

На правах рукописи

До Дык Чонг



**ОЦЕНКА НАГРУЖЕННОСТИ ОСНОВНЫХ
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ЭКСКАВАТОРОВ ЭКГ-10,
РАБОТАЮЩИХ НА УГОЛЬНЫХ
РАЗРЕЗАХ ВЬЕТНАМА**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2022

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Насонов Михаил Юрьевич

Официальные оппоненты:

Герике Борис Людвигович

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук», лаборатория угольного машиностроения, главный научный сотрудник;

Казаков Сергей Владимирович

кандидат технических наук, научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (акционерное общество), ведущий инженер-конструктор.

Ведущая организация – Общество с ограниченной ответственностью «Фирма по разработке и реализации эффективных новаций «КУЗБАСС-НИИОГР», Кемерово.

Защита диссертации состоится **29 сентября 2022 г. в 16:00** на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.07 Горного университета по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, **ауд. 1163**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 29 июля 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ЗВОНАРЕВ
Иван Евгеньевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Рост экономики Вьетнама во многом зависит от добычи угля, который используется для выработки электроэнергии на электростанциях, в металлургической промышленности и для отопления помещений в зимний период. Рост угольной отрасли Вьетнама зависит от развития открытого способа добычи угля и других полезных ископаемых. В этом направлении огромную роль играют экскаваторы, работающие на перевалке взорванных и невзорванных скальных пород и погрузке угля. На разрезах Вьетнама работает значительное количество экскаваторов ЭКГ-10 и других марок, однако большая часть этих экскаваторов имеет большой срок службы, и поэтому большая доля их должна быть снята с эксплуатации, несмотря на это они продолжают работать. Горная промышленность занимает особое положение среди других отраслей экономики как наиболее фондоемкая отрасль промышленности.

Эффективность производства зависит от эффективности использования основных фондов, активную часть которых составляет горное оборудование, в том числе и экскаваторы. На содержание оборудования расходуется до 30% всех затрат, определяющих себестоимость продукции при добыче угля, прибыль и конкурентоспособность горного предприятия. Рассматривая работу карьерных экскаваторов необходимо отметить их высокую фондовооруженность, материалоемкость, энергоемкость, металлоемкость и высокую стоимость. Это дает высокую производительность и эффективность. Поэтому их незначительные простои значительно снижают прибыль предприятия и в отдельных случаях дают убытки.

Основная задача службы главного механика – это сокращение простоев, которые возникают в результате отказов различного оборудования экскаваторов. Стратегия технического обслуживания экскаваторов возможна по двум направлениям: первое – техническое перевооружение, т.е. замена экскаваторов, выработавших свой срок службы на новые; второе – организация правильного обслуживания и ремонта.

Исследования причин выхода из строя экскаваторов установили, что наибольшая часть до 70% это выход из строя механического оборудования, на втором месте стоит выход из строя металлоконструкций до 30% поломок. Причиной выхода из строя металлоконструкций является образование трещин в основном металле и сварных швах. Уменьшение числа аварийных ситуаций вызванных образованием трещин в металлоконструкциях возможно за счет создания модели воздействия горных пород на элементы экскаватора при их экскавации.

В связи с этим разработка алгоритма оценки технического состояния несущих конструкций экскаваторов, для исключения их разрушения, и увеличения их безаварийного срока работы путем постановки на ремонт может считаться своевременным и актуальным. Уровень надежности и работоспособности эксплуатации электрических карьерных экскаваторов (ЭКГ) на горных предприятиях Вьетнама должен быть таким, чтобы снижалась доля отказов основных металлоконструкций, приводящих к сложному и продолжительному ремонту.

Низкий уровень надежности вызывает снижение работоспособности, что вызывает прекращение функционирования сложной технической системы в результате отказа по причинам разрушения металлоконструкций. Весьма важным для угольных карьеров является наличие высокой готовности экскаваторов, за счет уменьшения аварийных ситуаций, снижения продолжительности ремонтов, что повысит эффективность их применения.

Степень разработанности темы исследования.

В диссертационной работе рассматривается два вопроса – это определение механических нагрузок, возникающих в конструкциях экскаваторов при экскавации горных пород, и оценка технического состояния этих металлоконструкций при наличии развивающихся трещин.

Большая исследовательская работа об исследовании нагрузок на металлоконструкции экскаваторов при разработке пород I-III категории (классификация Ю.И. Белякова) проведена в работах К.Е. Веницкого, Д.П. Волкова, Н.Г. Домбровского, Н.В. Мельнико-

ва, А.Н. Зеленина Л.И. Кантовича, В.Р. Кубачека, С.А. Панкратова, Р.Ю. Подэрни, Б.И. Сатовского установлены уровни нагрузок для различных экскаваторов. Влияние взорванных пород на напряжения, возникающие в металлоконструкциях экскаваторов, исследованы в работах И.А. Паначева, К.В. Антонова, А.Н. Путятин, А.А. Черезова. В области исследований функционирования конструкций в условиях развития трещин большую роль сыграли работы Д. Броека, В.В. Болотина, Г.М. Волохова, С.Н. Журкова, В.П. Когаева, К.Д. Махутова, В.В. Москвичева, А.Н. Романова, В.Т. Трощенко, Д.А. Трощенко, С.В. Серенсена, Н.А. Хапонена, Г.П. Черепанова, А.А. Шаталова.

Исследования показывают, что надежность горных машин требует своего повышения, и она определяется горнотехническими, организационными, климатическими и эксплуатационными причинами. Отказ одного из критических элементов металлоконструкции экскаватора способен привести к остановке всего производственного процесса. В научных работах, связанных изучением надежности карьерных экскаваторов, не полностью исследованы направления по ее повышению с использованием статистических данных, выделяющих отдельные металлоконструкции отказы которых могут нанести значительный урон. Определение их предотказного состояния позволило бы выполнять ремонт исключая отказы и продлевая сроки нормальной эксплуатации. В связи с чем проведение исследований в области надежности, является актуальным.

Объект исследования – металлические конструкции экскаваторов ЭКГ-10 в процессе разработки горных пород

Предмет исследования – развитие трещин в металлических конструкциях экскаваторов – типа прямая лопата при разработке горных пород.

Цель работы

Повышение надежности карьерных экскаваторов на горных предприятиях Вьетнама посредством проведения предупреждающих ремонтов их металлоконструкций, что уменьшает время приведения экскаваторов в нормальное состояние, создает необходимый уровень технической готовности и сокращает эксплуатационные расходы.

Идея работы заключается в продлении периода эксплуатации сложной технической системы путем проведения предупреждающих текущих ремонтов элементов металлоконструкций экскаватора, наиболее подверженных выходу из строя, обеспечивающих необходимый уровень надежности, дающих возможность увеличивать период работы до необходимого уровня.

Основные задачи исследования

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеследующих задач:

1. Оценить экскаватор, как сложную техническую систему и выявить наиболее критические элементы металлоконструкций, влияющие на число отказов работы машины;
2. Оценить нагруженность выявленных критических элементов металлоконструкций экскаваторов;
3. Провести экспериментальные исследования и имитационное моделирование критических металлоконструкций экскаваторов при помощи конечно-элементного способа;
4. Разработать практические мероприятия по продлению срока безопасной эксплуатации и своевременной постановке экскаваторов на ремонт.

Научная новизна работы

1. Найдены зависимости между взрывной подготовкой горных пород и скоростью роста трещин в основных металлоконструкциях экскаваторов ЭКГ-10;
2. Установлены закономерности изменений нагруженности металлоконструкций экскаваторов ЭКГ-10 при разработке невзорванных пород;
3. Созданы алгоритмы оценки долговечности металлоконструкций экскаваторов ЭКГ-10 при разработке взорванных и невзорванных горных пород.

Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты исследования позволяют:

1. Оценивать долговечность металлоконструкций экскаваторов в условиях развивающихся трещин при разработке горных пород;

2. Увеличивать продолжительность работы элементов конструкций ЭКГ-10, исключать аварии при разработке горных пород;

3. Указывать продолжительность безаварийной эксплуатации металлоконструкций экскаваторов и необходимое время ремонтов.

Результаты работы могут быть использованы в процессе реализации научных проектов для оценки долговечности металлоконструкций экскаваторов в условиях развивающихся трещин при разработке горных пород, увеличения продолжительности работы элементов конструкций ЭКГ-10, исключения аварий при разработке горных пород в «Институте Энергетического и Горного Машиностроения – Винакомин», Вьетнам (акт о внедрении от 28.03.2022).

Результаты диссертации могут быть использованы в учебном процессе в университетах Вьетнама (акт внедрения результатов в Промышленном университете Куангниня, Вьетнам от 10.02.2022).

Методология и методы исследований

Исследования выполнялись на основе изучения литературных источников; аналитических, лабораторных и натурных работ с обработкой результатов математической статистикой; моделирование работы металлоконструкций экскаваторов с использованием строительной механики, теории упругости; синтезирование теоретических и экспериментальных исследований в общую концепцию.

На защиту выносятся следующие положения

1. На основе статистического анализа выявлены наиболее опасные элементы металлоконструкций экскаватора как сложной технической системы, которыми являются стрела экскаватора и двуногая стойка, на них приходится 35 % и 15 % отказов работы.

2. Используя комплексность теоретического и экспериментального исследований получены зависимости скорости роста усталостных трещин в зависимости от среднего диаметра куса и коэффициента разрыхления пород; установлено, что увеличение среднего диаметра куса в развале при его разработке экскаватором с 0,2 до 0,5 м приводит к увеличению относительной скорости роста усталостных трещин в металлоконструкциях экскаваторов ЭКГ-10 в 2,25 раза, а снижение коэффициента разрыхления с 1,5 до 1,1 в 1,35 раза,

при этом снижается в среднем в 1,33 раза число циклов нагружения до достижения трещинами их критических длин.

Степень достоверности результатов исследования.

Научных положений, выводов и рекомендации подтверждаются: теоретическими исследованиями, связанными с фундаментальными положениями, теории упругости, строительной механики, механики разрушения, математического анализа; достаточным объемом экспериментальных исследований, полученных в лабораторных и натурных условиях; применением проверенных компьютерных программ.

Апробация результатов

Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях:

1. VI Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME –2019». г. Санкт-Петербург, 2019 г.
2. Международная научно-практическая конференция «Научно-практические исследования». г. Москва, 2020 г.
3. VIII Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME –2021». г. Санкт-Петербург, 2021 г.
4. XVII International Forum-Contest of Students and Young Researchers «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources», г. Санкт-Петербург, 2021 г.

Личный вклад автора заключается в исследовании влияния свойств развала взорванных горных пород и невзорванных пород в массиве на рост трещин в несущих конструкциях экскаваторов; в создании расчетных моделей роста трещин в элементах металлоконструкций экскаваторов с учетом условий работы, в создании алгоритмов оценки тех. состояния и долговечности металлоконструкций экскаваторов при наличии сварочных дефектов и продления сроков их безаварийной эксплуатации.

Публикации

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях

из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 1 статье - в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 123 наименований, 3 приложений. Диссертация изложена на 104 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков и 4 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулирована цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимость исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ проблемы, проведен обзор условий угольных бассейнов Вьетнама и Кузбасса РФ, схожесть их горно-геологических и горнотехнических условий, сравнены парк экскаваторов. Рассмотрены причины трещинообразования и основные металлоконструкции, имеющие трещины. Показаны существующие методы оценки надежности металлоконструкций машин. Поставлены цели и задачи исследования.

Во второй главе приведены методики, использовавшиеся в исследовании. Основным для получения экспериментальных данных о деформациях и напряжениях в металлических конструкциях при экскавации горных пород был принят тензометрический метод. Были подробно рассмотрены существующие приемы использования данного метода, получения информации и ее обработки, приборы и тензодатчики. Описана методика определения параметров развала при подготовке к экскавации, технические способы обнаружения трещиноподобных дефектов, критерии постановки на ремонт списания машин.

В третьей главе рассмотрены причины образования трещин в металлоконструкциях экскаватора ЭКГ-10, наиболее опасные элементы и зоны. Установлено, что наиболее часто выходящими из строя являются стрела экскаватора и рукоять. Представлены результаты экспериментальных исследований взаимодействия ковша экскаватора с породами при их экскавации. Исследованы нагрузки, возникающие в металлоконструкциях при разработке взорванных и невзорванных пород. Показано влияние качества подготовки пород к разработке, влияние среднего диаметра куска в развале пород и коэффициента разрыхления.

В четвертой главе представлены результаты конечно элементного моделирования элементов конструкций экскаватора. Показаны результаты патентной разработки нового вида ковша со шнековым исполнительным органом и внутренним двигателем, предназначенного для экскавации невзорванных мелкоблочных пород. Представлены алгоритмы создания теоретических гистограмм нагружения экскаватора и алгоритмы расчета долговечности конструкции с растущей трещиной.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. На основе статистического анализа выявлены наиболее опасные элементы металлоконструкций экскаватора как сложной технической системы, которыми являются стрела экскаватора и двуногая стойка, на них приходится 35 % и 15 % отказов работы

Считается, что при погрузке породы в автосамосвал или перевалке породы нагрузочный цикл равен экскавационному циклу, а другие варианты не рассматриваются. В то время как столкновение ковша экскаватора с кусками пород или разрушение блоков массива создает дополнительные циклы нагружения.

Причины циклов нагружения при экскавации горных пород кроме стандартных, подразделяются на следующие виды:

- некондиционные куски породы;
- плотность развала, характеризуемая коэффициентом разрыхления;

– невзорванные блоки породы.

Наблюдение за состоянием экскаваторов позволяет предотвращать ситуации, при которых обычный ремонт превращается в замену работавших экскаваторов на новые. С экономической точки зрения это большие затраты, в то время как затраты на систему наблюдений и расчетов несоизмеримо меньшие.

Исследования влияния основных параметров развала пород на долговечность металлоконструкций экскаваторов в течение продолжительного периода показали нижеследующие результаты. Увеличение среднего диаметра куса в развале пород в два раза с 0,25 до 0,5 м показало, что длительность разбития трещин до критического размера сокращалась в 3,8 раза.

Проблемы проектирования обычно вызываются недостаточным исследованием условий работы экскаватора, имеющимся научным набором фактов. Неправильная эксплуатация связана с пренебрежением проверки работ при изготовлении экскаватора и недостаточным вниманием при работе экскаватора к погодным условиям и качеству подготовки пород взрывом.

Проведенные исследования показали, что наибольшая часть отказов из общего числа приходится на металлические конструкции экскаватора ЭКГ-10 – 0,32 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Распределение относительного потока отказов экскаватора ЭКГ-10 по узлам и причинам простоев

Среди металлических конструкций наибольшую часть отказов имеют рукоять и стрела: 20 % и 32 % соответственно (рисунки 2 и 3).

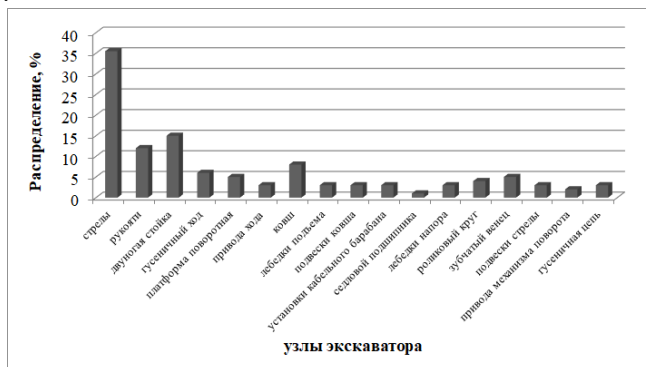


Рисунок 2 – Распределение относительного потока отказов по элементам металлоконструкций и механизмам экскаватора ЭКГ-10

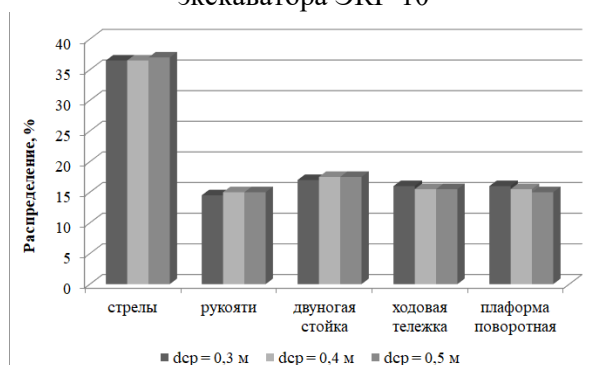


Рисунок 3 – Распределение относительного потока отказов по элементам металлоконструкций ЭКГ-10 в зависимости от подготовки пород к экскавации

Статистический анализ показал, что наиболее часто выходящие из строя элементы – это рукоять, стрела и надстройка

2. Используя комплексность теоретического и экспериментального исследований получены зависимости скорости роста усталостных трещин в зависимости от среднего диаметра

куска и коэффициента разрыхления пород; установлено, что увеличение среднего диаметра куска в развале при его разработке экскаватором с 0,2 до 0,5 м приводит к увеличению относительной скорости роста усталостных трещин в металлоконструкциях экскаваторов ЭКГ-10 в 2,25 раза, а снижение коэффициента разрыхления с 1,5 до 1,1 в 1,35 раза, при этом снижается в среднем в 1,33 раза число циклов нагружения до достижения трещинами их критических длин.

Приведены результаты экспериментальных исследований механической нагруженности карьерных экскаваторов типа ЭКГ-10. Экскаваторы исследовались при работе на взорванных и невзорванных породах различных предприятий Кузнецкого угольного бассейна открытой угледобычи.

Для исследования влияния взрывной подготовки пород к экскаваторной разработке была выбрана классификация И.А. Паначева. Согласно его теории массивы состоят из мелкоблочных пород – со средним диаметром – 0,3 м; среднеблочных – 0,8 м и крупноблочных – 2 м (рисунок 4).

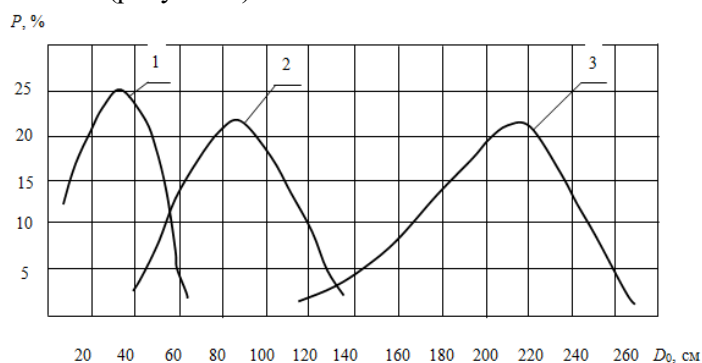


Рисунок 4 – Распределение пород по блочности:

1 – мелкоблочные; 2 – средней блочности; 3 – крупноблочные

Крупноблочная категория пород для экскавации подготавливается взрывом, среднеблочная и мелкоблочная разрабатывается без взрывной подготовки.

В результате установлено, что экскавация пород после взрывной подготовки, при раскладке некондиционных кусков породы, приводит к значительным скачкам напряжений в металлоконструкциях экскаваторов, и меньшим – при наполнении ковша экскаватора кондиционной массой.

После отрыва ковша колебания напряжений в металлоконструкциях резко уменьшаются и доходят до минимума и снова возрастают при разгрузке (рисунки 5, 6).

Экскавация среднеблочных невзорванных горных пород приводит к всплескам напряжений в металлоконструкциях экскаваторов при движении ковша в массиве. При этом прохождение цельного блока вызывает всплески напряжений меньшие, по сравнению с всплесками в зоне перехода между блоками (рисунок 7).

При экскавации мелкоблочной невзорванной горной породы уровень нагруженности металлоконструкций экскаватора ЭКГ-10 по циклам представлен на рисунке 8.

Грансостав в развале связан с взрывной подготовкой, во многих случаях при взрывах остаются неразрушенные куски породы. Согласно Паначеву И.А. в среднеблочных породах размер таких куском может достигать длины 0,8 м и ширины 0,4 м, в крупноблочных – 2 и 1 м.

Такие куски трудно экскавируемы, так как их размеры сравнимы с размерами ковша ЭКГ-10 и их надо относить к некондиционным.

Число кондиционных кусков в развале пород с диаметром выше заданной величины может быть рассчитана при помощи Бирюкова А.В.

Исследование механической нагруженности металлоконструкций экскаваторов проводилась при помощи тензометрирования при работе в местах с различным грансоставом: $d_{cp} = 0,2 \div 0,5$ м, $K_p = 0,3$. Изучалась работа наиболее нагруженных элементов стрелы и рукояти.

Исследования показали возрастание среднего диаметра куска в развале с 0,2 м до 0,5 м увеличивает максимальные усилия в стреле и рукояти 1,2 и 1,3 раза соответственно. Установлено, что усилия в

металлоконструкциях при переносе ковша из забоя к месту выгрузки, распределяются согласно нормальному закону (рисунок 9).

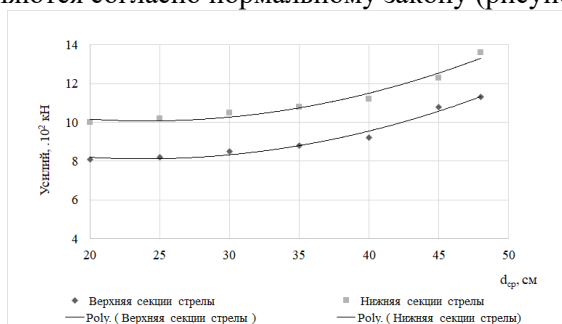


Рисунок 9 – Зависимость усилий в металлоконструкциях экскаватора ЭКГ-10 от среднего диаметра куска

При разработке участков с диаметром куска выше среднего в диапазоне $0,3 \div 0,5$ м инициировало преобразование многократно большего числа дефектов в трещины. Исследования установили, что при работе экскаваторов в забоях со средним диаметром куска более $0,45$ м наличествует значительное число всплесков напряжений – до одной шестой выше предела выносливости.

Трещины в металлоконструкциях развиваются весьма продолжительно и дорастают до критического размера за длительный период, поэтому иметь алгоритм с помощью которого можно было бы определять продолжительность роста трещины до опасного состояния является очень важным.

Значительное влияние на нагруженность экскаваторов оказывает средний коэффициент разрыхления развала породы: для условий Вьетнама он может быть принят равным $1,35$.

Однако для расчетов долговечности необходимо знать количество циклов с разной амплитудой в зависимости от K_p по слоям развала. Развал пород можно разделить на три зоны: внешний слой, промежуточный слой и внутренний слой. Большие нагрузки при разработке внешнего слоя, меньшие внутреннего слоя и снова увеличенные в нижнем слое.

Два параметра d_{cp} и K_p ведут увеличению напряжений в металлоконструкциях в 4 раза при увеличении d_{cp} с 0,1 м до 0,3 м и одновременном уменьшении K_p с 0,5 до 0,1 (рисунок 10).

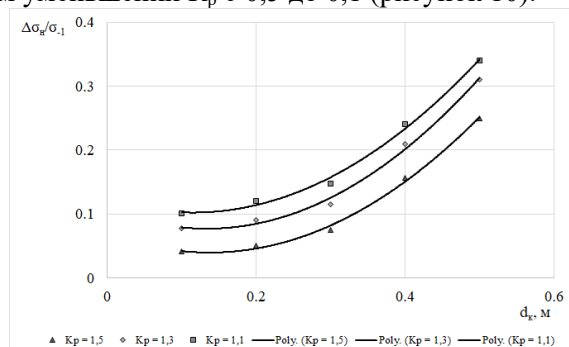


Рисунок 10 – Зависимость относительных амплитуд напряжений в стреле экскаватора ЭКГ-10 от диаметра кондиционного куска и коэффициента разрыхления пород: $\Delta\sigma_n/\sigma_{-1}$ – отношение размаха номинальных напряжений к пределу усталости; d_k – средний кондиционный диаметр куска в развале

В результате установлено, что трещинообразование и развитие трещин связано с экскавацией горных пород, которую можно разделить на следующие этапы:

1. Удаление крупных кусков породы с поля работы;
2. Черпание оставшейся массы;
3. Подъем ковша, перемещение ковша к разгрузке, разгрузка ковша, возвращение в рабочую позицию.

Методика оценки долговечности экскаваторов с учетом законов механики разрушения предполагает знание достаточно большого числа факторов и условий. К ним относятся размеры и конструктивные особенности исследуемой детали, тип и размеры присутствующего в ней дефекта, прочностные, статические и циклические свойства материала.

Согласно существующим методикам расчета усталостной долговечности (малоцикловой усталости и циклической прочности) элементов конструкций экскаваторов производится оценка в соот-

ветствии с нормативными параметрами нагружения для различных условий его работы.

Эта оценка является обобщенной и в значительной мере усредненной, проводимой по сведениям многолетних наблюдений. Такое усреднение приводит во многих конкретных ситуациях к существенным ошибкам. В предельном случае, она ограничивается сведениями о влиянии грансостава и коэффициента разрыхления пород на нагруженность отдельных типов экскаваторов без привязки полученных сведений к иным, кроме исследованных, элементов металлоконструкций.

В результате установлены зависимости изменения числа циклов механического нагружения и величин средних амплитуд от грансостава взорванных пород. Установлено, что с увеличением среднего диаметра куска в развале увеличивается относительное число циклов механического нагружения металлоконструкций экскаватора – n/V , где n – число циклов нагружения, V – объем переработанной горной массы (рисунок 11).

При разложении циклограмм нагружения на амплитудные уровни с увеличением среднего диаметра куска в развале от 0,2 до 0,5 происходят увеличение n/V : на уровне средней относительной амплитуды – 0,3 от уровня максимальной – 3,4 в раза; при 0,5 от максимальной – в 4,9 раз; при 0,7 от максимальной – в 5,5 раза. Величины средних амплитуд циклов нагружения – $\Delta\sigma/\sigma_{-1}$ возрастают в зависимости от изменения d_{cp} от 0,2 м до 0,5 м в 5,5 раз (рисунок 12).

В результате получены зависимости допускаемого числа циклов черпания – $N_{\text{ч}}$ для экскаватора ЭКГ-10 от среднего диаметра куска в развале – d_{cp} при различной начальной длине трещины (рисунок 13).

Увеличение в развале пород d_{cp} от 0,2 до 0,5 м вызывает ускорение развития трещин в металлоконструкциях экскаватора в 2,25 раза, при этом число циклов нагружения необходимого для подрастания стандартного начального размера до критического уменьшается в 1,33 раза.

Экспериментально были получены усилия в элементах металлоконструкций экскаваторов ЭКГ-10 при разработке невзорван-

ных мелкоблочных пород. Условия, соответствующие экскавации мелкоблочных невзорванных пород: средний диаметр блока – 0,2 м и максимальный размер блока – 0,7 м (рисунок 14).

Это значительно упрощает процесс движения ковша. Величины скачков варьируются от 0,1, σ_n / σ_{-01} до 0,15 σ_n / σ_{-01} при разрушении блока породы и от 0,15, σ_n / σ_{-01} до 0,2 σ_n / σ_{-01} .

Полученные результаты исследований позволяют по параметрам забоя, по виду пород, объему использованного ВВ определять грансостав взорванных пород или по параметрам невзорванных пород получать теоретические циклограммы нагружения. Эти циклограммы дают точное число циклов нагружения по уровням амплитуд.

Полученные циклограммы позволяют производить расчет продолжительности роста трещин, устанавливать оптимальные сроки постановки экскаваторов на ремонт и могут быть использованы при оценке долговечности несущих металлоконструкций экскаваторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи - разработана методика оценки долговечности металлоконструкций экскаватора ЭКГ-10 при экскавации горных пород, обеспечивающая продления их безопасной эксплуатации на длительный период в условиях угольных разрезов Вьетнама и имеет важное народнохозяйственное значение для Социалистической Республики Вьетнам.

Основные научные и практические результаты работы, полученные лично автором, заключаются в нижеследующем.

1. Разработанная методика позволяет предотвращать внезапные аварии металлоконструкций экскаватора от развития трещин, своевременно ставить экскаваторы на ремонт.

2. Постоянное использование способов дает возможность работать экскаваторам длительное время при наличии растущих трещин.

3. Наиболее опасными элементами металлоконструкций экскаватора, являются стрела экскаватора и двуногая стойка, на них приходится соответственно 35% и 15% отказов работы.

4. Увеличение среднего диаметра куска развала пород с 0,2 м до 0,5 м приводит к увеличению скорости роста усталостных трещин в металлоконструкциях ЭКГ-10 в 1,5 раза.

5. Снижение коэффициента разрыхления с 1,5 до 1,1 в 1,35 раза, при этом снижается в среднем в 1,33 раза число циклов нагружения до достижения трещинами их критических длин.

6. Разработка невзорванных пород с размерами блоков от 0,1 м до 0,5 м приводит к увеличению средней амплитуды цикла нагружения в 2,2 раза и увеличению скорости роста трещины в 1,8 раза и описывается линейной зависимостью.

7. Основным фактором, влияющим на трещинообразование в металлоконструкциях экскаваторов, является наличие случайных перегрузок, возникающих вследствие столкновения ковша с некондиционными кусками породы (55%), слоями разрушенных пород с низким коэффициентом разрыхления (25%), не взорванными естественными отдельностями (20%).

8. При переходе от мелкоблочных невзорванных пород к среднеблочным скорость роста трещин в металлоконструкциях экскаватора ЭКГ-10 увеличивается скачкообразно в 1,4 раза и в дальнейшем возрастает в зависимости от среднего диаметра куска в развале пород.

9. Использование методики позволяет продлевать срок их безаварийной работы в среднем в 1,4 раза.

10. Разработанная методика оценки долговечности металлоконструкций экскаваторов апробированы в Институте Энергетического и Горного Машиностроения при реализации научных проектов для оценки долговечности экскаваторов на ряде угольных разрезов Вьетнама с учетом принимаемых решений с целью постановки на ремонт и дальнейшей их эксплуатации, а также в учебном процессе Промышленного университета Куангниня.

Перспективами развития диссертации является расширение исследований в отношении других марок экскаваторов, работающих

на разрезах Вьетнама. В этом плане наиболее важными для изучения могут стать экскаваторы устаревших типов и имеющие большой срок эксплуатации: ЭКГ-5А, ЭКГ-8И. Продление их эксплуатации может дать значительный экономический эффект. Также имеет перспективы развитие направления об оценке остаточного ресурса металлоконструкций экскаваторов.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Насонов, М.Ю. Критерий списания экскаваторов по накоплению повреждений после истечения нормативного срока эксплуатации / М.Ю. Насонов, До Дык Чонг // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 12 (специальный выпуск 42). – С. 3-17.

2. Габов, В.В. Схема расстановки резов на шнековых исполнительных органах с подрезными, парными и групповыми срезами / В.В. Габов, В.С. Нгуен, Д.А. Задков, И.Д. Ключник, До Дык Чонг // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 1 (специальный выпуск 4). – С. 3-14.

Публикация в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

3. Nasonov, M.Yu. The study of the resource and durability of metal structures of excavators after the expiration of the service life / Nasonov M.Yu., Lykov Yu.V., Do Duc Trong // Ugol' – 2020. – №. 2. – pp. 13-17. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-2-13-17.

Публикации в прочих изданиях:

4. Насонов, М.Ю. Предотвращение загрязнений среды при авариях с экскаваторами на угольных предприятиях / М.Ю. Насонов, В.Г. Гореликов, До Дык Чонг // Экология и развитие общества. – 2019. – №3(30). – С. 19-23.

Патент:

5. Патент № 2763570 С1, МПК E02F 3/65 (2006.01). Шнековый исполнительный орган с внутренним двигателем для ковша карьерного экскаватора: №2021121294: заявл. 19.07.2021: опубл. 30.12.2021 / М.Ю. Насонов, До Дык Чонг; заявитель СПГУ. – 9 с.: ил

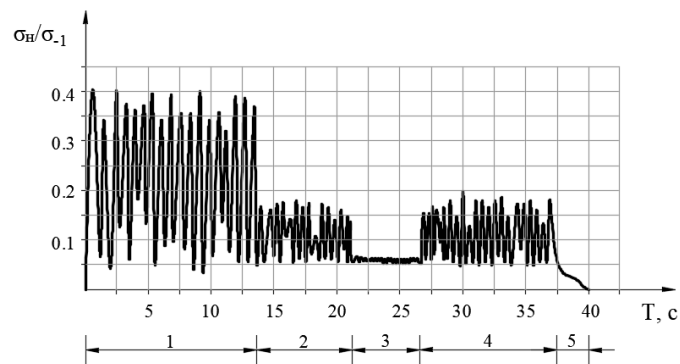


Рисунок 5 – Уровень нагруженности металлоконструкций ЭКГ-10 по циклам процесса экскавации взорванной горной массы (движение – подъем ковша): 1 – раскладка некондиционных и кондиционных кусков породы; 2 – наполнение ковша взорванной породой; 3 – поворот на разгрузку; 4 – выгрузка; 5 – поворот в забой

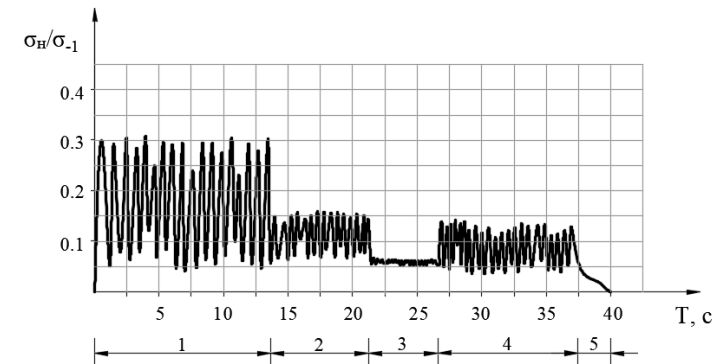


Рисунок 6 – Уровень нагруженности металлоконструкций экскаватора ЭКГ-10 по циклам процесса экскавации взорванной горной массы (движение – напор ковша): 1 – раскладка некондиционных и кондиционных кусков породы; 2 – дополнение ковша горной массой; 3 – поворот на разгрузку; 4 – выгрузка; 5 – поворот в забой

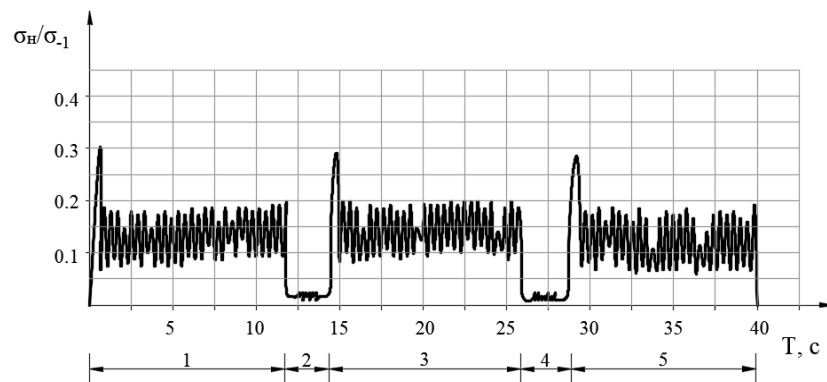


Рисунок 7 – Уровень нагруженности металлоконструкций экскаватора ЭКГ-10 по циклам в процессе экскавации среднеблочной невзорванной горной породы (напор ковша): 1 – I блок породы; 2 – межблочное пространство; 3 – II блок породы; 4 – межблочное пространство; 5 – III блок породы

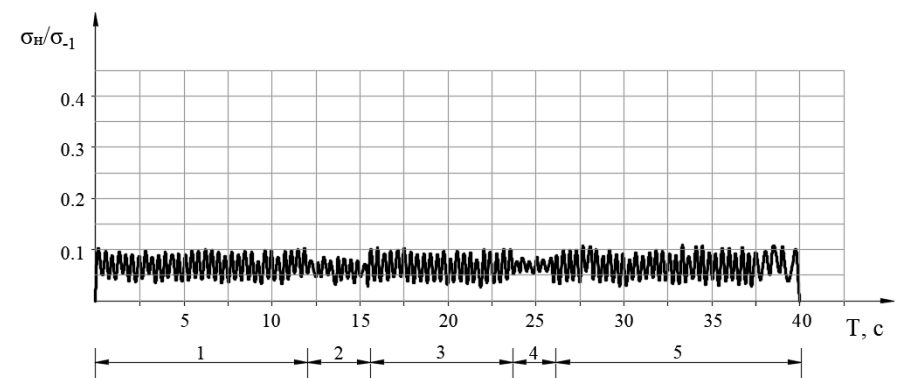


Рисунок 8 – Уровень нагруженности металлоконструкций экскаватора ЭКГ-10 по циклам в процессе экскавации мелкоблочной невзорванной горной породы (движение напор ковша): 1 – I блок породы; 2 – межблочное пространство; 3 – II блок породы; 4 – межблочное пространство; 5 – III блок породы

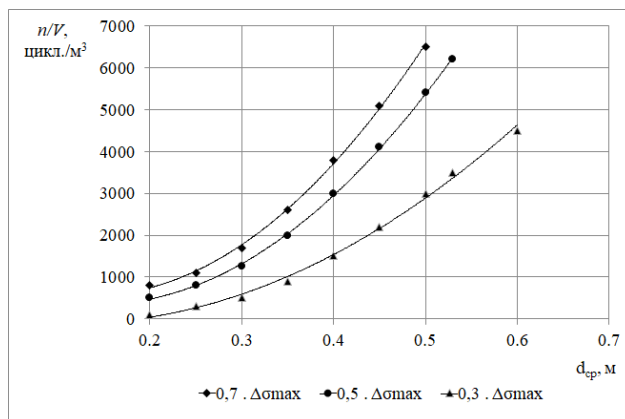


Рисунок 11 – Изменение относительного числа циклов механического нагружения в зависимости от гранулометрического состава взорванных горных пород с учетом средней относительной амплитуды в долях от максимальной: n – число циклов нагружения, V – объем переработанной горной массы

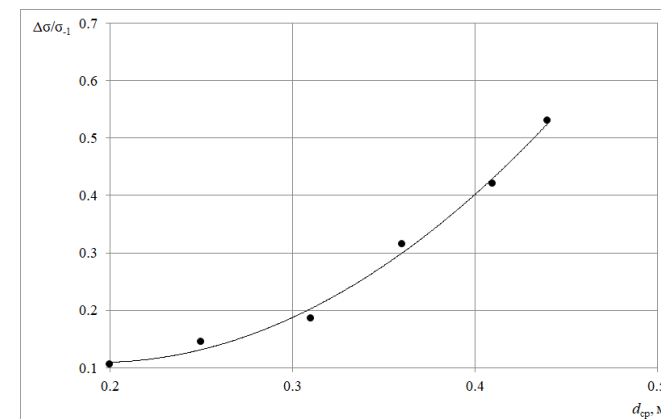


Рисунок 12 – Изменение величин средних амплитуд циклов нагружения в зависимости от гранулометрического состава взорванных горных пород

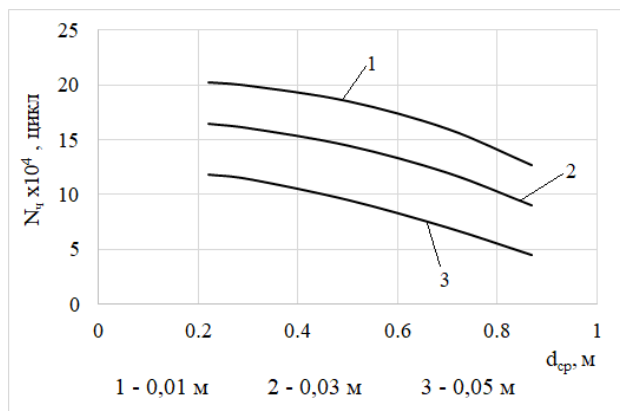


Рисунок 13. Зависимость допускаемого числа циклов черпания – $N_{ц}$ для экскаватора ЭКГ-10 от среднего диаметра куска в развале – $d_{ср}$ при начальной длине трещины 0,01 - 0,05 м

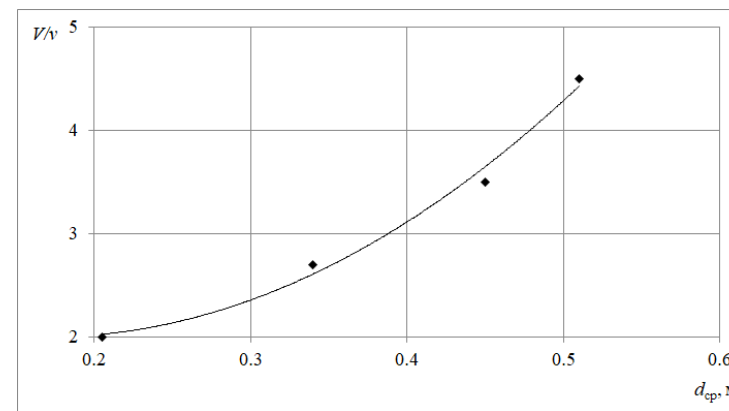


Рисунок 14 – Зависимость относительной скорости роста трещин у ЭКГ-10 от гранулометрического состава взорванных горных пород при сравнении со скоростью при разработке невзорванных пород