

*На правах рукописи*



**СИМБА НАВАРРЕТЕ ВЛАДИМИР ХЕОВАННИ**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ГУСЕНИЧНОГО ТРАКА КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ**

Специальность 2.8.8. – «Геотехнология, горные машины»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Москва 2024

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС) на кафедре «Горное оборудование, транспорт и машиностроение»

Научный руководитель: **Рахутин Максим Григорьевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры горного оборудования, транспорта и машиностроения, НИТУ МИСИС

Официальные оппоненты: **Комиссаров Анатолий Павлович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горных машин и комплексов, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

**Задков Денис Александрович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Защита состоится «30» января 2025 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.410.02 на базе ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» по адресу: 170026, г. Тверь, наб. Афанасия Никитина, д. 22, ауд. Ц-208.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет» и на сайте ВУЗа по адресу: <https://new.tstu.tver.ru/science/dissertation/24.2.410.02/#pills-defense>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Афанасьева Людмила Евгеньевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Карьерные экскаваторы с различной грузоподъемностью являются основным добычным оборудованием на карьерах при разработке практически всех видов полезных ископаемых.

Работа карьера во многом определяется надежностью работы экскаваторов, которая, в свою очередь, зависит от используемых узлов и элементов. Ходовое оборудование – основополагающая система экскаватора, испытывающая высокие нагрузки. Одними из самых уязвимых элементов в этой системе являются беговые дорожки траков гусениц, надежность которых непосредственно влияет на простои экскаватора, и зависит от качества изготовления и горнотехнических условий эксплуатации.

Отказ – поломка трака приводит к простоя экскаватора и, соответственно, к значительному ущербу. В процессе эксплуатации экскаватора трак заменяется от 15 до 30 и более раз, поэтому выявление факторов, влияющих на его надежность, и обоснование, на их основе, конструктивных параметров трака, уменьшающих вероятность отказа, весьма важно.

Так как вероятность отказа зависит от коэффициента запаса прочности и максимальных напряжений, то установление влияния на запас прочности и максимальные нагрузки факторов эксплуатации и конструктивных параметров, и обоснование параметров траков карьерных экскаваторов является актуальной научной задачей.

**Степень разработанности.** Карьерным экскаваторам, гидроприводу и надежности горных машин, посвящены работы многих конструкторов, ученых, производственников. Это: Анистратов К.Ю., Бреннер В.А., Буялич Г.Д., Герцбах И.Б., Гетопанов В.Н., Гнеденко Б.В., Домбровский Н.Г., Ефимов В.Н., Жабин А.Б., Кантович Л.И., Коваль П.В., Козин Г.Ю., Комиссаров А.П., Красников Ю.Д., Кубачек В.Р., Кугель Р.В., Лагунова Ю.А., Мерзляков В.Г., Островский М.С., Пастоев И.Л., Подэрни Р.Ю., Рахутин Г.С., Рахутин М.Г., Ржевский В.В., Слесарев Б.В., Слесарев В.Д., Финкильштейн З.Л., Хорешок А.А., Хорин В.Н., Шадрин А.И., Шендеров А.И., Шестаков В.С., Штейнцайг В.М., Eka Febriyanti, Agus Suhartono, Abdul Gafar, Bošnjak S.M., Arsić M.Yu., Zhi-Wei. Zhao, Huang Yu, Sokolski P., Smolnicki T. Koelsh H.R., Pecht M.G., и многие другие.

Исследованию гусеничных траков различных машин посвятили работы такие ученые, как: Аджатян М.Г., Антонов А.С., Баланцев А.М., Бердов Е.И., Вержбитский Н.Ф., Волков Ю.П., Гомозов И.М., Докучаев Е.Н., Забавников Н.А., Запольский В.П., Игнатов Л.М., Калоев А.В., Котович С.В., Маевский А.Г., Пинигин Б.Н., Платонов В.Ф., Сухарев Р.Ю.

**Объект исследования** – гусеничный трак карьерного экскаватора.

**Предмет исследования** – параметры, коэффициент запаса прочности гусеничных траков.

**Цель работы.** Обоснование параметров гусеничного трака карьерных экскаваторов для повышения их надежности с учётом влияния конструктивных и эксплуатационных факторов, определяющих действующие максимальные

напряжения, и запас прочности.

**Идея работы** состоит в обосновании параметров гусеничного трака карьерных экскаваторов с учетом наиболее значимых конструктивных и эксплуатационных факторов, уменьшающих их запас прочности.

**Задачи** диссертационного исследования.

1. Анализ конструктивных и эксплуатационных факторов, влияющих на максимальное напряжение и запас прочности гусеничных траков карьерных экскаваторов.

2. Определение максимальных нагрузок и коэффициента запаса прочности при работе карьерного экскаватора на уклоне и при попадании кусков породы под гусеницу.

3. Определение максимальных нагрузок и коэффициента запаса прочности в зависимости от размеров и количества трещин трака карьерного экскаватора.

4. Установление влияния конструктивных параметров трака карьерного экскаватора на величины максимальных нагрузок и коэффициент запаса прочности.

5. Обоснование параметров гусеничного трака.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. С увеличением продольного угла наклона трака экскаватора до 20 градусов максимальные напряжения увеличиваются прямо пропорционально, значения коэффициента запаса прочности уменьшаются в 4,5–5 раз; с увеличением поперечного угла наклона трака до 4,5 градусов значения коэффициента запаса прочности уменьшаются в 2,5 раза.

2. Зависимости максимального напряжения и коэффициента запаса прочности трака от количества, расположения и размера кусков породы под траком, подтверждающие повышенную вероятность отказа трака при перегоне экскаватора.

3. Зависимости максимального напряжения и коэффициента запаса прочности трака: от ширины беговой дорожки, толщины основания, условного предела текучести материала, предложенного коэффициента, характеризующего массу экскаватора, количества, направления и взаимного расположения трещин.

4. Метод расчета параметров беговой дорожки и основания трака, учитывающий максимальное напряжение, значения коэффициента запаса прочности, условный предел текучести материала трака, предложенных расчетных формул и коэффициентов, характеризующих массу экскаватора, количества, направления и взаимного расположения трещин.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается теоретическими исследованиями с корректным использованием математического анализа и компьютерного моделирования, а также хорошей сходимостью полученных данных с теорией расчета деталей машин.

**Научное значение работы** заключается в выявлении и оценке таких эксплуатационных факторов, как угол наклона экскаватора, наличие кусков породы под гусеницей, трещины трака, влияющих на уменьшение коэффициента запаса прочности, и в установлении зависимостей для расчёта параметров трака.

**Научная новизна** диссертационной работы состоит в том, что впервые:

– установлены зависимости максимального напряжения и коэффициента запаса прочности трака от угла наклона экскаватора, количества и местоположения кусков породы под гусеницей, количества трещин беговой дорожки и расстояния между ними;

– предложен показатель «уменьшение коэффициента запаса прочности», зависящий от состояния трака и условий эксплуатации;

– установлены зависимости максимального напряжения и коэффициента запаса прочности трака от ширины беговой дорожки, толщины основания, условного предела текучести материала, предложенного коэффициента, характеризующего массу экскаватора;

– получены расчетные формулы для определения ширины беговой дорожки и толщины основания трака.

**Практическое значение** заключается в разработке методики расчета параметров беговой дорожки и основания трака; в выявлении и оценке таких эксплуатационных факторов, как угол наклона экскаватора, наличие кусков породы под гусеницей, трещины трака, влияющих на уменьшение коэффициента запаса прочности и надежности, в получении расчетных формул для обоснования параметров трака.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач исследования; формулировании основной идеи; моделировании нагрузок, действующих на трак, непосредственном проведении исследований, а также подготовке материалов для публикации научных статей.

**Реализация результатов диссертационной работы.** Научные и практические результаты диссертации приняты к использованию в ООО «МОГОРМАШ» и ООО «НПЦподземмаш», а также используются в учебном процессе Горного института НИТУ МИСИС при подготовке студентов машиностроительного профиля.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы были доложены на международных научно-технических конференциях и симпозиумах «Неделя горняка» (Москва, НИТУ «МИСИС» 2020–2023 гг.); XVIII и XIX международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека» (Екатеринбург, УГГУ 2020–21 гг.).

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 6 научных трудах, из них 2 – в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 2 – в журналах, индексируемых в наукометрической базе Scopus, 2 – в других изданиях.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 90 наименований, изложена на 134 страницах, включая 19 таблиц, 75 рисунков и 3 приложения на 10 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы основные положения, цели и задачи работы, показана научная новизна и практическая значимость результатов. Изложены основные

положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассмотрены использование экскаваторов на вскрышных и основных работах в Латинской Америке, включая Республику Эквадор, а также методы расчета гусеничных траков в различных отраслях промышленности, влияние коэффициента запаса прочности на надежность. Проанализированы конструкции и опыт эксплуатации гусеничных траков карьерных экскаваторов.

Во **второй главе** на примере эксплуатации трех экскаваторов САТ 7495 в карьере «МИРАДОР» установлен нормальный закон распределения наработок до отказов трака со средней величиной 13 недель и коэффициентом вариации 0,37, проведен анализ напряженного состояния гусеничных траков опорной ветви ходового механизма при неподвижном экскаваторе. Выявлена неравномерность нагрузки на трак, установлено, что наиболее нагруженная область трака находится в середине гусеничного движителя.

Исследование проводилось на примере трака карьерного экскаватора Р&Н 4100-ХРС, изготовленного из стали 110Г13Л, при действующей на опорный каток вертикальной нагрузке, являющейся частью веса экскаватора и имеющей величину 830 кН. Для исследования влияния прочности породы и наличия кусков под гусеницами на значение коэффициента запаса прочности была создана трехмерная модель участка, состоящего из трех гусеничных траков и одного опорного катка в программе «SolidWorks» (Рисунок 1а), поверхности с одним куском породы, контактирующим с траком по его центральной нижней части (Рисунок 1б); и поверхности с двумя кусками породы, контактирующими с траком по левой и правой сторонам его нижней части (Рисунок 1в), эпюра распределения коэффициента запаса прочности для данного случая представлена на Рисунке 1г.

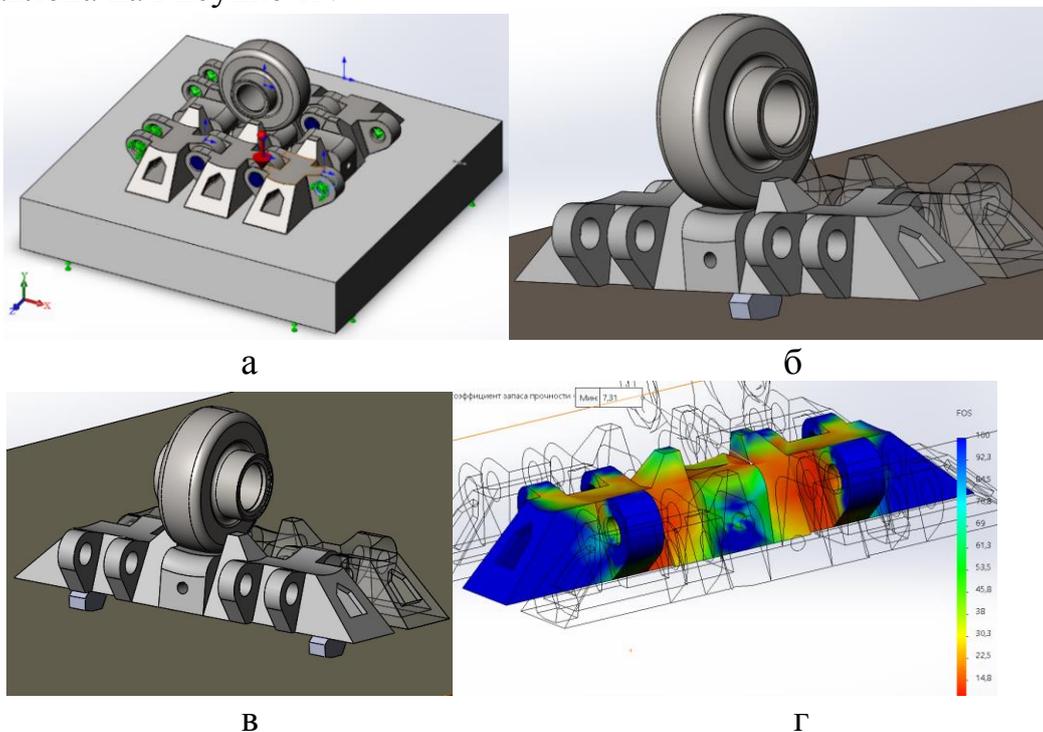


Рисунок 1 – Исследуемая трехмерная модель траков в «SolidWorks» (а); один кусок породы под гусеницей (б); два куска породы под гусеницей (в); эпюра нагружения (г)

Установлено, что прочность породы ровной поверхности под гусеничным траком фактически не оказывает влияние на его коэффициент запаса прочности, а наличие кусков породы под гусеницей уменьшают значение коэффициента запаса прочности в 2–2.5 раза.

Полученная зависимость влияния продольного угла наклона на значение коэффициента запаса прочности представлена на Рисунке 2.

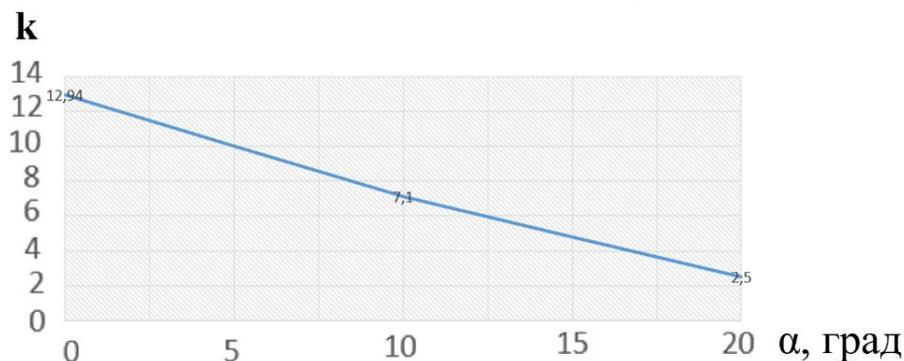


Рисунок 2 – Зависимость значений коэффициента запаса прочности от угла уклона

Уменьшение коэффициент запаса прочности увеличивает риск внезапного отказа, особенно при наличии дефектов литья или усталостных трещин.

Предложен показатель «уменьшение коэффициента запаса прочности» в зависимости от состояния трака и условий эксплуатации, определяемый отношением фактического значения коэффициента запаса прочности (исходя из условий нагружения и технического состояния рассматриваемого трака) к расчетному значению коэффициента запаса прочности исправного трака, находящегося на ровной поверхности.

В **третьей главе** рассмотрено влияние трещин на максимальные напряжения и величины коэффициентов запаса прочности. Трещины и модель нагрузки на беговую дорожку и проушину трака представлены на Рисунке 3.

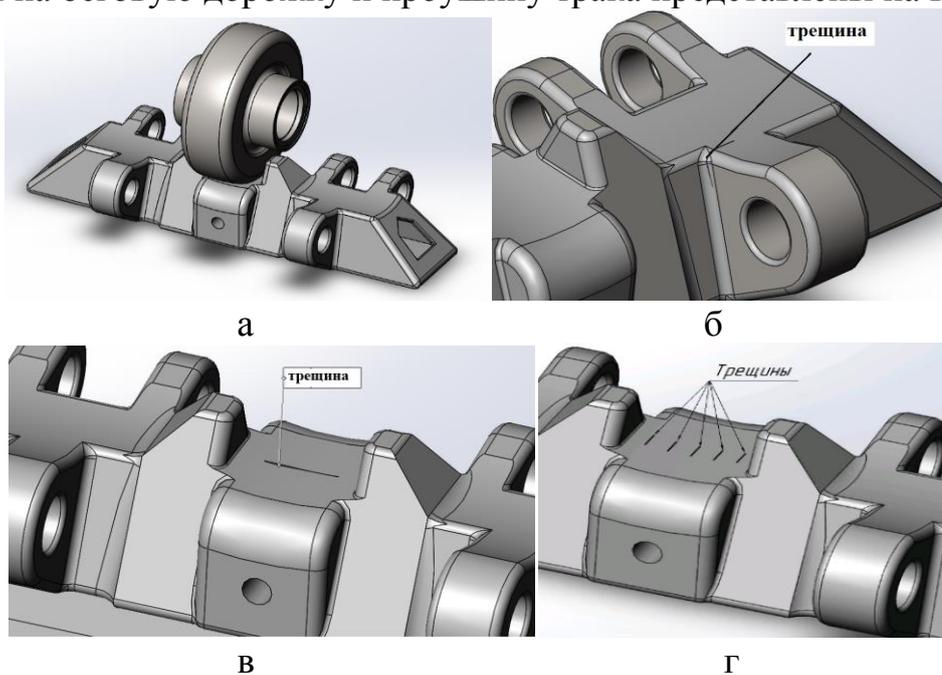


Рисунок 3 – Модель нагружения трака (а) с трещинами проушины (б) продольной (в) и поперечными (г) трещинами беговой дорожки

Длина трещин рассматривалась в диапазоне от 10 до 50 мм. Беговая дорожка трака имеет длину 300 мм, ширину 480 мм и высоту центральной части беговой дорожки 300 мм. Эпюры распределения максимальных значений напряжений и коэффициентов запаса прочности при наличии и отсутствии трещины на беговой дорожке представлены на Рисунках 4 и 5.

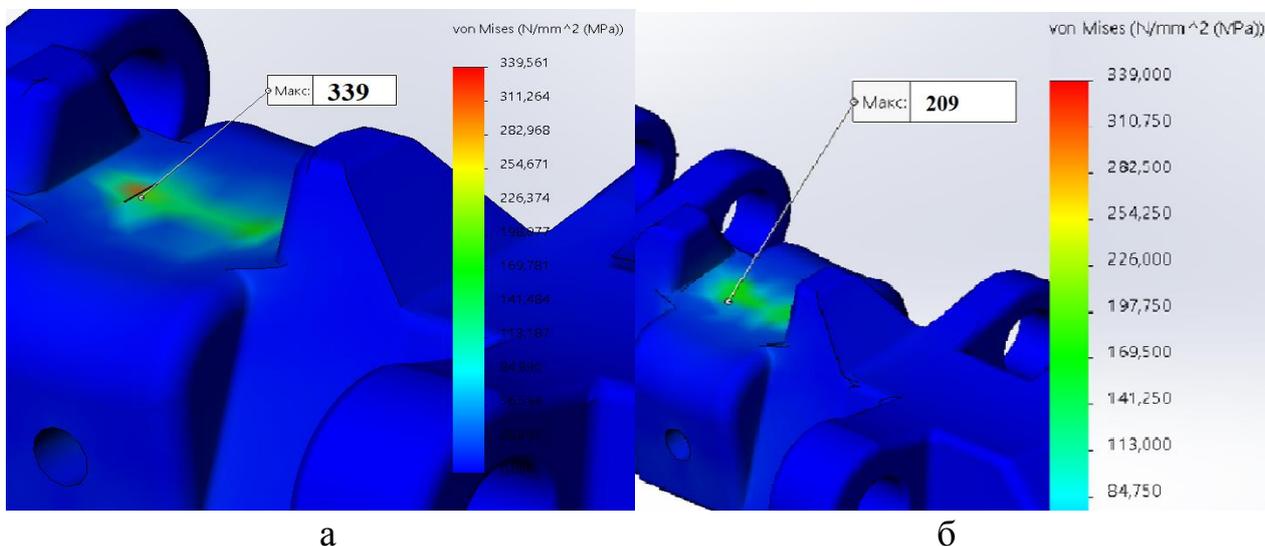


Рисунок 4 – Эпюры распределения максимальных значений напряжений при наличии трещины на беговой дорожке (а) и при ее отсутствии (б)

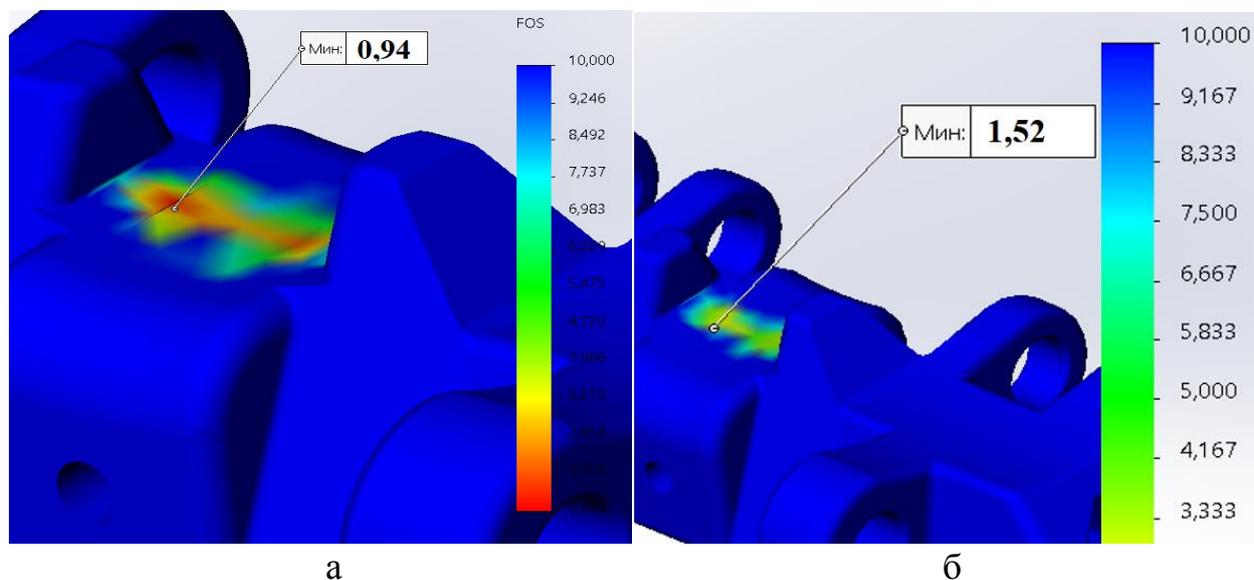


Рисунок 5 – Эпюры распределения коэффициента запаса прочности при наличии трещины на беговой дорожке (а) и при ее отсутствие (б)

Увеличение максимальных значений напряжений, уменьшение коэффициента запаса прочности трака (беговой дорожки) с трещиной и без трещины при увеличении нагрузки представлено на Рисунке 6.

Зависимость коэффициента запаса прочности и максимальных значений напряжения трака от нагрузки при наличии трещин беговой дорожки представлены на Рисунке 7.

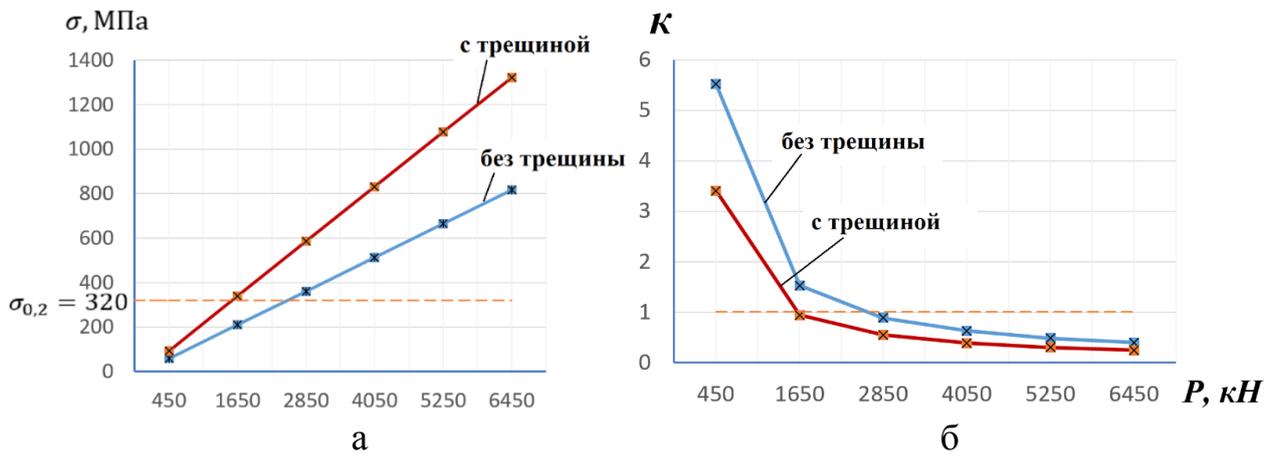


Рисунок 6 – Зависимость максимальных значений напряжений (а) и коэффициента запаса прочности (б) от приложенной нагрузки на беговую дорожку гусеничного трака

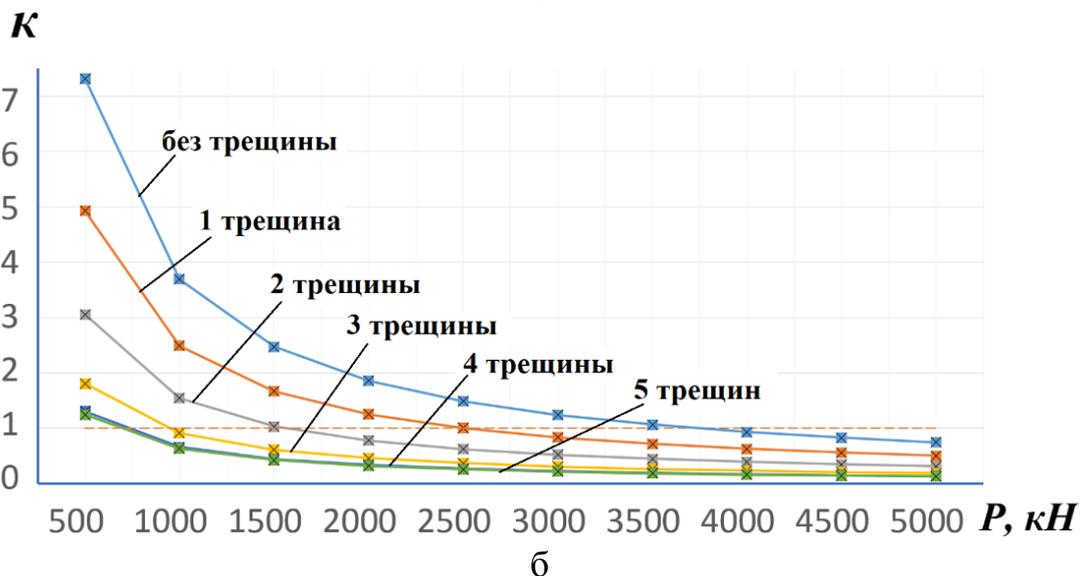
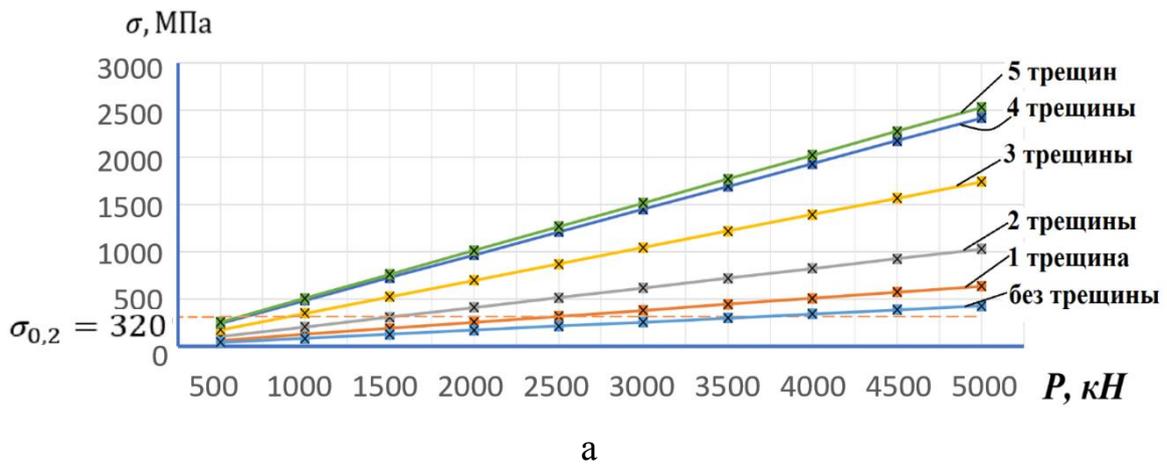


Рисунок 7 – Зависимость максимальных значений напряжения (а) и коэффициента запаса прочности трака (б) от нагрузки при наличии трещин беговой дорожки

Установлено, что при наличии трещины максимальное напряжение возрастает, а коэффициент запаса прочности снижается в 1,6 раза. При наличии

нескольких трещин коэффициент запаса прочности снижается в 5,8 раза.

На Рисунке 8 представлено влияние количества трещин  $n$  беговой дорожки при приложенной нагрузке  $P = 830$  кН на максимальные значения напряжений и коэффициентов запаса прочности.

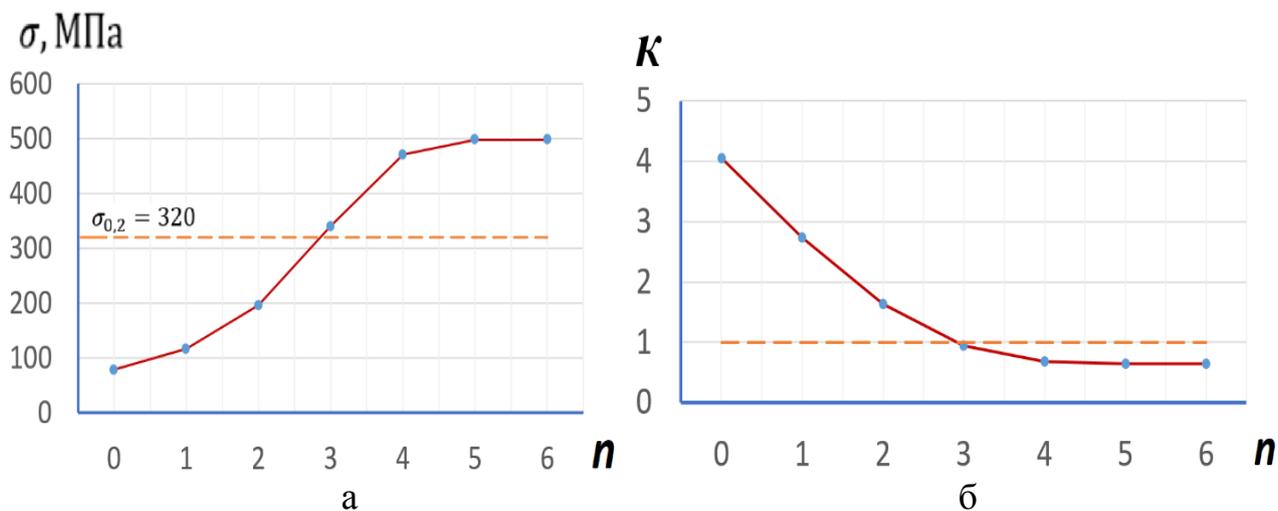


Рисунок 8 – Зависимость максимальных значений напряжения (а) и коэффициента запаса прочности трака (б) от количества трещин беговой дорожки

Проанализировано расстояние между трещинами, при котором максимальное напряжение выше, а коэффициент запаса прочности ниже, чем при наличии одной трещины. Исследовались трещины глубиной 15 мм, длиной 50 мм, шириной 2 мм, нагрузка, приложенная на беговую дорожку, составляла 900 кН.

Влияние расстояния между трещинами на максимальное напряжение и значение коэффициента запаса прочности представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Влияние расстояния между трещинами на максимальное напряжение и значение коэффициента запаса прочности

Расстояние между трещинами	Максимальное напряжение	Коэффициент запаса прочности
$a$ , мм	$\sigma_{\max}$ , МПа	$k$
10	1368	0,23
20	493	0,65
30	244	1,31
40	218	1,47
50	184	1,74

Из таблицы хорошо видно, что с увеличением расстояния между трещинами более чем на 30 мм, коэффициент запаса прочности превышает значение 1,3.

Установлено, что при увеличении количества взаимно влияющих трещин до

4-х, значение максимального напряжения существенно возрастает, после 5-ти трещин увеличение максимального напряжения практически отсутствует. При увеличении расстояния между трещинами на величину более чем 40 мм, рост максимального напряжения существенно снижается, после 50 мм –практически отсутствует, независимо от длины трещин.

На Рисунке 9 представлены зависимости максимального напряжения и значений коэффициента запаса прочности от нагрузки при наличии трещины глубиной 30 мм и длиной 75 мм. На графике пунктирной линией показано максимальное допустимое напряжение 320 МПа, исходя из предела текучести стали 110Г13Л.

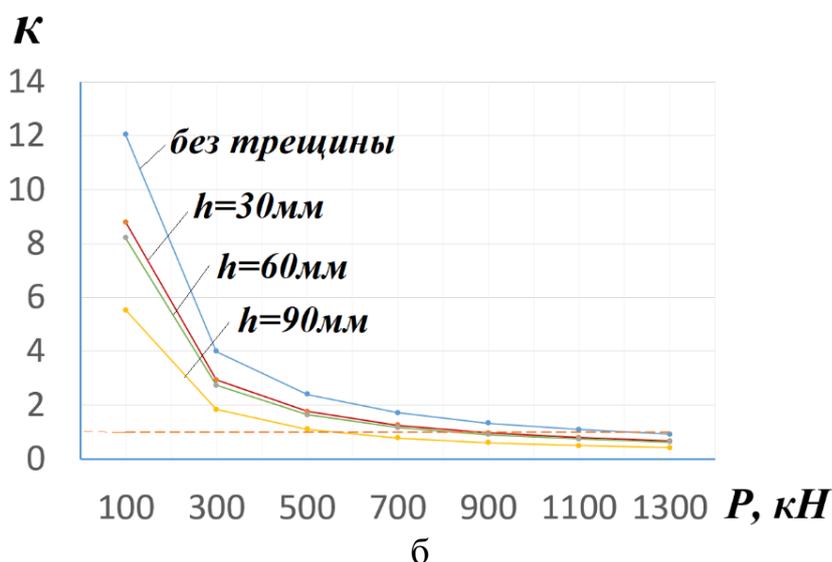
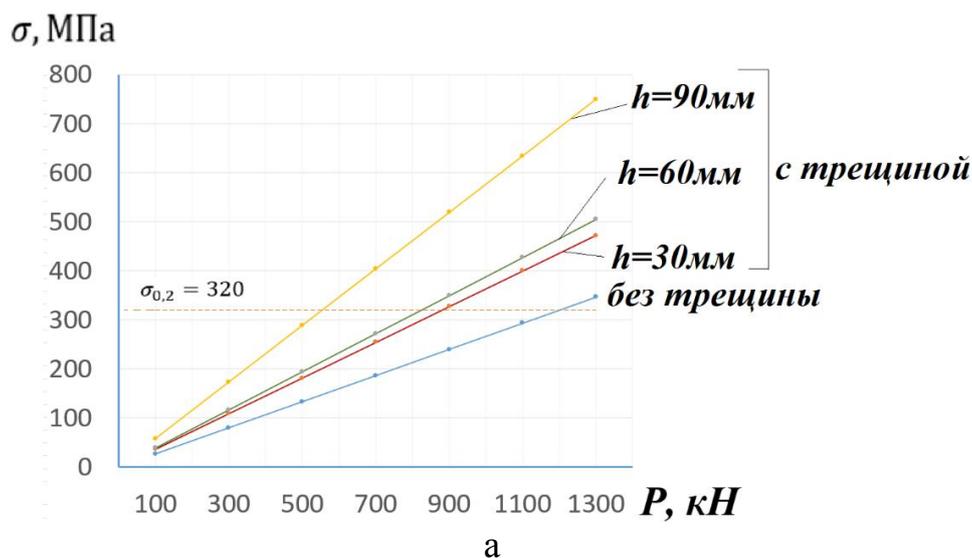


Рисунок 9 – Зависимость максимального напряжения (а) и значений коэффициента запаса прочности (б) от нагрузки при наличии трещин длиной 75 мм и глубиной 30, 60, 90 мм

Данные, полученные в результате компьютерного моделирования, соответствуют теории расчета на прочность деталей машин и влияния трещин на механические свойства конструкционных сталей.

При отсутствии трещины допустимая нагрузка на проушину составляет

1200 кН, при наличии трещины допустимая нагрузка находится в диапазоне от 500 до 900 кН, в зависимости от глубины трещины.

В четвертой главе рассмотрено обоснование конструктивных параметров трака с учетом максимальных напряжений, вызываемых конструктивно- эксплуатационными факторами, разработана методика расчета параметров гусеничного трака с учетом конструктивных и эксплуатационных факторов. Получены зависимости для расчета высоты и ширины беговой дорожки.

В результате анализа в программе SolidWorks Simulation получены следующие зависимости напряжения  $\sigma$  и коэффициента запаса прочности  $k$  от ширины беговой дорожки  $b_{б.д.}$ :

$$\sigma = e^{5,6 \cdot (1+m) - \frac{6 \cdot b_{б.д.}}{1000}} \text{ МПа}, \quad (1)$$

$$k = \frac{[\sigma_{0,2}]}{e^{5,6 \cdot (1+m) - \frac{6 \cdot b_{б.д.}}{1000}}}, \quad (2)$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий массу экскаватора  $M_{э}$ , в (т):  $m = 2,5 \cdot 10^{-4} M_{э}$ .

На основе выражения (2) получена формула для определения ширины беговой дорожки.

$$b_{б.д.} = 166,7 \cdot \left( 5,6 \cdot (1 + m) - \ln \frac{[\sigma_{0,2}]}{k} \right) \text{ мм}. \quad (3)$$

Зависимости напряжения от ширины беговой дорожки для экскаваторов с различной массой представлены на Рисунке 10.

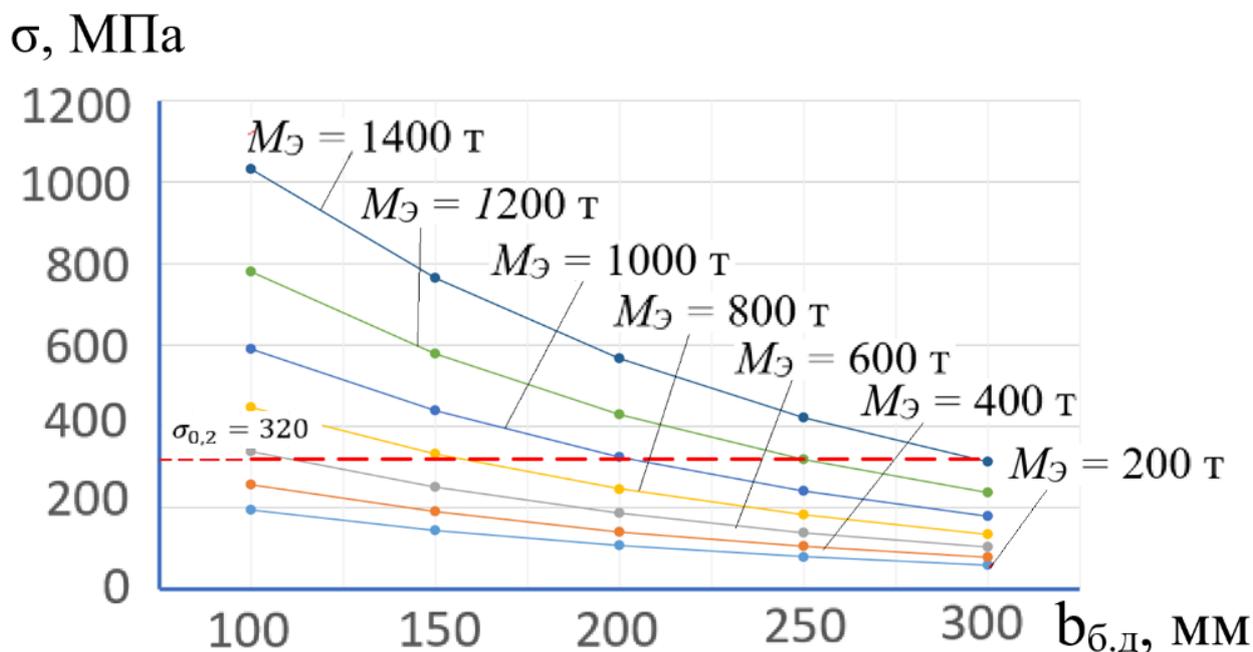


Рисунок 10 – Зависимость напряжения от ширины беговой дорожки

Для определения высоты беговой дорожки гусеничного трака с учетом требуемых коэффициентов запаса прочности  $k$  и максимальных нормальных напряжений при изгибе предложено выражение:

$$h_{б.д.} = \frac{P_{к.ст} \cdot b_{тр} \cdot k}{b_{б.д} \cdot \sigma_{0.2}} \quad (4)$$

С использованием разработанного метода компьютерного моделирования промоделировано использование навариваемой пластины на беговую дорожку согласно патенту RU2646712 на примере трака экскаватора Р&Н 4100-Х. При использовании материала пластины 35ХГСЛ ( $\sigma_B=780$  МПа и  $\sigma_T=550$  МПа) и толщине пластины 60 мм коэффициент запаса прочности увеличился в 2,5 раза.

Как было сказано выше, коэффициент запаса прочности снижается при поперечном угле наклона и попадании под трак куска породы. С помощью компьютерного моделирования для вышеуказанных предельных условий рассчитана толщина основания гусеничного трака. Результаты моделирования представлены на Рисунке 11.

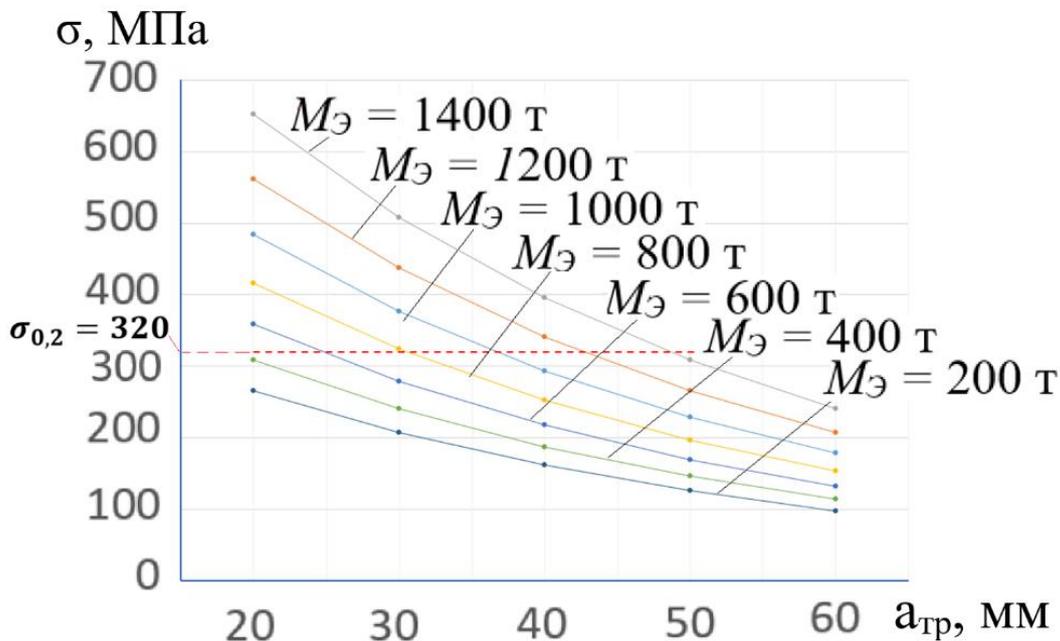


Рисунок 11 – Зависимость напряжения от толщины основания гусеничного трака

Получены следующие зависимости напряжения  $\sigma$  и коэффициента запаса прочности  $k$  от толщины основания гусеничного трака  $a_{тр}$ :

$$\sigma = e^{(6,1+0,15s) \cdot \frac{3 \cdot a_{тр}}{100}} \text{ МПа}, \quad (5)$$

$$k = \frac{[\sigma_{0,2}]}{e^{(6,1+0,15s) \cdot \frac{3 \cdot a_{тр}}{100}}}, \quad (6)$$

где  $[\sigma_{0,2}]$  – условный предел текучести материала трака;  $s$  – коэффициент, учитывающий массу экскаватора  $M_э$  в тоннах,  $s = 0,05M_э - 1$ .

На основе выражения (6) получена зависимость для определения толщины основания гусеничного трака:

$$a_{тр} = 100 \cdot \frac{(6,1+0,15s) - \ln \frac{[\sigma_{0,2}]}{k}}{3} \text{ м}. \quad (7)$$

Предложенная методика позволяет рассчитывать для траков экскаваторов

рациональные параметры, использование которых позволит увеличить ресурс и уменьшить вероятность их отказа.

**Рекомендации и дальнейшие перспективы разработки темы** заключаются в разработке методов прогноза возникновения отказов в зависимости от параметров трака и условий эксплуатации.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации на основе выполненных исследований решена актуальная научно-техническая задача обоснования параметров гусеничного трака карьерных экскаваторов, имеющая важное научное и практическое значение для горнодобывающей промышленности России и стран Латинской Америки, включая Республику Эквадор.

Основные выводы и результаты, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. С увеличением продольного угла наклона трака до 20 градусов максимальные напряжения увеличиваются прямо пропорционально, значения коэффициента запаса прочности уменьшаются в 4,5–5 раз; с увеличением поперечного угла наклона трака до 4,5 градусов значения коэффициента запаса прочности уменьшаются в 2,5 раза.

2. Получены зависимости максимального напряжения и коэффициента запаса прочности трака от количества, расположения и размера кусков породы под траком, подтверждающие повышенную вероятность отказа трака при перегоне экскаватора.

3. Получены зависимости максимального напряжения и коэффициента запаса прочности трака: от ширины беговой дорожки, толщины основания, условного предела текучести материала, предложенного коэффициента, характеризующего массу экскаватора, количества, направления и взаимного расположения трещин.

4. Предложен показатель «уменьшение коэффициента запаса прочности» зависящий от состояния трака и условий эксплуатации.

5. Разработаны метод и методика расчета параметров беговой дорожки и основания трака, учитывающие максимальное напряжение, значения коэффициента запаса прочности, условный предел текучести материала трака, предложенные расчетные формулы и коэффициент, характеризующий массу экскаватора, позволяющие повысить их ресурс.

6. Научные и практические результаты диссертации приняты к использованию в ООО «МОГОРМАШ» и ООО «НПЦподземмаш», в учебном процессе Горного института НИТУ МИСИС при подготовке студентов машиностроительного профиля.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих статьях:**

**– в изданиях, входящих в наукометрическую базу SCOPUS:**

1. Рахутин М.Г., Симба Наваррете В.Х. Влияние угла наклона экскаватора на запас прочности трака гусеницы // Горная промышленность. 2023. № 2. С. 141–146.

2. Maxim Rakhutin, Navarrete Simba and Sergey Khoroshavin Analysis of the Dependence of the Stressed State of the Tracked Track of a Career Excavator from an Angle Slope // E3S Web of Conferences 2020, No. 177, p. 03015. DOI:10.1051/e3sconf/202017703015.

**– в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

3. Кантович Л.И., Дмитриенко В.Г., Шеметов Е.Г., Симба Н.В. Определение коэффициента запаса прочности гусеничного трака карьерного экскаватора 4100-хрс с помощью системы автоматизированного проектирования "Solidworks" // Горное оборудование и электромеханика. 2019. № 4. С. 10–14.

4. Симба Наваррете В.Х., Рахутин М.Г. Влияние трещин на запас прочности ходовой части трака гусеницы экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 5 S14. С. 3–12.

**– в других изданиях:**

5. Симба Н.В. Анализ зависимости напряженного состояния гусеничного трака карьерного экскаватора от угла уклона // В сб. «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». Сб. тр. XVIII международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург, 02–03 апреля 2020 г. Под общей ред. проф. Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург: УГГУ, 2020. С. 107–110.

6. Симба Н.В.Х., Рахутин М.Г. Влияние прочности породы на надежность гусеничного трака экскаватора // В сб. «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». Сб. тр. XIX международной научно-технической конференции, проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург, 20–21 мая 2021 г. Под общей ред. проф. Ю.А. Лагуновой. Екатеринбург: УГГУ, 2021. С. 296–299.