышеуказанная справка - исходя из вместимости ковша. Оба критерия определения износа имеют свои недостатки. Первый - не учитывает возможности длительного простоя экскаваторов на ремонте или во время консервации или из-за других организационных причин, также не учитывает возможности его полного обновления за счет замены деталей, вышедших из строя. Второй - не учитывает фактического состояния металлоконструкций, интенсивности их износа в зависимости от вида разрабатываемой горной массы, качества подготовки пород

взрывом, а также замены этих металлоконструкций на новые; игнорирует качество ремонта [18, 19].

В статистике ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» приняты оба подхода. По результатам анализа состояния экскаваторного парка установлено, что износ по сроку службы составил 92,5% и 69% по наработке. Средний срок эксплуатации экскаваторов составляет 20,3 г [12] (рис. 1.4).

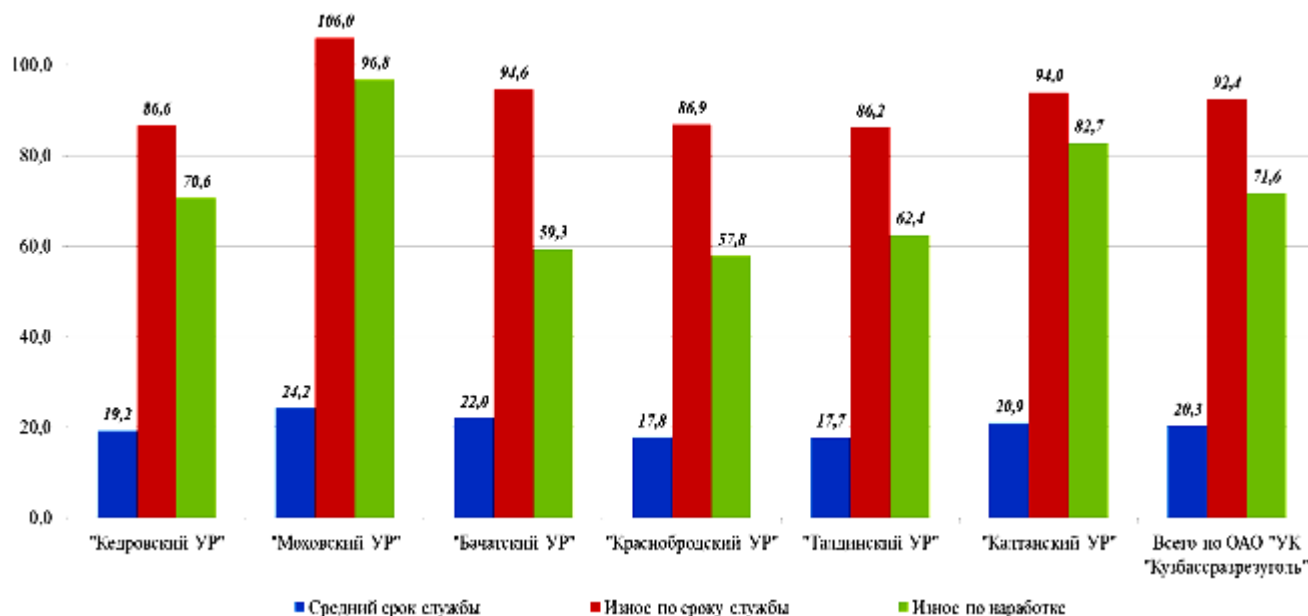


Рисунок 1.4 - Соотношение критериев износа экскаваторного парка предприятий ОАО «УК Кузбассразрезуголь» на 01.01.2014 г.

В настоящее время оборудование ОАО «УК «Кузбассразрезуголь», отработавшее нормативные сроки службы, в обязательном порядке проходит экспертизу промышленной безопасности, что требуется для определения возможности продления срока его эксплуатации. Экспертной организацией после оценки фактического технического состояния принимается решение о продлении срока безопасной эксплуатации до 3 лет при первой экспертизе и до 2 лет при последующих обследованиях.

В настоящее время на предприятиях Кузбасса по добыче угля открытым способом эксплуатируется большое количество экскаваторов – мехлопат, как недавно введенных, так и отработавших нормативный ресурс.

Существующие процессы обновления экскаваторного парка ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» свидетельствуют о том, что какое-то время будет эксплуатироваться устаревшее оборудование, поэтому имеется постоянная необходимость в разработке мер и рекомендаций по модернизации отдельных узлов и устройств, обеспечивающих безопасную эксплуатацию оборудования.

1.2. Особенности эксплуатации экскаваторов-мехлопат на открытых горных работах

Эффективность использования экскаваторов-мехлопат обусловлена влиянием многочисленных факторов природного, техногенного и организационного характера, что также влияет на изменение затрат на содержание оборудования. Одной из причин недостаточной интенсивности использования оборудования являются простои экскаваторов. Это часто связано с отсутствием научно-обоснованных мероприятий по управлению надежностью экскаваторов-мехлопат, которые позволили бы гарантированно выполнять планируемую технологическую нагрузку и снижать расходы на содержание техники [19].

Анализ работы экскаваторного парка ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» показывал следующее. Коэффициент использования календарного фонда времени (КФВ) в 2013 г. не превысил 0,65 при плане 0,69 [12]. Значительная часть КФВ (до 13,8 %) пришлась на плановые технические обслуживания и ремонты. Простои экскаваторов в неплановых ремонтах из-за отказов и аварий с механизмами составили 3,7% КФВ. Простои из-за отсутствия запасных частей – 1,5%.

Отдельного внимания заслуживают внеплановые простои, время устранения которых принимается с учётом вида поломки, конструкции узла и агрегата, а также своевременность снабжения запасными частями и вспомогательным оборудованием [19, 20].

В статистике внеплановых простоев экскаваторного парка ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» принято деление по основным системам: механическая, электрическая, наладка приводов.

Из анализа всех внеплановых простоев установлено, что значительную часть отказов экскаваторного оборудования составляют простои из-за поломок механической системы экскаваторов. На рис. 1.5 приведено сравнение внеплановых простоев экскаваторного парка мехлопат «УК «Кузбассразрезуголь» из-за отказов механической и электрической систем, а также систем управлений электрооборудованием.

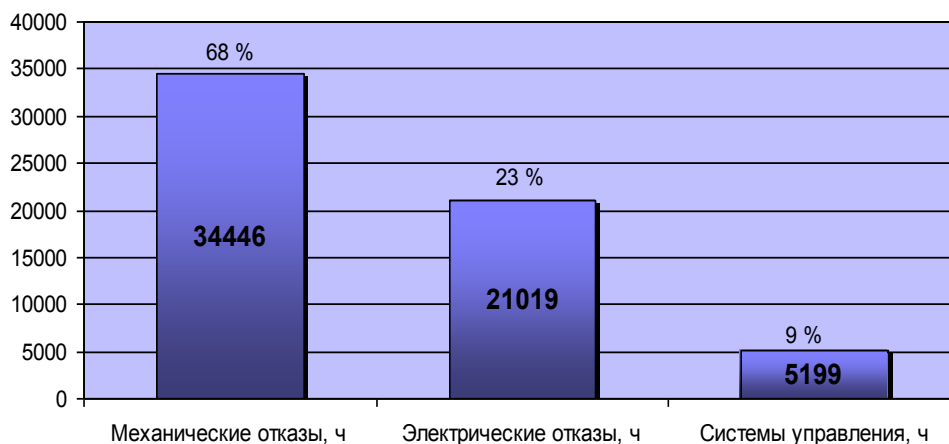


Рисунок 1.5 - Распределение отказов экскаваторного оборудования по причинам их возникновения

Распределение времени простоев и среднее время их устранения по основным системам, агрегатам и металлоконструкциям экскаваторов-мехлопат приведено на рис. 1.6 и в табл. 1.1.

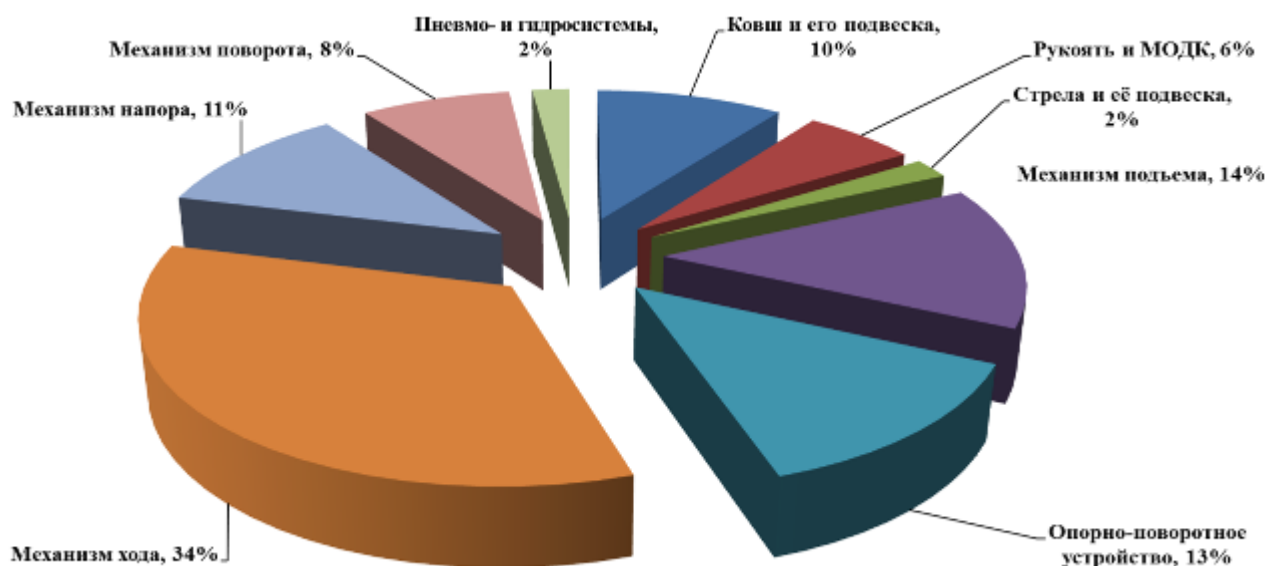


Рисунок 1.6 - Распределение времени простоев из-за отказов узлов механической системы экскаваторов-мехлопат

Таблица 1.1 - Распределение времени простоев из-за отказов узлов, агрегатов и металлоконструкций экскаваторов-мехлопат

Наименование	Ковш и его подвеска	Рукоять и МОЛК	Стрела и её подвеска	Механизм подъема	Опорно-поворотное устройство	Механизм хода	Механизм напора	Механизм поворота	Пнеumo-и гидросистемы	Всего
Общие простои, час	3381	2238	826	4915	4553,4	11428,5	3717,4	2643,3	743,4	34446
%	10	6	2	14	13	34	11	8	2	100
Среднее время восстановления, час	8	9	4,5	36	48	18	10	14	5	-

Анализ распределения времени отказов механической части показывает, что значительную часть простоев составляют отказы механизма хода, связанные, в первую очередь, с конструктивным исполнением ходовых телег экскаваторов типа ЭКГ-15. При эксплуатации машин с четырёхгусеничными ходовыми телегами (экскаваторы ЭКГ-15, ЭКГ-12,5У и их модификации) происходят поломки траков, осей балансиров и соскакивание гусеничных лент с катков, ремонт которых требует материальных затрат и значительную механизацию ремонтных работ [21, 22].

На втором месте находятся отказы механизма подъема, что связано с тяжелыми горно-геологическими условиями экскавации. Возникающие при черпании и экскавации крупных кусков породы динамические и ударные нагрузки, а также периодическая работа машин в режиме стопорения ковша, приводят к интенсивному износу и дальнейшему излому зубчатых передач редукторов.

На третьем месте находятся отказы опорно-поворотных устройств, детальный анализ отказов которых показал, что за 2012-2013 гг. на экскаваторах-

мехлопатах их произошло около 150. Количество поломок центральной цапфы составило порядка 35 единиц, а среднее время ее ремонта или замены около 48 часов.

Зубчатый венец и обегаящие шестерни отнесены к механизму поворота, так как непосредственно участвуют в процессе вращения поворотной платформы относительно нижней рамы.

Наблюдения за работой экскаваторов-мехлопат на различных угольных предприятиях Кузбасса показали, что оборудование периодически эксплуатируется на рабочих площадках с наличием просадок и превышением углов наклона. Качество подготовленной взрывным способом горной массы приводит к работе экскаваторов в режиме периодического стопорения ковша при черпании. Факт наличия и длительность устранения внеплановых отказов, свидетельствует о том, что эти два фактора являются основными причинами выхода из строя механизма хода, механизма подъема и опорно-поворотного устройства [23, 24].

Анализ условий эксплуатации экскаваторов-мехлопат, конструктивных особенностей исполнения, а также работы ремонтных служб предприятий позволяет указать на следующие причины длительности устранения внеплановых простоев, вызванных отказами опорно-поворотных устройств [25]:

- при ремонте периодически необходимо использовать мощное специализированное грузоподъемное оборудование для подъема поворотной платформы с рабочим оборудованием;
- в отдельных случаях необходимо применение специальной газорезательной аппаратуры для резки центральной цапфы, а именно при ее износе в виде «коленчатого вала», перекашиванием и смещением во втулках;
- недостаточная контроледоступность узлов (из-за ограниченного пространства) приводит к снижению количества осмотров и регулировок;
- за счет дополнительных монтажно-демонтажных работ значительно увеличиваются сроки ремонтов (снятие токоприемника на ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-12; снятие токоприемника и барабана подъемной лебедки на ЭКГ-5А);
- низкая безопасность при контрольных измерениях, приводящий к увеличению времени контроля (отключение электроэнергии, снятие ограждений).

Вместе с этим отмечается, что применяемые на разрезах экскаваторы-мехлопаты успешно эксплуатируются со значениями износа опорно-поворотного устройства выше значений, определенных производителями, что свидетельствует о некорректности расчетного ресурса.

Для повышения безопасности и эффективности эксплуатации экскаваторов-мехлопат требуется исключение внеплановых простоев, для этого необходимо увеличивать коэффициент технической готовности оборудования, который является одним из комплексных показателей надежности [26].

При порядке обслуживания, предусматривающем немедленное начало восстановления отказавшего объекта (экскаватор-мехлопата является основным звеном горнотранспортного комплекса по добыче полезного ископаемого), коэффициент технической готовности $K_{ТГ}$ может вычисляться по формуле:

$$K_{ТГ} = \frac{T_o}{T_o + T_B}, \quad (1.1)$$

где T_o – наработка на отказ, T_B – среднее время восстановления.

Таким образом, в этом случае коэффициент технической готовности $K_{ТГ}$ характеризует одновременно два различных свойства объекта - безотказность и ремонтпригодность.

Данное обстоятельство весьма актуально для опорно-поворотного устройства, так как среднее время восстановления составляет около 48 часов и влечет экономические потери как прямые (оплата подъема машины, стоимость запасных частей), так и косвенные (простой машины).

В ОАО «УК «Кузбассразрезголь» разработана собственная система проведения технических обслуживаний и ремонтов, приведенных в «Положении о технических обслуживаниях, планово-предупредительных ремонтах и монтаже оборудования открытых горных работ».

В этом документе указано, что коэффициент технической готовности $K_{ТГ}$ определяется как:

$$K_{ТГ} = \frac{(\sum T_H \cdot T_H)}{(\sum T_{ХОЗ} \cdot 24)}, \quad (1.2)$$

где $\sum T_H$ - общее количество дней нахождения горнотранспортного оборудования в технически исправном состоянии, $\sum T_{ХОЗ}$ - общее количество дней пребывания горнотранспортного оборудования на предприятии, T_H - время работы горнотранспортного оборудования в течении суток, час.

Общее количество дней нахождения горнотранспортного оборудования в технически исправном состоянии определяется как:

$$\sum T_H = \sum T_{ХОЗ} - (\sum T_{ПЛ.РЕМ} + \sum T_{АВ.РЕМ}), \quad (1.3)$$

где $\sum T_{ПЛ.РЕМ}$ - общее количество дней нахождения оборудования в плановых ремонтах, $\sum T_{АВ.РЕМ}$ - время unplanned ремонтов, вызванных отказами систем.

$$\sum T_{ПЛ.РЕМ} = \sum T_{ППР} + \sum T_{ПЛР} + \sum T_{ТО}, \quad (1.4)$$

где $\sum T_{ППР}$ - общее количество дней нахождения оборудования в ежемесячных планово-предупредительных ремонтах и сезонных технических обслуживаниях;

$\sum T_{ПЛР}$ - общее количество времени нахождения оборудования в плановых ремонтах в днях;

$\sum T_{ТО}$ - общее количество времени нахождения оборудования в плановых технических обслуживаниях в днях.

Исходя из влияния времени простоев на производительность экскаваторов-мехлопат очевидно, что необходимо их снижение.

Влияние коэффициента технической готовности $K_{ТГ}$ можно также выразить по отношению к стоимости часа работы экскаватора, когда машина вместо вынужденных простоев может полноценно работать, выполняя свои функции:

$$C_{\text{часа работы}} = (V_{\text{угля}} \cdot C_{\text{тонны угля}}) / \text{КФВ}, \quad (1.5)$$

где $C_{\text{часа работы}}$ - стоимость одного часа работы, руб/час;

$V_{\text{угля}}$ - месячный объем добычи угля, т;

$C_{\text{тонны угля}}$ - себестоимость добычи 1 т угля, руб/т;

КФВ - календарный фонд времени работы экскаватора в месяц с учетом продолжительности смен за вычетом внутрисменных простоев.

Коэффициент технической готовности $K_{ТГ}$ учитывается в календарном фонде времени при выполнении плана по вскрыше и добыче угля:

$$V_{\text{угля}} = (V_{\text{горной массы}} / K_{\text{вскр}}) \cdot \gamma_{\text{угля}}, \quad (1.6)$$

где $V_{\text{горной массы}}$ — плановый объем отгрузки горной массы, м^3 ;

$K_{\text{вскр}}$ — коэффициент вскрыши;

$\gamma_{\text{угля}}$ — плотность угля, $\text{т}/\text{м}^3$.

Отмечается, что такой поход носит вероятностный характер и зависит от множества факторов, таких как: время нахождения экскаватора в плановых ремонтах; изменение себестоимости тонны угля и его рентабельность на рынке; изменение горно-геологических и горнотехнических условий; влияние организационных причин. Однако такая информация носит конфиденциальный характер, поэтому такие расчеты можно использовать при качественной оценке эффективности работы оборудования, в том числе при обосновании своевременности проведения сроков и объемов технических обслуживаний и ремонтов, необходимых для повышения коэффициента технической готовности оборудования.

Установлено, что при эксплуатации экскаваторов-мехлопат возникают внеплановые простои оборудования, которые зависят от качества подготовки забоя и рабочей площадки.

Особенности конструкции опорно-поворотных устройств, недостаточная организация и оснащение ремонтных служб предприятий приводят к увеличению времени устранения внеплановых простоев, от которых зависит коэффициент технической готовности оборудования.

1.3. Обзор и анализ существующих конструкций опорно-поворотных устройств и устройств контроля углов наклона

В настоящее время на открытых горных работах Кузбасса эксплуатируются практически все марки экскаваторов-мехлопат, выпускаемых в России (ранее СССР) и за рубежом.

Опорно-поворотное устройство для каждой модели экскаватора служит для восприятия вертикальных и горизонтальных составляющих нагрузок,

действующих на поворотную платформу, передачи этих нагрузок или их части на раму ходового устройства, обеспечения опирания поворотной платформы через опорно-поворотный круг на нижнюю раму, вращения поворотной платформы с минимальными сопротивлениями относительно нижней рамы и гусеничного хода экскаватора [27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36].

Для предотвращения опрокидывания поворотной платформы и использования в качестве добавочного противовеса нижней рамы экскаватора платформа снабжается захватывающим устройством. Таким устройством служит центральная цапфа с гайкой на верхнем или нижнем конце цапфы, которая воспринимает горизонтальные усилия и моменты, а также силы, отрывающие поворотную платформу от роликового круга [27].

Например, согласно [28] центральная цапфа предназначена для центрирования поворотной платформы относительно нижней рамы и удержания поворотной части экскаватора от опрокидывания при копании, когда равнодействующая всех узлов выйдет за пределы роликового круга. На экскаваторе ЭКГ-10 ось центральной цапфы установлена в центральной отливке поворотной платформы и застопорена стопорными планками. Нижняя часть цапфы вращается во втулке, запрессованной в отливку нижней рамы. Посредством гайки, опирающейся на сферическую шайбу, цапфа удерживает поворотную часть экскаватора от опрокидывания. Гайка стопорится от проворачивания стопорными планками и вращается с осью центральной цапфы. Ось центральной цапфы выполнена полой для проводки кабелей от поворотной платформы к электрооборудованию нижней рамы. Кабели уложены в трубу, которая установлена во втулках. Для предотвращения проворачивания относительно нижней рамы труба раскреплена тягами. Сверху на фланец трубы устанавливается кольцевой токоприёмник.

При проектировании и производстве элементов опорно-поворотного устройства учитываются геометрические параметры, особенности крепления стрелы к поворотной платформе, характер и величина нагрузок (напряжений), свойства горной массы и т.д. Условия эксплуатации экскаватора, принимаемые в

расчетах оборудования, предусмотрены в целом для нормальной работы машины, и приводятся в заводской документации [37].

Описание применяемых на экскаваторах схем опорно-поворотных устройств приведено ниже. На рис. 1.7-1.14 приведены следующие обозначения: 1 – верхний рельс, 2 – нижний рельс, 3 – втулка поворотной платформы, 4 – центральная цапфа, 5 – поворотная платформа, 6 – роликовый круг (ролик), 7 – втулка нижней рамы, 8 – гайка центральной цапфы, 9 – сферическая шайба, 10 – отливка нижней рамы, 11 – втулка сепаратора роликового круга, 12 – нижняя рама, 13 – сепаратор роликового круга, 14 – втулка ролика.

Экскаваторы ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЭКГ-10 и их модификации в конструкции опорно-поворотного устройства имеют верхний и нижний рельсы, установленный между ними роликовый круг с цилиндрическими роликами. Центральная цапфа для регулировки зазоров имеет гайку на нижнем конце. Ролики при этом могут быть как с одной, так и с двумя ребрами (рис. 1.7-1.9) [28, 29, 30].

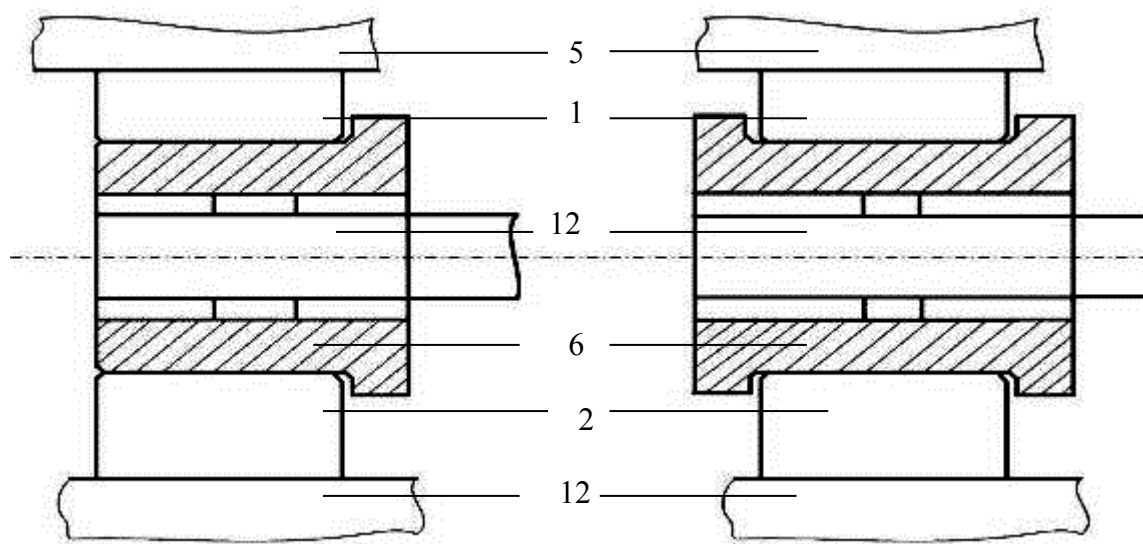


Рисунок - 1.7. Схема роликов и роликового круга опорно-поворотного устройства экскаваторов ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЭКГ-10 и их модификации

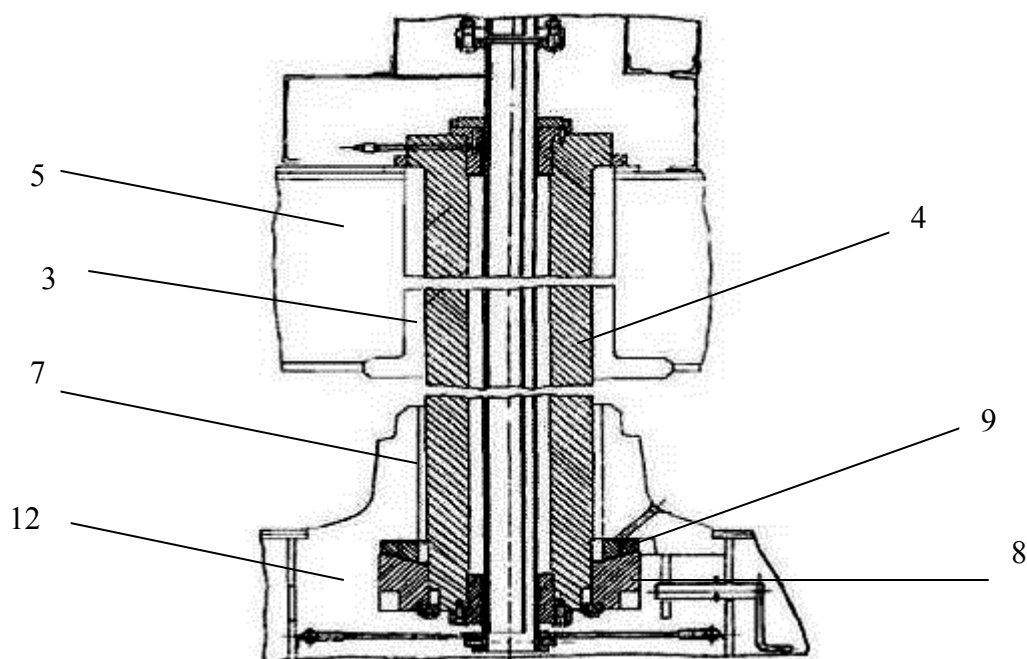


Рисунок 1.8 - Схема центральной цапфы экскаваторов ЭКГ-8И, ЭКГ-10 и их модификации

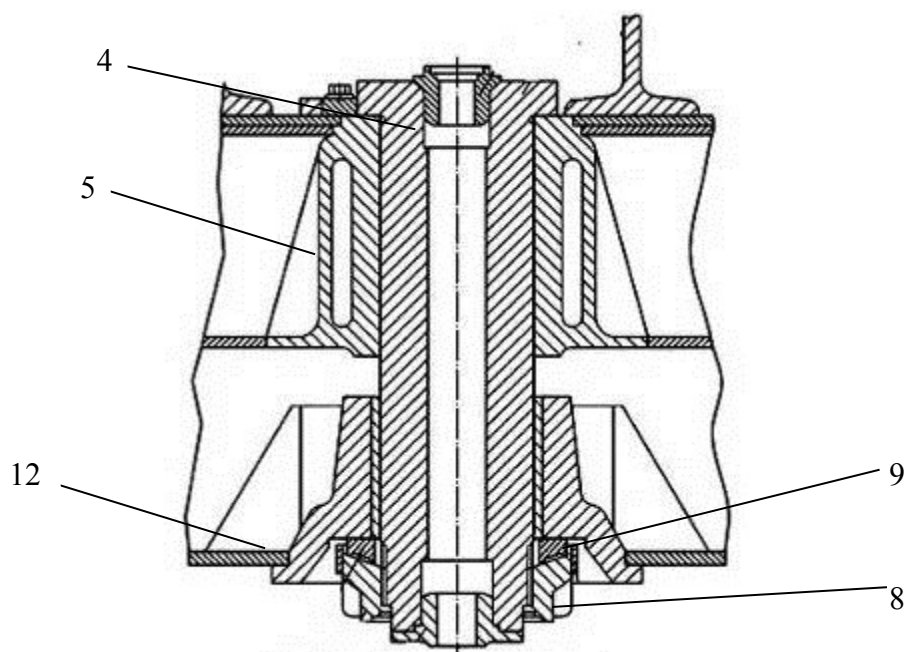


Рисунок 1.9 - Схема центральной цапфы экскаватора ЭКГ-5А

Экскаваторы ЭКГ-15 и ЭКГ-12,5 и их модификации в конструкции опорно-поворотного устройства имеют сдвоенные верхние и нижние рельсы, установленный между ними роликовый круг, цилиндрические ролики которого выполнены с одной ребордой (рис. 1.10). Центральная цапфа для регулировки зазоров имеет гайку на верхнем конце (рис. 1.11) [31].

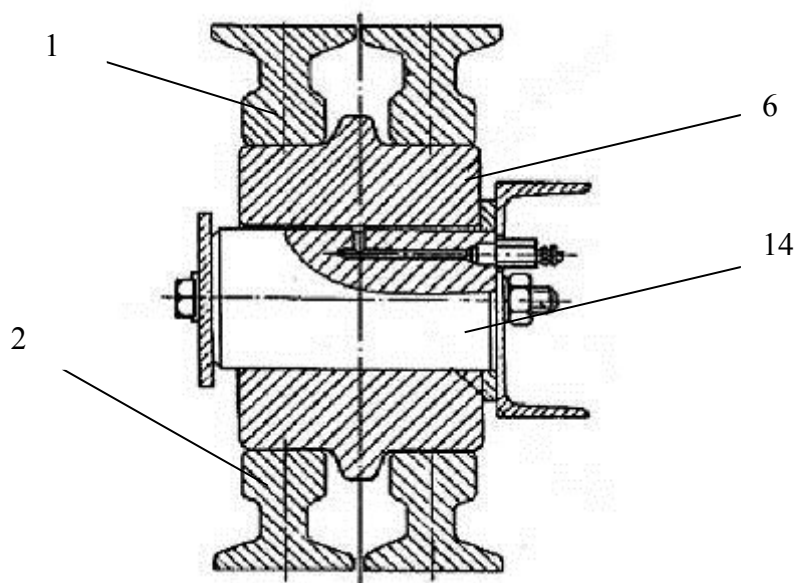


Рисунок 1.10 - Схема роликов и роликового круга экскаваторов ЭКГ-12,5 ЭКГ-15 и их модификации

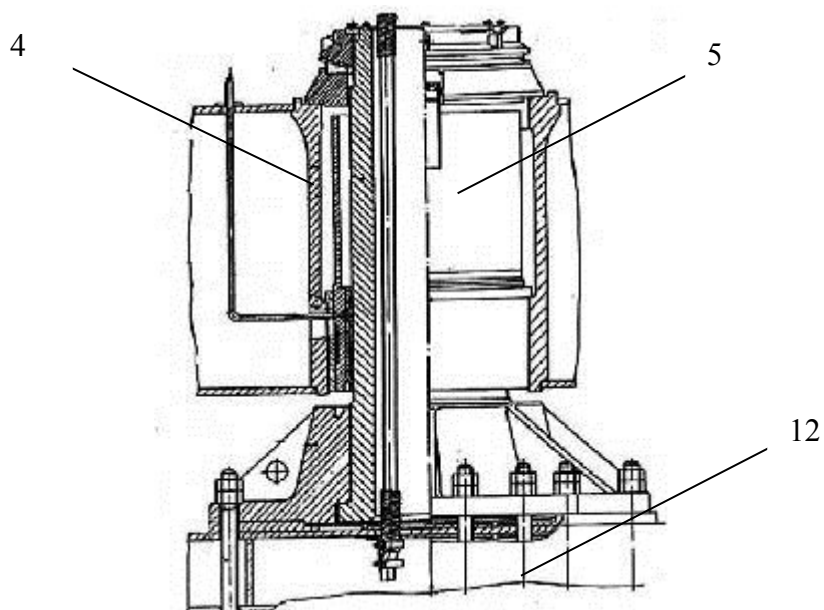


Рисунок 1.11 - Схема центральной цапфы экскаваторов ЭКГ-12,5 ЭКГ-15 и их модификации

При проектировании и изготовлении современных экскаваторов-мехлопат имеется тенденция к применению роликового круга с коническими роликами (рис.1.12), имеющими одну реборду, расположенную с внутренней стороны рельсов. Центральная цапфа для регулировки зазоров имеет гайку на верхнем конце.

Опорно-поворотными устройствами с такой конструкцией оснащены отечественные производства ОАО «Уралмашзавод» и «ИЗ-Картэкс им. П.Г. Коробкова» (ЭКГ-12, ЭКГ-1500Р, ЭКГ-18Р и ЭКГ-32) [32, 33, 34].

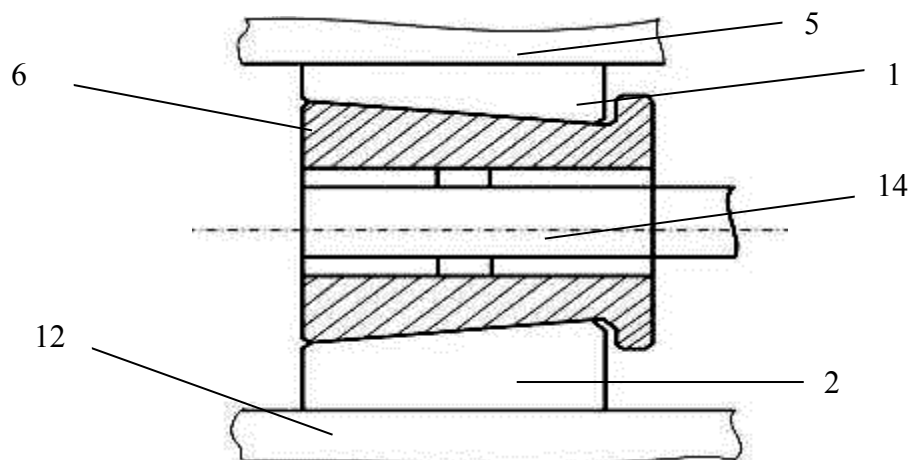


Рисунок 1.12 - Схема роликов и роликового круга экскаваторов ЭКГ-12, ЭКГ-1500Р, ЭКГ-18Р и ЭКГ-32

Машины производства США (P&H) и КНР (WK) имеют одинаковую конструкцию опорно-поворотного устройства с роликовым кругом с коническими безребордными роликами (рис.1.13, а) и центральной цапфой с гайкой на верхнем конце (рис.1.13, б) [35, 36].

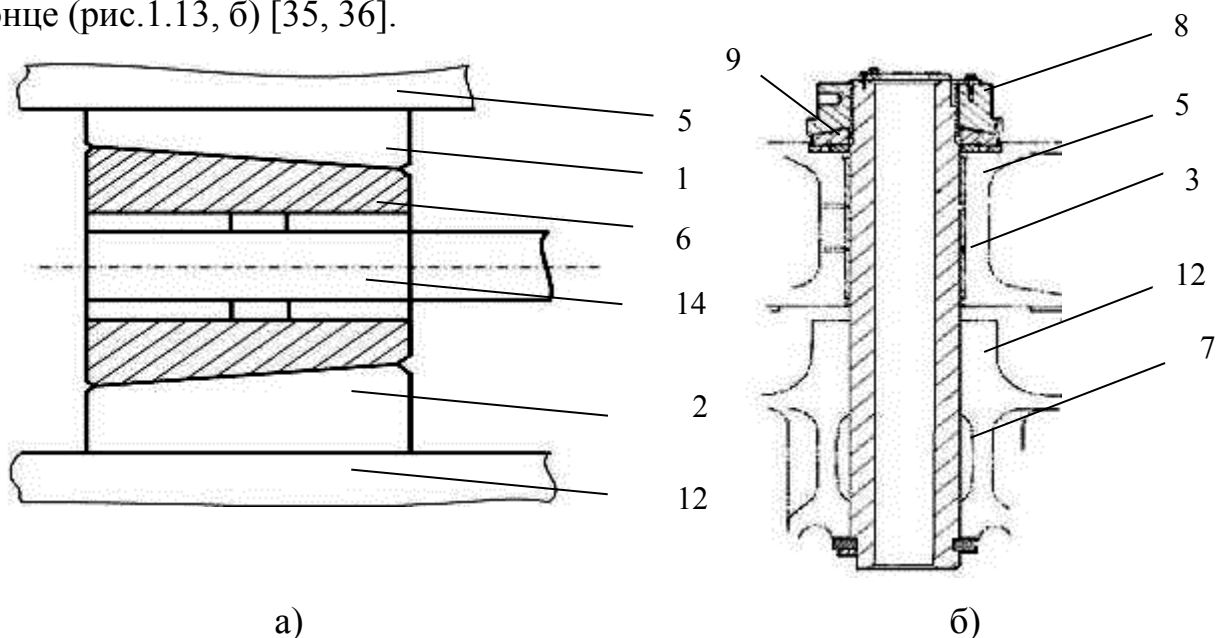


Рисунок 1.13 - Схема роликов роликового круга (а) и центральной цапфы (б) экскаваторов P&H и WK-35

Конические катки для мощных машин выполняются с небольшой бочкообразностью по плоскости контакта с рельсом катания. Под нагрузкой каток деформируется и точка контакта переходит в линию. Конические катки меньше изнашиваются, чем цилиндрические, но сложнее в изготовлении.

Обзор опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат (рис. 1.7-1.13) показал, что применяемые конструкции можно обобщить единой компоновочной схемой: устройство со свободно вращающимися цилиндрическими или коническими роликами (катками), закрепленными на осях в сепараторе, а также наличие в составе устройства центральную цапфу (рис. 1.14).

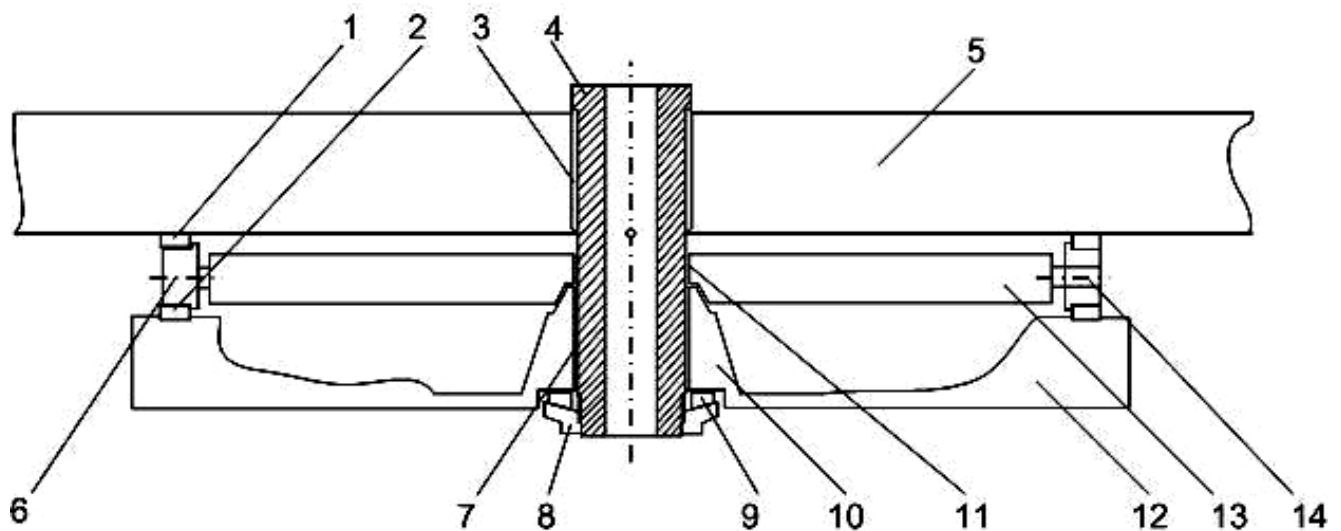


Рисунок 1.14 - Схема общей конструкции опорно-поворотного устройства экскаватора-мехлопаты

Изучение используемых конструкций устройств контроля наклона экскаваторов-мехлопат, применяемых в России и Кузбассе, показало следующее.

При наблюдении за работой экскаваторов установлено, что уклоны рабочих площадок присутствуют практически постоянно, при этом контролируются визуально эксплуатационным персоналом (машинист экскаватора, горный мастер). Периодически привлекаются специалисты геолого-маркшейдерских служб предприятий, однако такое не всегда возможно по причине занятости последних.

Производителями рекомендовано эксплуатировать экскаваторы при определенных условиях, одним из которых является требование к наклону экскаватора при экскавации и при его перегоне. Требования заводов-изготовителей, эксплуа-

тируемых на угольных разрезах Кузбасса, к наклону экскаватора приведены в табл. 1.2 [28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36].

Данные по значениям углов поперечного наклона в заводской документации практически отсутствуют (за исключением 2 градусов для ЭКГ-8И и 5 градусов для WK-35 при экскавации, а также 3 градусов для ЭКГ-18, 5 градусов для WK-35 и не более 5,75 градусов для P&H-2800 в режиме перемещения).

Таблица 1.2 - Данные производителей экскаваторов по углам уклона рабочей площадки и подъема трассы для перегона

№ п/п	Базовая марка машины	Производитель	Продольный угол наклона, градус	
			при экскавации	при перемещении
1.	ЭКГ-5А	ОАО «Уралмашзавод»	не более 3	не более 12
2.	ЭКГ-8И	ПО «Ижорский завод им. Жданова»	не более 2	не более 12
3.	ЭКГ-10 и ЭКГ-15	ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова»	не более 3	не более 12
4.	ЭКГ-1500Р и ЭКГ-18		не более 5	не более 15
5.	ЭКГ-32Р		не более 5	не более 12
6.	ЭКГ-12	ОАО «Уралмашзавод»	не более 5	не более 15
7.	ЭКГ-18Р		не более 5	не более 12
8.	WK-35	Тайюаньский завод тяжелого машиностро- ения (КНР)	не более 5	не более 12
9.	P&H-2800	P&H Mining Equip- ment (США)	н/д	11,5

н/д – нет данных.

Из данных табл. 1.2. следует, что для машин отечественного производства, которые в большинстве своем отработали нормативные сроки службы (марки

ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-15 и их модификации), требования к наклону экскаватора более жесткие, чем для машин, спроектированных и изготовленных в течение последних 10 лет. При этом эти модели экскаваторов не оборудованы устройствами контроля угла наклона экскаватора при экскавации и перегоне, потому как заводом-изготовителем предполагается безусловное выполнение эксплуатирующей организацией всех требований по условиям эксплуатации.

На современных машинах (Р&Н, ЭКГ-32Р, ЭКГ-18Р, WK-35) устанавливаются системы контроля, учитывающие условия и параметры работы экскаватора. При использовании этих систем для контроля состояния рабочей площадки и трассы для перегона решение о дальнейшей эксплуатации принимается оператором (машинистом) экскаватора, даже если имеется превышение допустимых углов наклона.

Требования к наклону рабочей площадки для экскаваторов производства Р&Н даны в процентах, для контроля которого в конструкции кабины имеется поплавковый кренометр (рис. 1.15) со шкалой деления в процентах [35]. Данное устройство предназначено для контроля продольного наклона экскаватора.

Указатель кренометра Р&Н состоит из стеклянной трубки со штампованными метками и шарика. Кренометр наполняется специальной жидкостью, регулирующей перемещение шарика. Жидкость в сочетании с большими четкими цифрами и метками градусов облегчает быстрое снятие точных показаний при различных неблагоприятных внешних условиях.



Рисунок 1.15 - Внешний вид поплавкового креномера экскаваторов Р&Н

В конструкции кабин экскаваторов WK-35 производства Тайюаньского завода тяжелого машиностроения (г. Тайюань, КНР) предусмотрено два механических устройства, показывающих продольный и поперечный наклоны машины при работе (рис. 1.16 и рис. 1.17) [36].



Рисунок 1.16 - Указатель поперечного наклона экскаватора WK-35



Рисунок 1.17 - Указатель продольного наклона экскаватора WK-35

В конструкции ЭКГ-12 имеется устройство контроля продольного уклона, однако оно расположено правой стороне стрелы и не защищено от атмосферных осадков и смазки, поэтому при его возможном загрязнении вероятно искажение данных (рис. 1.18). Также контроль угла наклона машины можно осуществлять по данным бортового компьютера, который является дополнительной опцией при поставке экскаватора [32].



Рисунок 1.18 - Внешний вид указателя продольного наклона ЭКГ-12

На современных экскаваторах ЭКГ-18Р (ОАО «Уралмашзавод») и ЭКГ-32Р (ООО «ИЗ-Картэкс им.П.Г. Коробкова») установлена информационно-диагностическая система ИДС-18, контролирующая ряд параметров, в том числе угол стоянки экскаватора в продольной и поперечной плоскостях [33, 34, 38].

Анализ применяемых конструкций устройств контроля углов наклона показывает, что они по сути являются указателями угла наклона, и в ряде случаев дополнительно сигнализаторами. Однако решение о дальнейшей эксплуатации машины при наличии предельного угла наклона принимается человеком – машинистом (оператором) экскаватора.

Отсутствие устройств ограничения работы экскаватора при превышении предельно допустимого угла наклона машины и ее поворотной платформы приводит к использованию оборудования с отклонением от требований производителей, в том числе на рабочих площадках с превышением углов наклона, например рекомендуемых заводом-изготовителем (5°), который закладывает его при проектировании узлов и металлоконструкций.

Имеющиеся конструкции опорно-поворотных устройств карьерных экскаваторов-мехлопат возможно обобщить единой компоновочной схемой: устройство со свободно вращающимися цилиндрическими или коническими роликами, закрепленными на осях в сепараторе, а также наличие в составе устройства центральной цапфы. Этими элементами воспринимаются нагрузки, возникающие в верхней части экскаватора в процессе эксплуатации от черпания и наклона.

Углы наклона экскаватора при работе определяются заводской документацией. Существующие конструкции устройств контроля угла наклона визуализируют величину угла наклона и могут являться сигнализаторами. При этом решение о дальнейшей эксплуатации, в случае отклонения от требуемых производителем параметров по углам наклона, принимается человеком.

1.4. Анализ научно-технических подходов к определению параметров нагружения элементов опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат

Экскавационная техника, работая в тяжелых условиях эксплуатации, подвержена воздействию значительных внутренних и внешних сил со стороны окружающей среды, включая объект экскавации. Многие технические характеристики и производительность экскаватора зависят от конструктивных и эксплуатационных параметров, заложенных при проектировании и производстве.

Эксплуатационный ресурс выражается для техники в виде расчетного планового жизненного цикла (в сроке службы, наработке), которому свойственны усредненные нормативные условия эксплуатации. На фактический жизненный цикл влияют многие факторы, имеющие различную природу. Одним из факторов является состояние опорно-поворотного устройства, воспринимающего значительные нагрузки при черпании горной породы, а также от массы поворотной части экскаватора.

По результатам анализа научных трудов отечественных ученых, выполненных в области анализа отказов и исследований узлов экскаваторов, следует отметить работы Русихина В.И., Коха П.И., Домбровского Н.Г., Махно Д.Е., Подерни Р.Ю., Касьянова П.А., Квагинидзе В.С. Однако подробные исследования нагруженности опорно-поворотных устройств этих экскаваторов в различных условиях не приведены. Исследования причин наклона поворотной платформы экскаваторов и оценка его влияния отсутствуют вовсе.

Имеется достаточно много работ выполненных кузбасскими учеными: Паначевым И.А., Насоновым М.Ю., Антоновым К.В., Путятиным А.Н., Черезовым А.А. посвященных исследованиям влияния грансостава горной массы, температуры окружающей среды, сейсмического воздействия и ветровой нагрузки на надежность и долговечность несущих металлоконструкций (прежде всего рабочего оборудования) одноковшовых экскаваторов [39, 40, 41].

В области исследования технологичности горного оборудования на карьерах можно отметить работы Гетопанова В.Н., Голубева В.А., Горбунова И.В., Ефимова В.Н., Квагинидзе В.С., Коха П.И., Махно Д.Е., Морозова В.И., Попандопуло К.В., Рахутина Г.С., Русихина В.И., Самарина А.М., Солода В.И., Солода Г.И., Тира Н.Д., Тропа А.Е., Федярина Е.М., Шадрина А.И., Хорешка А.А., Богомолова И.Д., Воронова Ю.Е.

Так, выполненный Квагинидзе В.С. анализ показал что, с увеличением возраста машин резко возрастают затраты на техническое обслуживание и ремонт. Причем, если выработка машин за весь срок службы снижается на 40...50% , то расход на техническое обслуживание и ремонт возрастает в 4...5 раз [42, 43].

Насоновым М.Ю. выполнены работы по исследованию параметров механического нагружения, зависящих от качества взрывной подготовки горной массы, сейсмического воздействия взрывов на металлоконструкции, а также определена циклическая и статическая трещиностойкость сварных швов в зависимости от низких температур и химически активных веществ [44].

Карасевым Г.Н. и Степановым А.А. рассмотрены методики определения устойчивости строительных экскаваторов, выполняемых по различным методикам. Однако в этих материалах не рассмотрены подходы к определению нагрузок и усилий в опорно-поворотных устройствах [45].

В работе «Моделирование рабочего процесса, механика, прочность и ресурс опорно-поворотных устройств шагающих драглайнов», выполненной Касьяновым П.А., предложены технические решения для проектирования узлов опорно-поворотных устройств шагающих драглайнов [46].

Тотониным П.Е. предложены технические решения по увеличению жесткости опорно-поворотного устройства строительного экскаватора, направленные для повышения надежности ходовой рамы экскавационной машины [47].

В работе Рябова А.В. «Совершенствование сварных металлоконструкций гидравлических экскаваторов на стадиях расчета, конструирования и изготовления» выполнены расчеты металлоконструкций строительных гидравлических экскаваторов [48].

Павловым В.П. в своей работе [49] предложена новая методика проектирования гидравлических экскаваторов с небольшой вместимостью ковша, применяемых при строительстве.

Красниковой Т.И. при обосновании и выборе рациональных параметров эксплуатации экскаваторов цикличного действия установлены зависимости технического состояния экскаватора и производительности от грансостава горной массы и качества подготовки рабочей площадки, однако не учтено влияние этих факторов на нагрузки в опорно-поворотном устройстве [50].

Дрыгиным М.Ю. предложена установка стационарного диагностического комплекса для одноковшовых карьерных экскаваторов, функциями которого служит фиксация, запись данных и их обработка о техническом состоянии узлов, преимущественно подшипниковых узлов. Для контроля узлов опорно-поворотного устройства каких-либо решений не предложено [51].

Черезовым А.А. выполнены опытные исследования динамических процессов в рабочем оборудовании экскаваторов-мехопат при разработке взорванных горных пород на разрезах Кузбасса с предложением алгоритма расчета долговечности рабочего оборудования [52]

В целом сложность в решении задачи создания надежных опорно-поворотных устройств связана, прежде всего, с отсутствием научно обоснованных методов и норм расчета. Проектирование карьерных экскаваторов российского производства, отработавших нормативные сроки эксплуатации, выполнены на основании справочной литературы 60-годов прошлого века [53, 54, 55, 56, 57].

При проектировании и производстве элементов опорно-поворотного устройства учитываются геометрические параметры, особенности крепления стрелы к поворотной платформе, характер и величина нагружения, свойства горной массы, которые будут обеспечивать наибольшую надежность и прочность отдельных элементов и опорно-поворотных устройств в целом.

Принимаемые в расчетах оборудования условия эксплуатации экскаватора, которые закладываются для нормальных режимов работы, приводятся в заводской документации.

Наиболее значимыми составляющими нагрузок, вызывающих смещение равнодействующих сил, является вес рабочего оборудования и реакция от сил сопротивления копанию на ковше. Ветровая нагрузка, которая также может возникать при эксплуатации карьерных экскаваторов-мехлопат, является дополнительной [27].

Все действующие нагрузки подразделяются на:

- основные или постоянно действующие (собственный вес, предварительное напряжение), а также переменные нагрузки номинального режима эксплуатации машины (сопротивление копанию, вес груза в ковше, перемещение центров масс элементов), не вызывающего усталостного разрушения материала;
- дополнительные или случайные нагрузки - возникающие нерегулярно, а при сочетании определенных факторов во время эксплуатации конструкции (например неблагоприятные, сравнительно редко проявляющиеся сочетание двух или более отдельно действующих нагрузок на один и тот же узел, действие ветра);
- аварийные – критические нагрузки, вероятность которых весьма мала.

Для оценки влияния эксплуатационных нагрузок заводами-изготовителями закладываются условия эксплуатации, основанные на определении статических нагрузок. Влияние динамических нагрузок учитывается динамическим коэффициентом равным 2. Другими словами статические нагрузки полученные таким путем, умножаются на 2.

Согласно заводскими нормам у каждого экскаватора принимаются определенные комбинации нагрузок, по которым с учетом принятых материалов выбирают коэффициенты запасов прочности и допускаемые напряжения.

Значения коэффициентов запаса прочности n_1 , и допускаемых напряжений $[\sigma]$ могут быть различными в зависимости от вида расчётных нагрузок, материалов и других факторов, влияющих на надёжность работе конструкции. Величина коэффициентов запаса прочности зависит от ряда факторов, трудно поддающихся учету, таких как неоднородность металла и его механических свойств, несоответствие отдельных сечений расчетным, неточное определение величин дейст-

щих нагрузок и принятых в расчетах величин концентрации напряжений, влияние остаточных напряжений.

ПО «Ижорский завод» при проектировании экскаваторов ЭКГ-8И и ЭКГ-10 принимает коэффициенты запасов прочности для рабочего оборудования – до 1,4; для прочих металлоконструкций – до 1,2. Максимальные напряжения в опорно-поворотном устройстве определены исходя из статического расчета при определении массы противовеса (контргруза) с учетом динамического коэффициента равного 2.

Также ПО «Ижорский завод» [37] выполнены расчеты моментов инерции, определены силы и плечи, центры тяжести элементов экскаватора и машины в целом, выбрана масса противовеса и рассчитана устойчивость в целом экскаватора при работе.

Расчетные схемы расположения сил и их плечи относительно оси центральной цапфы построены для двух положений ковша (I – ковш на земле, начало копания и II – ковш на полном вылете, завершение черпания). Также может быть учтен один из неблагоприятных случаев, возникающих при эксплуатации экскаватора-мехлопаты - случай разбора ковшом плохо взорванного забоя. При такой работе, по мнению конструкторов, возможно опрокидывание экскаватора и возникновение максимальных нагрузок на центральной цапфе и роликовом круге.

Конструкторским бюро ОАО «Уралмашзавод» при проектировании шагающих драглайнов и гусеничных экскаваторов-мехлопат приняты значения запаса прочности n_1 и допускаемых напряжений приведенные в табл. 1.3 [27].

Таблица 1.3 - Запасы прочности n_1 и допускаемые напряжения $[\sigma]$, МПа

Марка стали	Класс	Проверка на усталость		Проверка на прочность при воздействии нагрузок					
				основных		дополнительных		аварийных	
		n_1	$[\sigma]$	n_1	$[\sigma]$	n_1	$[\sigma]$	n_1	$[\sigma]$
Сталь Ст.3.	А	1,7	140	1,7	140	1,7	140	1,15	210
	Б	1,5	160	1,5	160	1,3	185	1,1	215
Сталь 10ХСНД	А	1,8	220	1,8	220	1,5	265	1,2	330
	Б	1,6	250	1,6	250	1,35	300	1,15	350

Примечание - К классу *A* относятся конструкции и детали, поломки которых вызывают аварии, длительные остановки машины; к классу *B* – остальные конструкции.

В справочной литературе [27, 58, 59] приводятся методики расчета массы противовеса, оценки уравновешенности поворотной платформы и устойчивости экскаватора, а также усилий в опорно-поворотной устройстве. Однако эти методики также основаны на статическом расчете. При этом в них отсутствуют подходы (формулы, значения) по определению горизонтальных усилий и моментов, отрывающих поворотную платформу от роликового круга.

Изложенные в [60, 61, 62] общие подходы и методы проектных расчетов горных машин и оборудования достаточно четко описаны, но они направлены прежде всего на расчет элементов рабочего оборудования, исходя из действующих в них усилиях и моментах.

Разработанная в ОАО «ОМЗ-ГОиТ» [63] программа проектирования экскаваторов построена на основе кинематического и силового анализа применяемого типа рабочего оборудования (канатный или реечный напор) и ориентирована прежде всего на проектирование рабочего оборудования новых машин.

Таким образом возникает необходимость в проведении дополнительных работ, посвященных исследованию нагруженности опорно-поворотных устройств и устойчивости поворотных платформ экскаваторов-мехлопат с учетом перемещения центра масс поворотной платформы, усилий резания и напора, а также углов наклона поворотной платформы.

В настоящей работе использованы основные научные рекомендации, разработанные в трудах следующих ученых: Домбровского Н.Г., Панкратова С.А., Петерса Е.Р., Фролова К.В., Подерни Р.Ю., Хорешка А.А.

Недостаточность выполненных исследований, приведенных в проанализированных научно-технических источниках, оставляет задачу исследований нагруженности опорно-поворотных устройств и повышения надежности экскаваторов-мехлопат актуальной.

1.5. Выводы и задачи исследований

В настоящее время на предприятиях Кузбасса по добыче угля открытым способом эксплуатируется большое количество экскаваторов – мехлопат, как недавно введенных, так и отработавших нормативный ресурс. Существующие процессы обновления экскаваторного парка ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» свидетельствуют о том, что какое-то время будет эксплуатироваться устаревшее оборудование, поэтому имеется постоянная необходимость в разработке мер и рекомендаций по модернизации отдельных узлов и устройств, обеспечивающих безопасную эксплуатацию оборудования.

Особенности конструкции опорно-поворотных устройств, недостаточная организация и оснащение ремонтных служб предприятий приводят к увеличению времени устранения внеплановых простоев, от которых зависит техническая готовность оборудования. При эксплуатации экскаваторов-мехлопат возникают внеплановые простои оборудования, которые также зависят от качества подготовки забоя и рабочей площадки.

Опорно-поворотное устройство карьерных экскаваторов-мехлопат (со свободно вращающимися цилиндрическими или коническими роликами, закрепленными на осях в сепараторе, и с центральной цапфой) воспринимает нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации от черпания и наклона.

Существующие конструкции устройств контроля угла наклона визуализируют величину угла наклона и являются сигнализаторами. При этом решение о дальнейшей эксплуатации, в случае отклонения от требуемых производителем параметров по углам наклона (определены заводской документацией), принимается человеком.

Недостаточность выполненных работ по изучению нагруженности и надежность опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат оставляет задачу исследований несомненно актуальной.

Для достижения поставленной цели работы, заключающейся в повышении технической готовности экскаваторов-мехлопат при максимальных параметрах нагружения элементов опорно-поворотных устройств в различных условиях эксплуатации, необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать состояние экскаваторного парка, конструкции опорно-поворотных устройств и устройств контроля угла наклона на примере экскаваторов-мехлопат ОАО «УК «Кузбассразрезуголь».

2. Исследовать отказы элементов опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат и причины наклона поворотной платформы.

3. Определить параметры устойчивости поворотной платформы экскаваторов-мехлопат и оценить ее воздействие на опорно-поворотное устройство.

4. Разработать динамическую модель нагружения конструктивных элементов опорно-поворотных устройств.

5. Обосновать и разработать технические решения по обеспечению допустимых параметров нагружения опорно-поворотных устройств и контролю устойчивости поворотной платформы.

Решение поставленных задач позволит изучить параметры нагружения опорно-поворотного устройства за время копания при различных углах наклона экскаватора и оценить воздействие возникающих при этом нагрузок на техническое состояние опорно-поворотного устройства.

Полученные результаты позволят обосновать и разработать технические решения по обеспечению допустимых параметров нагружения опорно-поворотных устройств, исключая влияние условий эксплуатации на техническое состояние оборудования, что в итоге должно привести к повышению надежности и безопасности эксплуатации оборудования.

Глава 2. УСТАНОВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВОЗДЕЙСТВИЯ НАГРУЗОК НА НЕСУЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА

2.1. Исследование характера повреждений несущих элементов опорно-поворотных устройств и установление причин их возникновения

По результатам анализа внеплановых простоев парка экскаваторов-мехлопат ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» установлено, что значительную часть отказов (13%) составляют узлы опорно-поворотного устройства.

Наиболее часто встречающимися отказами опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат, устранение которых также наиболее продолжительное, являются дефекты роликового круга и верхнего рельса, выраженные в виде раскатывания и износа, а также излома верхней части центральной цапфы, возникающего по причине образования и развития трещин [64, 65].

Для установления причин, имеющихся поломок элементов опорно-поворотных устройств, подробно изучен характер их повреждений [66, 67].

Настоящие исследования проводились совместно с оценкой технического состояния оборудования, выполненной в рамках проведения экспертизы промышленной безопасности экскаваторов ОАО «УК «Кузбассразрезуголь», отработавших нормативные сроки эксплуатации. За период с 2005-2013 гг. автором, являющимся экспертом по промышленной безопасности и специалистом по неразрушающему контролю горнотранспортного оборудования открытых горных работ, выполнено обследование более 400 экскаваторов, из них около 250 экскаваторов-мехлопат. При этом охвачен весь спектр экскаваторов, применяемых при добычных и вскрышных работах, а также работающих на технологических комплексах на поверхности и складах полезного ископаемого (ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-12,5, ЭКГ-15 и их модификации, ЭКГ-4,6Б и ЭКГ-5А) (табл. 2.1).

Таблица 2.1 - Перечень экскаваторов-мехлопат, прошедших экспертизу промышленной безопасности после проведения их комплексного обследования

№ п/п	Марки экскаваторов	Количество обследованных машин в год			
		2009	2010	2011	2012
1.	ЭКГ-5А (ЭКГ-4,6Б)	15	14	11	16
2.	ЭКГ-8И	7	6	7	2
3.	ЭКГ-4У	4	4	2	1
4.	ЭКГ-5У	1	-	1	-
5.	ЭКГ-6,3УС	1	1	1	1
6.	ЭКГ-8УС	1	1	2	1
7.	ЭКГ-10	6	3	7	4
8.	ЭКГ-8У	-	-	4	2
9.	ЭКГ-15	-	-	2	2
10.	ЭКГ-12УС	-	-	1	-
11.	ЭКГ-12,5	-	-	1	-
	Итого	35	29	39	29

Существующие темпы обновления парка экскаваторов-мехлопат не позволяет своевременно и полностью заменять оборудование, поэтому техническое состояние оборудования будет оставаться примерно на прежнем уровне.

При обследованиях опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат установлено, что ролики роликового круга в процессе вращения поворотной платформы перемещаются по кругу, направление черпания при этом относительно нижней рамы периодически меняется, в этой связи износ нижнего рельса и роликов относительно равномерный. Схема типового износа ролика роликового круга экскаватора ЭКГ-10 приведена на рис. 2.1.

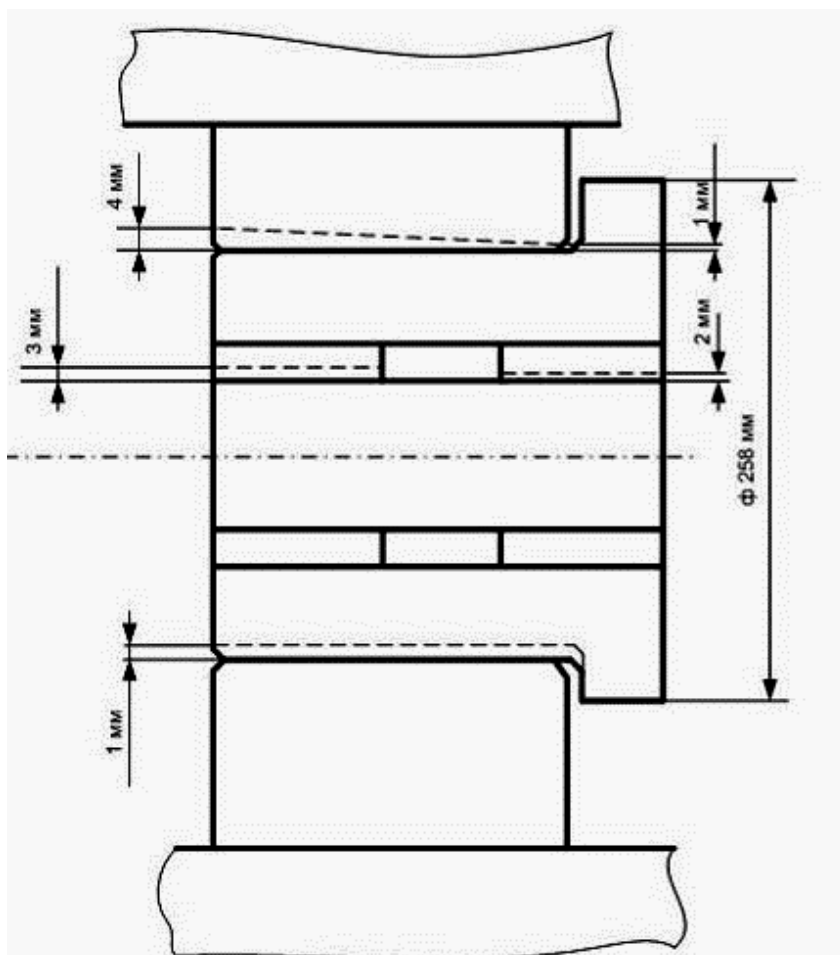


Рисунок 2.1 - Схема типового износа ролика роликового круга ЭКГ-10

Измерения износа верхнего рельса экскаватора ЭКГ-10, изготовленного из стали 35ХМ ГОСТ 8479-70 [68, 69], показали следующее. Наибольшему износу (раскатыванию) подвержена передняя часть верхнего рельса, поэтому сделано предположение, что именно на эту часть рельса воздействуют наибольшие эксплуатационные нагрузки, возникающие при черпании горной массы. Также можно предположить, что этот факт является следствием перемещения центра масс механической системы (равнодействующей всех сил) в сторону ковша. Минимальная нагрузка будет в задней части рельса на последних роликах в момент отрыва верхнего рельса от роликового круга.

Результаты измерений величин износа верхнего рельса по окружности приведены на рис. 2.2.

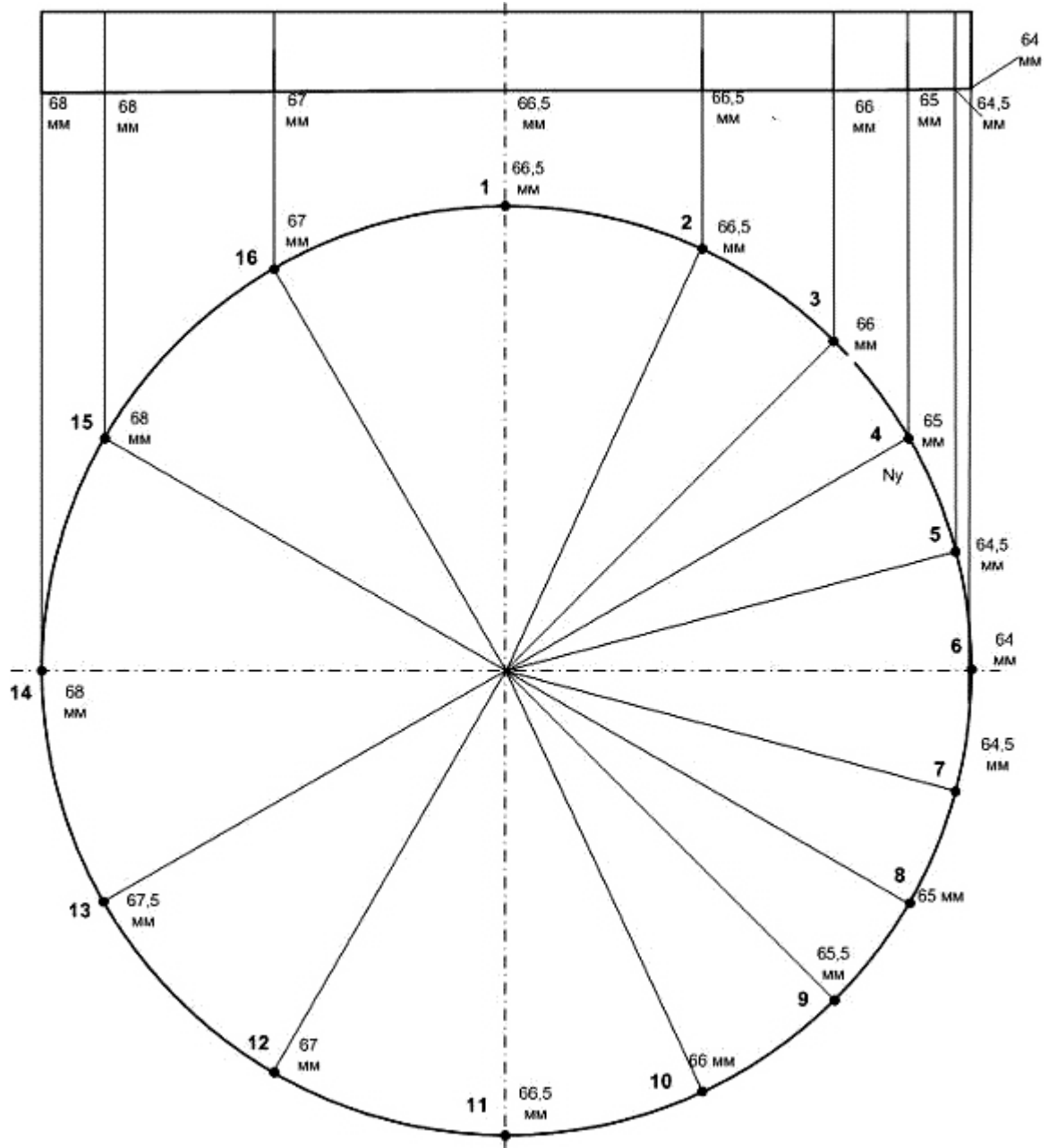


Рисунок 2.2 - Результаты измерений износа верхнего рельса экскаватора ЭКГ-10

Исходя из рис.2.2. видно, что наиболее подвержен износу сектор верхнего рельса в диапазоне 60 градусов, что составляет приблизительно 5 роликов ($60^{\circ}/9^{\circ}=6,7$), исходя из того, что каждый ролик расположен на каждом 9 градусе окружности роликового круга ($360^{\circ}/40=9^{\circ}$).

Краткая характеристика верхнего рельса экскаватора ЭКГ-10 приведена в табл. 2.2 [69, 70].

Таблица 2.2 - Краткая характеристика верхнего рельса экскаватора ЭКГ-10

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1.	Каталожный номер (чертеж)	3532.13.00.001
2.	Диаметр внешний, мм	1960
3.	Диаметр внутренний, мм	1840
4.	Ширина нового рельса, мм	120
5.	Высота нового/до замены, мм	70/40
6.	Материал верхнего рельса	Сталь 35ХМ ГОСТ 8479-70
5.1.	Предел текучести σ_T , МПа	840
5.2.	Твердость, НВ	270
5.3.	Временное сопротивление σ_B , МПа	930
5.4.	Масса, кг	4x185

Также экспериментально установлено, что площадь контакта переднего ролика с верхним рельсом представляет собой прямоугольник площадью 678 мм² (длина 114 мм и ширина 6 мм) (рис.2.3).

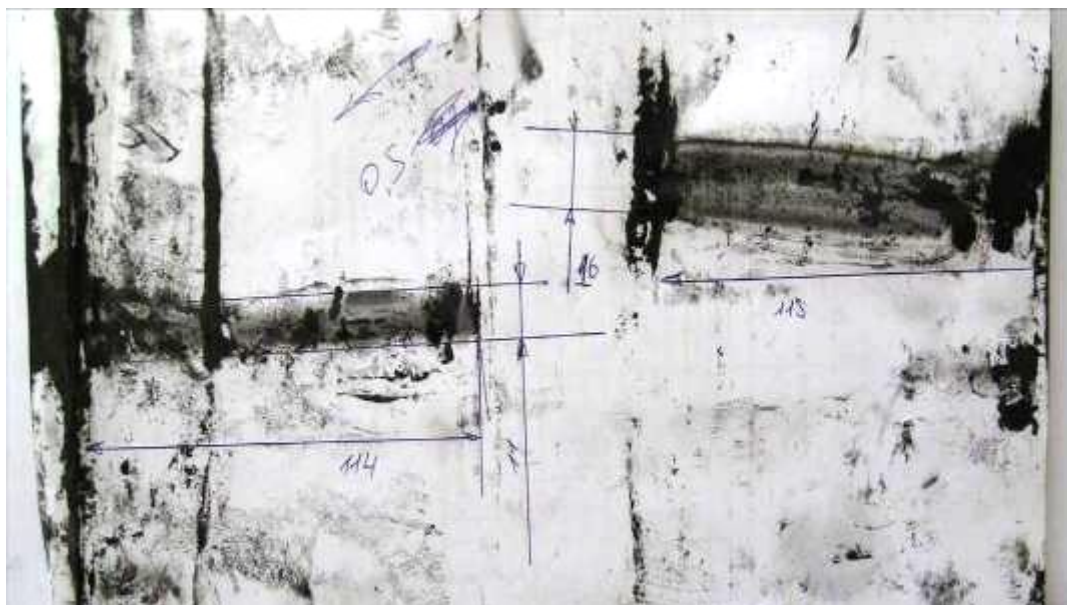


Рисунок 2.3 - Отпечатки пятна контакта ролика с верхним рельсом экскаватора ЭКГ-10

В соответствии с законами трибологии [71] износ элемента в конкретной точке в большей степени зависит от нагрузки в его сечении, при этом обратно пропорционален твердости и также зависит от перемещений и трения. Исходя из этого предположено, что величина износа верхнего рельса зависит от вертикальных нагрузок, возникающих при эксплуатации экскаватора, поэтому износ рельса в конкретных местах прямо пропорционален нагрузкам в местах контактов с роликами. Другими словами износ рельса зависит от участия конкретного ролика при восприятии удельной (вертикальной) нагрузки.

Для определения качественного выражения удельной нагрузки воспринимаемой конкретным роликом (в центре пятна его контакта с рельсом) построены графики зависимости износа рельса от расположения центра пятна контакта роликов относительно оси вращения с привязкой к диаметру рельса, а также зависимости износа от коэффициента участия ролика при восприятии удельной нагрузки (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 - Зависимости величины износа верхнего рельса экскаватора ЭКГ-10 от расположения линии центра пятна контакта и коэффициентов участия ролика при восприятии удельной нагрузки

Количество линий центров пятен контактов по диаметру рельса принято исходя из количества всех роликов ($n=40$ шт.). На первой линии расположен один ролик, на последующих линиях по два, и на последней линии - один ролик.

Для определения значений нагрузок на верхнем рельсе используется термин «коэффициент участия ролика» - K_y , показывающий величину восприятия им части удельной нагрузки – $N_{y\partial}$, определяемой по формуле:

$$N_{y\partial} = \frac{N_y}{\sum K_y}, \quad (2.1)$$

Коэффициенты участия роликов в восприятии эксплуатационных нагрузок приняты по участку максимального износа и определены графически по рис. 2.3: для переднего (первого) ролика этот коэффициент равен 1, для второго и третьего – 0,98, четвертого и пятого – 0,85.

С применением программного комплекса Excel получена зависимость величины износа верхнего рельса от точки приложения вертикальной нагрузки, действующей на конкретный ролик. Эта зависимость описана полиномом четвертой степени с коэффициентом аппроксимации $R^2=0,9925$:

$$y = 0,001x^4 - 0,0598x^3 + 1,0776x^2 - 8,9063x + 46,969, \quad (2.2)$$

В соответствии с полученной картиной износа (рис. 2.3) наибольшая величина износа наблюдается в передней части, что свидетельствует о наличии максимальных нагрузок, возникающих от смещения центра масс механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования. Это явление определяет условие устойчивости механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования, то есть способность этой системы сохранять текущее состояние при наличии внешних (эксплуатационных) воздействий в заданных пределах [72].

В справочной документации [27] описывается, что уравновесить поворотную платформу – значит устранить выход результирующей веса платформы с механизмами и рабочим оборудованием за пределы периметра опорного круга при повороте платформы с полной нагрузкой и без нагрузки на рабочем органе.

Платформа считается уравновешенной при любых положениях поворотной части с ковшом (порожним или груженым) при следующих условиях:

- равнодействующая весов вращающихся частей с рабочим оборудованием не должна выходить за периметр многоугольника, образованного соединением точек касания опорных катов с поворотным кругом;
- перемещения равнодействующей вперед и назад по отношению к центральной цапфе желательно иметь одинаковыми по величине.

Это утверждение не совсем корректно, так как в этом случае следует утверждать об устойчивости механической системы относительно кого-либо ребра опрокидывания со стороны результирующей, например, передних или задних роликов.

Из-за отсутствия устойчивости механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования, и присутствия различных по величине и направлению нагрузок возникает качение платформы. При этом часть этих нагрузок воспринимается центральной цапфой.

На рис. 2.5 и рис. 2.6 схематично указаны величины износа металлических поясов поворотной платформы, выполняющих своего рода функцию втулки, и бронзовой втулки нижней рамы.

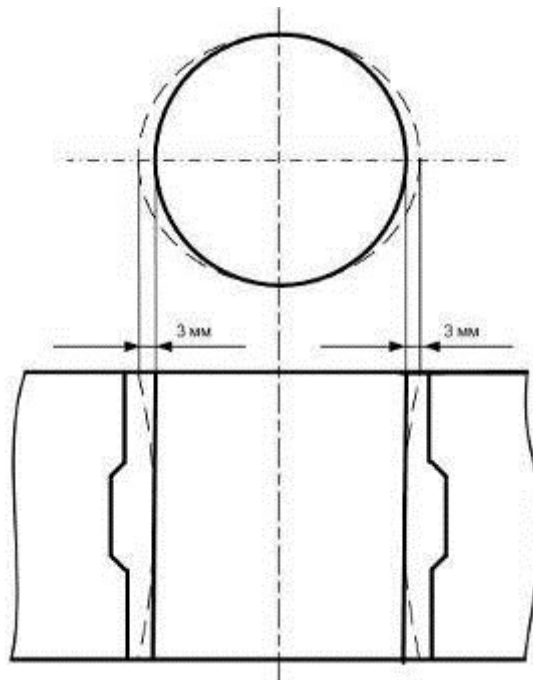


Рисунок 2.5 - Схема износа втулки поворотной платформы ЭКГ-10

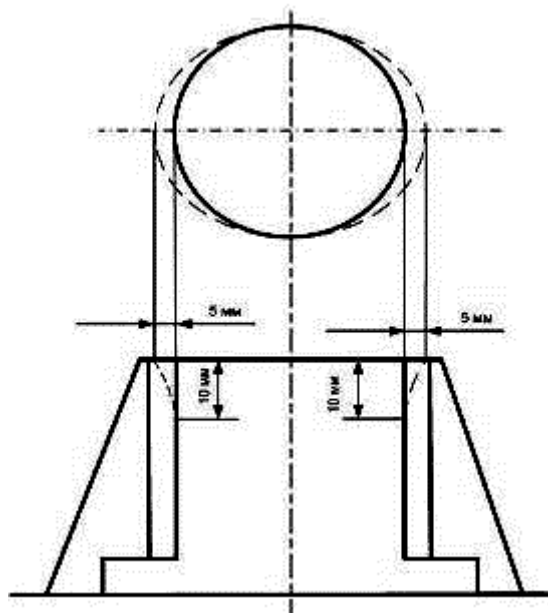


Рисунок 2.6 - Схема износа бронзовой втулки нижней рамы ЭКГ-10

Повреждения центральной цапфы ОПУ в основном выражаются в форме износа, представленного на рис. 2.7 и излома ее верхней части. Иногда поломка цапфы выражается в виде излома в средней части, в этом случае нижняя часть падает на грунт площадки, верхняя подлежит демонтажу. Из-за редкости таких отказов такие случаи не рассматривались.

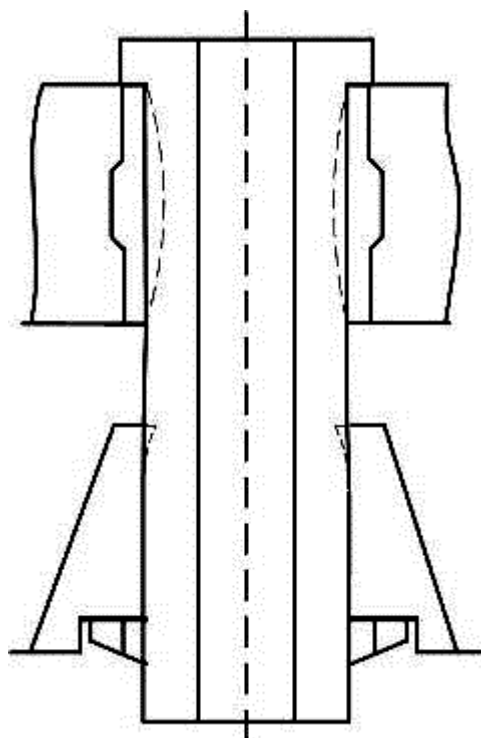


Рисунок 2.7 - Схема износа центральной цапфы ЭКГ-10

Краткая характеристика центральной цапфы экскаватора ЭКГ-10 приведена в табл. 2.3 [69, 70].

Таблица 2.3 - Краткая характеристика центральной цапфы ЭКГ-10

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1.	Каталожный номер (чертеж)	3519.06.001.000 СБ
2.	Высота, мм	1910
3.	Внешний диаметр головки, мм	550
4.	Внешний диаметр цилиндра, мм	450
5.	Внутренний диаметр, мм	220
6.	Материал	Сталь 40 ГОСТ 1050-88
5.1.	Временное сопротивление σ_b , МПа	570
5.2.	Предел текучести σ_t , МПа	335
5.3.	Твердость, НВ	210...240
5.4.	Масса, кг	1625

Для более детального исследования причин разрушения (излома) центральной цапфы, как наиболее значимого и требующего срочного ремонта узла, был проведен фрактографический анализ поверхности излома его верхней части. По результатам этого установлено направление развития дефекта и рассмотрены условия его образования.

На рис. 2.8 представлен эскиз узла с указанием места излома и участка вырезки контролируемого образца и на рис. 2.9 представлена центральная цапфа с вырезанным образцом и контрольный образец, подлежащий исследованию.

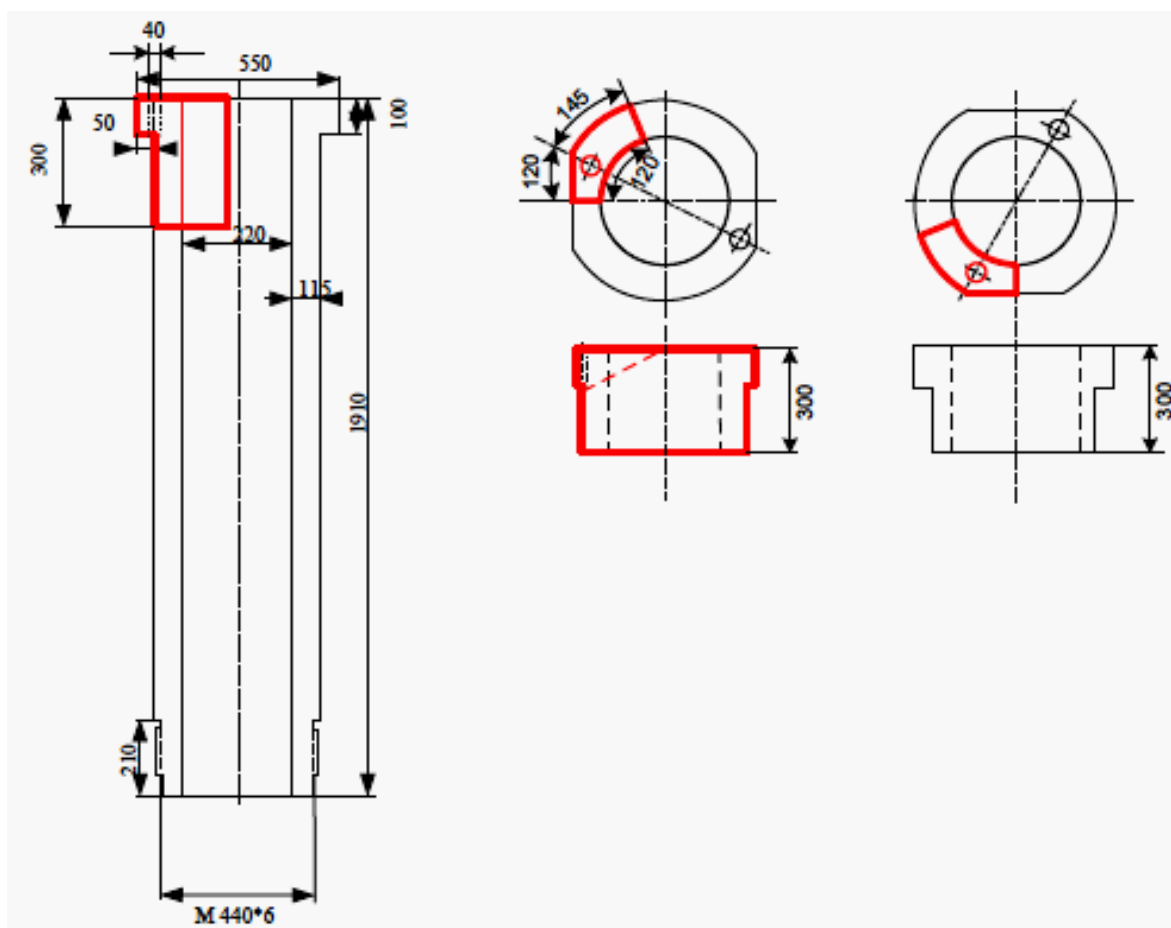


Рисунок 2.8 - Схематичное изображение центральной цапфы и местоположения вырезки контрольного образца



Рисунок 2.9 - Общий вид части цапфы (а) с вырезанным образцом (б)

По характеру излома в соответствии с моделью разрушения материала поверхность была разделена на характерные участки (рис. 2.10).

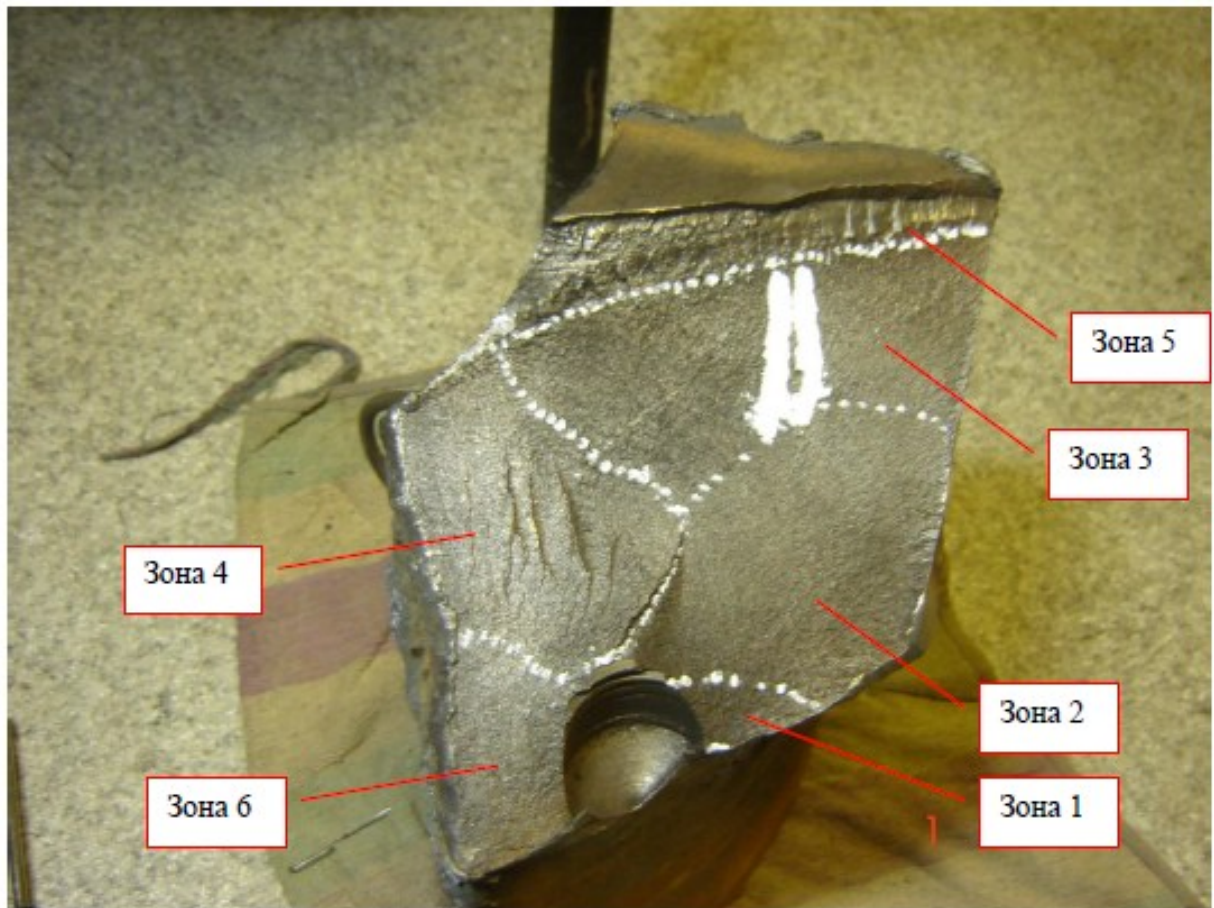


Рисунок 2.10 - Разбивка поверхности контроля на характерные зоны

Зона 1 характеризуется шероховатой поверхностью с характерным шевронным рисунком в виде полос, направленных от границы образца в направлении зоны 2. Вблизи границы зоны 2 полосы параллельны указанному контуру. Место скопления лучей шевронных полос на рис. 2.10 помечено точкой и находится в месте пересечения края образца с отверстием под рым-болт.

Зона 2 характеризуется шероховатой поверхностью без ярко выраженного шевронного рисунка, что соответствует скоротечности протекающего процесса разрушения в данной зоне.

Зона 3 характеризуется шероховатой поверхностью без ярко выраженного шевронного рисунка, однако по сравнению с зоной 2 видна структура расположения шевронных полос, направленных от границы зоны 2 в сторону верхней части контролируемого образца.

Зона 4 определена границами, образовавшимися в процессе вязкого разрушения. Имеет место грубая поверхность с развитым рельефом, обусловленным влиянием структуры материала на поверхность разрушения.

Зона 5 обусловлена грубой поверхностью без ярко выраженных полос шевронного рисунка. Состояние поверхности является характерным для участка долома.

Зона 6 имеет характерные признаки, присущие для зоны 3 - зоны быстрого разрушения.

Из общего вида представленного образца следует, что зоной концентрации напряжений стал участок объема в месте сопряжения границы образца и части отверстия с витками резьбы. Образование трещин в материале обусловлено привнесением напряжений в какой-либо объем вблизи концентратора. Привнесение напряжений вблизи концентратора, указанного ранее, обусловлено ударным воздействием конструкции посадочного места для цапфы на участок в районе галтели (рис. 2.11).



Рисунок 2.11 - Общий вид образца в районе предположительного концентратора

О длительном воздействии нагрузок свидетельствует участок поверхности с ярко выраженным наклепом в районе галтели и завальцованными краями отверстия.

Таким образом, причиной разрушения конструкции можно считать совокупность нескольких факторов:

- особенность изготовления цапфы – сквозное отверстие с витками резьбы в наиболее нагруженном месте и касание посадочного места о галтель центральной цапфы;
- воздействие внешних нагрузок, возникающих при эксплуатации оборудования, носящих знакопеременный характер.

Механизм разрушения можно представить в виде следующей последовательности: наклеп и образование трещины вблизи концентратора; развитие трещины, переходящее в хрупкое разрушение всей конструкции.

В результате длительного наклепа вблизи отверстия в основаниях одного из витков резьбы зародилась трещина, скорость ее роста в начальный период времени была крайне мала, о чем свидетельствуют близко расположенные шевронные полосы в зоне 1 (рис. 2.11).

С увеличением размера трещины увеличивалась и скорость ее роста, то есть увеличение расстояния между полосами свидетельствует об увеличении прироста трещины за каждый отдельный скачек. В какой-то период времени трещина из зоны 1 в виде единого мгновенного скачка переходит в зону 2, при этом исходя из соотношения площади образовавшейся трещины и площади последующего скачка, можно предположить, что это произошло либо в период низких температур, либо в результате воздействия нагрузок большой величины. Из-за анизотропности структуры материала процесс трещинообразования, встречая на пути участок зоны 4 снижает свою скорость в зоне 3, и начиная с границы зоны 4 уже протекает в виде вязкого разрушения.

Зона 5 является характерным участком для зоны долома. Развитие фронта трещины в зоне 6 происходило предположительно одновременно с зоной 3 или 4 из той же самой трещины в основании витка, постепенно снижая скорость.

Раскрываясь далее от контролируемого образца, скорость роста трещины постепенно снижалась, о чем свидетельствует увеличение зернистости поверхности и начало образования шевронных рисунков. Но в связи с обширным фронтом распространения трещины и началом долома на всю толщину тела цилиндрической части рост не прекращался. Причиной тому предположительно послужили усилия

от выполнения технологического цикла экскавации, которых в настоящий период было достаточно для развития процесса трещинообразования, при этом их общие значения превышали предел текучести материала (для цапфы это сталь 40 ГОСТ 1050-88 с пределом текучести 335 МПа). На конечной стадии разрушения конструкции процесс трещинообразования проходил уже по вязкому механизму с низкой скоростью при воздействии относительно небольших нагрузок.

Установлено, что основной причиной возникновения износа и повреждений несущих элементов опорно-поворотного устройства являются эксплуатационные нагрузки, имеющие характер разрушающих.

Наличие дополнительных нагрузок, возникающих при эксплуатации машин с наклоном, приводит к значительному смещению центра масс и потере устойчивости механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования, оказывая воздействие на основание платформы – роликовый круг опорно-поворотного устройства.

2.2. Условия возникновения эксплуатационных нагрузок в элементах опорно-поворотных устройств экскаваторов-мехлопат

Оценке воздействия эксплуатационных нагрузок, возникающих в процессе черпания и при наличии наклона экскаватора, посвящен настоящий раздел.

Исходя из недостаточного изучения другими авторами влияния внешних факторов (условий эксплуатации) на нагруженность ОПУ в расчетах приняты максимальные усилия резания и напора. Они всегда имеются при черпании, так как экскаваторами разрабатываются горные породы с различными физико-механическими характеристиками в разнообразных забоях. Значения этих усилий определяются параметрам приводов механизмов подъема и напора, максимальные величины ограничиваются стопорными токами их двигателей и постоянны в любом забое и в любое время года.

По причине недостаточной изученности взаимного влияния нагрузок в опорно-поворотном устройстве и положения машины в пространстве выполнены исследования причин продольного наклона экскаватора и его поворотной платформы [73, 74].

Поперечный наклон β имеется не так часто как продольный, поэтому подробного изучения причин его возникновения не приведено, но при этом его возможные значения учитываются в теоретической части настоящей работы.

Опыт многолетних наблюдений за эксплуатацией экскаваторов (как новых, так и отработавших нормативный срок службы), в том числе при проведении экспертизы показывает, что при работе машины имеют место три основных фактора, влияющих на продольный наклон (далее наклон) поворотной платформы и машины в целом $\alpha_{\text{общ}}$.

Наклон машины из-за уклона рабочей площадки (до 7 градусов) α_1 определяется планированием и организацией горных работ и, в ряде случаев, условиями залегания угля. Работа экскаваторов в этих условиях достаточно просто определяется визуально или с помощью простых приборов, при этом особенно ощутима при работе в комплексе с автосамосвалами.

Хронометражные наблюдения и измерения с применением разработанного прибора (рис. 2.12) на остановленных машинах (для исключения влияния наклона от износа опорно-поворотного устройства и просадки машины), а также анализ работы экскаваторов ряда угольных предприятий показал, что оборудование эксплуатируется до 40% времени работы на площадках с превышением угла установки, регламентированного заводом-изготовителем (рис. 2.13) [67].



Рисунок 2.12 - Прибор для определения угла наклона экскаватора-мехлопаты на его рабочей площадке

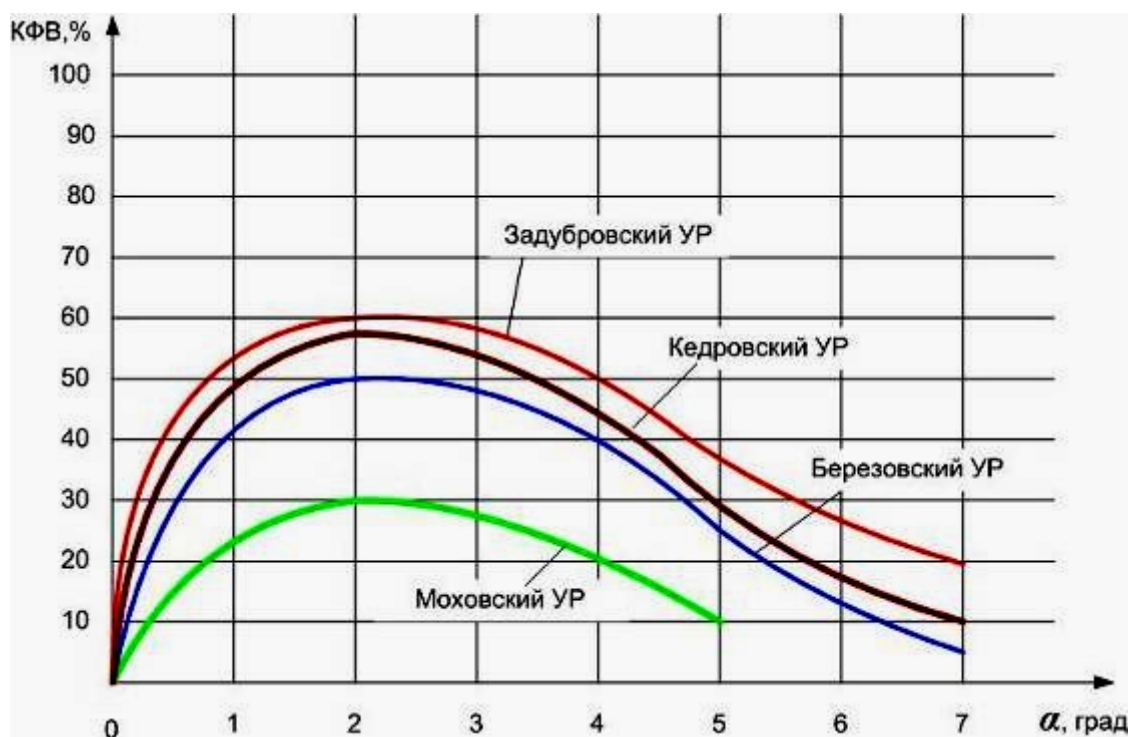


Рисунок 2.13 - Среднее время работы экскаваторов-мехлопат на рабочих площадках с наклоном

Производственными службами разрезов зачастую допускается уменьшение объемов вскрыши для добычи угля. Рассмотрим пример подобной ситуации.

Для добычи полезного ископаемого (угля) с соблюдением регламентного угла наклона экскаватора ($\alpha_1=2^\circ$) с нормальной высотой черпания H_q необходимо освоить горную массу согласно фигуре «а-с-d», после чего потребуются маневровые работы для освоения остальных объемов «а-в-с», в которых все еще находится большой объем полезного ископаемого (рис. 2.14).

При увеличении угла наклона рабочей площадки, например $\alpha_1>2^\circ$, экскаватор достигнет угля раньше, в этом случае сокращается время горных работ с итоговым объемом по фигуре «а-в-с-d» для добычи угля, исключая время маневровых работ. При этом стоимость добытого угля окупать затраты производства то есть данный вариант считается экономически выгодным.

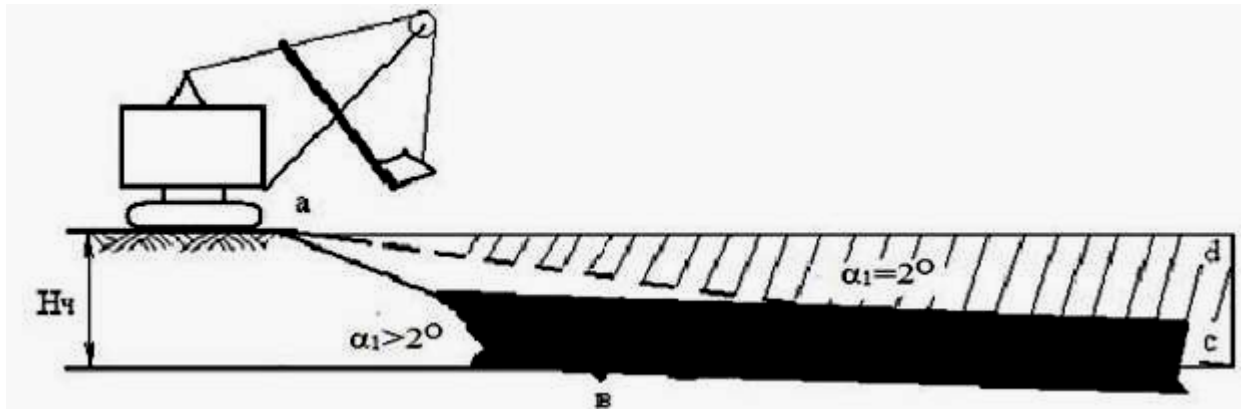


Рисунок 2.14 - Схема отработки угольного пласта экскаватором-мехлопатою с превышением наклона рабочей площадки

Работа в указанных условиях осуществляется по взорванной горной массе, где возможна просадка машины (рис. 2.15).



Рисунок 2.15 - Работа экскаватора ЭКГ-10 на рабочей площадке с увеличенным уклоном и просадкой грунта

Зачастую экскаваторы в связи с отсутствием специальной техники (экскаваторы-драглайны, гидравлические экскаваторы, бульдозеры) применяют при проходке разрезных траншей, на иных вспомогательных работах, таких как строительство автомобильных дорог, планирование трассы, строительство и очистка зумпфов для сбора карьерных вод.

Таким образом, в отдельных случаях производственными службами угольных предприятий считается экономически выгодным эксплуатировать мехлопаты на рабочих площадках с большим уклоном.

Наклон машины из-за проседания грунта со стороны рабочего оборудования (до 400 мм или 3,7 градуса) α_2 возникает при эксплуатации машин на грунтах со слабой несущей способностью - взорванная горная масса или наносы (глина) на горном участке или разрыхленный уголь на угольном складе. Наклон машины также проявляется в виде качания, о чем свидетельствует образовавшаяся на рабочей площадке колея. Направление рабочего оборудования относительно гусеничного хода (вдоль или поперек) может меняться от условия забоя или схемы отработки. У эксплуатирующей организаций информация о фактической несущей способности конкретного забоя отсутствует, поэтому возможность работы на площадке определяется визуально (просядет машина или нет и на какую величину).

Фактический наклон экскаватора-мехлопаты при работе определялся по величине просадки, в том числе при качании (рис. 2.16 и рис. 2.17), с использованием прибора КСЦ-1, а также рассчитаны по формуле (2.4).

На рис. 2.16 приведены следующие обозначения:

S_m - глубина проседания передней части экскаватора, мм;

L - длина опорной поверхности гусеничного хода, мм;

$R_q = X_{P_{01}}$ - радиус черпания или горизонтальное расстояние точки приложения усилия резания P_{01} и напора P_{02} , м;

$H_k = Y_{P_{01}}$ - высота черпания (копания) или вертикальное расстояние точки приложения усилия резания P_{01} и напора P_{02} , м;

α_2 - величина наклона экскаватора по причине просадки рабочей площадки, градус.

Изменение наклона экскаватора по отношению к рабочей площадке выражено как:

$$\alpha_2 = \arctg (400/6210) = 3,7^\circ, \quad (2.4)$$

где $S_m = 400$ мм, $L = 6210$ мм (для ЭКГ-10).

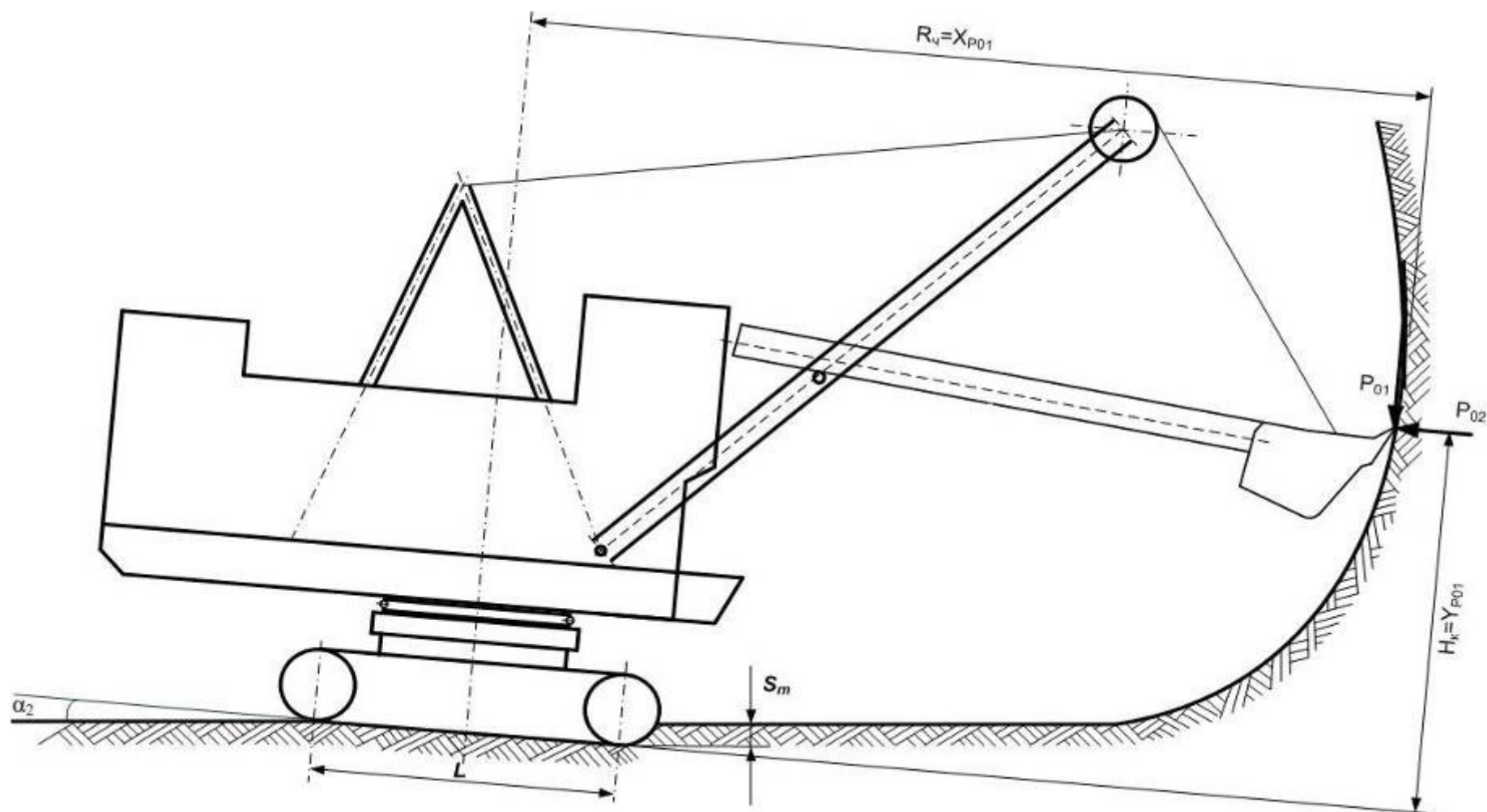


Рисунок 2.16 - Схема для определения величины просадки передней части экскаватора и наклона поворотной платформы при черпании



Рисунок 2.17 - Работа экскаватора ЭКГ-10 при наличии просадки грунта рабочей площадки

Наклон машины из-за износа элементов опорно-поворотной устройства (до 1,3 градуса) α_3 определяемый фактическим техническим состоянием опорно-поворотного устройства экскаватора, наблюдался на машинах различного возраста.

Величина наклона в этом случае характеризует степень износа отдельных элементов опорно-поворотного устройства (зазоры во втулках центральной цапфы, зазор между нижней рамой и гайкой сферической шайбой) и может достигать 45 мм.

Измерения указанного зазора проводились при черпании горной массы, когда все возможные зазоры в опорно-поворотном устройстве (на роликах, втулке поворотной платформы, бронзовой втулке нижней рамы, на гайке центральной цапфы), были выбраны.

Заводом-изготовителем отечественных экскаваторов рекомендуется измерять зазор между сферической шайбой или гайкой центральной цапфы и нижней рамой по следующей последовательности. Экскаватору необходимо упираться ковшом в забой (с противоположной стороны располагается привод хода и кабельный барабан), выдвинуть на полный вылет рукоять с наполненным ковшом. В

результате этих операций должна приподниматься передняя (задняя) часть, после чего специалист измеряет нужный зазор.

Фактические углы наклона поворотной платформы экскаватора, например ЭКГ-10 с роликовым кругом радиусом $R_{\text{опу}}=1900$, определены по результатам экспертных обследований экскаваторов, в том числе отработавших нормативные сроки эксплуатации, а также определены в ходе замеров с применением прибора КСЦ-1. Измерения и проверочный расчет показали, что величина наклона может достигать 1,3 градусов:

$$\alpha_3 = \arctg (45/1900) = 1,3^\circ, \quad (2.5)$$

На рис. 2.18 и рис. 2.19 приведены фотоснимки типовых повреждений (износ и излом) элементов опорно-поворотного устройства экскаваторов-мехлопат.



а)



б)

Рисунок 2.18 - Излом верхнего рельса (а) и центральной цапфы (б)



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.19 - Износ втулки ролика (а), верхнего рельса (б), пальца ролика (в) и стопорных планок центральной цапфы (г)

Из-за сложности доступа для контроля зазора между гайкой сферической шайбы и нижней рамой, отсутствием оперативного доступа для контроля износа посадочных отверстий в нижней раме и раме поворотной платформы, необходимые измерения зазоров выполняются несвоевременно и не в полном объеме. Это приводит к эксплуатации машин с увеличенными зазорами, соответственно с увеличенным углом наклона поворотной платформы.

Таким образом, возможный угол наклона поворотной платформы машины при черпании горной массы может достигать 12 градусов:

$$\alpha_{\text{общ}} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 7^\circ + 3,7^\circ + 1,3^\circ = 12^\circ, \quad (2.6)$$

Заводом-изготовителем ЭКГ-10 эта величина характеризуется только для перегона экскаватора, но не для его работ, то есть при черпании. На рис. 2.20 приведена диаграмма углов вероятного наклона поворотной платформы экскаватора-мехлопаты при работе на открытых горных работах.

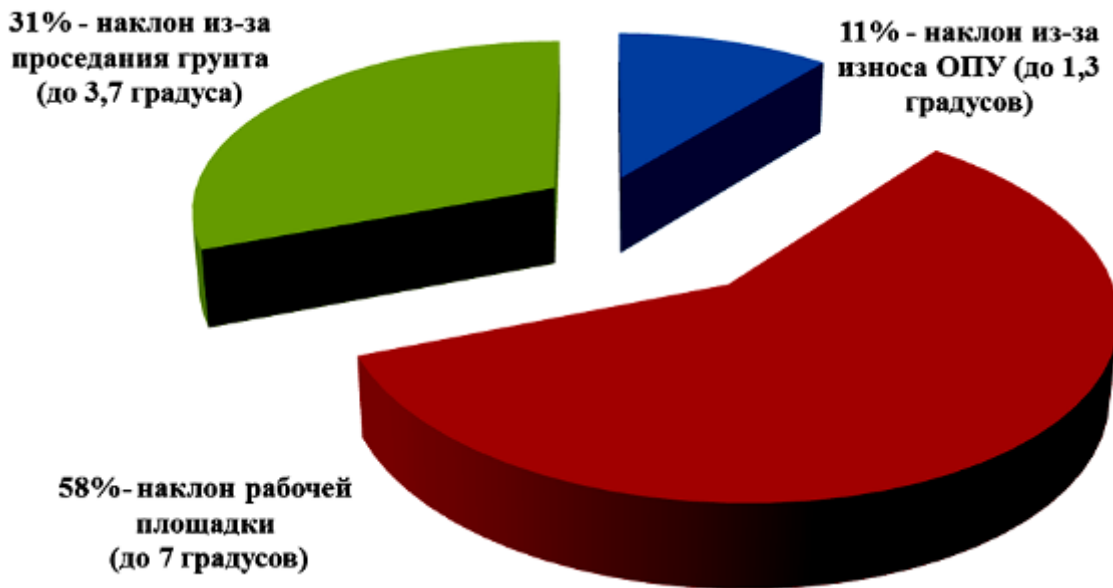


Рисунок 2.20 - Величина вероятного наклона поворотной платформы экскаватора-мехлопаты

При эксплуатации экскаваторов-мехлопат неизбежно возникает изменение их положения в пространстве. Наклон рабочей площадки, слабые несущие грунты рабочей площадки, износ элементов опорно-поворотного устройства приводят к наклону поворотной платформы, что влияет изменение устойчивости механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования, а также к образованию дополнительных нагрузок, которые оказывают воздействие на основание поворотной платформы - опорно-поворотное устройство.

2.3. Определение параметров устойчивости платформы при воздействии эксплуатационных нагрузок

Причиной износа и излома отдельных элементов опорно-поворотного устройства является воздействие внешних (эксплуатационных) нагрузок, приводящих к неуравновешенности механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования относительно оси вращения, то есть к перемещению центра масс этой системы. Это явление при определенных условиях также приводит к смещению центра масс за периметр опорной поверхности (роликового круга) с ребром опрокидывания, например, передним роликом, что в

итоге ведет к потере устойчивости поворотной платформы и перераспределению нагрузок в элементах опорно-поворотного устройства.

Неуравновешенным считается такой механизм (машина), в котором при движении его звеньев возникает условие движения центра масс механизма (машины) с ускорением относительно какой-либо точки.

При этом имеют место: статическая неуравновешенность, при котором главный вектор сил инерции не равен 0; моментная неуравновешенность, когда главный момент сил инерции не равен 0; динамическая неуравновешенность, в этом случае главный вектор и главный момент сил инерции не равны 0 [75].

При наличии какого-либо движения звеньев машина оказывает на основание дополнительные динамические нагрузки, которые изменяются циклически. Это приводит к периодическим возмущениям машины на основание, вызывающим вибрации. Применительно к экскаватору-мехлопате динамические нагрузки от движения звеньев (поворотной платформы и расположенного на ней оборудования) будут восприниматься основанием – опорно-поворотным устройством, причем за относительно короткий промежуток времени – время черпания.

Этот обстоятельство предопределило направление дальнейших исследований оценки перемещения центра масс механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования на опорно-поворотное устройство при наличии эксплуатационных нагрузок.

При проектировании опорно-поворотных устройств влияние усилий резания и напора учитывается только при определении устойчивости всей машины [27, 37]. При этом учитываются только вертикальные нагрузки. Расчет возможных нагрузок на опорно-поворотное устройство выполняется как без учета данных усилий, так и без учета динамических нагрузок, возникающих при движении центра масс, то есть является статическим расчетом. Влияние динамических нагрузок учитывается динамическим коэффициентом и запасом прочности деталей, но не превышает $K_{\text{дин}} = 2$.

Траекторию движения, время и степень наполнения ковша горной массой, а также возникающий при работе машины наклон ее поворотной платформы необ-

ходимо учитывать в динамическом расчете, в том числе при определении уравновешенности поворотной платформы и распределении нагрузок на элементы опорно-поворотного устройства [74, 75].

Для определения качественных показателей нагрузок в опорно-поворотном устройстве проведены исследования их динамических и статических составляющих, имеющих место при черпании горной массы, а также при наличии наклона поворотной платформы.

Для оценки влияния перемещения центра масс механической системы вращающейся части экскаватора (в том числе при черпании и наклоне) на статические и динамические нагрузки, действующие на основание, то есть опорно-поворотное устройство, разработана силовая и кинематическая схема расположения элементов механической системы на примере экскаватора ЭКГ-10 (приведена на рис. 2.21).

Координаты центра масс механической системы с учетом движения центров масс рукояти с ковшем и набираемого в ковш грунта, определены следующими формулами:

$$X_{C_i} = \frac{(X_{пр} \cdot G_{пр} + X_{п.пл} \cdot G_{п.пл} + X_{подв} \cdot G_{подв} + X_{стр} \cdot G_{стр} + X_{лест} \cdot G_{лест} + X_{рук_i} \cdot G_{рук} + X_{гр_i} \cdot G_{гр_i})}{G}, \quad (2.7)$$

$$Y_{C_i} = \frac{(Y_{пр} \cdot G_{пр} + Y_{п.пл} \cdot G_{п.пл} + Y_{подв} \cdot G_{подв} + Y_{стр} \cdot G_{стр} + Y_{лест} \cdot G_{лест} + Y_{рук_i} \cdot G_{рук} + Y_{гр_i} \cdot G_{гр_i})}{G}, \quad (2.8)$$

Вес грунта в ковше определяется формулой:

$$G_{гр_i} = G_{гр}^{max} \cdot K_{zi}, \quad (2.9)$$

где $G_{гр}^{max}$ – максимальный вес грунта в ковше, кН;

$K_{zi} = 0,1 \dots 1$ – коэффициент заполнения ковша грунтом в его i -том положении ($i=1 \dots 10$).

На рис. 2.21 приведены следующие обозначения: $G_{\text{пр}}$, $G_{\text{п.пл.}}$, $G_{\text{подв}}$, $G_{\text{стр}}$, $G_{\text{лест}}$, $G_{\text{рук}}$, $G_{\text{гр } i}$ – массы противовеса, поворотной платформы с расположенным на ней оборудованием, подвески стрелы (канаты, подкосы), лестницы стрелы, ковша с подвеской и рукояти, вес грунта в i -том положении ковша за время черпания ($i = 1 \dots 10$), кН; G – общий вес механической системы, кН; $X_{\text{пр}}$, $X_{\text{п.пл.}}$, $X_{\text{подв}}$, $X_{\text{стр}}$, $X_{\text{лест}}$, $X_{\text{рук}}$, $X_{\text{гр } i}$, X_G , $Y_{\text{пр}}$, $Y_{\text{п.пл.}}$, $Y_{\text{подв}}$, $Y_{\text{стр}}$, $Y_{\text{лест}}$, $Y_{\text{рук}}$, $Y_{\text{гр } i}$, Y_G – координаты центра масс противовеса, поворотной платформы с расположенным на ней оборудованием, подвески стрелы, лестницы стрелы, ковша с подвеской и рукояти, а также механической системы, м; $X_{\text{н.о.}}$ и $Y_{\text{н.о.}}$ – координаты напорной оси, м; X_p и Y_p – координаты точки приложения точки резания, м; P_{01} – усилие резания, P_{02} – усилие напора, кН; S – отрывающее усилие в центральной цапфе, кН; $R_{\text{опу}}$ – радиус роликового круга, м; точка B – месторасположение переднего ролика, α – угол наклона в продольном направлении, град.

Координаты центра тяжести рукояти и ковша в i -том положении за время черпания:

$$X_{\text{гр } i} = X_{\text{н.о.}} + (V \cdot t_i + l^{\text{гр}_{\text{н.о.}}}) \sin \omega t_i, \quad (2.10)$$

$$Y_{\text{гр } i} = Y_{\text{н.о.}} - (V \cdot t_i + l^{\text{гр}_{\text{н.о.}}}) \cos \omega t_i, \quad (2.11)$$

где V – скорость выдвижения рукояти, м/с;

$l^{\text{гр}_{\text{н.о.}}}$ – расстояние от центра массы грунта в ковше до напорной оси, м;

ω – угловая скорость поворота ковша и рукояти относительно напорной оси, рад/с;

t – время черпания, с.

Координаты центра тяжести грунта в ковше в i -том положении за время черпания:

$$X_{\text{рук}} = X_{\text{н.о.}} + (V \cdot t_i + l^{\text{рук}_{\text{н.о.}}}) \sin \omega t_i, \quad (2.13)$$

$$Y_{\text{рук}} = Y_{\text{н.о.}} - (V \cdot t_i + l^{\text{рук}_{\text{н.о.}}}) \cos \omega t_i, \quad (2.14)$$

где $l^{\text{рук}_{\text{н.о.}}}$ – расстояние от центра массы рукояти до напорной оси, м;

a – расстояние от зуба до центра массы ковша, м.

Координата X_{G_i} точки пересечения линии действия равнодействующей всех сил тяжести поворотной платформы или веса G с ее опорной поверхностью имеется при наличии наклона, при этом передний ролик (точка B) является ребром опрокидывания, проявляющимся при потере устойчивости:

$$X_{G_i} = X_{G_i} + Y_{G_i} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.15)$$

Динамический расчет отрывающего усилия в центральной цапфе выполнен с учетом влияния усилий резания и напора, а также с учетом движения центра масс. Для этого составлено уравнение моментной устойчивости относительно ребра опрокидывания (в случае с экскаватором ЭКГ-10 это точка B (рис. 2.21)).

Отрывающее усилие определено следующим выражением:

$$\begin{aligned} S_i = & -\frac{1}{1,9} [G \cdot [(1,9 - X_{C_i}) \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta - Y_{C_i} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta] + \\ & + (X_p - 1,9)((-P_{01} \cdot \sin(\omega t_i) + P_{02} \cdot \cos(\omega t_i)) + \\ & + Y_p (P_{01} \cdot \cos(\omega t_i) + P_{02} \cdot \sin(\omega t_i))] \end{aligned} \quad (2.16)$$

где β – угол наклона в поперечном направлении, град.

Согласно установленной последовательности расчета положения центра масс механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования впервые учтены: наклон экскаватора, положение ковша при черпании и его заполнение горной массой, что позволит оценить устойчивость данной механической системы при воздействии внешних нагрузок.

2.4. Аналитический расчет статических и динамических нагрузок на опорно-поворотное устройство при воздействии внешних факторов

Для решения поставленной задачи по расчету нагрузок с использованием силовой и кинематической схемы экскаватора ЭКГ-10 разработана схема общей конструкции опорно-поворотного устройства и расположения реакций связей (рис. 2.22).

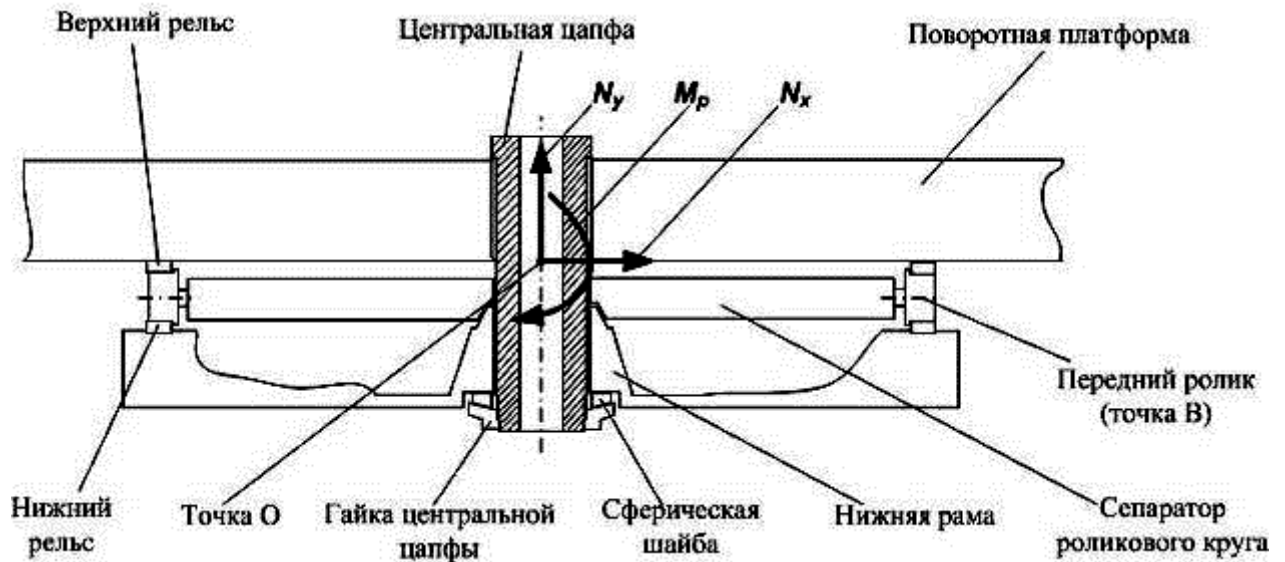


Рисунок 2.22 - Схема общей конструкции опорно-поворотного устройства и расположения реакций связей

При этом принимаем, что заделка цапфы жесткая, так как она неподвижно устанавливается в раме поворотной платформы, что соответствует требованиям завода-изготовителя о плотной посадке цапфы в верхней части поворотной платформы. После этого определяем реакции связей в виде горизонтальной N_x , вертикальной N_y , осевой N_z нагрузок, а также пару сил с реактивным моментом M_p .

Для определения эксплуатационных (динамических и статических) нагрузок в основании, имеющих место при черпании горной массы (при воздействии сил резания и напора) и наклоне поворотной платформы, для определения меры движения механической системы использовалась теорема об изменении главного вектора количества движения механической системы [74]:

$$\frac{d \cdot \bar{K}}{d \cdot t} = \sum \bar{F}_k^e, \quad (2.16)$$

где $\bar{K} = M \cdot \bar{V}_c$ - главный вектор количества движения системы;

$\bar{M} = \sum M_i$ - масса всей системы, кН;

$\bar{V}_c$ - скорость центра масс системы, м/с.

$\sum \bar{F}_i^e$ - главный вектор всех внешних сил, действующих на точки системы,

согласно рис. 2.21, запишется как:

$$\sum \overline{F}_k^e = \sum \overline{G}_i + \sum \overline{R}^i + \overline{P}_{01} + \overline{P}_{02}, \quad (2.17)$$

где $\sum \overline{R}^i$ - силы реакций связей, являющимися неизвестными;

P_{01} - максимальное подъемное усилие, кН;

P_{02} - максимальное напорное усилие, кН;

$\sum \overline{G}_i$ - масса элементов экскаватора, кН.

В результате преобразований получаем следующие выражения искомых реакций связей:

горизонтальная составляющая эксплуатационных нагрузок:

$$\begin{aligned} N_y = \sum N_y^{\text{ст}} + \sum N_y^{\text{дин}} &= (-\sum G_{iy}) - (P_{01y} + P_{02y} - \frac{dK_y}{dt}) = -\sum G_{iy} - P_{01y} - P_{02y} + \frac{dK_y}{dt} = \\ &= [G_{\text{пр}} + G_{\text{п.пл}} + G_{\text{подв}} + G_{\text{стр}} + G_{\text{лест}} + G_{\text{рук}} + K_3 \cdot t] \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta - \\ &- P_{01} \sin(\omega t_i) - P_{02} \cos(\omega t_i) + K_3 [(V \cdot t + l^{\text{рук}}_{\text{н.о.}} + a) \omega \cdot \sin(\omega t_i) - V \cos(\omega t_i)] + \\ &+ K_3 \cdot t [(V \cdot t + l^{\text{рук}}_{\text{н.о.}} + a) \omega^2 \cos(\omega t_i) + 2V \omega \cdot \sin(\omega t_i)] + \\ &+ G_{\text{рук}} [(V \cdot t + l^{\text{рук}}_{\text{н.о.}}) \omega^2 \cos(\omega t_i) + 2V \omega \cdot \sin(\omega t_i)] \end{aligned} \quad (2.18)$$

вертикальная составляющая эксплуатационных нагрузок:

$$\begin{aligned} N_y = \sum N_y^{\text{ст}} + \sum N_y^{\text{дин}} &= (-\sum G_{iy}) - (P_{01y} + P_{02y} - \frac{dK_y}{dt}) = -\sum G_{iy} - P_{01y} - P_{02y} + \frac{dK_y}{dt} = \\ &= [G_{\text{пр}} + G_{\text{п.пл}} + G_{\text{подв}} + G_{\text{стр}} + G_{\text{лест}} + G_{\text{рук}} + K_3 \cdot t] \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta + \\ &- P_{01} \sin(\omega t_i) - P_{02} \cos(\omega t_i) + K_3 [(V \cdot t + l^{\text{рук}}_{\text{н.о.}} + a) \omega \cdot \sin(\omega t_i) - V \cos(\omega t_i)] + \\ &+ K_3 \cdot t [(V \cdot t + l^{\text{рук}}_{\text{н.о.}} + a) \omega^2 \cos(\omega t_i) + 2V \omega \cdot \sin(\omega t_i)] + \\ &+ G_{\text{рук}} [(V \cdot t + l^{\text{рук}}_{\text{н.о.}}) \omega^2 \cos(\omega t_i) + 2V \omega \cdot \sin(\omega t_i)] \end{aligned} \quad (2.19)$$

осевая составляющая эксплуатационных нагрузок:

$$N_z = -\sum G_{iz} = -[G_{\text{пр}} + G_{\text{п.пл}} + G_{\text{подв}} + G_{\text{стр}} + G_{\text{лест}} + G_{\text{рук}} + K_3 \cdot t] \cdot g \sin \beta, \quad (2.20)$$

Для определения реактивного момента в опоре записано уравнение моментов всех сил, действующих и расчетных (силы тяжести, силы инерции и сил полезного сопротивления- усилие резания и напора) относительно точки O :

$$\begin{aligned} M_p &= (Y_{\text{пр}} \cdot G_{\text{пр}} + Y_{\text{п.пл}} \cdot G_{\text{п.пл}} + Y_{\text{подв}} \cdot G_{\text{подв}} + Y_{\text{стр}} \cdot G_{\text{стр}} + Y_{\text{лест}} \cdot G_{\text{лест}} + Y_{\text{рук}} \cdot G_{\text{рук}} + Y_{\text{гр}} \cdot K_3 \cdot t) g \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta + \\ &+ (X_{\text{пр}} \cdot G_{\text{пр}} + X_{\text{п.пл}} \cdot G_{\text{п.пл}} + X_{\text{подв}} \cdot G_{\text{подв}} + X_{\text{стр}} \cdot G_{\text{стр}} + X_{\text{лест}} \cdot G_{\text{лест}} + X_{\text{рук}} \cdot G_{\text{рук}} + X_{\text{гр}} \cdot K_3 \cdot t) g \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta - \\ &- Y_p (P_{01} \cdot \cos(\omega t_i) + P_{02} \cdot \sin(\omega t_i)) - X_p (-P_{01} \cdot \sin(\omega t_i) + P_{02} \cdot \cos(\omega t_i)) + \\ &+ Y_{\text{рук}} \cdot G_{\text{рук}} \cdot \ddot{X}_{\text{рук}} + Y_{\text{гр}} \cdot G_{\text{гр}} \cdot \ddot{X}_{\text{гр}} - X_{\text{рук}} \cdot G_{\text{рук}} \cdot \ddot{Y}_{\text{рук}} - X_{\text{гр}} \cdot G_{\text{гр}} \cdot \ddot{Y}_{\text{гр}} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Согласно предложенному варианту расчета эксплуатационных нагрузок на опорно-поворотное устройство впервые учтены усилия резания и напора, а также наклон экскаватора. Определение статических и динамических составляющих нагрузок позволит оценить все возникающие усилия, в том числе по их направлению и их распределение по элементам опорно-поворотного устройства.

Для получения картины распределения напряжений в опорно-поворотном устройстве при воздействии максимальных эксплуатационных нагрузок за время черпания (с учетом усилия резания и напора, наклона экскаватора) необходимо выполнить динамическое моделирование напряженно-деформированного состояния опорно-поворотного устройства и

2.5. Выводы

Основной причиной износа и повреждений несущих элементов опорно-поворотного устройства являются эксплуатационные нагрузки, возникающие от усилия резания и черпания, а также наклона машины.

Наличие эксплуатационных нагрузок приводит к смещению центра масс и потере устойчивости механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования, оказывая воздействие на основание платформы – роликовый круг опорно-поворотного устройства.

Согласно предложенному расчету положения центра масс механической системы поворотной платформы экскаватора и расположенного на ней оборудования, а также определения эксплуатационных нагрузок на опорно-поворотное устройство впервые учтено влияние усилий резания и напора, а также наклон машины.

Определение условий устойчивости платформы, статических и динамических составляющих нагрузок позволит установить параметры нагружения элементов опорно-поворотного устройства при воздействии эксплуатационных нагрузок.

ГЛАВА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА

3.1. Исходные данные для расчета устойчивости и нагрузок в опорно-поворотном устройстве мехлопаты при воздействии внешних факторов

Определение нагрузок в опорно-поворотном устройстве выполнено на основе формул, полученных в результате аналитических расчетов, приведенных в разделах 2.3 и 2.4.

В расчетах приняты массы узлов, координаты центров их масс и величины усилий резания и напора, указанные в заводской документации - «Расчет моментов инерции экскаватора ЭКГ-10. 3532.00.00.000 PP1» [37].

Массы узлов (звеньев) механической системы экскаватора ЭКГ-10 указаны в табл. 3.1, координаты центров масс даны в табл. 3.2, значения усилий резания и напора – в табл. 3.3., другие исходные значения для расчета устойчивости и нагрузок в элементах опорно-поворотного устройства приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.1 - Массы узлов (звеньев) расположенных на поворотной платформе экскаватора ЭКГ-10

№ п/п	Наименование узла	Обозначение	Вес, тс
1.	Противовес	$G_{пр}$	45
2.	Поворотная платформа с оборудованием	$G_{п.пл.}$	154
3.	Подвеска стрелы, подкосы и канаты	$G_{подв}$	6,3
4.	Стрела в сборе	$G_{стр}$	27,4
5.	Лестницы и площадки	$G_{лест}$	1,64
6.	Рукоять с ковшом	$G_{рук}$	27,7
7.	Максимальная масса грунта или горной массы в ковше	$G_{гр}^{max}$	25

Таблица 3.2 - Координаты центров масс узлов экскаватора ЭКГ-10

№ п/п	Наименование элемента	Обозна- чение	Значение, м	Обозна- чение	Значение, м
1.	Противовеса	$X_{пр}$	-5,5	$Y_{пр}$	0,53
2.	Поворотная платформа с оборудованием	$X_{п.пл}$	-1,97	$Y_{п.пл}$	3,13
3.	Подвеска стрелы, подкосы и канаты	$X_{подв}$	3,9	$Y_{подв}$	9,69
4.	Стрела в сборе	$X_{стр}$	7,7	$Y_{стр}$	6,62
5.	Лестницы и площадки	$X_{лест}$	8,4	$Y_{лест}$	7,7
6.	Рукоять с ковшом	$X_{рук\ i}$	~	$Y_{рук}$	~
7.	Масса грунта	$X_{гр\ i}$	~	$Y_{гр\ i}$	~
8.	Напорная ось	$X_{н.о}$	8,14	$Y_{н.о}$	7,7

Координата Y определена с учетом разности высот от уровня стояния экскаватора до нижнего уровня поворотной платформы, которая равна 2,7 м. Данное условие необходимо для учета влияния массы рамы поворотной платформы на расчеты (координаты, масса). По заводской схеме этот параметр обозначается как просвет под поворотной платформой. Например $Y_1 = 3,23 - 2,7 = 0,53$.

Таблица 3.3 - Значения усилий резания и напора для расчета устойчивости и нагрузок в элементах опорно-поворотного устройства ЭКГ-10

№ п/п	Наименование параметра	Обозна- чение	Координаты		Значение, кН
			$X, \text{ м}$	$Y, \text{ м}$	
1.	Сила резания	P_{01}	$- P_{01} \cdot \cos \omega t_i$	$- P_{01} \cdot \sin \omega t_i$	330
2.	Сила напора	P_{02}	$- P_{02} \cdot \sin \omega t_i$	$- P_{02} \cdot \cos \omega t_i$	100

Таблица 3.4 - Исходные значения для расчета устойчивости и нагрузок в элементах опорно-поворотного устройства ЭКГ-10

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Значение
1.	Вместимость ковша ЭКГ-10, м ³	V_k	10
2.	Принятая в заводских расчетах плотность грунта в ковша, м ³ /т	γ	2,5
3.	Коэффициент заполнения ковша за одну секунду	K_z	2,5
4.	Принятое время черпания, с	t	10
5.	Радиус роликового круга ЭКГ-10, мм	$R_{опу}$	1900
6.	Максимальный угол продольного наклона, градус	α	12
7.	Максимальный угол поперечного наклона, градус	β	5
8.	Скорость выдвижения рукояти, м/с	V	0,3
9.	Угловая скорость поворота ковша и рукояти относительно напорной оси, 1/с	$\omega = \pi/2 \cdot 10 = \varphi/t$ $= \pi/20$	0,05
10.	Расстояние от центра массы рукояти до напорной оси, м	$l_{рук_{н.о}}$	3,2
11.	Расстояние от зуба ковша до центра массы ковша, м	a	2,8

Усилия резания и напора приняты согласно техническим характеристикам экскаватора, зависящих от привода и его наладочных параметров при установке стопорных токов двигателей подъемной и напорной лебедок соответственно.

На основе заводских данных приведены сведения для расчета устойчивости поворотной платформы, статических и динамических нагрузок в опорно-поворотном устройстве при воздействии внешних факторов.

3.2. Оценка устойчивости платформы и расчет нагрузок в опорно-поворотном устройстве

Для получения количественной оценки рассчитываемых нагрузок использовался программный комплекс Mathcad.

В ходе расчетов получены значения координат перемещения центра масс поворотной платформы экскаватора ЭКГ-10 и узлов, расположенных на ней, а также определены координаты точки пересечения линии действия силы тяжести G с роликовым кругом X_{Gi} при различном наклоне поворотной платформы экскаватора (табл. 3.5).

На основании полученных данных построен график зависимости перемещения центра масс механической системы от времени черпания, рассчитанный с учетом различных значений углов наклона поворотной платформы (рис. 3.1).

Согласно полученным данным установлено, что при черпании горной массы и без наклона платформы экскаватора ЭКГ-10 центр масс перемещается от минус 0,41 до 1,66 м относительно ее оси вращения. При наклоне экскаватора координаты X_{Gi} точки пересечения линии действия силы G с роликовым кругом $R_{опу} = 1900$ мм изменяются от 0,27 до 2,41 м (при $\alpha_{общ} = 12$ град), что свидетельствует о потере устойчивости механической системы платформы, поэтому возникает опрокидывание относительно ребра, которым является передний ролик (точка B на рис. 2.21). Координата X_{Gi} располагается над передним роликом при наклоне экскаватора в продольном направлении в 4 градуса при завершении черпания и будет смещаться в сторону ковша при увеличении угла наклона поворотной платформы.

Расчет отрывающего усилия в центральной цапфе, горизонтальной нагрузки - N_x , вертикальной нагрузки - N_y и реактивного (изгибающего) момента - M_p в опорно-поворотном устройстве выполнен с учетом влияния усилий резания и напора, а также с учетом движения центра масс.

В результате последовательных расчетов выполненных в программе Mathcad определены параметры нагружения опорно-поворотного устройства экскаватора-мехлопаты, а именно получено распределение и количественная оценка динамических и статических составляющих нагрузок от внешних условий.

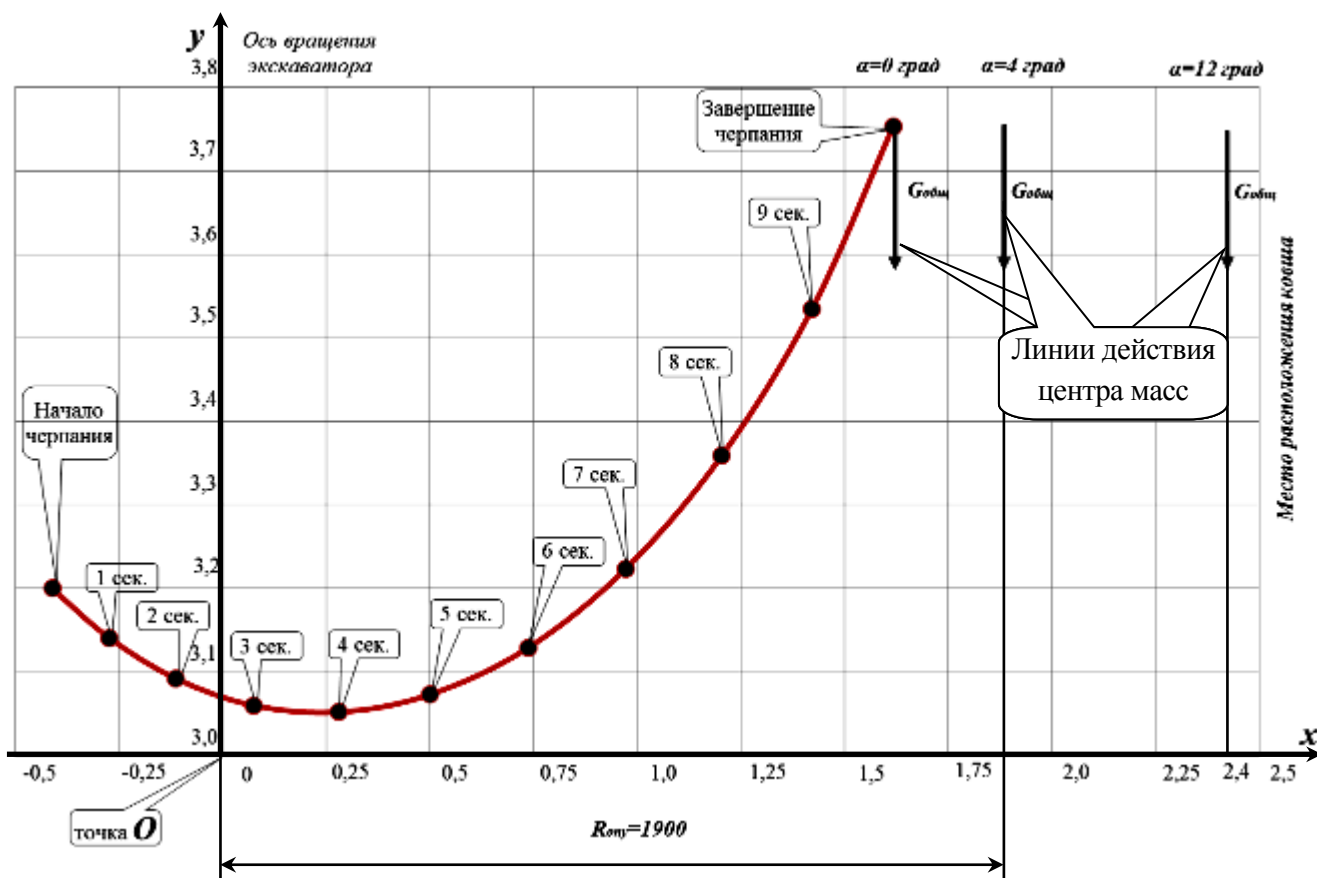


Рисунок 3.1 - Траектория центра масс механической системы платформы экскаватора ЭКГ-10 при различных углах ее наклона

Результаты аналитического расчета динамических и статических составляющих отрывающего усилия в центральной цапфе, горизонтальной нагрузки - N_x , вертикальной нагрузки - N_y и реактивного (изгибающего) момента - M_p в опорно-поворотном устройстве ЭКГ-10 приведены в табл. 3.6-3.13. По данным, определяющим граничные условия параметров нагружения, построены зависимости усилий от времени черпания (рис. 3.2-3.12).

На основании полученных данных установлено, что при воздействии усилий резания и напора за время черпания (всего 10 секунд) в центральной цапфе уже на третьей секунде возникает отрывающее усилие, которое увеличивается при дальнейшем черпании. Наличие наклона платформы приводит к увеличению отрывающего усилия на 23% при его возникновении, которое находится в диапазоне от -624 кН до 2494 кН.

Анализ полученных результатов показал, что величина вертикальной нагрузки N_y , в том числе динамических и статических частей, за время черпания и при наличии наклона поворотной платформы изменяется не значительно и составляет от 2472 кН до 3082 кН.

Сопоставление результатов граничных значений вертикальной нагрузки и отрывающего усилия показало, что происходит перераспределение вертикальной нагрузки (3082 кН) с роликов роликового круга на центральную цапфу (2494 кН).

Анализ полученных расчетов горизонтальных нагрузок и зависимостей показывает, что при работе экскаватора возникают дополнительные (ранее не учитываемые) нагрузки в диапазоне от 334,9 до 867,4 кН. При установке экскаватора на горизонтальной поверхности статическая часть отсутствует, то есть сдвигающие нагрузки зависят от времени черпания при движении ковша и заполнения его горной массой. При работе экскаватора на рабочей площадке с подъемом нагрузки минимальны, при черпании горной массы в забое с наклоном нагрузки увеличиваются. Возникающие нагрузки знакопеременные, значительно изменяются за короткое время черпания.

Результаты расчета изгибающего момента M_p показывают, что его изменение носит знакопеременный характер за время черпания, при значительном изменении показаний от - 1758,8 до 11122 кН·м.

Анализ полученных расчетов и построенных графиков зависимостей показывает, что во время процесса черпания происходит знакопеременное перемещение центра масс в сторону ковша относительно оси вращения, за счет чего на элементах опорно-поворотного устройства возникают добавочные динамические нагрузки [75, 76].

Из рис. 3.2-3.12 и табл. 3.6-3.13 видно, что воздействие внешних нагрузок приводит к знакопеременным реакциям связей, особенно отрывающей нагрузки и реактивного момента. Горизонтальная нагрузка в этом случае возникает из-за наклона платформы.

Таблица 3.5 - Координаты центра масс поворотной платформы экскаватора ЭКГ-10 и координаты точки X_{Gi} пересечения линии действия силы G с роликовым кругом при различных углах наклона платформы

Время черпа- ния, с	Координаты центра масс		Координаты X_{Gi} точки пересечения линии действия силы тяжести G с роликовым кругом при различных величинах углов наклона					
	Y, м	X, м						
t, с	const	$\alpha_{\text{общ}}=0^{\circ}$	$\alpha_{\text{общ}}=2^{\circ}$	$\alpha_{\text{общ}}=4^{\circ}$	$\alpha_{\text{общ}}=6^{\circ}$	$\alpha_{\text{общ}}=8^{\circ}$	$\alpha_{\text{общ}}=10^{\circ}$	$\alpha_{\text{общ}}=12^{\circ}$
0	3,20	-0,41	-0,30	-0,19	-0,08	0,04	0,15	0,27
1	3,14	-0,27	-0,16	-0,05	0,06	0,17	0,28	0,39
2	3,09	-0,11	0,00	0,10	0,21	0,32	0,43	0,54
3	3,06	0,07	0,18	0,29	0,40	0,50	0,61	0,72
4	3,05	0,28	0,39	0,49	0,60	0,71	0,82	0,93
5	3,07	0,50	0,61	0,72	0,82	0,93	1,04	1,15
6	3,13	0,74	0,85	0,96	1,07	1,18	1,29	1,40
7	3,22	0,97	1,09	1,20	1,31	1,42	1,54	1,66
8	3,36	1,20	1,32	1,44	1,56	1,67	1,80	1,92
9	3,54	1,42	1,55	1,67	1,79	1,92	2,04	2,17
10	3,75	1,62	1,75	1,88	2,01	2,14	2,28	2,41

Таблица 3.6 - Результаты расчета отрывающего усилия S на центральной цапфе за время черпания при различных углах наклона платформы

Время черпания, с	$\alpha=0$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=0$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=5$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=10$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=10$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=12$ град, $\beta=5$ град
0	-624	-584,3	-622,7	-583,2	-542,5	-541,6	-524,4
1	-443,2	-404	-442	-403	-362,7	-361,9	-344,9
2	-224,5	-185,5	-223,4	-184,6	-144,7	-144	-127,3
3	28,8	67,6	30	68,5	108,1	108,8	125,3
4	312,7	351,7	313,6	352,4	392,1	392,7	409,1
5	622,8	662,3	623,6	663	703	703,5	720
6	954,3	994,7	954,9	995,2	1036	1036	1053
7	1302	1343	1302	1344	1386	1386	1403
8	1659	1702	1659	1703	1747	1747	1765
9	2019	2065	2019	2066	2112	2112	2131
10	2376	2425	2376	2425	2475	2475	2494

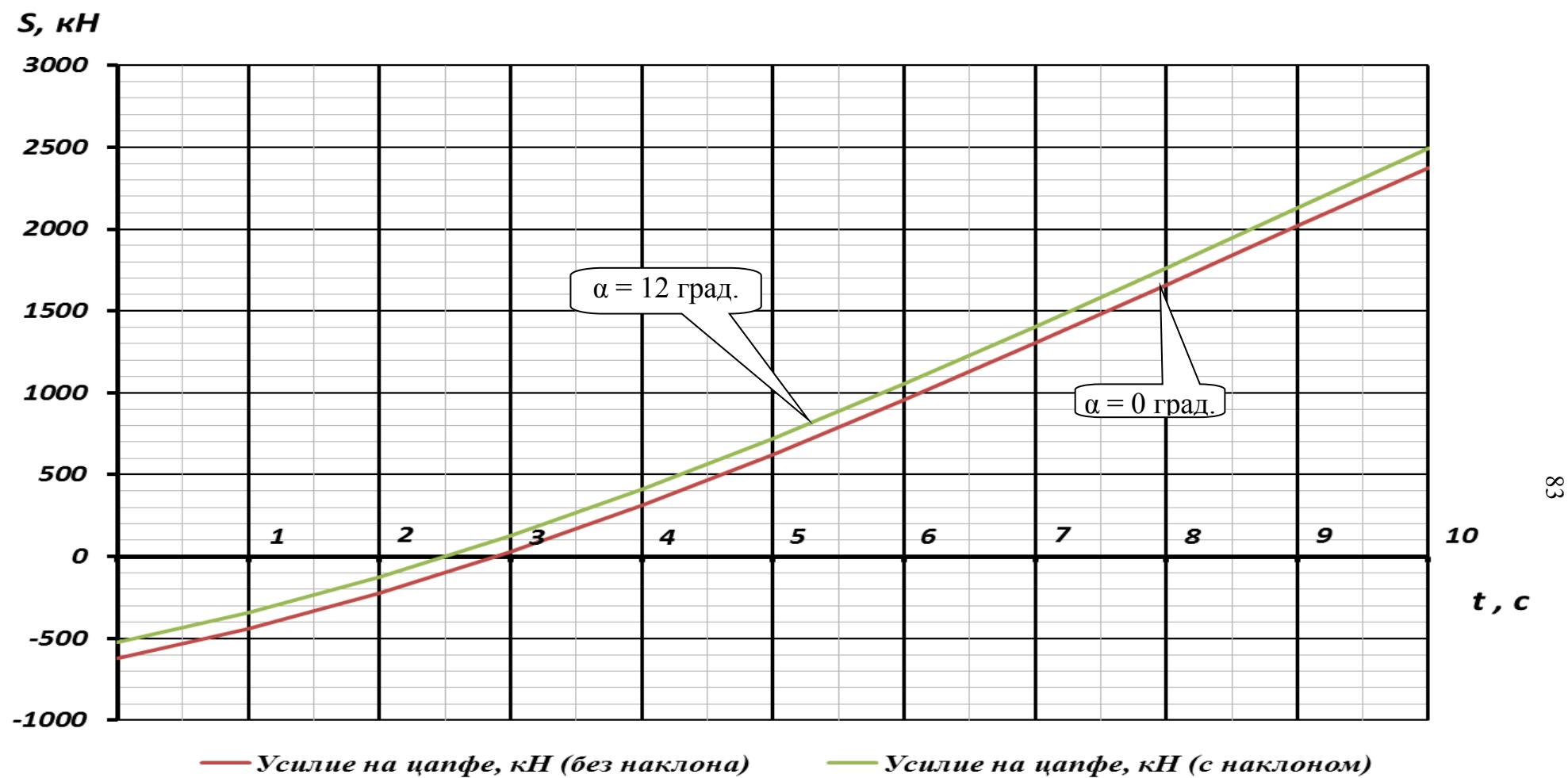


Рисунок 3.2 - Зависимость отрывающего усилия S на центральной цапфе за время черпания при различных углах наклона платформы

Таблица 3.7 – Определение составляющих и граничных значений отрывающего усилия S в центральной цапфе

Время черпания, с	Экскавация при 0 градусов			Экскавация с наклоном 12 градусов		
	статическая часть, кН	динамическая часть, кН	усилие в целом, кН	статическая часть, кН	динамическая часть, кН	усилие в целом, кН
0	-318,7	-305,3	-624	-219,1	-305,3	-524
1	-302,7	-140,5	-443,2	-204,4	-140,5	-345
2	-282,8	58,3	-224,5	-185,6	58,3	-127
3	-259	287,9	28,8	162,5	287,9	125
4	-231,9	544,6	312,7	-135,4	544,6	409
5	-201,8	824,6	622,8	-104,6	824,6	720
6	-169,7	1124	954,3	-70,8	1124	1053
7	-136,4	1438	1302	-34,7	1438	1403
8	-103,3	1762	1659	2,7	1762	1765
9	-71,6	2091	2019	39,9	2091	2131
10	-42,8	2418	2376	75,7	2418	2494

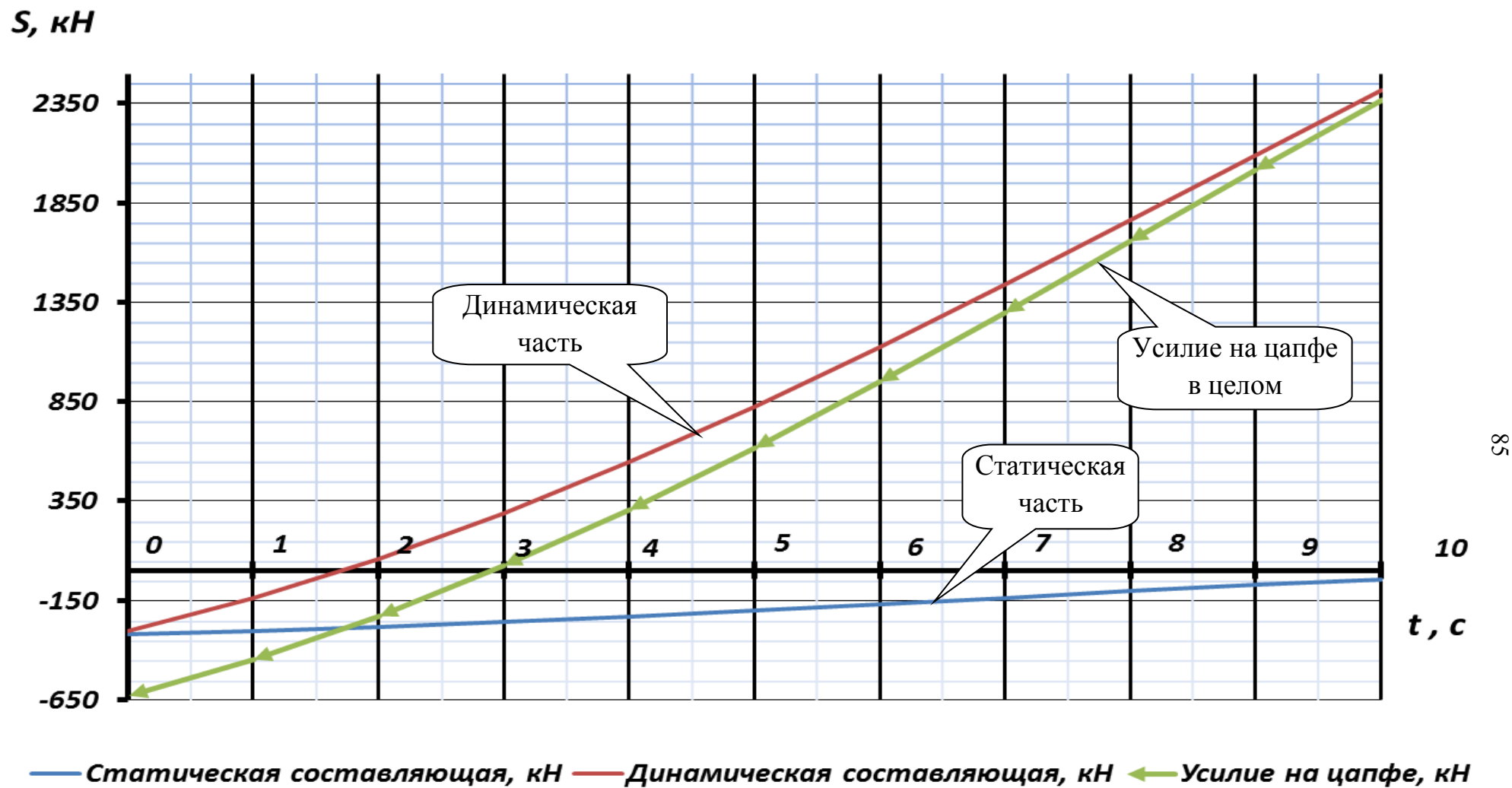


Рисунок 3.3 – Зависимости составляющих и граничных значений отрывающего усилия S в центральной цапфе за время черпания при различных углах наклона платформы

Таблица 3.8 - Результаты определения вертикальной нагрузки N_y за время черпания при различных углах наклона платформы

Время черпания, с	$\alpha=-2,5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=-5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=-7,5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=0$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=0$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=5$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=10$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=10$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=12$ град, $\beta=5$ град
0	2470	2462	2450	2472	2462	2462	2453	2433	2423	2406
1	2548	2541	2529	2551	2541	2541	2531	2511	2502	2484
2	2628	2621	2608	2631	2621	2621	2611	2591	2581	2564
3	2708	2701	2688	2711	2701	2701	2691	2670	2661	2643
4	2786	2779	2766	2789	2779	2779	2769	2748	2738	2721
5	2861	2854	2841	2864	2854	2854	2844	2823	2813	2795
6	2932	2925	2912	2935	2925	2925	2914	2894	2883	2865
7	2998	2990	2977	3000	2990	2990	2980	2959	2949	2930
8	3057	3049	3036	3059	3049	3049	3038	3017	3007	2989
9	3108	3100	3087	3111	3100	3100	3090	3069	3058	3040
10	3152	3144	3130	3154	3144	3144	3133	3112	3101	3082

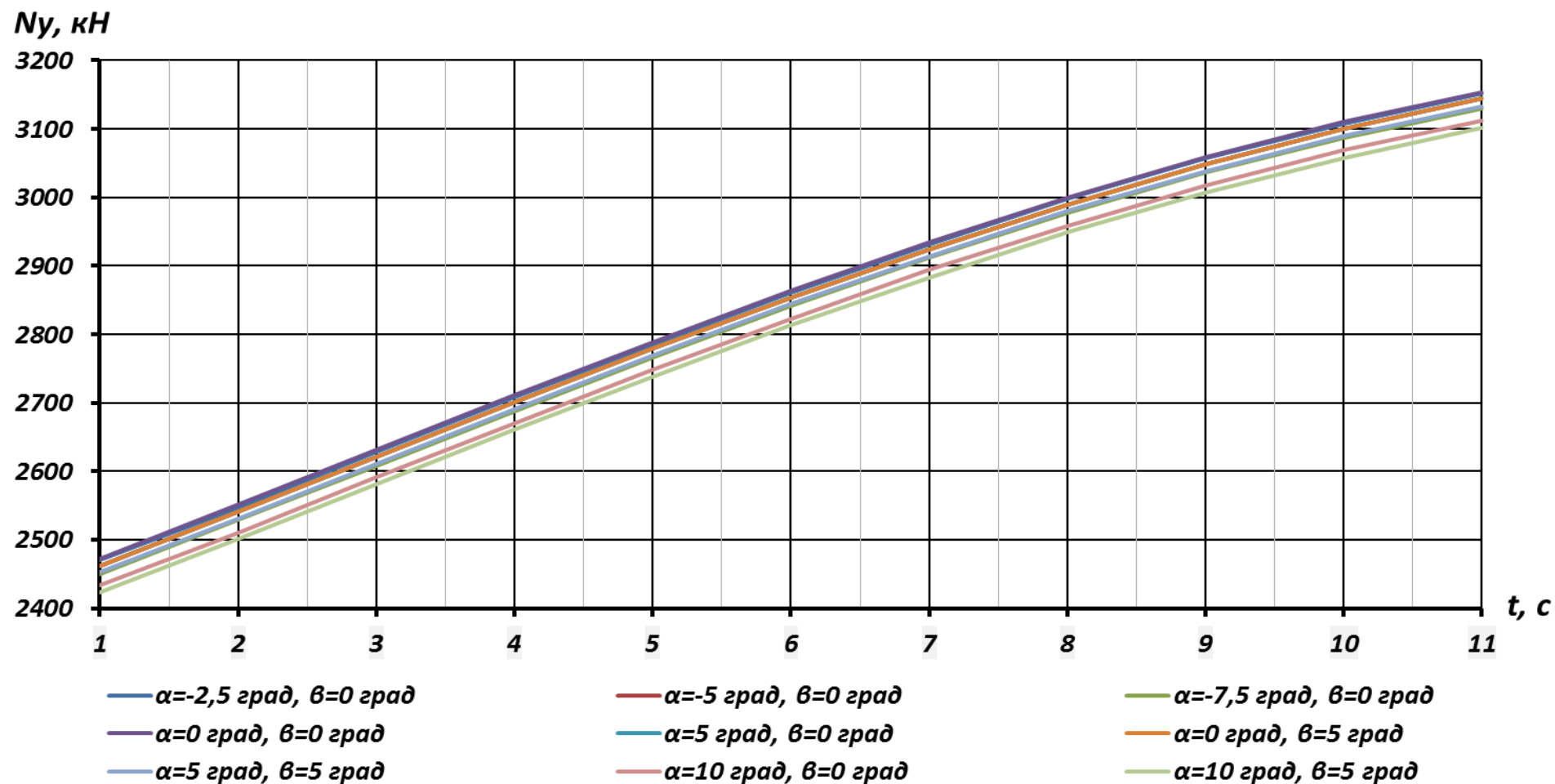


Рисунок 3.4 - Зависимость вертикальных нагрузок N_y в опорно-поворотном устройстве ЭКГ-10 за время черпания при различных углах наклона платформы

Таблица 3.9 - Определение составляющих и граничных значений вертикальной нагрузки N_y в ОПУ

Время черпания, с	Экскавация при 0 градусов			Экскавация с наклоном 12 градусов		
	статическая часть, кН	динамическая часть, кН	усилие в целом, кН	статическая часть, кН	динамическая часть, кН	усилие в целом, кН
0	2571	-98,6	2472	-98,6	2505	2406
1	2595	-44,3	2551	-44,3	2529	2484
2	2620	11,1	2631	11,2	2553	2564
3	2644	66,4	2711	66,4	2577	2643
4	2669	120	2789	120	2600	2721
5	2693	170,8	2864	170,8	2624	2795
6	2718	217,2	2935	217,2	2648	2865
7	2742	258,2	3000	258,2	2672	2930
8	2767	292,6	3059	292,6	2696	2989
9	2791	319,6	3111	319,6	2720	3040
10	2816	338,5	3154	338,5	2744	3082

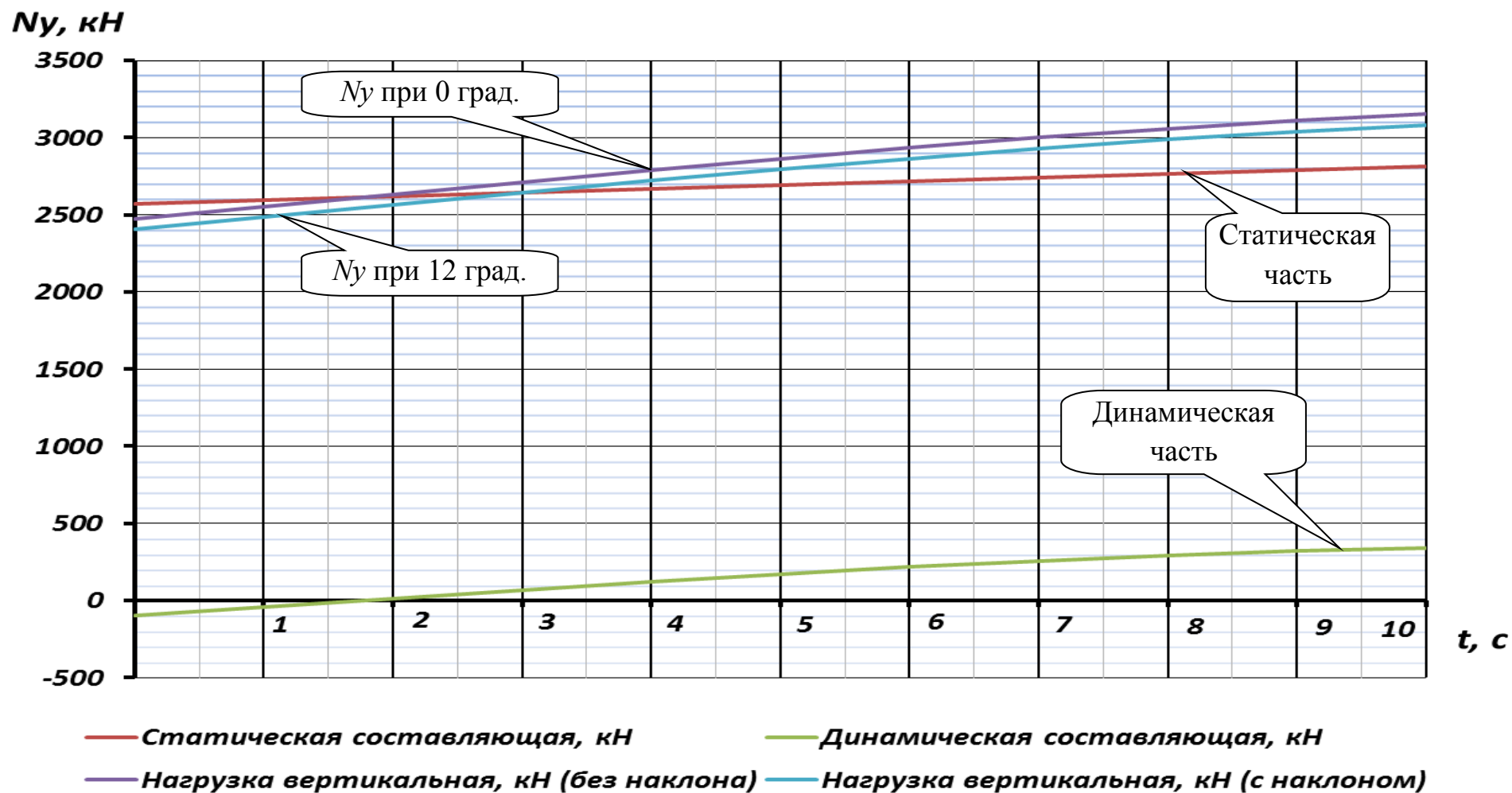


Рисунок 3.5 - Зависимости составляющих и граничных значений вертикальных нагрузок N_y в ОПУ ЭКГ-10 за время черпания при различных углах наклона платформы

Таблица 3.10 - Результаты расчета горизонтальной нагрузки N_x в ОПУ за время черпания при различных углах наклона платформы

Время чер- пания, с	$\alpha=-2,5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=-5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=-7,5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=0$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=0$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=5$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=10$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=10$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=12$ град, $\beta=5$ град
0	222,8	111	-0,6	335	559	335	558,2	781,4	780	867,4
1	233,3	120,3	7,8	346,5	572,7	346,5	571,8	797,2	795,4	884
2	235	121	7,4	349,3	577,6	349,3	576,9	804,2	802,5	891,9
3	228	113	-1,9	343,3	573,7	343,3	572,9	802,5	800,7	891
4	212	96	-19,8	328,6	561,1	328,6	560,3	792	790,2	881,3
5	188	70,7	-46	305,4	540,2	305,4	539,3	773,1	771,3	863,3
6	156	37,7	-80,2	274,5	511,4	274,5	510,5	746,5	744,7	837,5
7	117	-2,4	-121,3	236,6	475,6	236,6	474,7	712,8	711	804,6
8	72	-48,5	-168,5	192,6	433,8	192,6	432,8	673	671,2	765,9
9	22	-99,6	-220,7	143,7	387	143,7	386	628,4	626,5	721,8

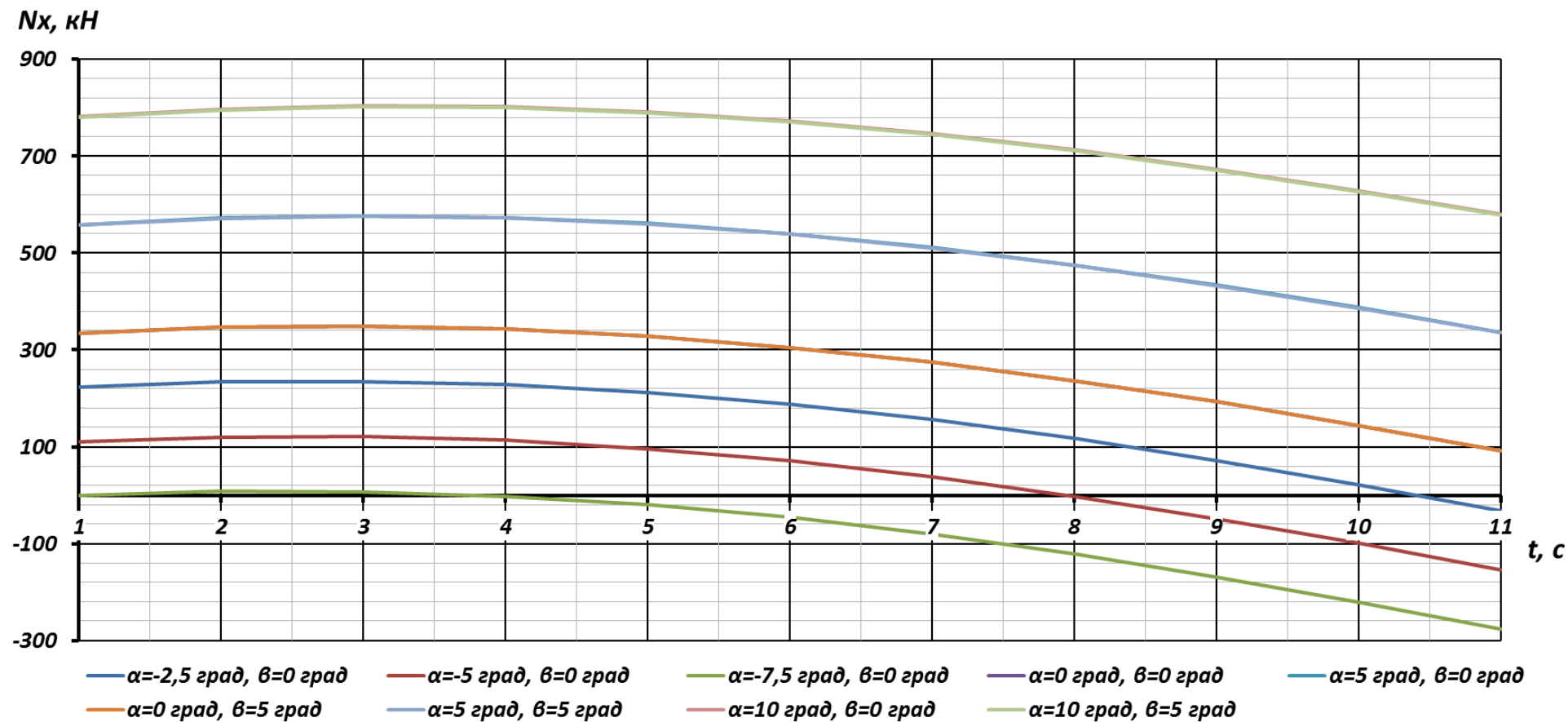


Рисунок 3.6 - Зависимость горизонтальных нагрузок N_x в опорно-поворотном устройстве ЭКГ-10 за время черпания при различных углах наклона платформы

Таблица 3.11 - Определение составляющих и граничных значений горизонтальной нагрузки N_y в ОПУ

Время черпания, с	Экскавация при 0 градусов			Экскавация с наклоном 12 градусов		
	статическая часть, кН	динамическая часть, кН	усилие в целом, кН	статическая часть, кН	динамическая часть, кН	усилие в целом, кН
0	0	334,9	334,9	335	532,4	867,4
1	0	346,5	346,5	346,5	537,5	884
2	0	349,3	349,3	349,3	542,6	891,9
3	0	343,3	343,3	343,3	547,7	891
4	0	328,5	328,5	328,5	552,7	881,3
5	0	305,4	305,4	305,4	557,8	863,3
6	0	274,5	274,5	274,5	562,9	837,5
7	0	236,6	236,6	236,6	567	804,6
8	0	192,6	192,6	192,6	573	765,9
9	0	143,7	143,7	143,7	578,1	721,8
10	0	90,9	90,9	90,9	583,2	674,2

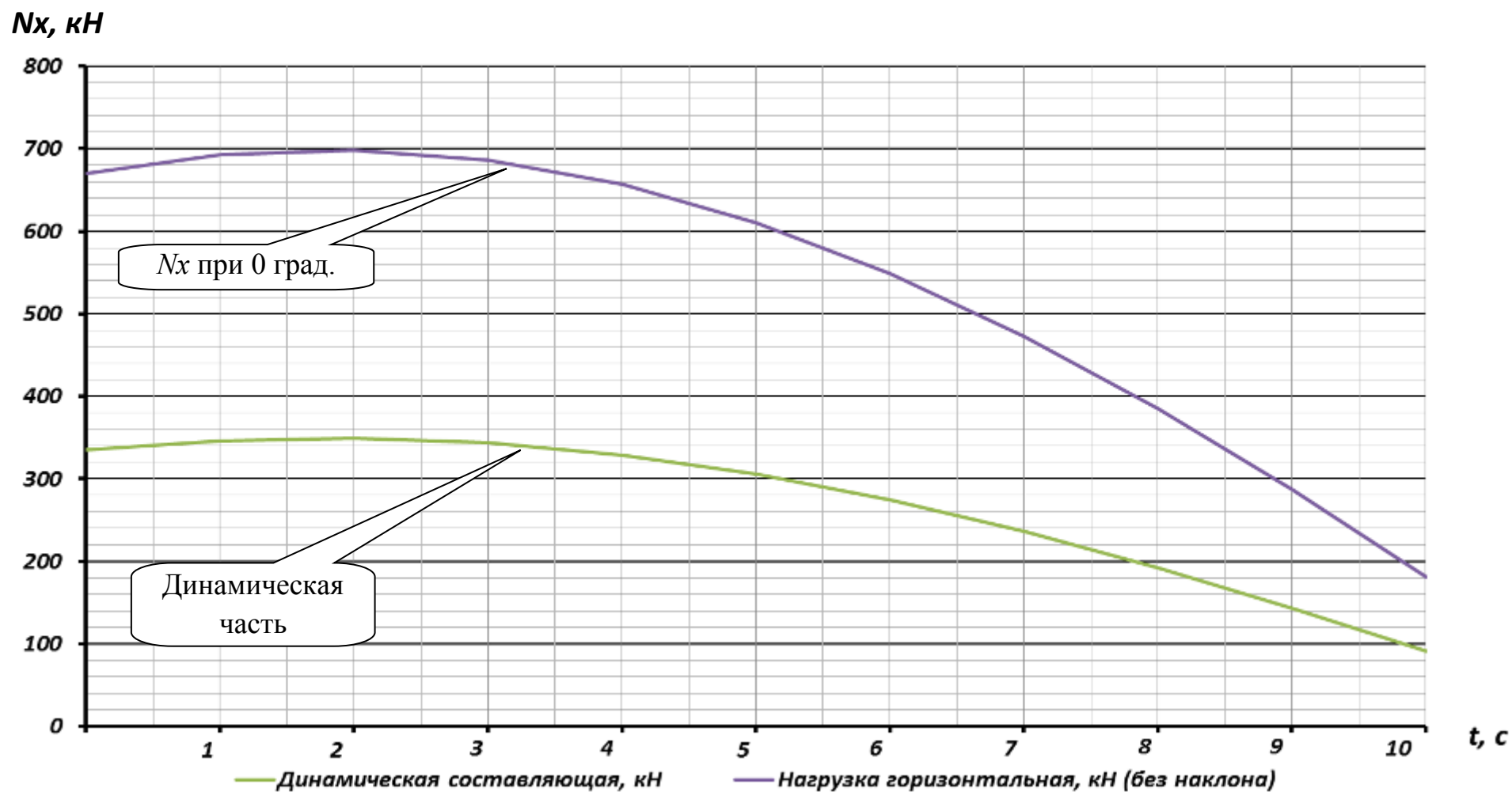


Рисунок 3.7 - Зависимости составляющих и граничных значений горизонтальных нагрузок N_x в опорно-поворотном устройстве ЭКГ-10 за время черпания при различных углах наклона платформы (статическая часть нагрузок равна 0)

Таблица 3.12 - Результаты расчета изгибающего момента M_p за время черпания при различных углах наклона платформы

Время черпания, с	$\alpha=-2,5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=-5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=-7,5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=0$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=5$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=0$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=5$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=10$ град, $\beta=0$ град	$\alpha=10$ град, $\beta=5$ град	$\alpha=12$ град, $\beta=5$ град
0	-2117	-2472	-2823	-1759	-1038	-1755	-1037	-314,4	-316	-28,1
1	-1383	-1736	-2086	-1028	-315,4	-1026	-315,4	397,7	395	677,9
2	-521,7	-873,5	-1223	-168,7	538,3	-167,6	536,8	1242	1238	1516
3	456,5	103,6	-248,2	809,6	1514	808,9	1511	2212	2206	2481
4	1535	1178	821	1891	2598	1888	2592	3294	3285	3558
5	2691	2326	1961	3053	3769	3048	3761	4470	4459	4733
6	3898	3522	3144	4271	5005	4263	4994	5717	5704	5981
7	5126	4734	4338	5514	6275	5504	6262	7009	6993	7277
8	6341	5927	5508	6750	7547	6737	7531	8313	8294	8589
9	7506	7065	6619	7941	8786	7926	8767	9594	9573	9883
10	8584	8111	7632	9050	9953	9032	9933	10820	10790	11122

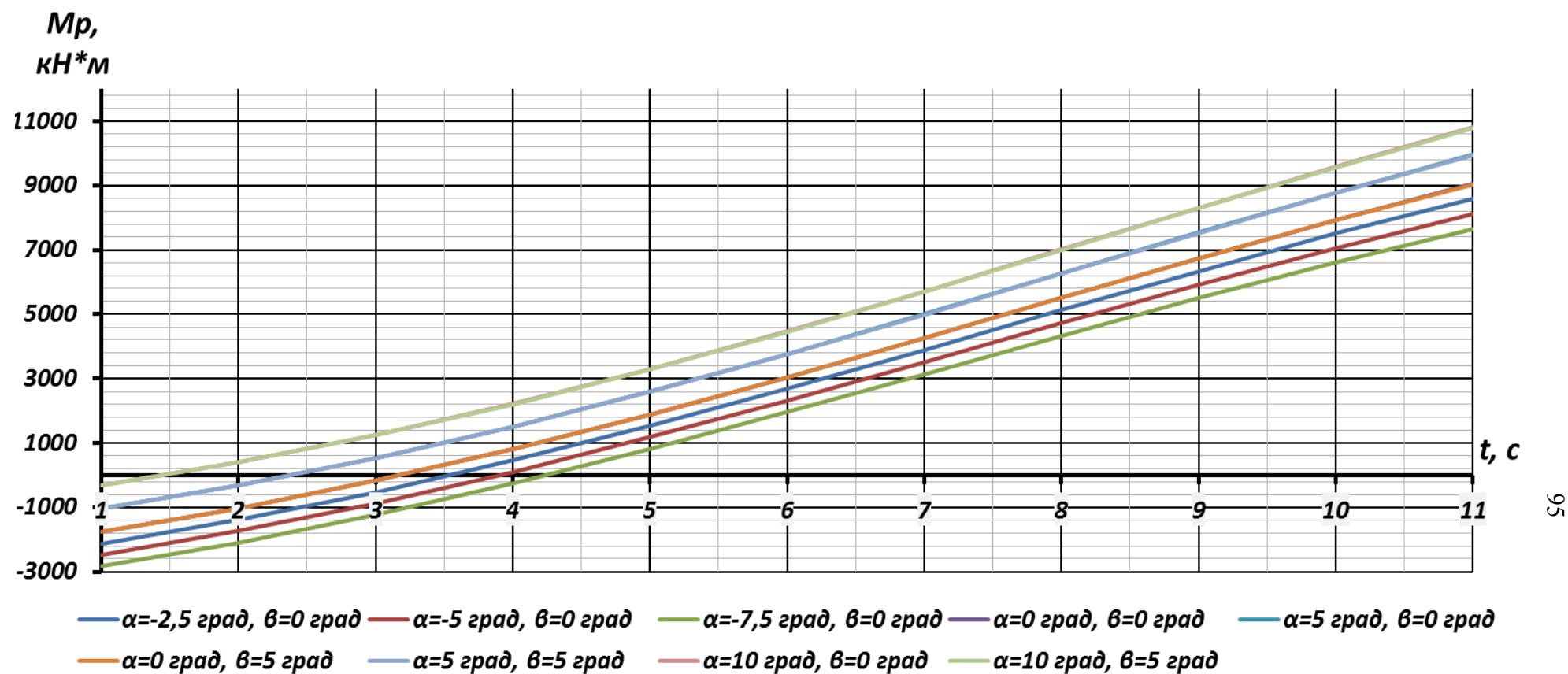


Рисунок 3.8 - Зависимость реактивного момента M_r в опорно-поворотном устройстве ЭКГ-10 за время черпания при различных углах наклона платформы

Таблица 3.12 - Определение составляющих и граничных значений изгибающего момента M_p в ОПУ

Время черпания, с	Экскавация при 0 градусов			Экскавация с наклоном 12 градусов		
	статическая часть, кН	динамическая часть, кН	усилие в целом, кН	статическая часть, кН	динамическая часть, кН	усилие в целом, кН
0	-1056	-702,8	-1758,8	675	-702,8	-28,1
1	-711,5	-317	-1028,5	995	-317	677,9
2	-293,6	124,9	-168,7	1392	124,9	1516
3	195	614,4	809,4	1866	614,4	2481
4	748,6	1142	1890,6	2416	1142	3558
5	1356	1697,1	3053,1	3035	1697,1	4733
6	2002	2269	4271	3713	2269	5981
7	2668	2846,6	5514,6	4431	2846,6	7277
8	3332	3415,6	6747,6	5172	3415,6	8589
9	3969	3971,8	7940,8	5912	3971,8	9883
10	4553	4497	9050	6625	4497	11122

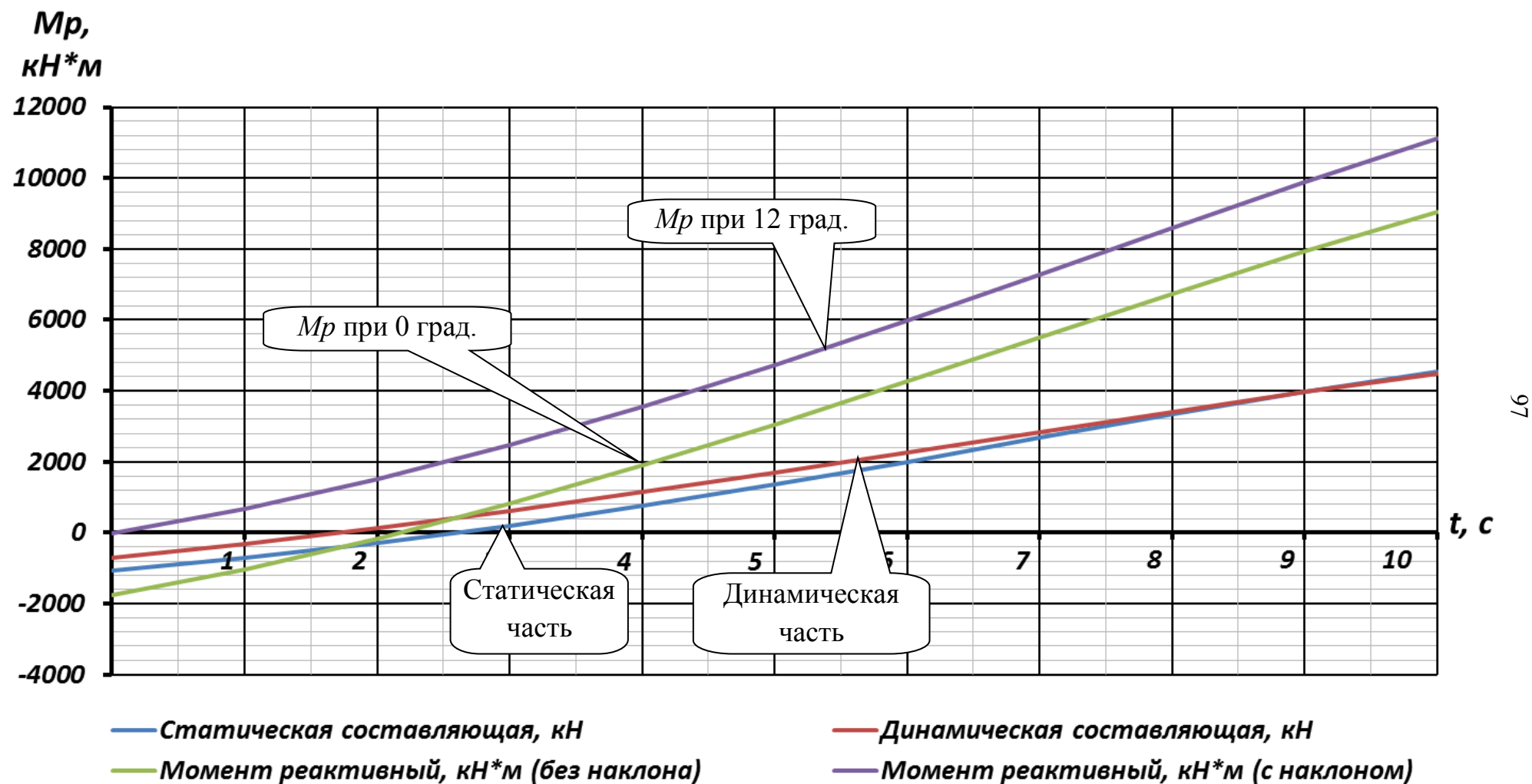


Рисунок 3.9 - Зависимости составляющих и граничных значений изгибающего момента M_p в опорно-поворотном устройстве ЭКГ-10 за время черпания при различных углах наклона платформы

Таблица 3.13 - Обобщение результатов расчетов отрывающего усилия - S , горизонтальной нагрузки - N_x , вертикальной нагрузки - N_y и изгибающего момента - M_p в опорно-поворотном устройстве экскаватора ЭКГ-10 за время черпания при различных углах наклона платформы

№ п/п	Параметр	Экскавация без наклона		Экскавация при наклоне в 4 градуса		Экскавация при наклоне в 12 градусов	
		начало черпания	завершение черпания	начало черпания	завершение черпания	начало черпания	завершение черпания
1.	Отрывающая нагрузка, кН	-624	2376	-584	2425	-542	2494
2.	Горизонтальная нагрузка, кН	334,9	90,9	558,2	335,5	867,4	674,2
3.	Момент реактивный, кН·м	-1758,8	9050	-1037	9933	-28,1	11122
4.	Вертикальная нагрузка, кН	2472	3154	2462	3144	2406	3082

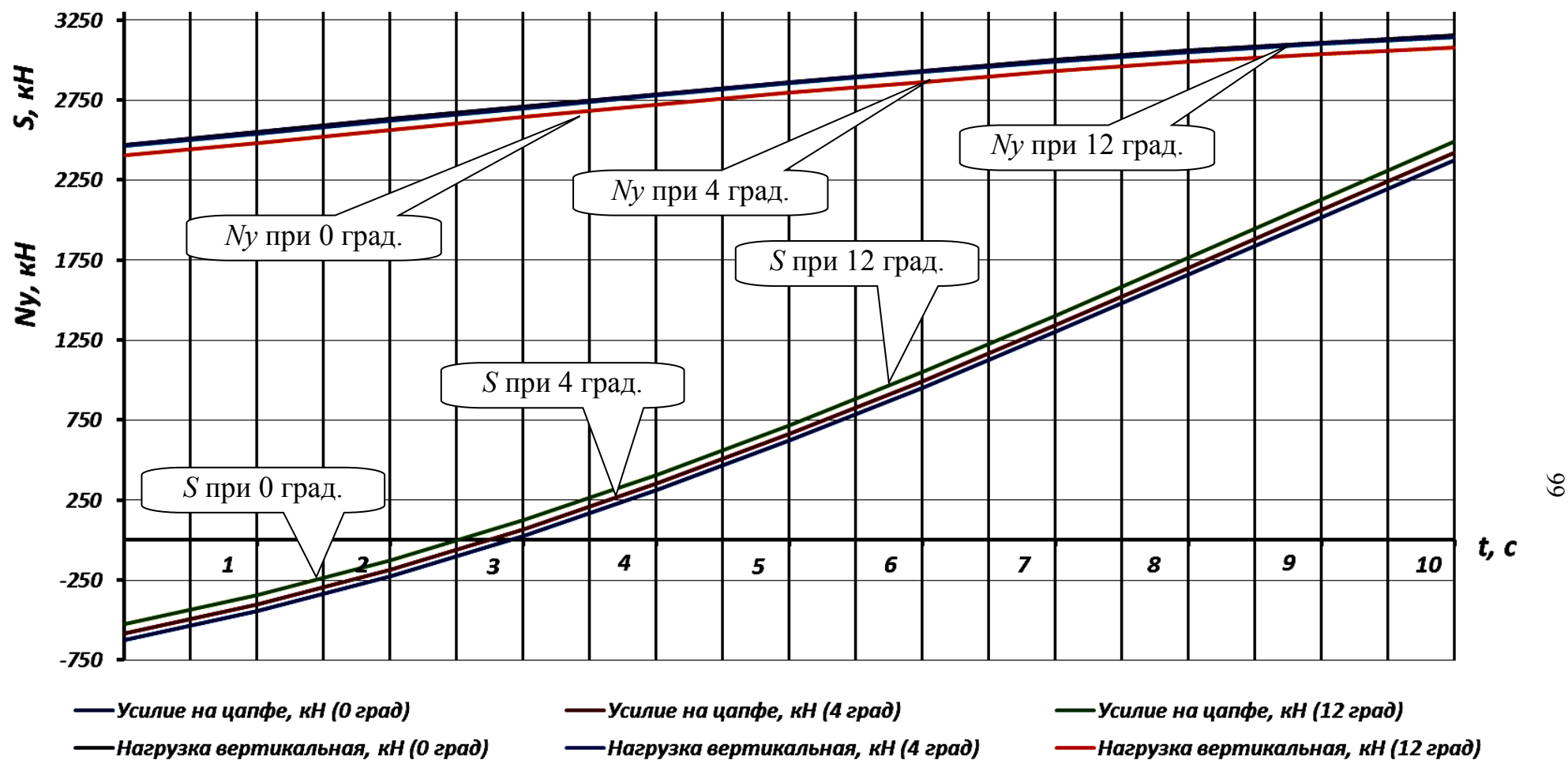


Рисунок 3.10 - Обобщенный график зависимости отрывающего усилия – S и вертикальной нагрузки - N_y в опорно-поворотном устройстве экскаватора ЭКГ-10 за время черпания при различных углах наклона платформы

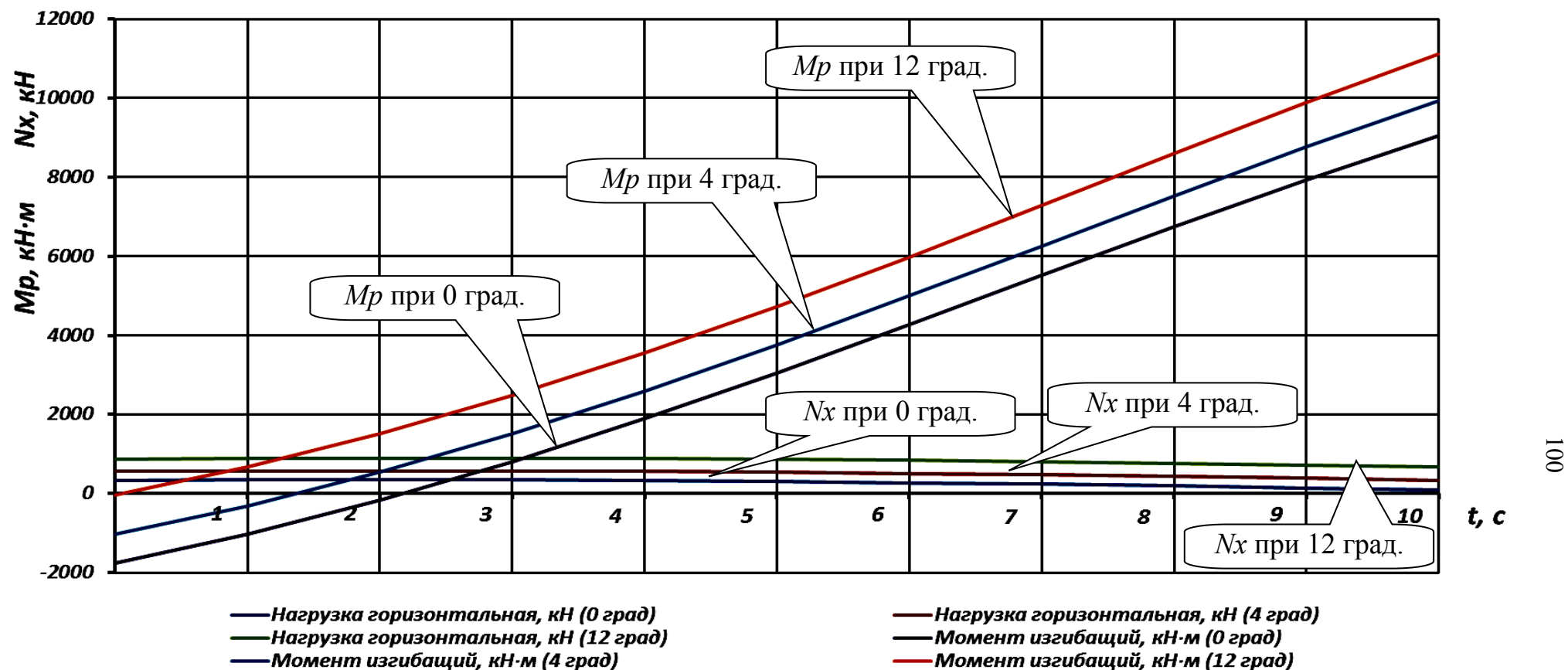


Рисунок 3.11 - Обобщенный график зависимости горизонтальной нагрузки - N_x и изгибающего момента - M_p в опорно-поворотном устройстве экскаватора ЭКГ-10 за время черпания при различных углах наклона платформы

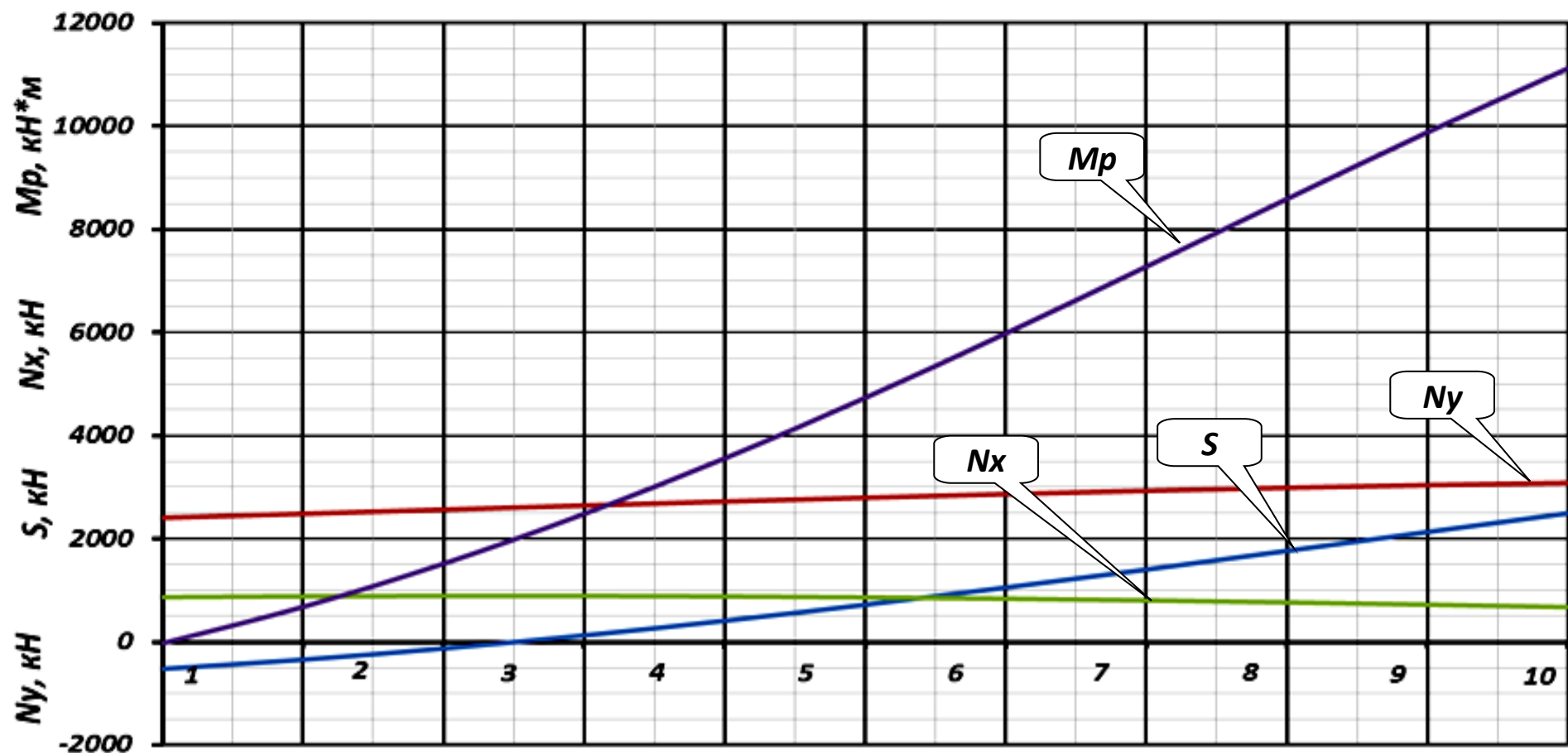


Рисунок 3.12 - Обобщенный график зависимости максимальных значений отрывающего усилия - S , горизонтальной нагрузки - N_x , вертикальной нагрузки - N_y и изгибающего момента - M_p в опорно-поворотном устройстве экскаватора ЭКГ-10 за время черпания при угле наклона платформы в 12 градусов

Анализ полученных результатов показывает, что во время процесса черпания происходит знакопеременное перемещение центра масс в сторону ковша относительно оси вращения, за счет чего на элементах опорно-поворотного устройства возникают добавочные динамические нагрузки.

Из полученных зависимостей установлено, что воздействие внешних нагрузок приводит к знакопеременным реакциям связей, особенно отрывающей нагрузки и реактивного момента. Горизонтальная нагрузка в этом случае возникает из-за наклона платформы.

3.3. Моделирование нагрузок в опорно-поворотном устройстве с применением конечно-элементной модели

Для установления полной картины напряженно-деформированного состояния элементов опорно-поворотного устройства при воздействии эксплуатационных нагрузок, значения которых получены аналитическим путем в результате расчетов, построена модель с помощью системы SolidWorks Simulation.

С использованием SolidWorks Simulation для решения задачи по моделированию конечных элементов (далее МКЭ) в линейной постановке общий алгоритм работы имеет следующий вид [77, 78].

1. С помощью SolidWorks Simulation построена геометрическая модель опорно-поворотного устройства (рис. 3.13).

2. Создается сетка конечных элементов, то есть проведена дискретизация объема, занимаемого деталью или сборкой. Для объемного тела область разбивалась на тетраэдры с гранями, аппроксимируемыми линейными или параболическими функциями координат. Для поверхностных моделей - на плоские или криволинейные треугольники.

3. Для пространственных конечных элементов степенями свободы являются перемещения в направлении осей локальной системы координат элемента. Для конечных элементов оболочек к трем перемещениям в каждом узле добавляются по три угла поворота нормали к срединной поверхности области, аппроксимируемой элементом, относительно тех же осей.

4. Определены зависимости для преобразования перемещений и углов поворота в узлах в глобальной системе координат.

5. Вычислены матрицы жесткости конечных элементов. В формулы для расчета компонентов матриц жесткости конечных элементов помимо координат узлов входят модули упругости и коэффициенты Пуассона материала.

6. Полученные матрицы жесткости с использованием зависимостей для перехода от локальных систем координат элемента в глобальные преобразуются в глобальную систему координат.

7. Матрицы жесткости, представленные в глобальных координатах, объединяются в глобальную матрицу жесткости.

8. Назначенные граничные условия, статические и кинематические, приводятся к нагрузкам и перемещениям в узлах, выраженным в глобальной системе координат, и включаются в столбец усилий - F.

9. Полученная линейная система уравнений вида $[K] \cdot [\Delta] = [F]$ решается относительно столбца перемещений. Для решения программой используются итерационные или прямые методы.

10. Для снижения объема расчетов из геометрической модели были упрощены построения некоторых деталей (нижней части гайки центральной цапфы с резьбой, втулке поворотной платформы), влияние которых компенсировалось соответствующими граничными условиями.

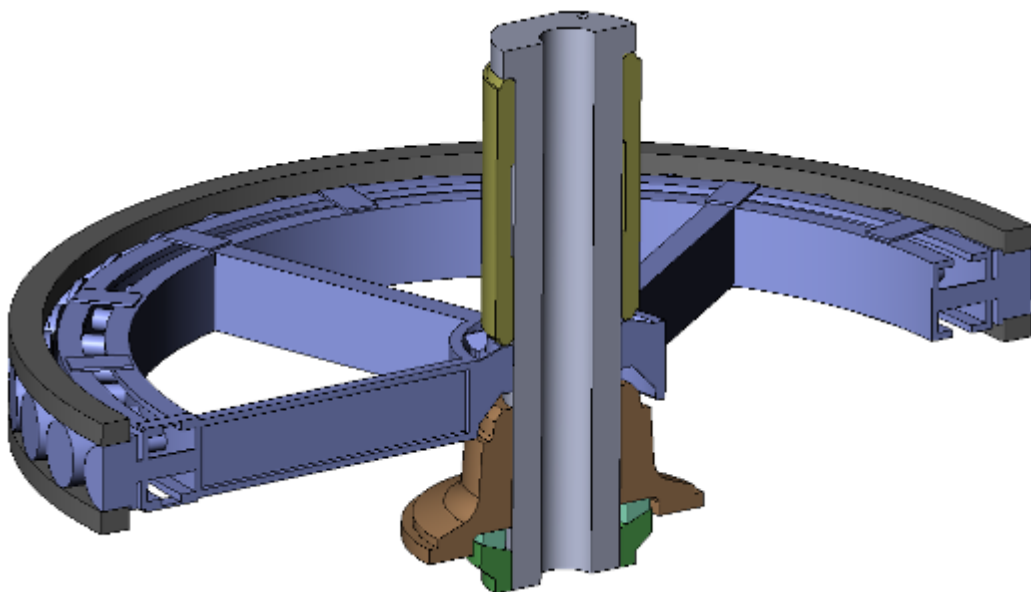


Рисунок 3.13 - Геометрическая модель опорно-поворотного устройства экскаватора ЭКГ-10 (в разрезе)

Рама поворотной платформы моделировалась верхним рельсом и втулкой. Грани этих деталей (выделены на рис. 3.14) связывались при помощи граничного условия «Жесткий соединитель», обеспечивающего жесткую связь выбранных поверхностей и неизменное расстояние между ними. Это условие соответствует действительности, так как верхний рельс приваривается к платику поворотной платформы, то есть закреплен неподвижно.

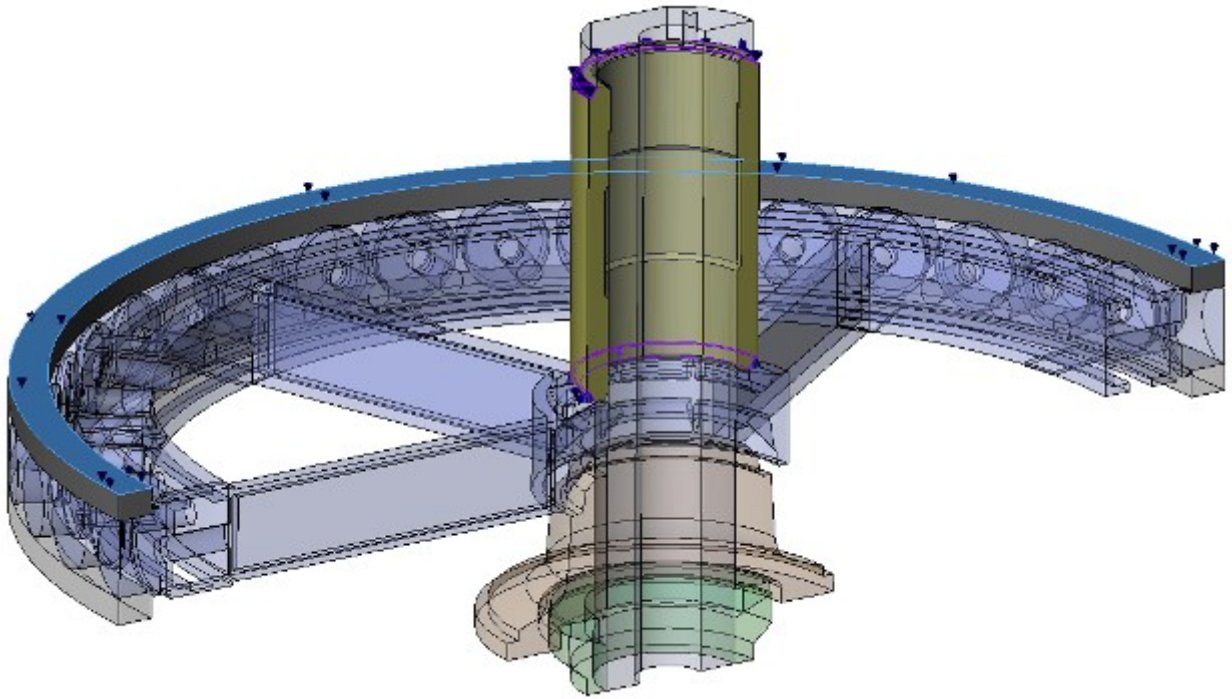


Рисунок 3.14 - Граничное условие «Жесткий соединитель», моделирующее раму поворотной платформы.

Аналогичным образом нижняя рама была смоделирована как отливка и нижний рельс, выделенные поверхности которых (см. рис. 3.15) связывались граничным условием «Жесткий соединитель». Это также имеет место в конструкции экскаватора ЭКГ-10 – нижний рельс и отливка центральной цапфы неподвижно закреплены к нижней раме.

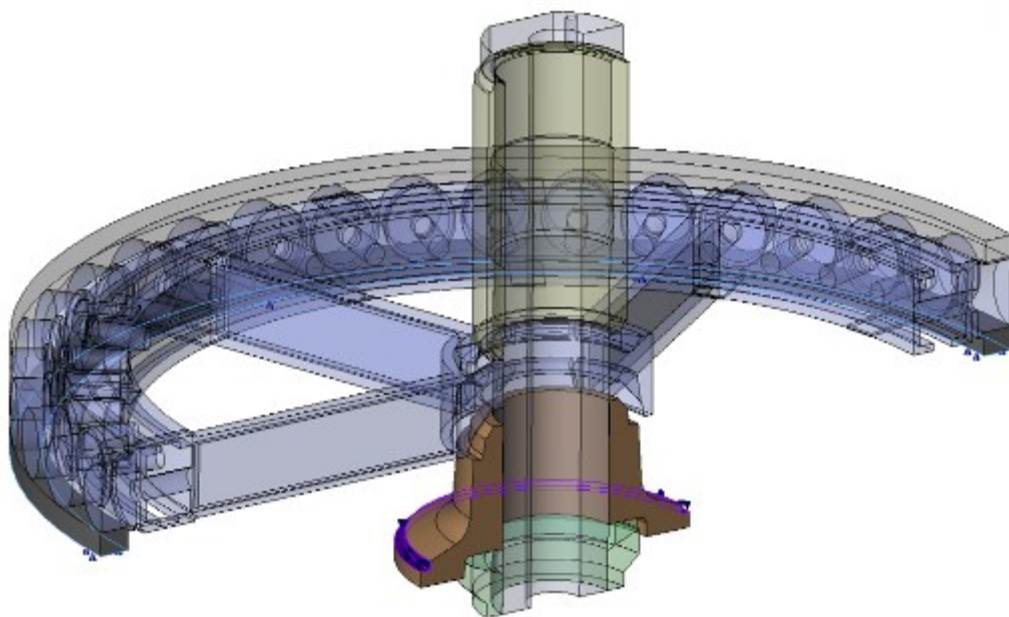


Рисунок 3.15 - Граничное условие «Жесткий соединитель», моделирующее нижнюю раму

Также для описания особенностей решаемой задачи использовались кинематические (крепления) и статические (нагрузки) граничные условия.

В качестве кинематического граничного условия применялось крепление "Зафиксированный", приложенное к грани нижнего рельса. Данный вид крепления ограничивает линейные перемещения по трем координатным осям, принимая их равными нулю (см. рис. 3.16).

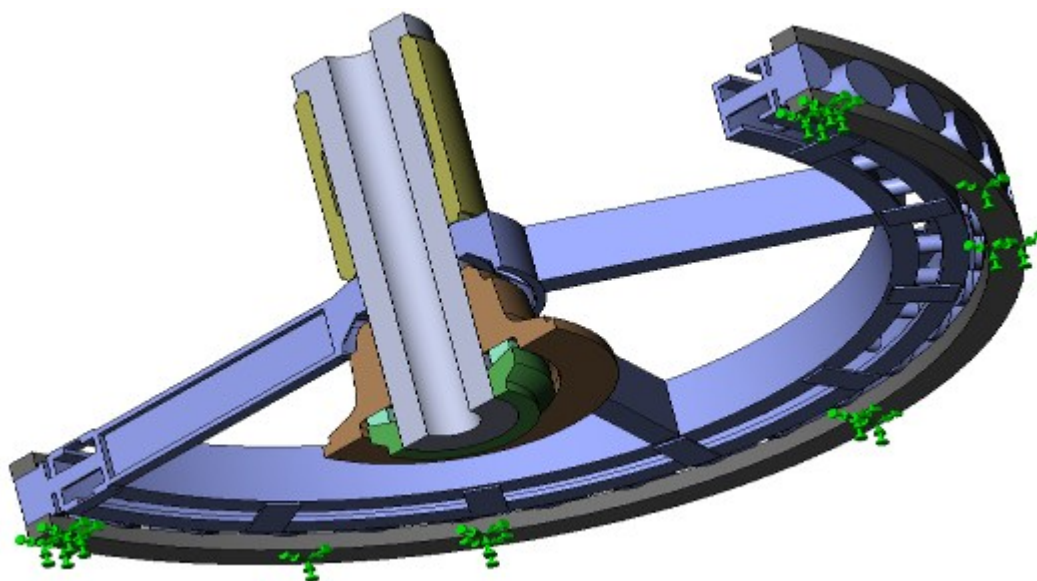


Рисунок 3.16 - Граничное условие «Зафиксированный», приложенное к грани нижнего рельса

Поскольку геометрическая модель, свойства материалов деталей и прилагаемые нагрузки симметричны относительно вертикальной плоскости, было использовано граничное условие «Симметрия». Геометрическая модель рассекалась по плоскости симметрии, к поверхностям в сечении применялось кинематическое граничное условие, запрещающее перемещения по нормали к секущей плоскости (см. рис. 3.17). Таким образом, расчет выполнялся над половиной конструкции. Это позволило уменьшить размерность задачи, за счет чего была повышена плотность сетки конечных элементов и точность расчетов.

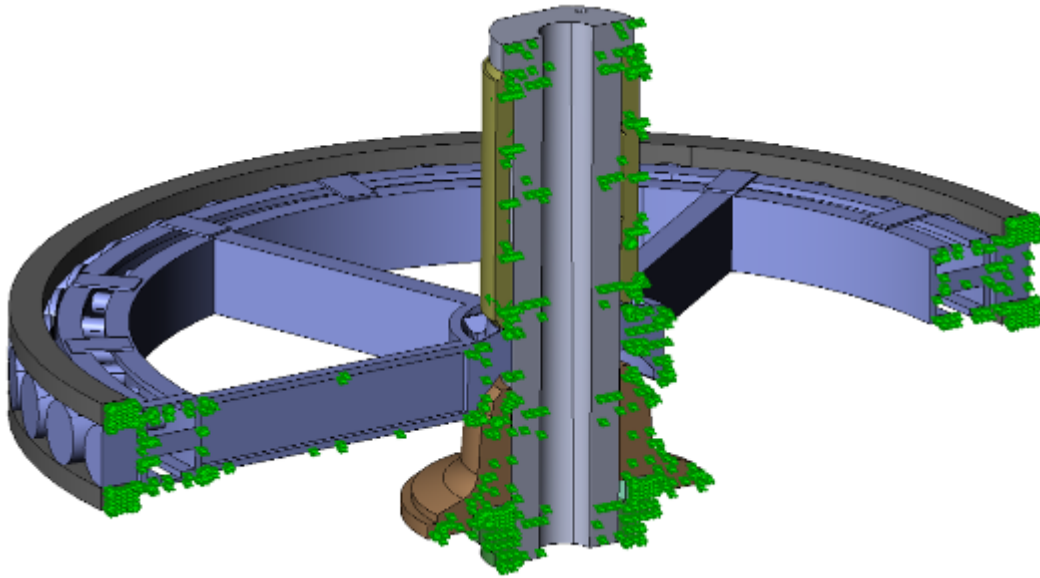


Рисунок 3.17 - Граничное условие «Симметрия»

Исходя из сложности определения граничных условий приложения нагрузок на элементы опорно-поворотного устройства принято решение о приложении граничных сил, учитывающих влияние веса рукояти и ковша, и горной массой (max 250 кН), а также усилия резания и напора ($P_{01} = 330$ кН и $P_{02} = 100$ кН). Эти силы приняты при расчете нагрузок в опорно-поворотном устройстве, поэтому после определения напряженно-деформированного состояния ОПУ поставлена задача сопоставления данных полученных при моделировании и при аналитических расчетах нагрузок в ОПУ и после их перераспределения. Точки приложения сил принимались в соответствии со схемой на рис. 3.18.

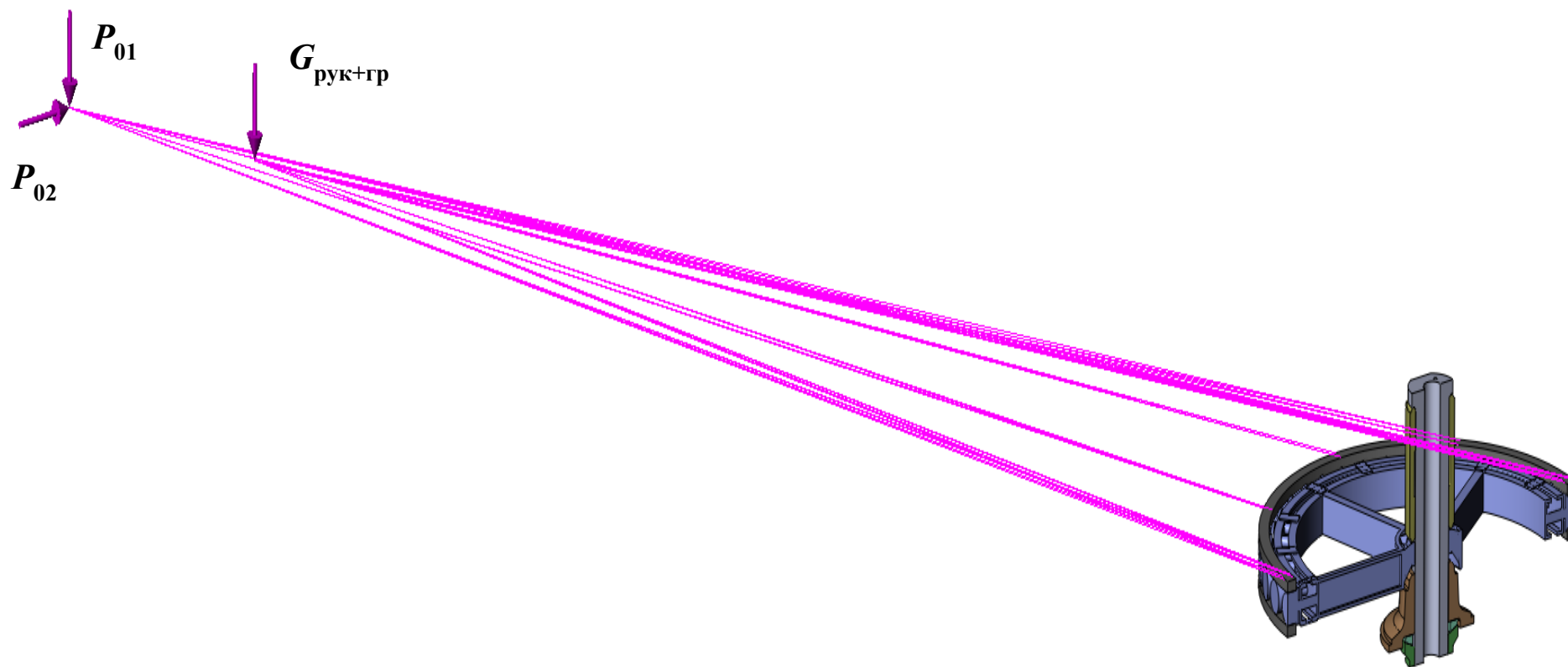


Рисунок 3.18 - Схема нагружения опорно-поворотного устройства

Действие сил переносилось из точек приложения на грань верхней рельсы за счет применения граничного условия «Дистанционная нагрузка» с опцией «Жесткая связь».

Так как расчет проводился для сборки, были описаны условия контактного взаимодействия для соприкасающихся граней деталей. Использовалось контактное условие "Нет проникновения", исключающее возникновение интерференции компонентов, но допускающее появление зазоров. Контактное условия использовалось с опцией "Поверхность с поверхностью". Этот набор контактных условий позволяет получить максимальную точность при решении контактной задачи с гладкими криволинейными взаимодействующими гранями, но требует наибольших затрат вычислительных ресурсов.

При дискретизации геометрической модели использовалась сетка с параболическими конечными элементами (КЭ) в форме тетраэдров. Параболические КЭ обеспечивают лучшее описание геометрии модели сеткой и повышенную точность расчетов за счет большего по сравнению с линейными КЭ числа узлов. Параметры сетки: размер КЭ – от 10 до 50 мм; соотношение увеличения размера элемента – 1,6; автоматическое уплотнение сетки не использовалось. Дополнительно было проведено уплотнение сетки для центральной цапфы, максимальный размер КЭ был уменьшен до 30 мм.

Дискретизация геометрической модели опорно-поворотного устройства сеткой конечных элементов приведена на рис. 3.19.

При вычислении исследования применялась решающая программа "FFEPlus". Данная решающая программа использует усовершенствованное переупорядочение матрицы, что делает ее более эффективной для больших задач.

В результате расчетов МКЭ получена картина распределения эквивалентных напряжений по критерию Мизеса в элементах опорно-поворотного устройства экскаватора ЭКГ-10 при воздействии эксплуатационных нагрузок (рис. 3.20).

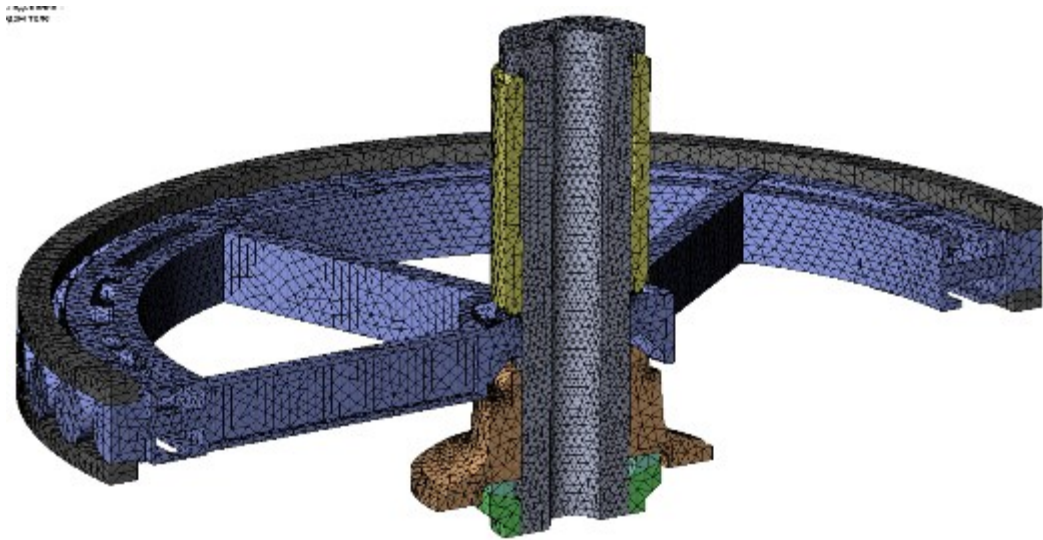


Рисунок 3.19 - Дискретизация геометрической модели опорно-поворотного устройства сеткой конечных элементов

При этом установлено, что одним из наиболее нагруженных элементов опорно-поворотного устройства является центральная цапфа. Максимум напряжений на цапфе расположен в области галтели, при этом дополнительным концентратором напряжений является отверстие под рым-болт (рис. 3.20). На этом рисунке показана область детали, в которой напряжения превышают предел текучести для стали 40 ГОСТ 1050-88, из которой изготовлена центральная цапфа (335 МПа). Этот факт подтверждает, что эксплуатационные нагрузки носят разрушающий характер и приводят к поломке цапфы.

Также из общей картины нагружения видно, что наиболее нагружены места верхнего рельса в местах контакта с передними роликами в количестве 5 штук. На рис.3.21 приведено распределение напряжений в этих местах, из которого видно, что на линии контакта пяти передних роликов и рельсов имеются максимальные напряжения, что подтверждает картину износа верхнего рельса при воздействии эксплуатационных нагрузок.

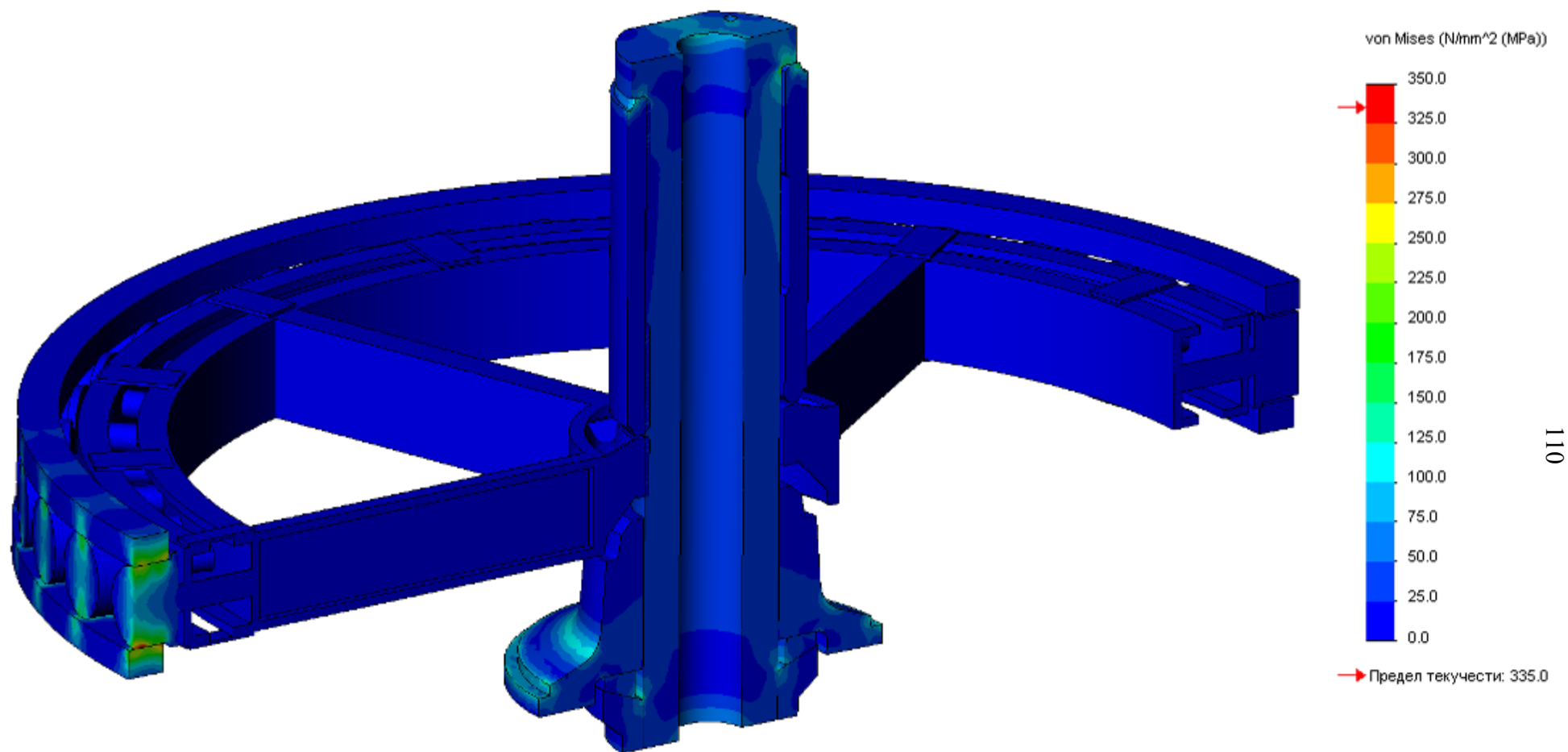


Рисунок 3.20 - Картина распределения эквивалентных напряжений по Мизесу в элементах опорно-поворотного устройства экскаватора ЭКГ-10 при воздействии эксплуатационных нагрузок

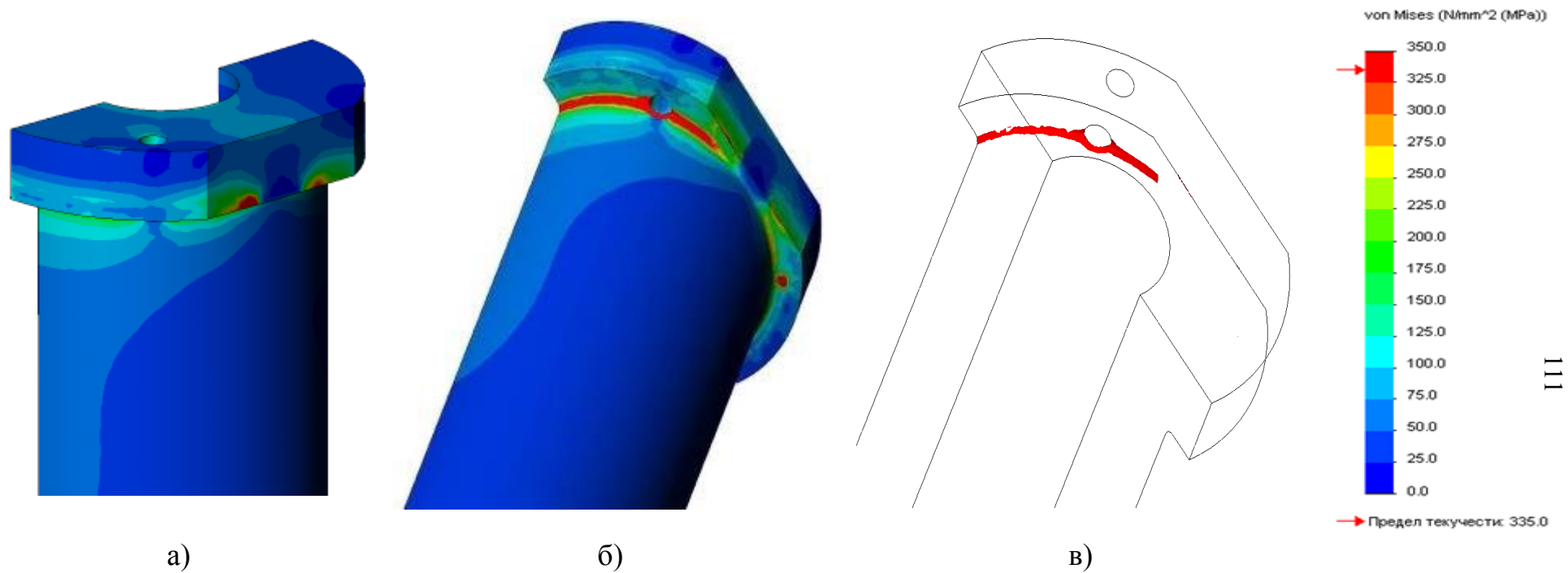


Рисунок 3.20 - Общий вид распределения эквивалентных напряжений по Мизесу в центральной цапфе (а), в том числе в местах с наибольшей концентрацией и превышением предела текучести стали 40 ГОСТ 1050-88 (б, в)

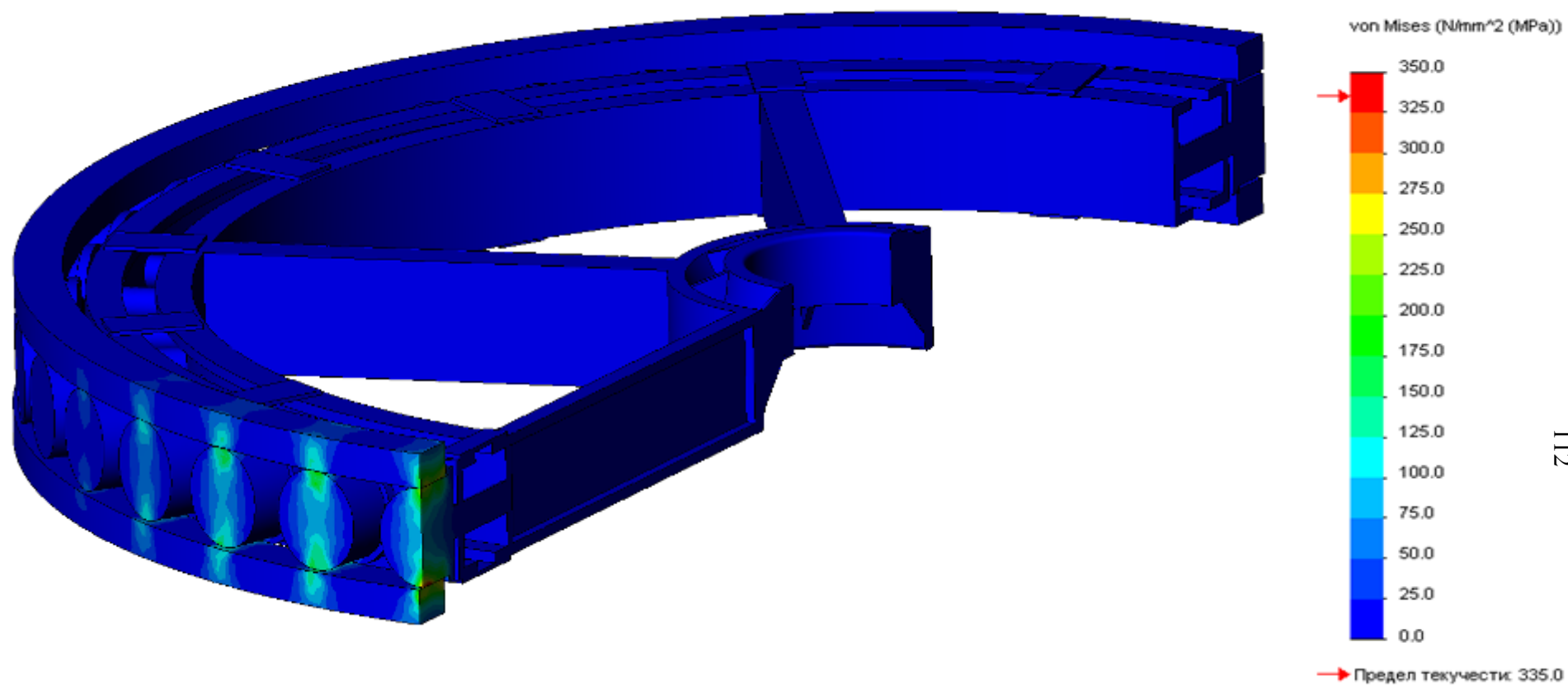


Рисунок 3.21 - Распределение напряжений в верхнем рельсе и роликах роликового круга

Исходя из результатов анализа НДС с приложением максимальных нагрузок и усилий установлено, что возникает перераспределение напряжений в конструкции ОПУ. При этом перераспределение выглядит следующим образом: горизонтальная нагрузка и изгибающий момент воздействуют на центральную цапфу, вертикальная нагрузка воспринимается передней частью верхнего рельса.

3.4. Сопоставление полученных результатов исследований напряженно-деформированного состояния различными методами

С приложением полученных аналитическим путем максимальных нагрузок в модель, построенную методом конечных элементов, получена картина напряженно-деформированного состояния опорно-поворотного устройства.

Согласно данным из построенной модели на контакте верхнего рельса и передних роликов имеются напряжения, приведенные в табл. 3.14.

Выборка, предоставляемая программой SolidWorks Simulation, представлена значениями напряжений по длине роликов, разделенных на 30 условных участков (точек) равных по длине.

Таблица 3.14 - Напряжения на контакте верхнего рельса и передних роликов опорно-поворотного устройства, полученные методом конечных элементов

Ролик №1		Ролики №2 и №3		Ролики №4 и №5	
№ точки	Напряжение, Н/мм ² (МПа)	№ точки	Напряжение, Н/мм ² (МПа)	№ точки	Напряжение, Н/мм ² (МПа)
1	443,1	1	82,2	1	219,1
2	305,5	2	146,8	2	98,1
3	228,5	3	280,9	3	85,3
4	259,6	4	148,5	4	96,7
5	161,4	5	94,6	5	110,5
6	240,6	6	139,7	6	101,9

7	148,7	7	117,6	7	101,6
8	222,7	8	117,5	8	117,6
9	138,8	9	116,1	9	115,8
10	219,5	10	141,8	10	130,6
11	110	11	124,2	11	119,7
12	215,7	12	153,4	12	148,1
13	130,2	13	144,7	13	144,9
14	232,7	14	173,5	14	153,6
15	198,8	15	147,3	15	166,5
16	217,1	16	162,6	16	177
17	156	17	167,2	17	174,8
18	151,5	18	188,8	18	135,8
19	126	19	197,2	19	141,4
20	143,7	20	186,2	20	168,5
21	111,2	21	185,3	21	175,1
22	176,8	22	196,9	22	181,9
23	124,8	23	202,6	23	167,4
24	175,8	24	191,7	24	202,4
25	127,4	25	176,7	25	199,5
26	167,3	26	205,9	26	221,2
27	110,6	27	197,8	27	214,7
28	150,7	28	235,4	28	252,4
29	170,4	29	248,1	29	253,5
30	146,9	30	287,1	30	227,7
Среднее значение	184 Н·мм ²	Среднее значение	172 Н·мм ²	Среднее значение	160 Н·мм ²

Как было установлено в результате аналитических расчетов (раздел 3.2) возникает перераспределение вертикальной нагрузки ($N_y=3082$ кН) с роликов на центральную цапфу ($S=2494$ кН), приводящее к тому, что их 5 передних роликов воспринимают перераспределенную нагрузку:

$$\Sigma N_{y0}^{ocm} = N_y - S = 3082 - 2492 = 590 \text{ кН}, \quad (3.1)$$

Средняя величина N_{y0}^{cp} при этом будет равна:

$$N_{y0}^{cp} = \Sigma N_{y0}^{ocm} / 5 = 590 / 5 = 118 \text{ кН}, \quad (3.2)$$

Как было установлено в результате экспериментальных измерений износ рельса зависит от коэффициентов участия ролика K_y в восприятии удельной нагрузки, которые определены графически и составляют для переднего (первого) ролика - 1, для второго и третьего – 0,98, четвертого и пятого – 0,85.

Также установлено, что площадь контакта верхнего рельса и переднего ролика составляет 678 мм^2 . Напряжение на переднем ролике с коэффициентом -1 будет равно 174 Н/мм^2 .

Сопоставление результатов экспериментальных работ, расчета и моделирования приведены в табл. 3.15.

Таблица 3.15 - Сопоставление результатов экспериментальных работ, расчетов и моделирования

Номер ролика	Формула определения расчетных напряжений	Напряжения, полученные в результате расчетов, Н/мм ²	Напряжения, полученные в результате моделирования, Н/мм ²	Погрешность, %
1	$\sigma = K_y \cdot N_{y0}^{cp} / 678 \text{ мм}^2$	174	184	5
2 и 3		171	172	1
4 и 5		148	160	8

Рассмотрение полученных результатов показывает на удовлетворительную сходимость данных, полученных в результате экспериментальных работ, аналити-

ческих расчетов и компьютерного моделирования напряженного-деформированного состояния опорно-поворотного устройства экскаватора ЭКГ-10. Погрешность при этом не превышает 8 %, что свидетельствует о корректности выполненных работ [72].

Таким образом, анализируя полученные в настоящем разделе результаты, сделан вывод о правомерности полученных результатов и подтверждении научных положений, сформулированных впервые.

3.5. Выводы

На основе данных, используемых при проектировании экскаватора ЭКГ-10, приведен набор сведений для расчета устойчивости, статических и динамических нагрузок в опорно-поворотном устройстве при воздействии внешних факторов.

Анализ полученных расчетов и построенных графиков зависимостей показывает, что во время процесса черпания происходит значительное (знакопеременное) перемещение центра масс в сторону ковша относительно оси вращения, за счет чего на элементах опорно-поворотного устройства возникают добавочные динамические нагрузки. Координаты положения центра тяжести поворотной платформы находятся в диапазоне от -0,41 до 2,41 м по оси абсцисс относительно оси вращения при различной величине наклона, выходя за пределы опорной поверхности. Координата точки пересечения линии действия силы тяжести платформы с роликовым кругом будет находиться над передним роликом при 4 градусах наклона (при завершении черпания) и при ее смещении в сторону ковша возникнет потеря устойчивости платформы.

Этот факт позволяет сформулировать первое научное положение, заключающееся в том, что положение центра масс механической системы поворотной платформы экскаватора-мехлопаты в пространстве должен определяться с учетом траектории движения ковша и рукояти, степени наполнения ковша горной массой за время черпания, и при наклоне платформы более 4 градусов может привести к потере ее устойчивости.

Анализ полученных результатов на примере экскаватора ЭКГ-10, показывает, что вертикальная нагрузка N_Y изменяется от 2472 кН до 3082 кН, горизонтальная нагрузка N_X находится в диапазоне от 334,9 до 867,4 кН. Изгибающий момент M_p и отрывающая нагрузка S носят знакопеременный характер: от -1758,8 до 11122 кН·м для M_p и от -624 до 2494 кН для S . При потере устойчивости платформы и воздействии нагрузок происходит перераспределение вертикальной нагрузки ($N_Y=3082$ кН) с роликов роликового круга на цапфу ($S=2494$ кН)

Наличие этих фактов позволяет сформулировать второе научное положение о том, что нагрузки в опорно-поворотном устройстве, в том числе отрывающее усилие на цапфе, зависят от времени черпания, усилий резания и напора, траектории движения центра масс платформы и угла ее наклона и носят знакопеременный характер. При потере устойчивости платформы происходит перераспределение вертикальной нагрузки с роликов на центральную цапфу.

Анализ напряженно-деформированного состояния опорно-поворотного устройства при воздействии максимальных (граничных) нагрузок позволил установить картину перераспределения напряжений в его элементах, что в процессе эксплуатации приводит к изменению технического состояния, вплоть до износа и излома отдельных элементов по причине превышения предела текучести конструкционных материалов.

В ходе анализа полученных в настоящем разделе результатов и их сопоставления, сделан вывод о правомерности полученных результатов и подтверждении научных положений, сформулированных впервые.

Глава 4. ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДОПУСТИМЫХ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОПОРНО-ПОВОРОТНЫХ УСТРОЙСТВ

4.1. Разработка устройства контроля угла наклона и ограничения работы механизмов одноковшового экскаватора

По результатам анализа устройств контроля угла наклона, применяемых на одноковшовых экскаваторах (раздел 1.3), установлено, что все имеющиеся конструкции являются измерителями угла наклона и в ряде случаев сигнализаторами.

В разделе 2 исследованы причины эксплуатации экскаваторов-мехлопат при наличии наклона его поворотной платформы, а также приведены максимально возможные величины (до 12 градусов при черпании).

В результате расчетов, выполненных в разделе 3, установлено, что угол наклона поворотной платформы в различной степени влияет на изменение эксплуатационных нагрузок. В основном угол наклона влияет на дополнительное смещение центра масс относительно оси вращения, что приводит к потере устойчивости механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования относительно ребра опрокидывания (передний ролик). Количество, на примере экскаватора ЭКГ-10, установлено, что при наклоне поворотной платформы на угол в четыре градуса центр масс уже располагается над передним роликом, и при увеличении угла наклона смещается в сторону ковша.

Учитывая изложенное, установлено, что имеется необходимость в обосновании и разработке новых устройств по обеспечению допустимых параметров нагружения элементов опорно-поворотных устройств, позволяющих контролировать величину угла наклона поворотной платформы экскаватора-мехлопаты и без участия человека ограничивать (блокировать) работу машины при достижении предельного угла наклона машины, исключая участие человека в принятии такого решения. В этой связи было разработано новое устройство контроля угла наклона и блокирования механизма подъема ковша экскаватора.

Применительно к экскаватору ЭКГ-10 разработано устройство контроля угла наклона и блокирования подъемного механизма выполненное на базе прибора КСЦ-1 производства НПК «Техкранэнерго» (г. Владимир, Россия).

Прибор КСЦ-1 (креномер сигнальный цифровой) разработан для контроля установки рабочей платформы грузоподъемных механизмов в горизонтальное положение и подачу звуковой сигнализации при достижении предельного угла наклона.

Креномер КСЦ-1 имеет Разрешение на его применение на технических устройствах, эксплуатируемых на опасных производственных объектах (№РРС 00-33272 от 05.03.2009).

Технические характеристики прибора КСЦ-1 предлагаемого для установки в разработанное устройство контроля угла наклона и блокирования подъемного механизма экскаватора ЭКГ-10, приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 - Технические характеристики прибора КСЦ-1

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1.	Заводской номер	0478
2.	Дата выпуска	07.2013
3.	Диапазон контроля углов наклона по осям X, Y	$0^\circ \pm 5^\circ$ $0^\circ \pm 15^\circ$
4.	Дискретность световой индикации: для 5° для 15°	 $0,5^\circ$ $1,5^\circ$
5.	Угол предельной звуковой сигнализации	5° ; 15°
6.	Угол предварительной звуковой сигнализации	$4,5^\circ$; $14,5^\circ$
7.	Диапазон рабочих температур	от - 40 до + 50 °C
8.	Напряжение питания	от 10 В до 30 В постоянного тока

9.	Габаритные показатели блок контроля: габариты, мм датчик, мм	100×220×62 64×64×38
10.	Масса, кг не более: блок контроля: датчик	1,0 0,5
11.	Степень защиты корпусов блока и датчика	IP65
12.	Срок службы, лет	10

Питание и управление устройством обеспечивается после монтажа в электрическую схему экскаватора и цепи управления. Переключение режимов работы нового устройства происходит совместно с переключением режимов работы экскаватора с помощью штатного переключателя «ход-поворот», что исключает возможность работы устройства для экскавации при режиме «перемещение». Датчик устанавливается на поворотной платформе, измеряет величину наклона и передает сигнал в блок обработки измерений, который визуализирует эту величину с отображением информации на приборе, установленном в кабине машиниста, в пределах его видимости и слышимости.

При достижении предельных значений в режиме «экскавация» происходит сигнализация. В случае, если угол наклона будет увеличиваться и превысит предельно допустимые значения, произойдет замыкание контактов исполнительного реле установленного параллельно с концевым выключателем переподъема ковша, которое воздействует на привод подъема ковша, блокируя черпание, но оставляя возможность опускания ковша для выравнивания экскаватора.

Если устройство включено в режиме «перемещение» происходит только сигнализация, блокирование механизмов не происходит, что обусловлено в ряде случаев необходимостью удаления экскаватора из опасных участков забоя (при подтоплении забоя, обрушении горной массы). Экскаватор может работать после

выравнивания и исключения причины наклона (устранение просадки, выезд на горизонтальный участок).

Отдельным достоинством нового датчика угла наклона, устанавливаемого на поворотной платформе, является контроль состояния элементов опорно-поворотного устройства (зазор между шайбой гайки центральной цапфы и нижней рамой).

При работе такого устройства обеспечивается соблюдение заводских требований по наклону экскаватора и износу опорно-поворотного устройства, увеличивается надежность элементов опорно-поворотного устройства, обеспечивается безопасность при экскавации и перемещении.

Отсутствие отдельного переключения режимов работы нового устройства («экскавация-перемещение») позволяет исключить человеческий фактор из технологического процесса работы одноковшового экскаватора, что делая невозможным экскавацию горной массы с увеличенным наклоном машины.

Пробная установка такого устройства на экскаваторе ЭКГ-10 №328 филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез» показала корректность показаний и работоспособность системы в целом.

Испытания нового устройства выполнялись на следующих режимах: черпание, измерение наклона платформы при упирании ковшом в грунт площадки и при полном вылете рукояти с максимально наполненным ковшом, а также при перемещении.

В режиме экскавации и перемещения результаты определения фактического угла наклона платформы с помощью нового устройства и сопоставление его с показаниями, полученными с помощью поверенного горного компаса, показывают на отклонение в пределах заводской погрешности приборов.

Испытание устройства при черпании на горизонтальной площадке показало, что экскаватор наклоняется в сторону ковша на величину до 2 градусов, при этом экскаватор периодически качается. Это свидетельствует о недостаточной несущей способности грунта рабочей площадки.

Измерение наклона платформы, выполненное при черпании и упирании ковшом в грунт площадки, а также при полном вылете рукояти с максимально наполненным ковшом, показало следующее.

При черпании угол наклона был максимален, что свидетельствует о том, что все зазоры в опорно-поворотном устройстве выбраны. Это свидетельствует о несовершенстве заводского способа измерения зазора на гайке центральной цапфы, когда замеры выполняются на полном вылете рукояти с максимально наполненным ковшом, но при наличии зазоров.

Фото датчика и блока измерений нового устройства, установленного на экскаваторе ЭКГ-10 и алгоритм его работы приведены на рис. 4.1-4.3.



Рисунок 4.1 - Установка в кузове датчика для измерения углов наклона



Рисунок 4.2. Установка в кабине блока обработки и индикатора угла наклона для отображения информации и сигнализации

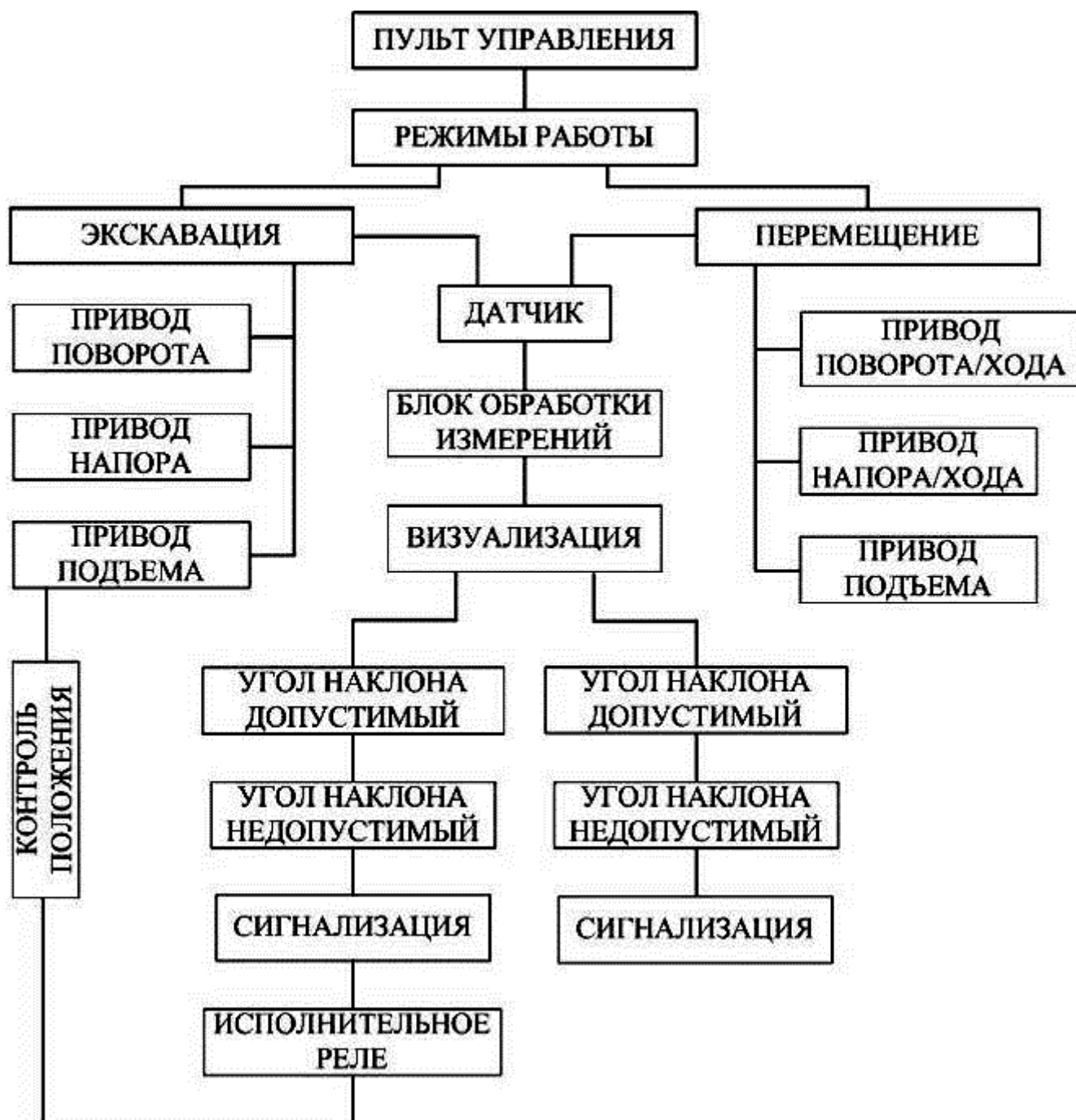


Рисунок 4.3 - Блок-схема работы устройства контроля угла наклона и блокирования работы механизма подъема ковша экскаватора-мехлопаты

По результатам разработки нового устройства в адрес завода-изготовителя экскаваторов ЭКГ-10 - ООО «ИЗ-Картэкс им. П.Г. Коробкова» был направлен запрос о возможности установки новой системы на экскаваторы этой марки, на что был получен положительный ответ. Письмо от 23.04.2013 №2145 приведено в Приложении 1.

По результатам испытаний устройства контроля угла наклона и блокирования механизма подъема ковша установленного на экскаваторе ЭКГ-10 зав.№328 филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез» оформлен Акт испытания (приведен в Приложении 2).

Справка о внедрении результатов работы, выданная фирмой по разработке и реализации эффективных новаций «КУЗБАСС-НИИОГР», приведена в Приложении 3.

Установка устройства новой разработки позволяет обеспечить эксплуатацию машин на заданных производителем параметрах, исключая увеличенное перемещение центра масс механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования за пределы опирания роликового круга. Этот факт обеспечивает рациональное перераспределение горизонтальной нагрузки и изгибающего момента на центральную цапфу, вертикальной нагрузки на верхний рельс, создавая тем самым условие устойчивости поворотной платформы.

4.2. Предложения по усовершенствованию конструкции элементов опорно-поворотных устройств

Согласно полученной модели напряженного-деформированного состояния опорно-поворотного устройства, построенной в программе SolidWorks Simulation установлены наиболее нагруженные элементы [75].

Одним из рациональных решений для исключения концентрации напряжений в центральной цапфе, возникающих из-за эксплуатационных нагрузок, предложен перенос отверстий под рым-болты ближе в центральной части (было 230 мм, предложено 165 мм при прежней глубине отверстия), а также увеличение радиуса галтели с 10 до 25 мм. Это предложение не повлечет значительного изменения конструкции остальных (сопряженных) элементов опорно-поворотного устройства.

Чертежи верхней части цапфы до и после усовершенствования приведены на рис. 4.4 и 4.5

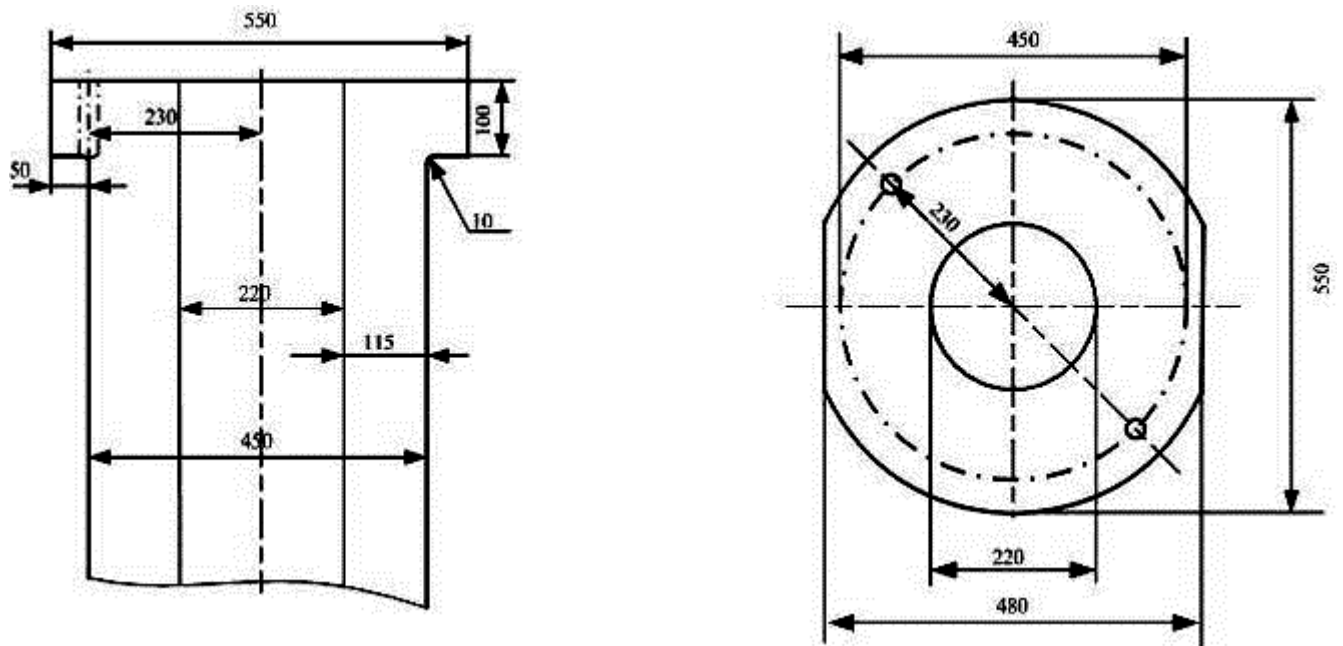


Рисунок 4.4 – Чертеж верхней части центральной цапфы до усовершенствования конструкции

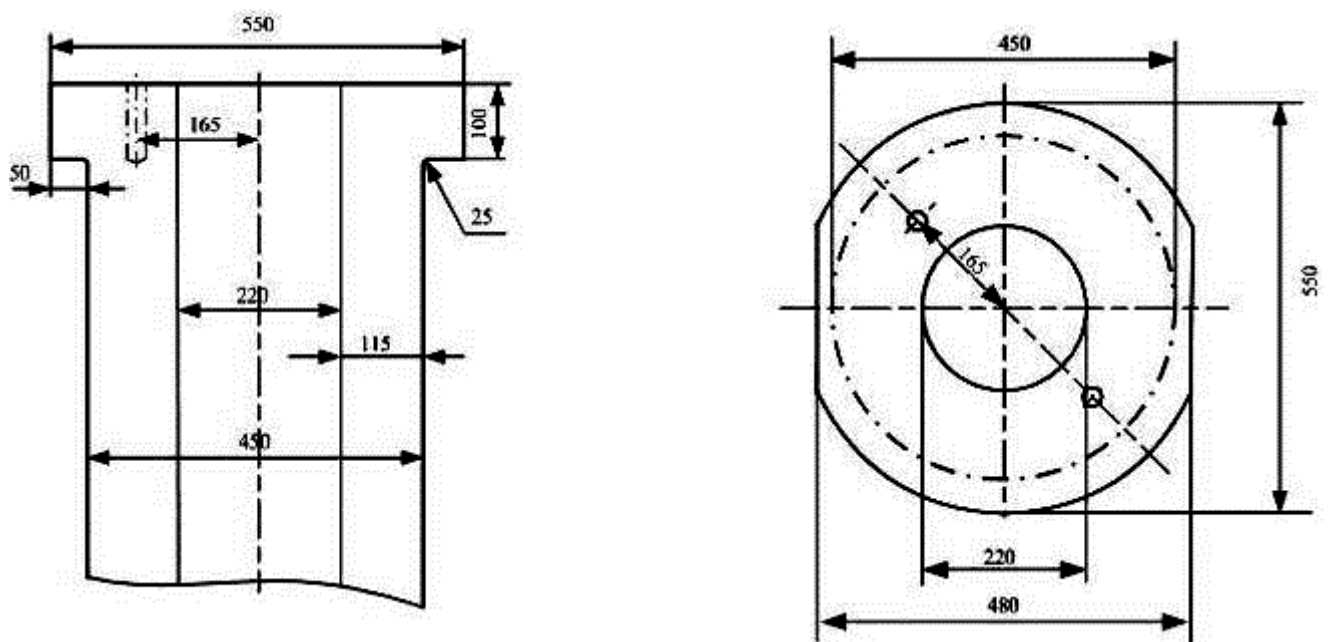


Рисунок 4.5 – Чертеж верхней части центральной цапфы после усовершенствования конструкции

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния усовершенствованной конструкции центральной цапфы опорно-поворотного устройства экскаватора-мехлопаты приведены на рис. 4.6.

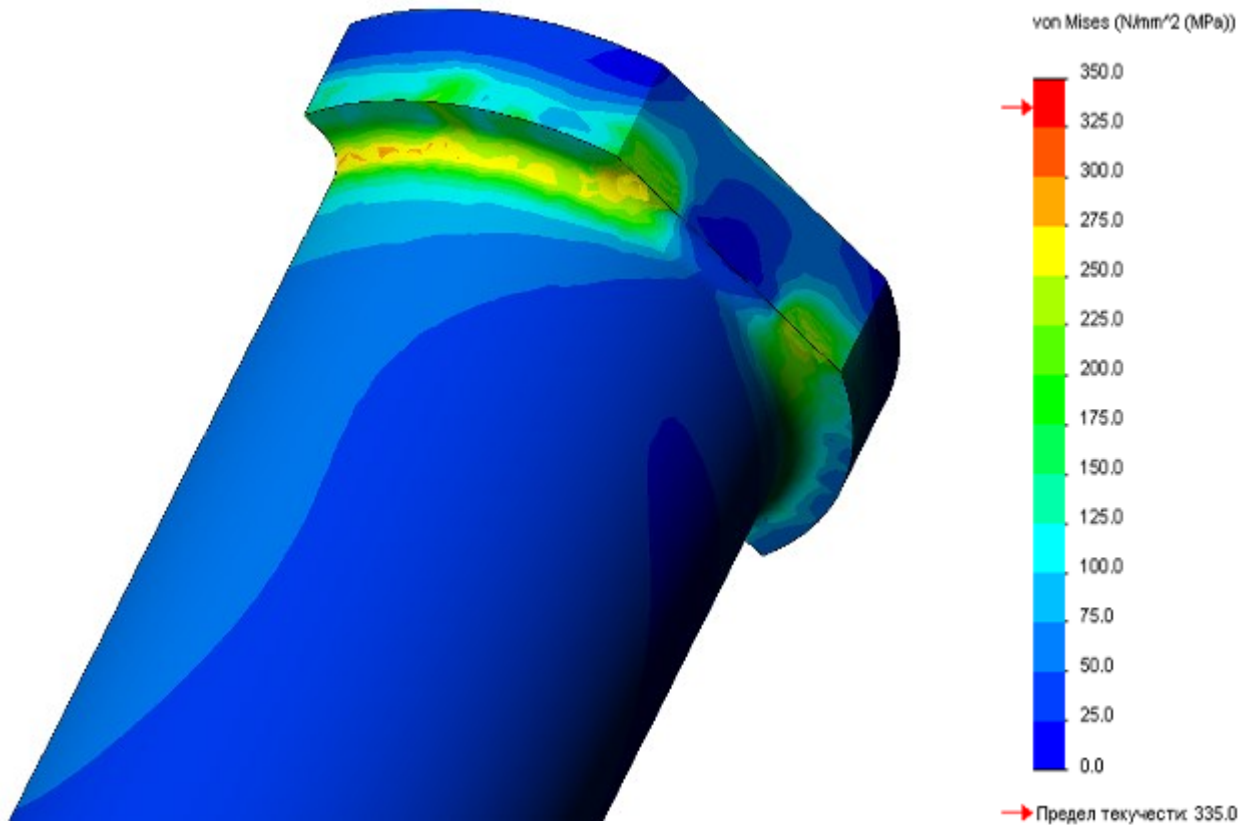


Рисунок 4.6 - Область с напряжениями в центральной цапфе опорно-поворотного устройства с усовершенствованной конструкцией.

Сопоставление картины НДС центральной цапфы до и после усовершенствования конструкции показали, что объем напряжений, превышающих предел текучести снизился в 10 раз [83].

Обращение в адрес завода-изготовителя экскаваторов ЭКГ-10 – ООО «ИЗ-Картэкс им. П.Г. Коробкова» о возможности такого усовершенствования конструкции и получение положительного ответа показывает о целесообразности применения данного решения. Письмо от 23.04.2013 №2145 приведено в Приложении 1.

Применение разработанной конструкции центральной цапфы позволит снизить воздействие нагрузок, возникающих главным образом при черпании горной массы, на конструкцию этого узла.

4.3. Расчет возможной экономической эффективности от реализации предложенных решений

Применение новой разработанной последовательности расчета эксплуатационных нагрузок на опорно-поворотное устройство экскаваторов-мехлопат позволяет установить граничные (наибольшие) уровни нагрузок в процессе черпания.

Наличие модели НДС опорно-поворотного устройства экскаватора-мехлопаты, выполненной с учетом приложения эксплуатационных нагрузок, позволяет при изменении геометрии отдельных элементов, снижать уровни напряжений, увеличивая надежность. Это обстоятельство особенно актуально при проектировании опорно-поворотных устройств нового технического уровня.

Исключение или снижение внеплановых простоев экскаваторов-мехлопат по причине выхода из строя узлов опорно-поворотного устройства увеличивает коэффициент технической готовности $K_{тг}$, который является одним из показателей функции надежности.

Экономический эффект от применения результатов настоящей работы можно выразить по отношению к стоимости часа работы экскаватора при увеличении коэффициента технической готовности $K_{тг}$, то есть машина вместо вынужденных простоев должна полноценно работать, выполняя свои функции.

Для примера оценки экономической эффективности приведен расчет стоимости часа работы экскаватора ЭКГ-10 в условиях филиала «Бачатский угольный разрез», определенный по формулам 1.5 и 1.6. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 - Исходные данные для расчета экономической эффективности при реализации предложения по повышению готовности экскаватора ЭКГ-10

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Значение
1.	Месячная производительность экскаватора, $\text{м}^3/\text{мес}$	$Q_{\text{ЭКГ-10}}^{\text{мес}}$	180000
2.	Коэффициент вскрыши	$K_{\text{вскр}}$	5,67

3.	Плотность угля в разрыхленном состоянии, т/м ³	$\gamma_{\text{угля}}$	1,33
4.	Объем добытого угля, м ³	$V_{\text{угля}}$	31746
5.	Вес (масса) добытого угля, т/м ³	$M_{\text{угля}}$	42222
6.	Себестоимость тонны, руб/т	$C_{\text{тонн}}$	850
7.	Календарный фонд времени (время работы), час/месяц	КФВ	577
8.	Стоимость часа работы, руб/час	$C_{\text{часа}}$	62199

$$C_{\text{часа}} = ((Q_{\text{ЭКГ-10}}^{\text{мес}} / K_{\text{вскр}}) \cdot \gamma_{\text{угля}}) \cdot C_{\text{тонны}} / \text{КФВ} =$$

$$= ((180000 / 5,67) \cdot 1,33) / 577 = 62199 \text{ руб/час}$$

Величина допустимых аварийных простоев не должна превышать 2% от КФВ (часов/год) или 175 часов для ЭКГ-10.

Тогда стоимость всех аварийных простоев будет равна 10884845 руб/год. Согласно выполненным исследованиям простои экскаваторов-мехлопат по причине отказов опорно-поворотных устройств составляют 13% от общего количества или 24,5 часа на одну машину в год.

Исходя из стоимости часа вынужденного простоя по причине восстановления элементов опорно-поворотных устройств, за время которого экскаватор мог выполнить полезную работу по добыче одной тонны угля, стоимость таких простоев будет равна 1,52 млн. руб. в год.

Такой поход носит вероятностный характер и зависит от множества факторов, таких как: время нахождения экскаватора в плановых ремонтах; изменение себестоимости тонны угля и его рентабельность на рынке; изменение горно-геологических и горнотехнических условий; влияние организационных причин. Однако такая информация носит конфиденциальный характер, поэтому такие расчеты можно использовать при качественной оценке эффективности работы оборудования, в том числе при обосновании своевременности проведения сроков и объемов технических обслуживаний и ремонтов, необходимых для повышения коэффициента технической готовности оборудования.

Применение результатов работ позволяет снизить время внеплановых простоев за счет снижения воздействия эксплуатационных нагрузок, что в итоге приводит к значительному экономическому эффекту при ведении горных работ с привязкой к добыче одной тонны полезного ископаемого (угля).

4.4. Выводы

Установка устройства новой разработки позволяет обеспечить эксплуатацию машин на заданных производителем параметрах, а также в ряде случаев расширить возможность их применения, исключая увеличенное перемещение центра масс механической системы поворотной платформы и расположенного на ней оборудования за пределы опирания роликового круга. Этот факт позволяет снизить влияние эксплуатационных нагрузок на опорно-поворотное устройство, увеличивая срок службы узлов экскаватора.

Применение разработанного варианта центральной цапфы позволит снизить воздействие эксплуатационных нагрузок, возникающих главным образом при черпании горной массы, на конструкцию этого узла.

Применение результатов работ позволяет снизить время внеплановых простоев, что в итоге может привести к значительному экономическому эффекту при ведении горных работ с привязкой к добыче одной тонны полезного ископаемого (угля).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой дано новое решение актуальной научной задачи, состоящей в установлении связи условий эксплуатации с устойчивостью поворотных платформ и нагрузок в опорно-поворотных устройствах экскаваторов-мехлопат, а также в разработке технических решений, позволяющим повысить эффективность и безотказность использования экскаваторов-мехлопат на открытых горных работах России.

Научные и практические результаты выполненных исследований сводятся к следующему:

1. Выявлено влияние траектории движения центра масс поворотной платформы экскаватора-мехлопаты на величину статических и динамических нагрузок и усилий в опорно-поворотном устройстве при оценке параметров устойчивости платформы.

2. Установлено, что на положение центра массы поворотной платформы влияет характер движения ковша и рукояти в забое, а также степень наполнения ковша горной массой за время черпания. При этом координаты положения центра масс поворотной платформы находятся в диапазоне от минус 0,41 до 2,41 по оси абсцисс относительно оси вращения при различной величине с выходом за пределы опорной поверхности. Для сохранения устойчивости координата точки пересечения линии действия силы тяжести платформы с роликовым кругом должна находиться над передним роликом с предельным углом до 4 градусов без смещения в сторону ковша.

3. Получены аналитические зависимости нагрузок в опорно-поворотном устройстве и отрывающего усилия на центральной цапфе, с учетом времени черпания, усилий резания и напора, направления движения центра масс платформы, а также от угла ее наклона. Расчетom определено, что вертикальная нагрузка N_Y изменяется от 2472 кН до 3082 кН, горизонтальная нагрузка N_X находится в диапазоне от 334,9 до 867,4 кН. Изгибающий момент M_p и отрывающая нагрузка S носят знакопеременный характер: от минус 1758,8 до 11122 кН·м для M_p и от минус 624 до 2494 кН для S . При потере устойчивости платформы и воздействии нагру-

зок происходит перераспределение вертикальной нагрузки ($N_V=3082$ кН) с роликов роликового круга на цапфу ($S=2494$ кН).

4. Анализ напряженно-деформированного состояния опорно-поворотного устройства позволил установить картину перераспределения напряжений в его элементах, что в процессе эксплуатации приводит к изменению технического состояния, вплоть до износа и излома отдельных элементов. Использование разработанной модели напряженно-деформированного состояния позволит разрабатывать как различные конструкции отдельных элементов, так и компоновочные схемы опорно-поворотных устройств при воздействии максимальных нагрузок и потере устойчивости платформы, необходимых для снижения концентрации напряжений. Одним из таких решений предложена усовершенствованная цапфа, рациональная конструкция которой снижает концентрацию напряжений при воздействии эксплуатационных нагрузок.

5. Обоснована область применения предложенного устройства контроля угла наклона и блокирования механизма подъема ковша в условиях эксплуатации, приводящих к перераспределению нагрузок и усилий в опорно-поворотном устройстве в режиме потери устойчивости. Взаимодействие горизонтальной нагрузки и изгибающего момента на центральную цапфу и вертикальной нагрузки на верхний рельс обеспечивает условие устойчивости поворотной платформы. Экономическая эффективность от реализации технических решений может составить порядка 1,52 млн. рублей в год, за счет снижения внеплановых простоев оборудования, а также прямых и косвенных затрат на восстановление работоспособности.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы: исследовать характер износа элементов опорно-поворотного устройства, исходя из трибологических особенностей контактного взаимодействия сопряженных элементов, что необходимо для научного обоснования снижения влияния внешних факторов.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Во избежание различного толкования терминов и разночтения источников информации в диссертационной работе использованы следующие термины:

1. **Экскаватор-мехлопата:** экскаватор карьерный гусеничный (ЭКГ) с рабочим оборудованием типа «прямая механическая лопата» [27]. В тексте диссертации указывается как «экскаватор», ЭКГ или мехлопата.

2. **Опорно-поворотное устройство:** конструкция для восприятия вертикальных и горизонтальных составляющих нагрузок, действующих на поворотную платформу, передачи этих нагрузок или их части на раму ходового устройства, обеспечения опирания поворотной платформы через опорно-поворотный круг на базу или раму ходового устройства, вращения поворотной платформы с минимальными сопротивлениями относительно базовой части экскаватора [27]. В тексте диссертации может указываться как ОПУ. Зубчатый венец и обегачи шестерни отнесены к механизму поворота, так как непосредственно участвуют в процессе вращения поворотной платформы относительно нижней рамы.

3. **Центральная цапфа:** часть опорно-поворотного устройства, воспринимающая горизонтальные (сдвигающие) и отрывающие усилия, а также изгибающие моменты. Центральная цапфа предназначена для центрирования поворотной платформы относительно нижней рамы и удержания поворотной части экскаватора от опрокидывания при копании [27].

4. **Роликовый круг:** часть опорно-поворотного устройства, состоящая из роликов цилиндрической или конусообразной формы и воспринимающая вертикальные усилия.

5. **Внешние силы:** силы, действующие со стороны какого-либо тела или системы на рассматриваемое тело или систему. К внешним силам относятся не только активные силы (нагрузка), но и реакции связей или опор.

6. **Внутренние силы:** силы взаимодействия между мысленно рассеченными частями материального тела.

7. Нагруженность (параметры нагружения): условия, определяющие напряженно-деформированное состояние металлоконструкций опорно-поворотного устройства: величина нагрузки, направление, интенсивность изменения по времени.

8. Нагрузка: механическое воздействие, мерой которого является сила, характеризующая величину и направление этого воздействия и вызывающая изменения напряженно-деформируемого состояния конструкций сооружения и его основания [80].

9. Динамическая нагрузка: нагрузка, характеризующаяся быстрым изменением во времени ее значения, направления или точки приложения и вызывающая в элементах конструкции или в деталях машин значительные силы инерции [80].

10. Статическая нагрузка: нагрузка, значение, направление и место приложения которой изменяется столь незначительно, что при расчете элементов конструкций их принимают независимыми от времени и поэтому пренебрегают влиянием сил инерций, обусловленной такой нагрузкой [80].

11. Эксплуатационные нагрузки: нагрузки, возникающие в реальных условиях эксплуатации оборудования. В настоящей работе - это нагрузки при черпании горной массы и наличии наклона экскаватора. Сейсмическое влияние, ветровая нагрузка, отрицательная температура не учитывались.

12. Условия эксплуатации: определение аналогичное термину «внешний воздействующий фактор» - явление, процесс или среда, внешние по отношению изделию или его составным частям, которые вызывают или могут вызвать ограничение или потерю работоспособного состояния изделия в процессе эксплуатации. Согласно ГОСТ 26883-86 номинальные условия эксплуатации это номинальная совокупность внешних воздействующих факторов [73].

13. Просадка: явление, заключающееся в проседании ходового оборудования, в том числе за короткий промежуток времени – время черпания, приводящее к изменению положения машины в пространстве (наклону).

14. **Усилия:** внутренние силы, возникающие в поперечном сечении элемента конструкций от внешних нагрузок и воздействий (продольная и поперечная силы, изгибающий и крутящий моменты) [79].

15. **Реакции связей:** силы, действующие на рассматриваемую механическую систему со стороны других тел, которые осуществляют наложенные на систему механические связи. При наличии сил, действующих на связи, реакции связей воздействуют как силы противодействия [79].

16. **Изгибающий момент:** пара внутренних сил, перпендикулярная к плоскости поперечного сечения. Изгибающие моменты равны сумме моментов внешних сил относительно осей Y и X соответственно. Изгибающие моменты вызывают изгиб элемента.

17. **Ударная нагрузка:** нагрузка, возникающая от удара, как совокупности явлений, возникающих при столкновении двух твёрдых тел. В местах контакта тел при ударе возникают большие силы взаимодействия, называемые ударными, в результате чего за очень малое время (обычно порядка 1-100 мкс) происходит значительное изменение скоростей соударяющихся тел. Следствиями ударных нагрузок могут быть остаточные деформации, звук, колебания, нагревание тел, изменение механических свойств, разрушение (при скоростях соударения, превышающих критические).

18. **Разрушающая нагрузка:** предельная нагрузка, при которой происходит разрушение конструкции; практически — нагрузка на конструкцию в момент, непосредственно предшествующий её разрушению.

19. **Коэффициент динамичности (динамический коэффициент):** коэффициент показывает, во сколько раз воздействие динамической нагрузки на конструкцию будет больше, чем в случае приложения равной по величине статической нагрузки.

20. **Напряжения:** мера интенсивности внутренних сил, распределённых по сечениям, то есть усилия, приходящиеся на единицу площади сечения.

21. **Центр тяжести механической системы:** точка, относительно которой суммарный момент сил тяжести, действующих на систему, равен нулю.

22. Равновесие механической системы (уравновешенность): состояние механической системы, находящейся под действием сил, при котором все её точки покоятся по отношению к рассматриваемой системе отсчёта.

23. Устойчивость: способность системы сохранять текущее состояние при наличии внешних воздействий [79].

24. Потеря устойчивости: состояние механической системы, при которой центр масс выходит за пределы периметра опорной поверхности, относительно ребра опрокидывания.

25. Крен: положение изделия, при котором его вертикальная ось отклонена в поперечной плоскости симметрии от вертикали к земной поверхности [73]. Согласно ГОСТ 26883-86 этот термин более всего употребляется в отношении судов и летательных аппаратов, поэтому в работе используется термин «продольный наклон», «уклон» или «наклон» и обозначается как α .

26. Дифферент: наклон изделия, при котором его вертикальная ось отклонена в продольной плоскости симметрии от вертикали к земной поверхности [73]. По данным ГОСТ 26883-86 это определение применяется в части морских судов, в этой связи в работе используется термин «поперечный наклон» и обозначается как β .

27. Динамическая модель: теоретическая конструкция (модель), описывающая изменение (динамику) состояний объекта.

28. Прочность: свойство материалов в определенных условиях, не разрушаясь, воспринимать нагрузки или другие внешние воздействия. Критериями прочности являются пределы пропорциональности, текучести, прочности, выносливости [79].

29. Предел текучести: напряжение, которое не изменяет своей величины при изменении деформации в определенных пределах. При воздействии нагрузок, превышающих предел текучести материала элемента происходит его разрушение [79].

30. Предел прочности: напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, при которой материал не разрушается [80].

31. **Износ:** изменение размеров, формы, массы или состояния поверхности изделия или инструмента вследствие разрушения (изнашивания) поверхностного слоя изделия при трении [71].

32. **Концентрация напряжений:** повышение напряжений в местах изменения формы или нарушения сплошности материала.

33. **Уравнение движения:** взаимосвязь кинематических и силовых параметров механизма, точки, тела [79].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».
2. Кузнецов В. И. Развитие открытой добычи угля в Кузбассе / Проблемы открытой добычи угля в Кузбассе: Сб. трудов. – Кемерово: Родник, 1990. – С. 5 - 9.
3. Итоги работы угольной промышленности России за 2011 год. / И. Таразанов // Уголь, 2012. – № 3. С. 40–52.
4. Итоги работы угольной промышленности России за 2012 год. / И. Таразанов // Уголь, 2013. – № 3. С. 78–91.
5. Итоги работы угольной промышленности России за 2013 год. / И. Таразанов // Уголь, 2014. – № 3. С. 52–68.
6. Добыча угля на предприятиях Кузбасса в 2013 году / Информационный бюллетень «Охрана труда и промышленная безопасность» №1 (112), 01/2014.- С. 2-14.
7. Конкуренция в угольной отрасли Кузбасса: введение в проблему / Ю.А. Фридман, Е.Ю. Логинова, Г.Н. Речко // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2014, №1. С. 117-126.
8. Справочник. Открытые горные работы / К.Н. Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Веницкий, Н.Н. Мельников и др. // М. – Горное бюро. – 1994. – 590 с.
9. <http://investtek.narod.ru/koncept.html>
10. <http://kuzbassnews.ru/2014/02/18/oao-yuzhnyy-kuzbass-montiruets-ekskavator-stoimostyu-1-mlrd-rublej.html>
11. <http://www.kru.ru/ru/about/>
12. Справочник о наличии, получении списании и использовании экскаваторов, буровых станков, бульдозеров и вспомогательной техники на предприятиях ОАО УК «Кузбассразрезуголь» за 12 месяцев 2013 г. / ОАО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь», Дирекция по делопроизводству, Энергомеханический департамент, Кемерово 2014, -145 стр.
13. <http://www.phmining.com/>

14. Протасов, С. И. Результаты приемочных испытаний экскаватора WK-35, производства Тайюаньского завода тяжелого машиностроения (КНР) / С. И. Протасов, П. В. Буянкин, С. А. Герасименко // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды XIV межд. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2012. – С.142-144.

15. <http://www.tyhi.com.cn/>

16. <http://iz-kartex.com/>

17. <http://www.mining-media.ru/ru/article/ogr/670-oborudovanie-bucyrus-dlya-otkrytykh-gornyykh-rabot>

18. «Справка о нормативных сроках службы горного оборудования» (утверждена постановлением Совета министров СССР от 22.10.1990 г. №1072).

19. Богомолов, И. Д. Состояние рабочего оборудования экскаваторного парка Кузбасса / И. Д. Богомолов, П. В. Буянкин // Сборник лучших докладов студентов и аспирантов Кузбасского государственного технического университета по результатам юбилейной 50-й научно-практической конференции, ГУ КузГТУ, 18–23 апр. 2005. – Кемерово, 2005. – С. 79–81.

20. Богомолов, И. Д. Состояние оборудования экскаваторного парка Кузбасса и средства повышения его безопасной эксплуатации / И. Д. Богомолов, П. В. Буянкин // Безопасность жизнедеятельности предприятий в угольных регионах: Материалы VI Межд. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2005. – С. 93–96.

21. Менчугин, А. В. Основные проблемы эксплуатации металлоконструкций горно-транспортного оборудования на угольных разрезах Кузбасса / А. В. Менчугин, П. В. Буянкин // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды IX межд. науч. – практ. конф. – Кемерово, 2007. – С.137-140.

22. Богомолов, И. Д. Эксплуатация металлоконструкций опорно-поворотных устройств экскаваторов типа ЭКГ на угольных разрезах Кузбасса / И. Д. Богомолов, П. В. Буянкин, А. В. Менчугин // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды X межд. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2008. – С.79-83.

23. Буянкин, П. В. Оценка нагрузок и отказов узла центральной цапфы экскаваторов типа ЭКГ при работе на рабочих площадках с уклоном / П.В. Буянкин, И. Д. Богомолов // Сборник лучших докладов студентов и аспирантов Кузбасского государственного технического университета по результатам 54-й студенческой научно-практической конференции, ГУ КузГТУ, 20–24 апр. 2009 / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2009. – Т.1. – С. 73–75.

24. Богомолов, И. Д. Проблемы эксплуатации металлоконструкций опорно-поворотных устройств экскаваторов типа ЭКГ при работе на угольных разрезах Кузбасса / И. Д. Богомолов, П. В. Буянкин // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: Материалы XII Межд. науч.-практ. конф. «Сибресурс–2008». – Кемерово, 2008. – С. 146–148.

25. Богомолов, И. Д. Оценка влияния условий эксплуатации на долговечность опорно-поворотных устройств экскаваторов типа ЭКГ на угольных разрезах Кузбасса / И. Д. Богомолов, П. В. Буянкин, А. В. Буянкин // Сборник лучших докладов студентов и аспирантов Кузбасского государственного технического университета по результатам 53-й студенческой научно-практической конференции, ГУ КузГТУ, 14–18 апр. 2008 / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2008. – с. 73–75.

26. Хорешок, А. А. Надежность горных машин и оборудования: Учеб. пособие / А. А. Хорешок, Г. Д. Буялич, Е. В. Прейс, М. Ю. Блащук. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 128 с.

27. Подэрни, Р. Ю. Механическое оборудование карьеров / Р. Ю. Подэрни. – М., 2007. – 678 с.

28. «Экскаваторы ЭКГ-8И, ЭКГ-6,3УС и ЭКГ-4У. Инструкция по эксплуатации. 3519.00.00.000 ИЭ».

29. «Экскаватор ЭКГ-10. Инструкция по эксплуатации. 3519.00.00.000.ИЭ».

30. «Экскаватор ЭКГ-5А. Механическая часть. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1085.00.00 ТО»

31. «Экскаватор карьерный гусеничный ЭКГ-15 и его модификации. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 3537.00.00.000 ТО».

32. «Экскаватор ЭКГ-12. Инструкция по эксплуатации. 11075.00-1 ИЭ».

33. «Экскаватор карьерный гусеничный ЭКГ-18. Руководство по эксплуатации. Общая часть. 11078.00.000 РЭ».
34. «Экскаватор карьерный гусеничный ЭКГ-32Р. Руководство по эксплуатации. 3547.00.000 РЭ».
35. «Инструкция машиниста экскаватора 2800XPB. Version 03 - 09/02».
36. «Экскаватор WK-35. Руководство по эксплуатации. DK1817.00.03SM РЭ».
37. ПО «Ижорский завод им. А.А. Жданова» «Расчет моментов инерции экскаватора ЭКГ-10. 3532.00.00.000 PP1» (1983 г.).
38. Экскаватор ЭКГ-18 зав.№1. Информационная система ИДС18. Руководство по эксплуатации. 28210.78.910 РЭ».
39. Паначев, И. А. Импульсное воздействие промышленных взрывов на конструкции экскаваторов / И. А. Паначев, М. Ю. Насонов // Материалы XI Международной научно- практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2006». – Кемерово, 2006. – С. 170-173.
40. Паначев, И. А. Увеличение межремонтных периодов карьерных экскаваторов нетрадиционным способом / И. А. Паначев, М. Ю. Насонов, А. А. Черезов // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2006». – Кемерово, 2006. – С. 140-142.
41. Паначев, И. А. Влияние грансостава взорванной горной массы и температуры окружающей среды на уровень нагруженности металлоконструкций экскаваторов / И. А. Паначев, М. Ю. Насонов, А. Н. Путятин // Материалы X Международной научно-практической конференции. «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2004». – Кемерово, 2004. – С. 182-184.
42. Квагинидзе В. С. Эксплуатация карьерного оборудования / В. С. Квагинидзе, В. Ф. Петров, В. Б. Корецкий: Учебное пособие для вузов. – М.: Мир горной книги, 2007. – 587 с.
43. Квагинидзе В. С. Диагностика, техническое обслуживание и ремонт карьерного горно-транспортного оборудования в условиях низких температур: дис. ... докт. техн. наук. – Кемерово, 2003. – 313 с.

44. Насосов М.Ю. Оценка долговечности несущих металлоконструкций одноковшовых экскаваторов при разработке взорванных горных пород: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Кемерово, 2009. – 36 с.
45. Карасев, Г. Н., Степанов, А.А. Обзор и анализ устойчивости экскаватора / Электронное издание СДМ - Строительные и дорожные машины и техника, кафедра ДСМ МАДИ, ПО Стройтехника, 2008 (<http://sdm.str-t.ru/publics/17/>).
46. Касьянов П.А. Моделирование рабочего процесса, механика, прочность и ресурс опорно-поворотных устройств шагающих драглайнов: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Екатеринбург, 1999. – 48 с.
47. Тотолин П. Е. Исследования работы опорно-поворотных устройств экскаваторов с целью уточнения методов расчета и конструирования. -Москва, 1985.
48. Рябов А.В. Совершенствование сварных металлоконструкций гидравлических экскаваторов на стадиях расчета, конструирования и изготовления: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 2006. – 19 с.
49. Павлов В.П. Методология эффективного проектирования одноковшовых экскаваторов: автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Москва, 2008. – 43 с.
50. Красникова Т.А. Обоснование и выбор рациональных параметров эксплуатации экскаваторов цикличного действия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург, 2012. – 19 с.
51. Дрыгин М.Ю. Разработка стационарного диагностического комплекса для одноковшовых экскаваторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2012. – 18 с.
52. Черезов А. А. Исследование динамических процессов экскаваторов-мехопат при разработке взорванных горных пород на разрезах Кузбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2013. – 19 с.
53. Панкратов С.А. Конструкция и основы расчета главных узлов экскаваторов и кранов. М., Машгиз. 1964. 540 стр. ил.
54. Панкратов С.А. Динамика машин для открытых горных и земляных работ. М.: Изд-во Машиностроение, 1967.-450 с.

55. Домбровский Н.Г. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения. М.: Изд-во Машиностроение, 1969.- 318 с.
56. Петерс Е.Р. Основы теории одноковшовых экскаваторов. М., Машгиз. 1955. 259 стр. ил.
57. Волков Д.П. Динамика и прочность одноковшовых экскаваторов. М.: Изд-во Машиностроение, 1965. - 465с.
58. Лагунова Ю.А. Экскаваторы-драглайны: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГВ, 2004.-107 с.
59. Хмызников К.П. Механическое оборудование карьеров. Одноковшовые экскаваторы : учебное пособие / К.П. Хмызников, Ю.В. Лыков; Санкт-Петербургский горный (технический университет). СПб, 2007. - 41 с. + вклейка.
60. Доронин С.В., Чурсина Т.А. Основы проектных расчетов горных машин и оборудования: Учеб. пособие / ГАЦМиЗ. – Красноярск, 2002. -76 с.
61. Доронин, С.В. Исследование и совершенствование методов проектных расчетов несущих металлоконструкций экскаваторов / С.В. Доронин, Т.А. Герасимова // Горное оборудование и электромеханика. – 2005. – №3. – С. 22–26.
62. Герасимова Т. А. Исследование и совершенствование методов проектных расчетов несущих конструкций экскаваторов : автореф. дис. канд. техн. наук / Т. А. Герасимова. – М. : ГУЦМиЗ, Красноярск, 2005. – 26 с.
63. Донской, В. М. Совершенствование методов проектирования и расчета карьерных экскаваторов / В. М. Донской, А. И. Федоров, Л. И. Шварц // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – №12. – С. 21–24.
64. Менчугин, А. В. Применение методов неразрушающего контроля при проведении технического диагностирования металлоконструкций одноковшовых шагающих экскаваторов / А. В. Менчугин, И. Д. Богомолов, П. В. Буянкин // Сборник лучших докладов студентов и аспирантов Кузбасского государственного технического университета по результатам 51-й студенческой научно-практической конференции, ГУ КузГТУ, 17–21 апр. 2006 / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. – с. 77–80.

65. Менчугин, А. В. Испытание несущих элементов металлоконструкций одноковшовых экскаваторов с использованием методов акустической эмиссии и тензометрии / А. В. Менчугин, П. В. Буянкин // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды VIII межд. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2006. – С.110-114.

66. Буянкин, П. В. Исследование условий нагружения элементов опорно-поворотных устройств экскаваторов типа «прямая мехлопата» / П. В. Буянкин // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды XI межд. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2009. – С.169-172.

67. Буянкин, П. В. Оценка влияния уклона рабочей площадки экскаваторов типа «прямая мехлопата» на нагрузки и отказы центральной цапфы опорно-поворотных устройств / П. В. Буянкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – № 5. – С. 10–14.

68. ГОСТ 8479-70. «Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия».

69. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т.1. - 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. - М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.: ил.

70. ГОСТ 1050-88 «Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия».

71. Крагельский И.В. Трение и износ. – Изд. 2-е перераб. и доп. М., изд-во «Машиностроение», 1968. - 480 с.

72. Буянкин, П. В. Расчет нагрузок в опорно-поворотном устройстве экскаватора-мехлопаты / П. В. Буянкин // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2014, №2. – С. 19–21.

73. ГОСТ 26883-86. «Внешние воздействующие факторы. Термины и определения».

74. Теория машин и механизмов: Учеб. для втузов / К.В. Фролов, С.А. Попов, А.К. Мусатов и др.; Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высш.шк., 1987.-496.:ил.

75. Хорешок, А. А. Исследование причин наклона поворотной платформы экскаватора-мехлопаты и оценка их воздействия на нагрузки опорно-поворотного устройства / А. А. Хорешок, П. В. Буянкин, Е. К. Соколова // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – №3. – С. 11-14.

76. Буянкин, П. В. Моделирование динамических нагрузок на опорно-поворотное устройство экскаватора-мехлопаты / П. В. Буянкин, Е. К. Соколова // Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды XV межд. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2013. – С.38-41.

77. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.: ил. + DVD – (Мастер).

78. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи / А.А. Алямовский. - СПб.: БХВ-Петербург, 2012. - 448 с.: ил. + DVD - (Мастер)

79. Новый политехнический словарь/ под ред. А. Ю. Ишлинского.- М.: Большая Российская энциклопедия, 2000- 671 с: ил.

80. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам. М.: Изд-во Машиностроение, 1987. - 561с.

81. Методические указания по проведению экспертизы промышленной безопасности карьерных самосвалов./ Б. Л. Герике, Р. П. Журавлев, А. Н. Смирнов [и др.] – Кемерово: изд. ГУ «Кузбасс. гос. техн. ун-т». Согласовано с Управлением по технологическому и экологическому надзору Ростехнадзора России по Кемеровской области. Кемерово, 2008. – 78 с.

82. Временная инструкция по оценке долговечности и остаточного ресурса металлоконструкций экскаваторов, продления межремонтных сроков их работы и сроков безопасной эксплуатации // НФ «КУЗБАСС-НИИОГР»; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2007. - 31 с.

83. Хорешок, А. А. Оценка эксплуатационных нагрузок на опорно-поворотное устройство экскаваторов-мехлопат /А. А. Хорешок, И.Д. Богомолов, П. В. Буянкин, А. В. Воробьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2014. – №6. – С. 43-46.

	Общество с ограниченной ответственностью "ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова"	
	Ижорский завод д.б/н, Санкт-Петербург, Колпино, 196650 тел.: (812) 322-83-72, факс: (812) 322-87-61	
	iz-kartex@omzglobal.com	www.iz-kartex.com
	ОКПО 74816237 / ОГРН 1047855158780	ИНН 7817301375 / КПП 783450001

Исх. № 2145
от «23» 04. 2014г.

Директору
НФ «КУЗБАСС-НИИОГР», к.т.н.
С.И. Протасову

На №1-151 от 14.03.2014

Уважаемый Сергей Иванович,

В ответ на Ваше обращение сообщаем, что предложенный вариант центральной цапфы (чертеж 3519.06.001.000 СБ) с модернизированной конструкцией верхней части (головки) действительно снизит напряжения в местах концентрации.

В части проведения пробных испытаний устройства измерения и контроля угла наклона, а также блокировки работы механизма подъема ковша экскаватора ЭКГ-10 сообщаем, что такие работы возможны при условии выполнения требований безопасности, но без изменения штатной системы управления приводами. Для определения возможности монтажа предложенного устройства в штатную систему управления приводами нам необходимо рассмотреть техническую документацию, по результатам анализа которой мы сможем принять окончательное решение.

При следующей модернизации конструкции экскаваторов ЭКГ-10 и их модификаций нами будут проработаны новые варианты центральной цапфы и устройства контроля угла наклона.

Главный конструктор



Д.А.Мельников

УТВЕРЖДАЮ:
 Директор филиала
 ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»
 «Бачатский угольный разрез»
 И.С. Присезжев
 «23» « 04 » 2014 г.



**АКТ ИСПЫТАНИЙ
 УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ УГЛА НАКЛОНА И ОГРАНИЧЕНИЯ РАБОТЫ
 МЕХАНИЗМОВ ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА
 В УСЛОВИЯХ ФИЛИАЛА ОАО «УК «КУЗБАССРАЗРЕЗУГОЛЬ»
 «БАЧАТСКИЙ УГОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ»**

пгт. Бачатский

«23» « 04 » 2014 года

Комиссией в составе:

Председатель

Заместитель директора – технический директор филиала
 «Бачатский угольный разрез»

Понихидников Ю.А.

Члены комиссии:

Заместитель главного механика филиала «Бачатский
 угольный разрез»

Харланцев О.П.

Старший преподаватель кафедры «Горные машины и
 комплексы» КузГТУ

Буянкин П.В.

Инженер-механик

Шмырев О.В.

Заместитель директора по экспертизе промышленной
 безопасности Новационной фирмы «КУЗБАСС-НИИОГР»,
 эксперт высшей квалификации, к.т.н.

Самусев П.А.

Ведущий инженер-механик Новационной фирмы
 «КУЗБАСС-НИИОГР», эксперт

Завьялов А.Н.

проведены экспериментальные испытания устройства контроля угла наклона и блокирования механизма подъема ковша, установленного на ЭКГ-10 зав.№328.

Испытания проведены в соответствии с требованиями «Технического регламента о безопасности машин и оборудования» (ТР ТС 010/2011), РД 03-41-93 «Инструкция о порядке проведения эксплуатационных испытаний новых образцов горно-шахтного оборудования» и ПБ 05-619-03 «Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом.

1. Объект испытаний

Объектом испытаний является устройство контроля угла наклона и блокирования механизма подъема ковша экскаватора (далее устройство контроля и блокировки), разработанное Буянкиным П.В. в ходе диссертационных исследований и выполненное на базе креномера КСЦ-1 (зав.№0478, 2013 г.в.), установленное на экскаваторе ЭКГ-10 зав.№328 филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез».

2. Место, сроки, условия и объем испытаний

Испытания устройства контроля наклона и блокировки проведены в период с 02.02.2014 г. по 02.04.2014 г. в условиях филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез» при выемке и погрузке горных пород III-IV категории по экскавации в различные транспортные средства, а также при перегоне экскаваторе в условиях знакопеременных температур.

3. Краткое описание конструкции и принципа работы устройства

Устройство контроля наклона и блокировки, выполненное на базе креномера КСЦ-1, состоит из датчика, блока индикации (обработки информации) с исполнительным реле, имеющим «сухой контакт». Провода питания и управления взяты из комплекта поставки креномера, на выходные концы проводов дополнительно устанавливались и использовались зажимы типа «крокодил», что исключило скрутки в штатных цепях управления оборудованием экскаватора, обеспечивая скорость и мобильность монтажа системы. Прибор имеет два режима работы: до 5 градусов для экскавации (с функцией звуковой и световой сигнализации и возможностью блокировки механизма подъема ковша при превышении допустимого угла наклона экскаватора), до 15 градусов для перемещения (с функцией звуковой и световой сигнализации).

Датчик угла наклона, устанавливался на отдельном основании в кузове экскаватора на поворотной платформе (на продольной оси вращения, между центральной цапфой и компрессорной установкой).

Блок индикации находился в кабине экскаватора в пределах видимости и слышимости машинистом. Питание осуществлялось путем подключения устройства в цепи управления экскаватора.

Для автоматизации управления устройством задействован штатный переключатель режимов работы экскаватора (ход-экскавация), сигналы которого передаются на блок индикации для выбора режима его работы, необходимого для приведения в действие исполнительного реле отключения в режиме экскавации.

Датчик угла наклона имеет заводскую поверку, при этом работа датчика была проверена в лабораторных условиях путем регулировки болтами угла наклона основания датчика путем сравнения с показаниями горного компаса.

4. Результаты внедрения (испытаний)

Испытания нового устройства выполнялись на следующих режимах:

- черпание;
- упирание ковшом в грунт площадки;
- при полном вылете рукояти с максимально наполненным ковшом;
- перемещение.

Испытание установленного на горизонтальной площадке экскаватора показало, что при черпании, в том числе с условием стопорения ковша в забое, машина наклоняется (имеется крен) в сторону ковша на величину до 4 градусов, при этом экскаватор периодически качается. Поперечный наклон (дифферент) незначительный, не превышает 1 градуса. Это свидетельствует о недостаточной несущей способности грунта рабочей площадки и о том, что зазоры опорно-поворотного устройства (зазор на шайбе гайки центральной цапфы и нижней рамы) максимально выбраны.

Измерения угла наклона платформы, выполненное при упирании ковшом в грунт площадки, и при полном вылете рукояти с максимально наполненным ковшом показали, что величина наклона не превышала 2 градуса.

Эксперимент показал, что при перемещении экскаватора по трассе с различными углами наклона (уклонами) устройство контроля работает, при этом привода рабочих механизмов не блокируются, что актуально в случае необходимости срочного удаления экскаватора из опасной зоны при затоплении горной выработки, осыпанию горной массы.

Черпание ковшом экскаватора горной массы на наклонной площадке показало, что при величине угла ее наклона в 4,5 градуса происходит прерывистая звуковая и световая сигнализация. При достижении предельного угла наклона экскаватора (5 градусов) происходит замыкание контактов исполнительного реле, воздействующего на реле концевого выключателя механизма подъема, тем самым блокируется подъем ковша и исключается черпание. Возможность опускания ковша для выравнивания экскаватора при этом остается.

5. Рекомендации по результатам испытаний

5.1. Уточнить величину допустимого угла наклона экскаватора ЭКГ-10 в забое, в том числе при черпании.

5.2. По результатам указанных исследований предложить решения по доработке конструкции элементов опорно-поворотного устройства для периодической работы экскаватора на наклонной площадке.

6. Выводы

6.1. Устройство контроля угла наклона и блокировки механизма подъема ковша экскаватора обеспечивает возможность соблюдения заводских требований по углам наклона машины в режиме экскавации и перемещения.

6.2. Конструкция устройства контроля позволяет исключить работу экскаватора в режиме черпания горной массы при увеличении угла наклона машины и не исправным блоком обработки информации устройства контроля.

6.3. Комиссия считает целесообразным установку устройства контроля угла наклона и блокировки механизма подъема ковша на одноковшовые экскаваторы.

6.4. Рекомендовать заводам-изготовителям одноковшовых экскаваторов устанавливать предложенное устройство на новых машинах.



Понихидников Ю.А.



Харланцев О.П.



Буянкин П.В.



Шмырев О.В.



Самусев П.А.



Завьялов А.Н.

НОВАЦИОННАЯ ФИРМА

INNOVATION FIRM

КУЗБАСС-НИИОГР

KUZBASS-NIIOGR



Почтовый адрес:
650054, Кемерово,
Пионерский бульвар, 4а

Офис: г. Кемерово, ул. Мичурина, 13, 411
Тел./факс 52-33-56, 52-31-75
E-mail: firma@kuzbass-niiogr.ru

03.03.2015 № 1-19/

В диссертационный совет Д 212.102.01

по специальности 05.05.06

[Справка о внедрении]

«Горные машины» на базе КузГТУ

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

Подтверждаем, что фирмой по разработке и реализации эффективных новаций «КУЗБАСС-НИИОГР», являющейся научно-исследовательской и экспертной организацией при разработке «Методических указаний по проведению экспертизы промышленной безопасности одноковшовых экскаваторов для предприятий Кузбасса» (ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2008) реализованы предложения по оценке технического состояния металлоконструкций платформ и опорно-поворотных устройств, предложенные Буянкиным П.В. в кандидатской диссертации на тему «Обеспечение устойчивости поворотных платформ экскаваторов-мехлопат». В настоящее время нами, по согласованию с Ростехнадзором, завершается опытная апробация указанных «Методических указаний ...» на предприятиях Кемеровской области и они будут переданы в Ростехнадзор для утверждения в качестве отраслевого нормативно-методического документа по безопасности (РБ).

Результаты теоретических исследований соискателя Буянкина П.В. учтены также в работах по определению циклической нагруженности металлоконструкций, приведенных во «Временной инструкции по оценке долговечности и остаточного ресурса металлоконструкций экскаваторов, продления межремонтных сроков их работы и сроков безопасной эксплуатации» (ИФ «КУЗБАСС-НИИОГР», ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2007).

Апробация установленного на экскаваторе ЭКГ-10 №328 филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез» устройства контроля угла наклона экскаватора и блокирования механизма подъема ковша, разработанного Буянкиным П.В., в режиме экскавации при предельном угле наклона подтвердила обоснованность выбранных технических решений по обеспечению устойчивости поворотной платформы и недопущению максимальных нагрузок на опорно-поворотное устройство машины.

Письмо ООО «ИЗ-КАРТЭКС им П.Г. Коробкова» от 23.04.14 №2145 о готовности модернизации центральной цапфы и применения устройства контроля угла наклона и блокирования механизма подъема ковша также акт испытаний этого устройства с участием экспертов новационной фирмы «КУЗБАСС-НИИОГР» прилагаются.

Директор Новационной фирмы
«КУЗБАСС-НИИОГР», к.т.н.

С.И. Протасов

Технический эксперт, к.т.н.

П.А. Самусев

Ведущий инженер-механик, эксперт

А.Н. Завьялов

