ФГБОУ ВПО «ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

the th

Аль-саккаф Халед Саед Таха

УДК 622.23

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ ГОРНЫХ ПОРОД

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. В.Г. ЗЕДГЕНИЗОВ

ИРКУТСК - 2014

	ВВЕДЕНИЕ
1.	СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ
	ИССЛЕДОВАНИЙ
	1.1 Существующие способы дробления негабаритов горных
	пород
	1.2 Анализ исследований взаимодействия рабочего
	инструмента с негабаритом
	1.3 Рабочее оборудование для дробления негабарито
	горных пород
	Выводы. Цель и задачи исследований
2.	МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА НАВЕСНОГО
	ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ
	НЕГАБАРИТОВ ГОРНЫХ ПОРОД
	2.1 Системный анализ
	2.2 Математическая модель подсистемы «инструмент
	негабарит»
	2.3 Математическая модель подсистемы «базовая машина
	ударный механизм»
	2.4 Описание лабораторной установки и методик
	проведения эксперимента
	Выводы
3.	РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАВЕСНОГО
	ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ
	НЕГАБАРИТОВ ГОРНЫХ ПОРОД
	3.1 Результаты исследований подсистемы «инструмент
	негабарит»
	3.2 Результаты исследований подсистемы «базовая машина
	- ударный механизм»

3.3 Области рационального использования навесного
оборудования
Выводы
4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА
НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАРНОГО
РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ ГОРНЫХ ПОРОД
4.1 Технико-экономическая эффективность использования
оборудования для ударного разрушения негабаритов горных
пород
4.2 Методика расчета навесного оборудования для ударного
разрушения негабаритов горных пород
Выводы
5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК
ПРИЛОЖЕНИЕ 1
ПРИЛОЖЕНИЕ 2
ПРИЛОЖЕНИЕ 3
ПРИЛОЖЕНИЕ 4
ПРИЛОЖЕНИЕ 5

введение

Актуальность. Опыт разработки горных пород показывает, что даже при применении прогрессивных способов ведения буровзрывных работ не удается полностью исключить выход крупной фракции (негабаритов). Выход негабаритов от взорванной массы в зависимости от горно-геологических условий может изменяться от 2–3 до 15–20 процентов.

В настоящее время наиболее распространенным является механический способ разрушения негабаритов с использованием гидравлических и гидропневматических молотов. Гидравлические молоты в виде сменного рабочего оборудования для одноковшовых экскаваторов обладают достаточно широкой областью применения и используются не только для разрушения негабаритов горных пород, но и железобетонных и бетонных конструкций, вскрытия асфальтобетонных покрытий, разработки мерзлого грунта.

Однако существующие конструкции гидромолотов являются высокочастотными: с малой энергией удара и большой частотой. Это приводит к местному разрушению породы в непосредственной близости от инструмента, и при длительном приложении высокочастотной нагрузки инструмент, постепенно погружаясь в материал, образует, чаще всего, углубление, а не приводит к разрушению негабарита.

Исследованиями установлено, что для разрушения негабарита необходима повышенная энергия единичного удара, причем эффективней наращивать энергию за счет увеличения массы по сравнению со скоростью ударной части. Кроме того, при разработке и создании навесного оборудования для разрушения негабаритов горных пород необходимо учитывать: с одной стороны – размеры негабарита и прочностные свойства материала, с другой - характеристики базовой машины, которые накладывают на параметры навесного оборудования определенные ограничения. Выполненные ранее исследования касаются частных вопросов, поэтому работу, направленную на комплексное решение указанной задачи, следует признать актуальной.

Рабочая гипотеза состоит в том, что повышения эффективности оборудования для ударного разрушения негабаритов возможно достичь на стадии проектирования, учитывая размеры негабарита, прочностные свойства материала, а также характеристики базовой машины.

Цель исследования: повышение эффективности работы оборудования для ударного разрушения негабаритов на стадии проектирования с учетом размеров негабарита, прочностных свойств материала и характеристик базовой машины.

Объект исследования: рабочий процесс машины для ударного разрушения негабаритов горных пород.

Предмет исследования: зависимости, связывающие рациональные параметры навесного оборудования с размерами негабарита, прочностью материала и характеристиками базовой машины.

Научные положения, выносимые на защиту:

- эффективность навесного оборудования для ударного разрушения негабаритов зависит от размеров негабарита, прочностных свойств материала и характеристик базовой машины.

- размерная группа базовой машины определяет максимально возможную энергию удара навесного оборудования;

- основными параметрами навесного оборудования являются: масса ударной части, жесткость пружины, высота подъема и диаметр гидроцилиндра подъема ударной части, рациональные значения которых выводит двигатель базовой машины на режим максимальной мощности.

Методы исследований основаны на использовании основных положений системного анализа, физического и математического моделирования, теоретической механики, теории планирования эксперимента. Методика

исследований включает в себя имитационное моделирование на ЭВМ с подтверждением отдельных результатов экспериментальными исследованиями.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечены методологической базой исследования, соблюдением основных принципов физического и математического моделирования, лабораторными исследованиями и идентификацией промежуточных результатов с исследованиями других авторов.

Научная новизна результатов исследований представлена:

- системной моделью машины для разрушения негабаритов горных пород,
основу которой составляют подсистемы «инструмент – негабарит» и «базовая машина – ударный механизм»;

- разработанной зависимостью энергии удара, необходимой для разрушения, от размеров негабарита, прочности материала и угла заострения инструмента;

- установленными зависимостями рациональных параметров навесного оборудования от характеристик базовой машины.

Практическое значение заключается в разработке:

- типоразмерного ряда навесного оборудования для разрушения негабаритов горных пород на базе гидравлических экскаваторов 3–5 размерных групп;

- методики расчета основных параметров навесного оборудования с учетом габаритно-весовых и мощностных характеристик базовой машины.

Реализация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы приняты к внедрению в ОАО ПО «Иркутский завод тяжелого машиностроения». Кроме того, используются в учебном процессе на кафедре «Строительно-дорожные машины и гидравлические системы» ИрГТУ по курсам «Строительные машины» (раздел - Машины для дробления каменных материалов), "Моделирование рабочих процессов ПТ и СДМ", дипломном проектировании.

Апробация работы. Материалы исследований обсуждались и получили одобрение на II, III и IV Всероссийской научно-практической конференции

«Авиамашиностроение и транспорт Сибири» (Иркутск, 11–13 апреля, 2012 г., 11– 12 апреля 2013 г., 11–13 апреля, 2014 г.), Одиннадцатом Международном Форуме студентов, аспирантов и молодых ученых стран Азиатско-Тихоокеанского региона (Владивосток, май 2012 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Механики XX1 веку» (Братск, май 2012 г.).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и выводов по работе, изложена на 133 страницах машинописного текста, включает 14 таблиц, 47 рисунка, источников литературы из 132 наименований, 5 приложений на 36 страницах.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ общим объемом 3 условных печатных листа, в т. ч. 2 публикации в изданиях перечня ВАК РФ.

Работа выполнена на кафедре «Строительно-дорожные машины и гидравлические системы» Иркутского государственного технического университета под руководством д-ра техн. наук, проф. В.Г. Зедгенизова.

Автор выражает глубокую признательность сотрудникам кафедры и аспирантам за оказанную помощь в работе над диссертацией.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Существующие способы дробления негабаритов горных пород

Опыт разработки скальных горных пород показывает, что даже при применении прогрессивных способов ведения буровзрывных работ не удается полностью исключить выход негабаритов. Процент выхода негабаритов от взорванной массы в зависимости от горно-геологических условий может изменяться от 2–3% до 15–20 %, при добыче штучного камня выход негабаритных кусков может быть еще больше [120]. Затраты на вторичное дробление при отбойке шпурами доходят до 20–30%, а скважинами - до 50–80%.

По данным Союзвзрывпрома [126], различные методы взрывных работ дают ориентировочно следующий выход негабаритных кусков:

шпуры - от 2 до 6% кусков размерами больше 0,5 м; - котловые шпуры и рукава - от 5 до 15% кусков размерами больше 0,5 м;

колонковые скважины - от 10 до 25% кусков размерами больше 0,7 м; котловые скважины - от 15 до 30% кусков размерами больше 0,7 м; камерные заряды - от 15 до 40% кусков размерами больше 0,7 м.

По виду энергии, подводимой к объекту разрушения, можно выделить следующие способы дробления негабаритов: взрывные, механические, электрические, термические, гидравлические, акустические, оптические, радиационные, химические, комбинированные [127].

Взрывные способы основаны на применении шпуровых и наружных зарядов. При вторичном дроблении первым методом диаметр шпуров обычно 36–42 мм. Удельный расход взрывчатых веществ 0,1–0,3 кг/м³ (на рудных шахтах до 0,4–0,8 кг/м³). Повышению эффективности вторичного дробления этим методом

способствует заполнение шпуров водой - гидровзрывание. При этом величина заряда принимается из расчёта 10–50 г на 1 м³ объёма негабаритного куска. Энергия взрыва переходит в ударную волну с небольшими потерями. Метательное действие взрыва выражено слабо. При использовании наружных зарядов удельный расход взрывчатых веществ возрастает, как правило, до 1,5–3 кг/м³ и может быть сокращён до 0,4–0,6 кг/м³ применением кумулятивных зарядов.

Использование в качестве забойки для наружного заряда полиэтиленовых пакетов с жидкостью позволяет повысить к.п.д. взрыва за счёт участия в процессе дробления отражённых ударных волн. Производительность труда по разделке негабаритов в этом случае возрастает в 2 раза по сравнению с методом шпуровых зарядов.

Основные достоинства взрывных способов вторичного дробления универсальность, разрушение кусков практически любого размера. Основные недостатки - относительно высокие удельные затраты энергии (до 15 МДж/м³), стоимость (до 0,8–1,2 руб/м³), особенно при дроблении кусков менее 0,8–1 м, специфические особенности взрывной технологии, нарушающие ритмичность производства.

Среди механических способов вторичного дробления выделяют разрушение кусков горной массы ударом, гравитационное разрушение. Первый способ реализуется, прежде всего, в дробилках, которые устанавливаются стационарно или на самоходных дробильных агрегатах (наиболее перспективный тип дробилок – роторные). Для разрушения крупных одиночных породных блоков целесообразно применение молотов различных конструкций (пневматических, гидравлических и др.). Разрушение осуществляют также подачей сжатого воздуха в шпуры, пробуренные в негабарите. Производительность пневматических молотов по породам средний крепости 30–40 м³/ч, себестоимость процесса разрушения 0,07–0,1 руб/т.

Применение гидравлических молотов позволяет повысить производительность процесса разрушения до 80–100 м³/ч. Гравитационный

способ вторичного дробления осуществляется падающим грузом (экскаваторные и крановые бутобои) либо под действием собственного веса падающего негабаритного куска. Отличается низкой удельной энергоёмкостью процесса разрушения (до 0,4 МДж/м³); достаточно эффективен при породах средний крепости. Для разрушения негабаритов используют также гидроклины. Достоинства механических способов вторичного дробления - безопасность, низкая энергоёмкость, простота подвода энергии к объекту воздействия, возможность автоматизации процесса дробления.

Термический способ вторичного дробления основан на неравномерном расширении тел при концентрированном нагреве. Разрушение негабаритов осуществляется ручными термобурами с огнеструйными горелками ракетного типа и термитами. Для окисления жидкого горючего в ручных термобурах используется кислород или воздух. Применение термобуров ограничено; процесс разрушения отличается относительно высокой энергоёмкостью (до 7 МДж/м³). Производительность ручного термобура с мощностью горелки 100 кВт в пределах 10-15 м³/ч. Вторичное дробление термитом основано на воздействии на негабарит теплом, получаемым при сжигании термитного состава. Процесс разрушения протекает быстро, не даёт разлёта кусков и образования вредных газов (за исключением дробления негабаритов сернистых руд), однако требует дополнительного механического воздействия для полного разрушения негабаритов. Эффективность вторичного дробления термитом повышается с увеличением содержания в горных породах кварца.

Основой процесса разрушения пород при электрическом способе (контактном или бесконтактном) чаще всего служит тепловой, реже электрогидравлический эффект. Сущность последнего — разрядка батареи конденсаторов (напряжение до 100 кВ) на водный промежуток; порода разрушается под действием кавитации и ударных волн взрывного характера.

Электрический контактный способ, применяемый в карьерах, реализуется с помощью установок типа 2УРН, основной узел которых — однофазный трансформатор мощностью 100 кВт тока промышленной частоты. Негабаритный

кусок, помещённый между двумя электродами, разрушается в результате теплового пробоя, нагрева и расширения токопроводящего канала в породах. Метод отличается простотой, высокой безопасностью. Средняя энергоёмкость разрушения 20 МДж/м³. Производительность при разрушении кварцитов с помощью установок 2УРН - 14 м³/ч, себестоимость - 0,3–0,5 руб/м³. Для разрушения полупроводящих горных пород (железистые кварциты и др.) более эффективен высокочастотный контактный способ теплового пробоя. Между электродами происходит высокочастотный пробой и в горных породах возникают термоупругие напряжения, приводящие к разрушению негабарита.

Для разрушения горных пород-диэлектриков (граниты, базальты и др.) применяется способ неравномерного диэлектрического нагрева (высокочастотный контактный способ). Электрический бесконтактный способ, т. е. ослабление пород электромагнитным полем конденсатора или соленоида, ввиду низкой производительности широко не применяется.

Развиваются процессы вторичного дробления, основанные на гидравлических способах разрушения и его комбинациях с другими способами.

Акустические способы вторичного дробления основаны на разрушении пород колебаниями различной частоты, включая ультразвуковую область частотного спектра. Применение их эффективно главным образом в сочетании с механическими способами вторичного дробления. Процессы вторичного дробления, основанные на химических способах разрушения, отличаются малой производительностью; область их применения ограничена. Наметилась тенденция комбинированных способов развития (термомеханических, акустических, механических).

1.2 Анализ исследований взаимодействия рабочего инструмента с негабаритом

Из известных технологий ударный способ разрушения горных пород является одним из наиболее перспективных как по производительности, так и по

удельным энергозатратам. В таблице 1.1 приведены сравнения показателей ударного разрушения с другими технологиями [13].

Таблица 1.1

Удельная энергоемкость различных технологий разрушения горных пород

No		Удельная	
JN <u>©</u> _/_	Технология разрушения горных пород	энергоемкость разрушения,	
Π/Π		Дж/см ³	
1	Разрушение ультразвуком	10104	
2	Разрушение водяными струями	1684	
3	Ударное разрушение маломощными	253	
5	механизмами	200	
4	Разрушение шарошечным	126-253	
	инструментом	120 200	
5	Разрушение мощным ударом	17-25	
5	(со скоростью удара до 10 м/с)	17 25	
6	Разрушение взрывом	6	
0	(удар со скоростью 700-900 м/с)	0	

В области исследования и разработки технических средств для ударного разрушения негабаритов известны ИГД СО РАН, ННЦ ГПИГД имени А. А. Скочинского, ОАО «ВНИИстройдормаш», НИИпроектасбест, Институт механики АН Киргизии, научные коллективы МГГУ, С-ПГГУ, УГГУ, КарГТУ, ДонУГИ, КузГТУ, ОрелГТУ и др. Большой вклад в разработку и создание теоретических основ разрушения горных пород внесли ученые Александров Е.В., Алимов О.Д., Барон Л.И., Бызов В.Ф., Горбунов В.Ф., Жлобинский Б.А., Иванов Р.А., Коняшин Ю.Г., Кашкадзе Г.Г., Лобанов Д.П., Остроушко А.И., Смирнов Ю.М., Соколинский В.Б., Кантович Л.И., Кичигин Маттис Р.А., Покровский И.С., Протасов Ю.И., Успенский Н.С., Федулов А.И., Шрейнер Л.А., Эйгелес Р.М., Янцен И.А., Б. Лундберг, В. Хуструлид, Е. Ферхарст и др. В исследованиях взаимодействия рабочего инструмента с негабаритом можно выделить несколько направлений. Первая группа исследований в большинстве своем носит описательный характер и сводится к попыткам установить механизм взаимодействия инструмента с массивом горной породы. Так, И.С. Покровский [82], исходя из того, что наконечник даже новой пики имеет площадку притупления, предложил следующую схему разрушения (рис. 1.1). В процессе работы ширина площадки затупления постепенно увеличивается. При создании нагрузки на инструмент в породе выкалывается треугольная призма *ABC*, которая и будет действовать на прилегающие участки, как клин. Боковые плоскости этого клина *AC* и *BC* после потери сплошности массива, в свою очередь, будут давить на окружающую породу, при этом произойдет выкалывание призм *ACK* и *BLC* и, наконец, отрыв породы по плоскостям *ДK* и *LE*.

А.И. Остроушко [76,77] рассматривает процесс разрушения массива поэтапно (рис.1.2). На первом этапе отмечается возникновение на контуре контакта конусных трещин, одна из которых распространяется в сторону оси симметрии (AO, BO), а вторая – от нее (AC, BC). Как утверждает автор, трещины второй системы в начальной фазе развиваются вглубь массива быстрее, чем первой, но по мере удаления от свободной поверхности скорость их роста замедляется. Трещины первой системы развиваются с постоянной скоростью, и к концу второго этапа смыкаются в точке О.

На третьем этапе трещины второй системы распространяются до точки С, в которой возникают новые, направленные в сторону свободной поверхности и к точке О. В конце развития указанные трещины отделяют от массива объемы АОВ и NOM. В этот момент происходит резкое снижение сопротивления инструменту, последний перемещается вглубь породы, дробя на своем пути объем АОВ и вытесняя продукты разрушения из образовавшегося углубления. Однако часть раздробленного материала остается под торцом инструмента, образуя треугольную призму (этап 4).

Из описания следует, что для схем И.С. Покровского и И.А. Остроушко характерен общий момент – формирование под площадкой инструмента объема,



Рис. 1.1 Схема разрушения породы при внедрении клинового инструмента по И. С. Покровскому



Рис.1.2 Схема внедрения пики по И.А. Остроушко.

имеющего форму треугольной призмы. Кроме того, следует отметить два важных момента: во-первых, была сделана попытка рассмотреть физическую сущность явлений, определяющих закономерности разрушения материалов при действии внешних сосредоточенных нагрузок. Во-вторых, авторы акцентировали внимание на значительной роли процесса трещинообразования при разрушении хрупких материалов.

В работе Г.Л. Гартмана описана схема разрушения, во многом повторяющая предыдущую. Автор, основываясь на теории трещинообразовании Гриффитса, приходит к выводу, что эффективность ударного разрушения связана с числом, величиной и геометрией распределения трещин, имеющихся в исходном массиве и формирующихся в нем вновь при ударе. Гартман вслед за Гриффитсом считает, что при действии сжимающей нагрузки разрушение большей части крепких горных пород происходит от растяжения вдоль трещин или плоскостей ослабления массива, ориентированных под углом 45 градусов к направлению действия нагрузки.

Иная расчетная схема, на наблюдениях основанная за процессом деформации известняка при внедрении конусного индентора, была предложена В. В. Царицыным [116]. На рис. 1.3 показан этап, предшествующий выколу. В начальной стадии внедрения имеет место упругое перемещение поверхности породы. По мере увеличения внедрения искривленная поверхность массива будет приближаться к граням лезвия и по некоторому контуру АОВ войдет в контакт с ним. Растянутые зоны массива выше точек А и В начнут сжиматься, и в них формируются поля напряжений. Наряду с этим под действием нормальных сил *NN* в точках массива *A* и *B* имеет место растяжение контактной поверхности под действием составляющих S и F. Разрыв контактной поверхности в точках A и B служит началом выкола элементов породы. Разрушение происходит под действием максимальных касательных напряжений (штриховая линия).

Объем выкола больше объема внедрившейся части лезвия из-за уплотнения породы с развитием трещин, микротрещин и скалывания у краев углубления. На основании экспериментальных исследований процесса разрушения В. В. Царицын



Рис.1.3 Схема внедрения клинового лезвия по В.В. Царицыну



Рис. 1.4. Механизм разрушения малопластической (а), пластической (б), и хрупкой (в) пород по Л.А. Шрейнеру

сделал вывод о том, что эпюра сжимающих напряжений, возникающих в массиве при действии сосредоточенной силы, имеет вид кривой нормального распределения. Этот вывод лежит в основе всех его теоретических выкладок.

Качественно новый этап в исследованиях механизма разрушения горных пород связан с именем Л.А. Шрейнера [121, 78, 34], использовавшего основные принципы теории упругости для описания процесса вдавливания индентора. Анализ напряженного состояния массива, нагруженного сосредоточенной силой, ведется на основании пространственной задачи Буссинеска.

На рис. 1.4 даны схемы механизмов разрушения малопластичных (а), пластичных (б) и хрупких (в) пород. В первом случае при вдавливании штампа в полупространство одновременно происходит упругий его прогиб, в результате чего появляются растягивающие напряжения у контура давления, и объем породы, находящейся под контактной поверхностью штампа, сжимается. У кромки штампа образуется кольцевая трещина, но ее развитие очень быстро затухает при дальнейшем увеличении нагрузки напряжения в породе возрастают до тех пор, пока максимальные касательные напряжения на оси симметрии (точка В) не достигнут предельных значений. Глубина расположения точки В примерно равна радиусу штампа. Достигнув предельных значений, касательные напряжения должны развиваться по плоскостям, расположенным под углом 45 градусов к оси симметрии, и выйти к контуру контакта. Но эти плоскости проходят через область всестороннего сжатия, где сопротивления сдвигу значительно выше, чем в точке В. При дальнейшем увеличении нагрузки касательные напряжения достигают предельных значений в плоскостях, расположенных к оси симметрии под углами, превышающими 45 градусов.

При вдавливании штампа в пластичные породы сдвиги происходят по всей поверхности полусферы (рис. 1.4, б), играющей роль своеобразного нароста, внедряющегося в породу. Коническая поверхность сдвига является касательной к деформированной зоне. При выходе конуса скалывания на дневную поверхность внутренняя зона, где сосредоточена основная часть запасенной упругой энергии, превращается в тонкий порошок, а периферийные участки скалываются

крупными частицами. Л. А. Шрейнер отмечает, что хрупкие горные породы и минералы имеют существенно отличный от описанных механизм разрушения. Первый признак разрушения – появление на поверхности кольцевой трещины, диаметр которой больше диаметра штампа (рис.1.4, в). Последующие этапы процесса связаны с развитием этой трещины, выходом ее на свободную поверхность и раздавливанием материала под штампом. В следующих работах Л.А. Шрейнера и его учеников Н. Н. Павловой [78], Б. В. Байдюка [34], А. И. Спивака [97] в рассмотренные схемы внесены существенные корректировки.

Широкий комплекс теоретических и экспериментальных исследований механизма разрушения проведен во ВНИИБТ под руководством В.М. Эйгелеса. В работе [85] методом прямого интегрирования по площадке контакта с использованием известного решения Буссинеска о действии сосредоточенной силы на полупространство получены необходимые формулы для расчета полного тензора напряжений в любой точке массива. Площадка контакта принимается круглой, а распределение давления по площади – равномерным. Расчеты на ЭВЦВМ позволили построить поля напряжений в полупространстве и провести прочностной анализ. На основании теоретических исследований установлено наличие двух зон, в которых может возникнуть предельное состояние: по контуру штампа и глубине массива на оси симметрии.

Р.М. Эйгелес выделяет два механизма разрушения, при этом они связаны с опережающим развитием изменений напряженного состояния массива в первой экстремальной зоне. В первом механизме (рис. 1.5, А) начальный этап характеризуется возникновением В районе контура контакта штампа с полуплоскостью кольцевой трещины, которая увеличением нагрузки С развивается вглубь массива в виде конической поверхности, отходя от оси симметрии.

Дальнейшее увеличение усилия вдавливания приводит к поперечной деформации образовавшегося усеченного конуса и выкалыванию боковых участков (консоли).

Давление усеченного конуса на консоль может носить упругий характер или



Рис. 1.5 Разрушение горных пород при вдавливании по Р.М. Эйгелесу: А – первый механизм; Б – второй механизм



Рис. 1.6 Зависимость энергоемкости процесса разрушения негабарита от энергии удара

быть связано с нарушением его сплошности. Но в том и другом случаях это приводит к формированию в консоли трещины отрыва, нормальной к конусной трещине, и последующему выходу ее на свободную поверхность.

В соответствие со вторым механизмом (рис. 1.5, Б) по мере увеличения нагрузки под площадкой контакта развивается зона необратимых деформаций.

При малых нагрузках она локализуется в окрестностях контура, а затем, когда нагрузка достигает некоторых предельных величин, быстро развивается вглубь массива по направлению к оси симметрии, приобретая форму чашеобразного тела. В сечении плоскостью симметрии она имеет серповидную форму. Расчеты показывают, что рассматриваемая зона не совпадает с областью действия максимальных касательных напряжений, а располагается ниже ее. При дальнейшем увеличении нагрузки серповидная форма захватывает все большие объемы, распространяется как вглубь массива, так и в сторону штампа, и в итоге принимает форму усеченного овального ядра. Какая бы ни была физическая природа процессов, приводящих к нарушению исходного состояния породы в этой зоне, в результате полупространство, как и в первом механизме разрушения, разделяется на две области: предварительно разрушенное ядро и окружающий его нетронутый упругий массив. Заключительная стадия процесса разрушения такая же, как и при первом механизме.

Другая группа исследователей ставит целью установить влияние отдельных параметров процесса ударного разрушения на его эффективность. В качестве критерия эффективности приводится показатель энергоемкости процесса.

Влияние скорости удара на энергоемкость процесса разрушения исследовалось многими авторами, однако общего мнения по указанному вопросу не выявлено. Одни исследователи [34, 75] утверждают, что с повышением скорости приложения нагрузки объемная энергоемкость ударного способа пород уменьшается, разрушения горных другие [22] отстаивают прямо противоположную точку зрения; третьи считают, что скорость приложения нагрузки не влияет на показатели процесса ударного разрушения горных пород [94, 108]. По ряду исследований получен вывод, что кривая зависимости удельной энергоемкости от скорости приложения нагрузки характеризуется наличием точки перелома в которой зависимость меняет свой знак на обратный.

Анализ выполненных исследований позволил сделать вывод о том, что влияние скорости приложения нагрузки на эффективность динамического разрушения горных пород уменьшается при увеличении энергии удара, а эффективность применения динамического способа разрушения горных пород возрастает с переходом к породам все более высокой крепости [22].

Зависимость энергоемкости процесса динамического разрушения от количества ударов рассматривается в [23, 24, 31]. Предварительными исследованиями установлено, что при воздействии повторных ударных нагрузок закономерности изменения удельной энергоемкости разрушения в зависимости от различных параметров качественно подобны соответствующим закономерностям, полученным при одиночном ударе. При этом энергия единичного удара, потребная для разрушения горной породы при повторном режиме, оказалась несколько меньшей, чем при режиме разрушения одиночным ударом. Удельная энергоемкость разрушения осталась при этом примерно на прежнем уровне.

Исследования показали также, что для каждой совокупности условий разрушения существует свое оптимальное значение частоты ударов, при которой показатели объемной и поверхностной энергоемкости минимальны. Кроме того, недостаток энергии отдельного удара при разрушении горной породы не может компенсироваться их числом.

Наиболее существенным фактором, определяющим эффективность разрушения горных пород ударным способом, является величина энергии единичного удара.

Экспериментальными исследованиями [22] установлено, что величина удельной энергоемкости ударного разрушения горных пород по мере увеличения энергии единичного удара уменьшается по параболической зависимости. Существует некоторая предельная максимальная величина энергии единичного удара, зависящая от физико-механических свойств разрушаемой горной породы. После достижения этой величины удельная энергоемкость перестает снижаться и

остается постоянной величиной.

Кроме того, оптимальная величина энергии единичного удара прямо пропорциональна крепости разрушаемой горной породы, а с увеличением энергии единичного удара влияние геометрии рабочего инструмента на показатели динамического разрушения горных пород уменьшается.

При ударном приложении нагрузки наиболее вероятен процесс разрушения с формированием и развитием хрупкой трещины, выступающей в роли очага напряжения, возникающего в наиболее опасном сечении и, в конечном итоге, приводящего к разрушению материала. В связи с указанным подходом весьма важное значение приобретает оценка физико-механических свойств разрушаемых пород.

Исследования показывают, что для успешного дробления негабаритов горных пород с заданными размерами и физико-механическими свойствами энергия единичного удара дробящей машины должна быть выше некоторой предельной величины А_{мин} (рис. 1.6). В противном случае энергоемкость процесса может резко (иногда в десятки раз) возрасти, что приведет к снижению эффективности дробления. Предельное значение энергии единичного удара зависит не только от физико-механических свойств и размеров негабаритов, но и от того, каким образом получена заданная энергия удара: за счет увеличения скорости ударной части или его массы. Эксперименты показывают, что машина с энергией удара 15 кДж при 20 ударах в минуту оказывается по производительности разрушения негабаритов в несколько раз более эффективной, чем машина такой же мощности, но с энергией удара 150 Дж при 2000 ударах в минуту.

Для определенных размеров негабаритов масса навесного оборудования тоже должна быть не менее некоторой предельной величины. В противном случае даже при большой энергии единичного удара (больше A_{мин}) процесс разрушения породы может попасть в переходную область.

После превышения машиной значения А_{мин} энергоемкость дробления остается практически постоянной. Следовательно, можно утверждать, что с

увеличением энергии единичного удара происходит рост производительности процесса дробления негабаритов. В настоящее время развитие ударных машин для дробления негабаритов горных пород идет по пути повышения энергии единичного удара.

1.3 Рабочее оборудование для дробления негабаритов горных пород

Наиболее простым и эффективным способом разрушения негабаритов является механический удар. Первоначально для этих целей в карьерах применялись установки с падающим грузом, затем стали использовать молоты. В силу ряда объективных преимуществ В настоящее время применяют гидромолоты, навешиваемые в качестве сменного рабочего органа на гидравлические экскаваторы. Примером универсальной машины может служить УБШ. При этом нет технических ограничений для навески установка гидромолотов на экскаваторы с рабочим оборудованием «обратная» или «прямая лопата» [128].

Гидромолоты выпускают многочисленные отечественные ОАО "Тверьтехоснастка", ФГУП «СибНИИСтройдормаш», ООО "Златоустовский экскаваторный завод «Златэкс», компания «Традиция-К» и зарубежные фирмы Крупп (Германия), Ингерсолл-Рэнд (США), Раммер (Финляндия), NRK (Япония).

Гидромолот отличается достаточно широкой областью применения и используется для разрушения мерзлого грунта, железобетонных и бетонных конструкций, вскрытия асфальтобетонных покрытий, а также при разработке скальных пород [129].

На рис. 1.7 представлена продукция ОАО "Тверьтехоснастка" и фирмы Раммер (Финляндия), в табл. 1. 2 и 1.3 их технические характеристики.

Из приведенных характеристик следует, что энергия удара гидромолотов находится в пределах 1000–8400 Дж, а частота – 300–600 уд/мин. Таким образом, существующие конструкции гидромолотов являются высокочастотными: с малой



Рис. 1.7 Продукция завода ОАО "Тверьтехоснастка" (HM-230; HM-440) и фирмы Раммер (Финляндия)

энергией единичного удара и большой частотой. Это приводит к местному разрушению породы в непосредственной близости от инструмента и при приложении высокочастотной нагрузки инструмент постепенно погружается в материал, образуя чаще всего углубление или отверстие, а не разрушение негабарита.

Результаты исследований и опыт дробления негабаритов горных пород в нашей стране и за рубежом свидетельствуют о перспективности создания самоходных бутобоев, оснащенных мощными гидропневматическими ударными устройствами с энергией единичного удара 25—30 кДж и более. В табл. 1.4 приведены основные технические характеристики бутобоев [128].

Как видно из таблицы, энергия удара бутобоя повышается до 30 кДж при одновременном снижении частоты до 15 уд/мин.

Установка с дизель-молотом (рис.1.8), предназначена для дробления негабаритных кусков породы, разрушения шлаков, бетонных и строительных конструкций, вскрытия асфальтовых покрытий, рыхления мерзлоты и т.д.

Установка состоит из транспортной базы, в качестве которой могут использоваться самоходные гусеничные и колесные экскаваторы и трактора (отечественного и иностранного производства) и дизельного молота.

Применение данной установки позволяет механизировать процесс разделки негабаритов и исключить буровзрывные работы. Маневренность установки обеспечивает экономичность использования на рассредоточенных малых площадях и в стесненных условиях [130].

В таблице 1.5 представлены технические характеристики установки фирмы «Строймаш».

Фирма Fractum производит самый большой и мощный молот в мире (рис. 1.9) и является лидером в разрушении. Энергия удара Fractum составляет более 400 кДж при частоте 7 ударов в минуту, что превосходит энергию удара самых больших гидравлических молотов в 15–30 раз. Молот монтируется на экскаваторы весом 65 тонн и выше [131].

Таким образом, промышленное освоение оборудования для ударного

разрушения негабаритов идет по пути увеличения энергии удара.

Таблица 1.2

Технические характеристики отечественных гидромолотов	
---	--

Параметры	MH-230	MH-330M	MH-350	MH-440M
Масса экскаватора, т	8-13	12-20	14-20	18-32
Масса гидромолота, кг	350	750	800	1200
Энергия удара, Дж	1000	2000	2500	4000
Частота, уд /мин	540	420	360	300
Расход масла, л/мин	80-120	80-160	160	160-240
Рабочее давление, МПа	10	16	16	16
Диаметр инструмента,	80	110	120	135
MM				
Рабочая длина	350	480	500	600
инструмента, мм		100		

Таблица 1.3

Технические характеристики зарубежных гидромолотов (фирма Rammer)

Параметры	S-54	S-55	S-56	S-84	S-86
Масса гидромолота, кг	1025	1270	1550	2600	3450
Энергия удара, Дж	2200	2800	3500	6000	8400
Частота ударов, уд/мин	350-550	315-600	350-550	400	300-475
Диаметр рабочего инструмента, мм	115	115	130	160	170
Расход масла, л/мин	70-110	90-160	120-160	210-310	190-300
Рабочее давление, МПа	14,0	14,0	14,0	14,5	16,0

Параметры	Марка				
	БПГ-30Э	БПГ-30Т	HEFTI-514		
Энергия удара, кДж	24	30	27,6		
Частота уд/ мин	15	15	15		
Мощность, кВт	13,8	16,7	39,7		
Масса бутобоя, кг	13800	32500	19400		
Масса ударной части, кг	1200	1200	1090		
Производительность, м ³ /ч	87	115	120		
			(известняк)		

Технические характеристики бутобоев

Таблица 1.5

Технические характеристики установки для разрушения негабаритов фирмы «Строймаш»

Технические параметры	
Шасси	ЭО-3322 (3326,5024), MT3-82
	другие марки самоходных экскаваторов
	и тракторов
Управление	дистанционное
Навеска ударная — штанговый молот	ДМ-240 (СП60), СП60А
Навеска ударная — трубчатый молот	СП74, СП75А, СП76А
	другие марки дизельных молотов
Энергия удара, кДж	1,75(СП60), 14 (СП74), 29,0 (СП75А),
	42,0 (СП76А)
Манипулятор	Телескопический
Масса навесного оборудования, кг	400 (СП60А, СП60), 1500 (СП74), 2700
	(СП75А), 3850 (СП76А)



Рис. 1.8 Установка для разрушения негабаритов фирмы «Строймаш» (г. Стерлитамак)



Рис. 1.9 Молот фирмы Fractum

ВЫВОДЫ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ выполненных ранее исследований позволил сделать следующие выводы:

1. Проблема разрушения негабаритов горных пород является актуальной. Из известных безвзрывных способов наименее энергоемким является способ ударного разрушения.

2. Выполненные исследования в области ударного взаимодействия инструмента с негабаритом направлены на выявление физической картины разрушения и определение влияния отдельных параметров на эффективность процесса. Установлено, что энергия единичного удара является одним из параметров процесса, при негабарита основных ЭТОМ для разрушения эффективней наращивать энергию удара за счет увеличения массы и размеров по сравнению со скоростью инструмента. Однако отсутствует комплексный подход в исследовании процесса разрушения негабарита, учитывающий соотношение энергии единичного удара и прочности материала, размеров негабарита, формы инструмента, а также точки нанесения удара.

3. Существующие конструкции машин для ударного разрушения негабаритов горных пород выполнены, в основном, в виде сменного рабочего оборудования к одноковшовым гидравлическим экскаваторам, которые обладают автономностью, относительной мобильностью и высокой степенью свободы рабочего оборудования. При этом базовые машины существенно различаются по своим габаритно-весовым и мощностным характеристикам, оказывающим влияние на параметры навесного оборудования. В связи с этим необходима разработка типоразмерного ряда навесного оборудования, соответствующего каждой размерной группе экскаватора.

На основе выше изложенного сформулированы цель и задачи исследований.

Цель исследований: повышение эффективности работы оборудования для ударного разрушения негабаритов на стадии проектирования с учетом размеров негабарита, прочностных свойств материала и характеристик базовой машины. Задачи исследований:

проведение системного анализа машины для разрушения негабаритов
горных пород и разработка математических моделей подсистем «инструмент –
негабарит» и «базовая машина – ударный механизм»;

 определение зависимости энергии удара, необходимой для разрушения, от размеров негабарита, прочности материала и угла заострения инструмента и подтверждение полученных зависимостей результатами экспериментальными исследованиями;

- определение рациональных параметров и разработка типоразмерного ряда навесного оборудования с учетом габаритно-весовых и мощностных характеристик базовой машины;

- разработка методики расчета основных параметров и определение экономической эффективности применения навесного оборудования для разрушения негабаритов горных пород.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1 Системный анализ

Системный подход к решению сложных многопараметрических задач предполагает представление объекта исследования В виде системы, взаимодействующей с внешней средой. На систему накладываются внутренние связи И ограничения ПО конструктивным, технологическим И другим требованиям. В соответствие с задачами исследования формируются параметры входа и выхода.

Системный анализ позволяет при заданных входных воздействиях определить параметры и структуру объекта, при которых показатели эффективности достигают своих экстремальных значений. При этом прямое экспериментирование на натурных образцах требует значительных материальных затрат и времени, а технические возможности экспериментального образца зачастую ограничивают область исследований.

Моделирование, как метод научных исследований, обладает, с одной стороны, приемлемой достоверностью результатов, с другой – существенным сокращением затрат по сравнению с экспериментами на натурных образцах. Поэтому использование средств моделирования в исследовании многопараметрических объектов является вполне оправданным.

Моделирование предполагает изучение объекта исследования при помощи модели, которая соответствует оригиналу и заменяет его на отдельных этапах исследования. Математические модели не обладают с объектом одной физической природой и не имеют с ним геометрического подобия. Необходимое условие – наличие системы уравнений, описывающих поведение исследуемого объекта и модели.

Математические модели целесообразно использовать в случае, когда известны зависимости отдельных параметров объекта от внешних факторов. Широкое использование современной вычислительной техники делает математическое моделирование удобным средством изучения сложных многопараметрических систем.

Физические модели имеют одинаковую с объектом исследования физическую природу и отличаются от него масштабами параметров. При этом необходимым условием являются физическое подобие и тождественность законов движения модели и исследуемого объекта. Физические модели используют при отсутствии математического описания объекта исследования.

Использование физической модели предполагает проведение эксперимента, который является важным этапом научных исследований. При помощи эксперимента проверяются рабочие гипотезы и предположения, формируются новые представления об исследуемом объекте, устанавливаются конкретные зависимости и величины [14, 15].

Активный эксперимент дает возможность устанавливать значения факторов заранее по определенному плану, а исследователь может активно вмешиваться в ход эксперимента. При этом планирование эксперимента значительно сокращает трудоемкость и время его проведения, позволяет достичь заданного уровня значимости при минимально возможном числе опытов или при заданном числе опытов максимально возможный уровень значимости результата [39].

Машина для разрушения негабаритов горных пород представляет собой сложную динамическую систему с разветвленной структурой, многочисленными связями и различного рода ограничениями. Система находится под действием активных сил (ударная составляющая), внешних возмущений (сопротивление на инструменте) и управляющих воздействий со стороны оператора. В общем случае указанные воздействия носят случайный характер и могут наблюдаться в

различных сочетаниях.

Универсальную методологию исследования подобных объектов предоставляет системный анализ [10, 25]. На рис. 2.1 машина представлена в виде системы «базовая машина - ударный механизм – инструмент - негабарит».

Основу системы составляют подсистемы «базовая машина - ударный механизм» и «инструмент - негабарит». Свойства каждой из подсистем характеризуются параметрами входящих в данную подсистему объектов. Так, для подсистемы «инструмент - негабарит» определяющими следует считать: энергия единичного удара (Т), форма инструмента (α), точка нанесения удара (b). Свойства подсистемы «базовая машина - ударный механизм» определяют крутящий момент двигателя М_к=f(ω); подача насосной установки (Q), диаметр гидроцилиндра подъема ударной части (D).

На систему наложены внутренние связи и ограничения по конструктивным, технологическим, эксплуатационным и другим требованиям (масса навесного оборудования – m_3 , высота подъема ударной части – H, максимальное давление в гидросистеме – p_{max} и др.).

В соответствии с поставленной задачей входом системы являются: размеры негабарита и прочностные свойства материала, а также условия выполнения работ. Выходом служат показатели эффективности навесного оборудования (производительность, мощность и энергоемкость процесса).

Системный анализ машины для разрушения негабаритов дает возможность при заданных входных воздействиях установить структуру и параметры основных его подсистем, оказывающих влияние на показатели эффективности.

2.2 Математическая модель подсистемы «инструмент - негабарит»

Процессы взаимодействия инструмента с массивом хрупкого материала с целью разрушения последнего можно наблюдать во многих областях: горнодобывающей промышленности, металлургии, строительстве, коммунальном хозяйстве и других отраслях.





Хрупкие свойства материала независимо от его прочности и способа приложения нагрузки определяют механизм взаимодействия с рабочим инструментом [7]. На рис. 2.2 представлена расчетная схема взаимодействия клиновидного инструмента с массивом хрупкого материала.

Инструмент 1 установлен на уступ массива 2 на расстоянии b от края уступа. К инструменту приложена вертикальная сила P, под действием которой, преодолевая сопротивление внедрению, инструмент погружается в массив.

Примем предположение о том, что ширина лезвия инструмента и ширина уступа равны

$$a = d$$

где а – ширина уступа материала, м;

d – ширина лезвия инструмента, м;

при этом материал обладает изотропными свойствами.

На первом этапе происходит линейный контакт рабочего инструмента с уступом, в материале возникают напряжения, превосходящие его контактную прочность, наблюдается локальное разрушение материала и продвижение инструмента вглубь массива. Процесс является симметричным, поэтому рассматривается одна его половина.

По мере продвижения инструмента появляется площадь контакта его боковой поверхности с материалом, на которой возникает нормальное усилие:

$$W = \frac{P}{2\sin\alpha} \tag{1}$$

где α – половина угла заострения инструмента, рад.

Одновременно со стороны массива материала действует реакция:

$$W = \sigma_{C\mathcal{H}} \cdot S \tag{2}$$

где σ_{cm} – предел прочности материала на сжатие, Па;

S – площадь контакта боковой поверхности инструмента с материалом, м²:

$$S = \frac{dh}{\cos(\alpha)} \tag{3}$$

здесь h – глубина погружения инструмента, м.

Решая совместно уравнения (1) – (3), находим глубину погружения инструмента:

$$h = \frac{P\cos\alpha}{2\sin\alpha\sigma d}$$

Нормальное усилие W можно разложить на две составляющие W1 и W2, которые направлены в сторону открытой поверхности и глубь массива соответственно. Интерес представляет W1, под действием которой появляются касательные напряжения в плоскости 1-1, выходящей на дневную поверхность:

$$\tau_{1-1} = \frac{W_1}{S_{1-1}}$$

где S₁₋₁ – площадь сечения материала в плоскости 1-1, м².

Составляющая W₁:

$$W_1 = W \sin \beta$$

где β – угол между боковой поверхностью инструмента и плоскостью 1-1, рад. Площадь сечения материала в плоскости 1-1:

$$S_{1-1} = \frac{dh}{\cos(\alpha + \beta)}$$

Нормальное усилие W также можно разложить на составляющие W3 и W4, как показано на рис. 2.3. Составляющая W4 действует под углом δ и создает касательные напряжения в плоскости 1-2, выходящей на боковую поверхность уступа. Используя предыдущие рассуждения, зависимости, описывающие процесс скола массива материала, можно представить следующим образом:

$$\tau_{1-2} = \frac{W_4}{S_{1-2}} \qquad \qquad W_4 = W\cos(\alpha - \delta) \qquad \qquad S_{1-2} = \frac{db}{\cos\delta}$$

Представленные зависимости дают возможность определить углы β и δ, под которыми происходит «выкол» и «скол» материала.

Приведенные выше зависимости справедливы для ограниченного объема горной породы – негабарита. На рис. 2.4 представлена расчетная схема ударного взаимодействия клинового инструмента с негабаритом. Нормальные


Рис. 2.2 Расчетная схема взаимодействия клиновидного инструмента с массивом хрупкого материала при разрушении «выкол»



Рис. 2.3 Расчетная схема взаимодействия клиновидного инструмента с массивом хрупкого материала при разрушении «скол»



Рис. 2.4 Схема ударного взаимодействия клинового инструмента с негабаритом

составляющие ударного усилия W создают растягивающие напряжения в плоскости 1-1, в которой может произойти раскол.

Кроме того, появляются касательные напряжения, действующие в плоскостях 1-2 и 1-3, по которым, вероятнее всего, произойдут скол или выкол соответственно.

В зависимости от соотношения энергии единичного удара, прочности материала, размеров негабарита, а также точки нанесения удара, разрушение негабарита будет происходить в одной из указанных плоскостей.

С учетом ранее выполненных исследований разработана математическая модель ударного разрушения негабаритов [8]:

$$h = \frac{MV^2}{2P}; \quad V = \sqrt{2gH}; \quad P = 2W\sin\alpha; \quad W = \sigma S; \quad S = \frac{2ah}{\cos\alpha}; \quad T = \frac{MV^2}{2};$$

$$S1 = a(c-h); \quad \sigma 1 = \frac{W\cos\alpha}{S1}; \quad \delta = 0,5\alpha; \quad W2 = W\cos(\alpha - \delta); \quad S2 = \frac{ab}{\cos\delta};$$

$$\tau 2 = \frac{W2}{S2}; \quad \beta = -0,5\alpha + 0,785; \quad W3 = W\sin\beta; \quad S3 = \frac{ah}{\cos(\alpha + \beta)}; \quad \tau 3 = \frac{W3}{S3}$$

где: h – глубина погружения инструмента, м; M – масса ударной части, кг; V- скорость в момент удара, м/с; P – ударное усилие, H; g – ускорение свободного падения, м/с²; H – высота подъема ударной части, м; W – нормальная составляющая ударного усилия, H; α – половина угла заострения инструмента, рад; σ – предел прочности материала на сжатие, МПа; S – площадь контакта боковых граней инструмента с породой, м²; a – ширина негабарита, м; T – кинетическая энергия инструмента в момент удара, Дж; S1 – площадь поверхности раскола, м²; с – высота негабарита, м; σ 1 – нормальные напряжения в плоскости раскола, МПа; δ – угол наклона поверхности скола к горизонту, рад; W2 – составляющая ударного усилия в плоскости скола, H; S2 – площадь поверхности скола, м²; τ 2 – касательные напряжения в плоскости скола, МПа; β – угол между поверхностью выкола и боковой гранью инструмента, рад; W3 – составляющая ударного усилия в плоскости выкола, H; S3 – площадь поверхности выкола, м²; τ 3 – касательные напряжения в плоскости выкола, МПа.

При составлении математической модели были сделаны следующие допущения:

- ширина лезвия инструмента равна ширине негабарита;

- свойства материала изотропны;

- негабарит находится на абсолютно жестком основании.

2.3 Математическая модель подсистемы «базовая машина - ударный механизм»

В качестве базовой машины целесообразно принять одноковшовый гидравлический экскаватор, для которого характерны автономность, относительная мобильность и высокая степень свободы рабочего оборудования. Кроме того, при замене ударного механизма на ковш экскаватор способен производить отгрузку готового продукта.

При разработке навесного оборудования в качестве сменного рабочего оборудования одноковшового строительного экскаватора необходимо учитывать характеристики базовой машины, которые накладывают на его параметры

определенные ограничения [7].

Во-первых, ограничение по общей массе навесного оборудования. С одной стороны, дополнительно присоединенная масса навесного оборудования не должна нарушать устойчивость экскаватора при перебазировках. При этом рассматривается следующее расчетное положение: экскаватор расположен на ровной поверхности, наклоненной в сторону рабочего оборудования под углом β к горизонту, стрела и рукоять имеют максимальный вылет, ударная масса находится в крайнем нижнем положении (рис. 2.5).

Из условия равновесия общая масса навесного оборудования:

$$m_3 \leq \frac{m \cdot l - m_1 \cdot l_1 - m_2 \cdot l_2}{l_3 \cdot k_1}$$

где: $m, m_1, m_2 u m_3$ - масса базовой машины, стрелы, рукояти и навесного оборудования соответственно, кг;

l, *l*₁, *l*₂, *l*₃ - расстояние от ребра опрокидывания до центра тяжести базовой машины, стрелы, рукояти и навесного оборудования соответственно, м;

*k*₁ –коэффициент запаса статической устойчивости.

С другой стороны, дополнительная масса навесного оборудования должна быть учтена при проверочном силовом расчете гидроцилиндров стрелы и рукояти в указанном расчетном положении:

$$m_{3} \leq \frac{P_{1}l_{7} - gm_{1}l_{4} - gm_{2}l_{5}}{gl_{6}}$$
$$m_{3} \leq \frac{P_{2}l_{8} - gm_{2}l_{9}}{gl_{10}}$$

где: P₁ и P₂ - усилие на штоке гидроцилиндра стрелы и рукояти соответственно, H;

 l_4 , l_5 и l_6 – расстояние от шарнира крепления стрелы до центра тяжести стрелы, рукояти и навесного оборудования соответственно, м;

 l_7 и l_8 – плечо действия силы P_1 и P_2 соответственно, м;

*l*₉ и *l*₁₀ - расстояние от шарнира крепления рукояти до центра тяжести рукояти и навесного оборудования соответственно, м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Максимально допустимой величиной общей массы навесного оборудования служит наименьшая из полученных при расчете.



Рис. 2.5 Расчетная схема экскаватора в транспортном положении

Во-вторых, ограничение по жесткости пружины, от которой зависит устойчивость экскаватора в рабочем режиме при разгоне ударной массы. Расчетное положение: стрела имеет максимальный вылет, рукоять установлена в вертикальном положении, экскаватор опирается на задние ребро опрокидывания и стойку навесного оборудования (рис. 2.6).

Реакция на стойке навесного оборудования:

$$R = \frac{l_{11}}{l_{12}} \cdot G$$

где: *l*₁₁, *l*₁₂ – расстояние от центра тяжести базовой машины до ребра опрокидывания и стойки навесного оборудования соответственно, м;

G – вес экскаватора, Н.

Жесткость пружины из условия динамической устойчивости:

$$C \le \frac{R}{H \cdot k_2}$$

где: Н – высота подъема ударной части, м;

*k*₂ - коэффициент запаса динамической устойчивости.

В-третьих, ограничение по высоте подъема ударной части. Указанное ограничение носит условный характер и в принятой кинематической схеме навесного оборудования зависит от хода штока гидроцилиндра подъема. Для увеличения энергии удара необходимо стремиться к максимально возможной высоте подъема ударной части.

Кроме того, при определении основных параметров навесного оборудования для разрушения горных пород и прочных строительных материалов необходимо учитывать ограничения, накладываемые характеристиками энергетической установки и гидропривода базовой машины [6].

Существующие конструкции гидромолотов имеют существенный недостаток – относительно небольшую энергию единичного удара, наращивать которую не позволяет кинематическая связь между ударной частью и приводом в момент нанесения удара. Перспективной является конструкция навесного оборудования [79], заложенная в основу подсистемы «базовая машина - ударный механизм».

На рис. 2.7 представлена расчетная схема подсистемы «базовая машина - ударный механизм».

Навесное оборудование состоит из гидроцилиндра подъема 1 с захватом 2, ударной части 4 и пружины 3. Привод навесного оборудования осуществляется от гидросистемы базовой машины.

В исходном положении ударная часть 4 опирается на разрушаемую поверхность. Шток гидроцилиндра подъема 1 с захватом 2 выдвинут. При подаче рабочей жидкости в штоковую полость гидроцилиндра 1 захват 2 замыкается и совместно с ударной частью 4 начинает движение вверх, преодолевая усилие пружины 3. При достижении крайнего верхнего положения подача рабочей



Рис. 2.6 Расчетная схема экскаватора в рабочем положении



Рис. 2.7 Расчетная схема подсистемы «базовая машина – ударный механизм»

жидкости в штоковую полость прекращается, захват 2 размыкается, и ударная часть 4 под действием собственного веса и реакции пружины 3, разгоняясь, наносит удар по разрушаемой поверхности. Одновременно рабочая жидкость подается в поршневую полость гидроцилиндра 1, и шток с захватом 2 перемещается вниз до встречи с ударной частью 4. Рабочая жидкость вновь подается в штоковую полость гидроцилиндра 1 и далее процесс повторяется.

Рабочий процесс навесного оборудования существенно нелинеен, поэтому при анализе рабочего процесса целесообразно выделить две фазы: взвод ударной части и ее разгон.

Взвод. На этом этапе формируется запас энергии для нанесения удара. Ударная часть при помощи гидропривода базовой машины перемещается в верхнее положение. Уравнения движения:

$$pF = CH + Mg;$$

$$M_{\kappa} = qp; \omega 1 = \frac{\omega}{i};$$

$$\frac{M_{\kappa}}{i} = if(\omega < 188.496, -0.532\omega + 768.718, -23.642\omega + 5125);$$

$$V = \frac{\omega 1q}{i} = t = H$$
(6)

$$V = \frac{\omega \, lq}{F}; \quad t = \frac{H}{V} \tag{6}$$

где p – давление в напорной магистрали, Па; F – площадь поперечного сечения штоковой полости гидроцилиндра, м²; C – жесткость пружины, H/м; H - перемещение штока гидроцилиндра, м; M – масса ударной части, кг; M_{κ} – крутящий момент на валу гидронасоса, Hм; q – рабочий объем гидронасоса базовой машины, м³; i – передаточное отношение согласующего редуктора; ω – угловая скорость коленчатого вала двигателя, p/c; ω 1 — угловая скорость гидронасоса расти, м/с.

Уравнение (5) определяет угловую скорость коленчатого вала дизельного двигателя в зависимости от внешней нагрузки, уравнение (4) формирует давление в напорной магистрали, а (6) – определяет перемещение ударной части.

При составлении математической модели приняты следующие допущения:

- рабочая жидкость имеет постоянные параметры;

- работа регулирующей и предохранительной аппаратуры считается идеальной;

- неравномерность подачи насоса, утечки рабочей жидкости и внутренние сопротивления перемещению движущихся частей не учитываются.

Входом подсистемы являются конструктивные параметры навесного оборудования: масса и высота подъема ударной части, жесткость пружины, площадь поперечного сечения штоковой полости гидроцилиндра подъема. Выходом служат: угловая скорость коленчатого вала двигателя базовой машины, давление в напорной магистрали, скорость и время подъема ударной части.

Разгон. Реализует запас накопленной энергии при взводе в виде обобщенного показателя "энергия удара". Кинематическая связь с приводом разорвана, ударная часть под действием силы тяжести и реакции пружины перемещается в нижнее положение. Уравнения движения:

$$M a = CH + Mg; \quad T = \frac{CH^2}{2} + MgH;$$
$$V = \sqrt{\frac{2T}{M}}; \quad t = \sqrt{\frac{2H}{a}}$$

где: *a* – ускорение ударной части, м/с²; *V* – скорость ударной части в момент удара, м/с; Т – энергия удара, Дж.

Основные параметры: время разгона, скорость ударной части в момент удара, энергия удара.

2.4 Описание лабораторной установки и методика проведения эксперимента

Научно-методической основой формирования физических моделей является теория подобия, которая дает возможность установить подобие или разработать способы его достижения. Подобными являются такие физические системы, у которых подобны все характеризующие их параметры: векторные величины геометрически подобны, а скалярные - пропорциональны в соответствующих точках пространства и в соответствующие моменты времени. Подобие характеризуется пропорциональностью всех величин, определяющих их качественную и количественную стороны.

Геометрическое подобие выражается равенством всех соответствующих углов и пропорциональностью всех линейных размеров (k_l =const). Кинематическое подобие системы определяется тождественностью направления и пропорциональностью действующих скоростей и ускорений ($k_{v,a}$ =const). Динамическое подобие системы характеризуется тождественностью направлений и пропорциональностью векторов сил, моментов и мощностей ($k_{p,M,N}$ =const).

На основании теории подобия формируются системы безразмерных соотношений, называемых критериями подобия. Получение критериев подобия основывается на анализе предварительной информации о моделируемом явлении на уровне гипотезы, отсутствие такой информации делает создание модели исследуемого объекта практически невозможным.

В зависимости от характера исходной информации используются различные методы получения критериев подобия. Широкое применение получили методы анализа уравнений, анализа законов и анализа размерностей.

Приняв за основу систему критериев подобия [15], и дополнив ее критериями динамического подобия, получаем критерии подобия процессов, протекающих в подсистеме «инструмент - негабарит»:

$$\Pi_1 = \frac{L_i}{l_i}, \quad \Pi_2 = \alpha_i, \quad \Pi_3 = \frac{M}{\nu \rho}, \quad \Pi_4 = \frac{\sigma F}{P}, \quad \Pi_5 = \frac{Ph}{T}, \quad \Pi_6 = \frac{EF}{T} \quad \Pi_7 = \frac{V^2}{gH}$$

где: L_i и l_i – определяющий линейный размер натурного образца и модели, м; α_i – угловой размер, рад; М – масса ударной части, кг; v – объем ударной части, м³; ρ – плотность материала инструмента, кг/м³; σ – предел прочности материала негабарита, Па; F – площадь сечения, м²; P – усилие, H; h – глубина погружения инструмента, м; T – энергия единичного удара, Дж; E – энергоемкость процесса, Дж/м²; V – скорость удара, м/с; H – высота подъема ударной части, м.

Критерии П₁ и П₂ определяют пропорциональность сходственных сторон и равенство углов модели и натурного образца, т.е. их геометрическое подобие, П₃ – идентичность материалов, критерии П₄, П₅ и П₆ - обеспечивают динамическое, а

П₇ - кинематическое подобие процесса.

При независимых масштабах

$$k_l = 9, \quad k_{\alpha} = 1, \quad k_{\rho} = 1, \quad k_{\sigma} = 1 \quad k_g = 1$$

индикаторы подобия:

$$k_m = k_l^{3} k_{\rho}, \quad k_P = k_{\sigma} k_F, \quad k_T = k_P k_h, \quad k_E = k_T / k_F \quad k_V = k_g k_H$$

Отсюда вытекают формулы перехода от параметров модели к параметрам натурного образца (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Формулы перехода от параметров модели к параметрам натурного образца

Наименование показателя	Формулы перехода
1. Линейный размер	$L_{H} = l_{M}k_{I}$
2. Угловой размер	$\alpha_{\rm H} = \alpha_{\rm M}$
3. Масса ударной части	$m_{\rm H} = m_{\rm M} k_{\rm l}^3$
4. Усилие	$P_{H}=P_{M}k_{l}^{2}$
5. Энергия единичного удара	$T_{\rm H} = T_{\rm M} k_{\rm l}^3$
6. Энергоемкость процесса	$E_{H} = E_{M}k_{I}$
7. Скорость удара	$V_{\rm H} = V_{\rm M} k_{\rm l}^{0,5}$
8. Предел прочности	$\sigma_{\rm H} = \sigma_{\rm M}$

Для проведения эксперимента изготовлена лабораторная установка (рис. 2.8), которая состоит из несущей и ударной частей. Несущая часть содержит стойку 1, опорную плиту 12 с предохранительным устройством, направляющие 2 и держатель 16. Предохранительное устройство состоит из втулки 9 и пальца 8. Направляющие 2 крепятся на поперечных планках 13 при помощи винтов 15 с контргайками 14.

Ударная часть содержит шток 3, связанный с несущей пластиной 5 и

сменным наконечником 6. Сменные грузы 4 установлены на несущей пластине 5 и закреплены при помощи прижимной гайки 11.

Лабораторная установка позволяет варьировать независимыми факторами: геометрические размеры инструмента – за счет сменных наконечников, энергия удара – при помощи сменных грузов и высоты подъема ударной части.

Цель экспериментальных исследований – подтверждение теоретических результатов, полученных на математической модели.

Результаты экспериментов должны обладать достаточной надежностью, которая при моделировании зависит не только от степени соответствия модели натурному образцу, но и метода измерений, измерительной аппаратуры, квалификации экспериментатора. Применение математической теории планирования и статистической обработки результатов эксперимента позволяет существенно сократить число опытов, уменьшить проведения время эксперимента, а также получить математическую модель исследуемого процесса.

Методика предполагает проведение серии экспериментов: определение высоты подъема ударной части Н и энергии единичного удара Т, при которых происходит раскол, от высоты образца и угла заострения инструмента α.

В качестве материала образцов был принят известняк с пределом прочности σ=120 МПа.

Необходимое количество повторных опытов устанавливалось статистическим путем, исходя из величины ошибки метода измерения и измерительной аппаратуры, а также требуемой надежности результатов. Для этого по пробной серии экспериментов в неизменных условиях определялись значение коэффициента вариации высоты подъема и ошибка эксперимента. По ошибке И требуемой надежности результатов определялось количество повторных опытов, которое равнялось трем.

Высота подъема изменялась вручную и измерялась при помощи линейки с ценой деления 1 мм. На рис. 2.9 представлены физическая модель и фрагмент экспериментальных исследований.



Рис. 2.8 Экспериментальная установка: 1 –стойка, 2 – направляющие, 3 –шток, 4 –сменный груз, 5 – несущая пластина, 6 – наконечник, 7 – образец материала, 8 – палец, 9 – втулка, 10 – захват, 11 – прижимная гайка, 12 – опорная плита, 13 – поперечные планки, 14 – контргайка, 15 – винт, 16 – держатель



a)



б)

B)

Рис. 2.9 Фрагмент экспериментальных исследований: а) образцы сменных наконечников; б) физическая модель навесного оборудования; в) раскол опытного образца. Кроме того, для создания инженерной методики расчета рациональных параметров навесного оборудования проведены вычислительные эксперименты на математических моделях с целью получения зависимостей, удобных в обращении.

Для определения зависимости энергия удара, необходимой для разрушения, от размеров, прочностных свойств негабарита и угла заострения инструмента выбран центральный композиционный ротатабельный план. При ротатабельном планировании число опытных точек меньше, чем при ортогональном, а матрица ошибок инвариантна к вращению осей координат. Это означает, что информация, содержащаяся в уравнении регрессии, равномерно распределена по поверхности гиперсферы.

В качестве независимых факторов приняты: x1 – ширина негабарита, м; x2 – высота негабарита, м; x3 – предел прочности материала негабарита, МПа; x4 – половина угла заострения рабочего органа, рад. Функция отклика – энергия удара, необходимая для разрушения негабарита, кДж.

Уровни факторов и интервалы варьирования представлены в табл.2.2

Таблица 2.2

	х1, м	х2, м	х3, МПа	х4, рад
+2	2	1,6	300	1,045
+1	1,7	1,35	250	0,915
0	1,4	1,1	200	0,785
-1	1,1	0,85	150	0,655
-2	0,8	0,6	100	0,525

Уровни факторов и интервалы варьирования

Функция отклика искалась в виде полинома второго порядка:

$$y = B_0 + \sum_{i=1}^{n} B_i X_i + \sum_{i=1}^{n} B_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^{n} B_{ii} X_i^2$$

где x_i и x_i – независимые факторы; B₀, B_i...B_{ii} – коэффициенты уравнения

Матрица планирования представлена в табл. 2.3

Таблица 2.3

№ опыта	х1, м	х2, м	х3, МПа	х4, рад	у, кДж
1	1,4	1,1	100	0,785	66,36
2	1,4	1,6	200	0,785	280,8
3	1,4	0,6	200	0,785	39,5
4	1,4	1,1	200	0,525	76,97
5	1,4	1,1	200	0,785	132,8
6	1,7	0,85	150	0,655	55,48
7	1,1	1,35	250	0,655	151
8	1,1	0,85	150	0,915	60,76
9	1,1	1,35	250	0,915	255,5
10	1,4	1,1	200	1,045	229
11	1,7	0,85	250	0,655	92,47
12	1,4	1,1	300	0,785	199,1
13	1,4	1,1	200	0,785	132,7
14	1,1	0,85	150	0,655	35,91
15	1,1	1,35	150	0,655	90,58
16	1,1	1,35	150	0,915	153,3
17	1,7	0,85	150	0,915	93,9
18	1,1	0,85	250	0,915	101,3
19	1,7	1,35	250	0,655	233,3
20	2	1,1	200	0,785	189,6
21	1,7	1,35	150	0,915	236,9
22	1,7	1,35	150	0,655	140
23	1,4	1,1	200	0,785	132,7
24	1,7	1,35	250	0,915	394,8
25	1,1	0,85	250	0,655	59,85
26	0,8	1,1	200	0,785	75,84
27	1,7	0,85	250	0,915	156,5

Матрица планирования

Выводы

1. Машина для разрушения негабаритов горных пород представляет собой сложную динамическую систему с разветвленной структурой, многочисленными связями и различного рода ограничениями. На основе системного анализа выделены подсистемы «инструмент - негабарит» и «базовая машина – ударный механизм», для которых разработаны математические модели.

2. Для подтверждения результатов математического моделирования разработана физическая модель подсистемы «инструмент - негабарит», изготовлена экспериментальная установка и составлена методика проведения эксперимента.

3. РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ ГОРНЫХ ПОРОД

3.1 Результаты исследований подсистемы «инструмент - негабарит»

Теоретические предпосылки, изложенные во второй главе, реализованы в среде «Mathcad» и представлены на рис. 3.1 и 3.2.

Анализ полученных зависимостей показывает, что для любого угла заострения клиновидного инструмента существует плоскость 1-1, выходящая на дневную поверхность (рис. 2.2), в которой касательные напряжения будут максимальны. Указанная плоскость проходит под углом β к боковой поверхности инструмента. В исследованном диапазоне изменения угла заострения α угол β:

$$\beta = -0.5\alpha + 0.785$$

При соблюдении условия:

$$\tau_{I-I} = \frac{W_I}{S_{I-I}} \ge [\tau]$$

где [т] – допускаемые касательные напряжения для материала, МПа; в плоскости 1-1 произойдет выкол материала.

Кроме того, для любого угла заострения клиновидного инструмента также существует плоскость, выходящая на боковую поверхность (рис.2.3), в которой касательные напряжения максимальны. Указанная плоскость проходит под углом δ к горизонту. В исследованном диапазоне изменения угла заострения α угол δ определяется:

$$\delta = 0,5\alpha$$

При соблюдении условия:

$$\tau_{I-2} = \frac{W_4}{S_{I-2}} \ge \left[\tau\right]$$

в плоскости 1-2 произойдет скол материала.

При взаимодействии клиновидного инструмента с образцом хрупкого материала под действием касательных напряжений могут возникать два вида разрушения: выкол и скол.

Выкол материала происходит в плоскости максимальных касательных напряжений, выходящей на дневную поверхность под углом β к боковой грани инструмента. При увеличении угла заострения от $\pi/3$ до $2\pi/3$ рад угол β уменьшается от $\pi/6$ до $\pi/12$ рад.

Скол материала происходит в плоскости максимальных касательных напряжений, выходящей на боковую поверхность под углом δ к горизонту. В зависимости от угла заострения инструмента диапазон его изменений находится в пределах $\pi/12...\pi/6$ рад.



Рис. 3.1 Зависимость нормального усилия (W), площади сечения материала (S) и касательных напряжений (τ) в плоскости 1-2 от угла δ для различных углов заострения инструмента (α): P=1000H; d=0,04 м; σ=4 МПа; b=0,04 м







Продолжение рис.3.1







Рис. 3.2 Зависимость нормального усилия (W), площади сечения материала (S) и касательных напряжений (τ) в плоскости 1-1 от угла β для различных углов заострения инструмента (α): P=1000H; d=0,04 м; σ=4 МПа; b=0,04 м







Рис. 3.3 Зависимость угла выкола (β) и скола (δ) от угла заострения инструмента (α)

Математическая модель подсистемы «инструмент - негабарит» реализована среде «Mathcad» и получены зависимости нормальных и касательных напряжений от энергии удара, прочности материала, размеров негабарита и шага отбивки.

На рис. 3.4 представлена зависимость нормальных и касательных напряжений от ширины негабарита. Из графика следует, что при нанесении удара по негабариту шириной 1 м напряжения в плоскостях 1-1 и 1-2 не превышают допускаемых значений. Напряжения в плоскости 1-3 (на графике не показаны) выше допускаемых, в результате чего происходит выкол материала под инструментом.

С уменьшением ширины негабарита напряжения в плоскостях 1-1 и 1-2 нарастают, и при а=0,4 м нормальные напряжения в плоскости 1-1 становятся равными допускаемым. Происходит раскол негабарита на две части в плоскости 1-1.

Из сказанного следует, что ширина негабарита влияет на величину напряжений в плоскостях 1-1 и 1-2, на напряжения в плоскости 1-3 – влияния не оказывает.

На рис. 3.5 представлена зависимость нормальных и касательных напряжений от высоты негабарита. Высота негабарита оказывает влияние только на нормальные напряжения в плоскости 1-1, которые с уменьшением высоты растут и при c=0,6 м становятся равными допускаемым. При этом также происходит раскол негабарита в плоскости 1-1.

На рис. 3.6 представлена зависимость нормальных и касательных напряжений от шага отбивки. Наблюдается аналогичная картина: с уменьшением шага отбивки растут касательные напряжения в плоскости 1-2, которые при b=0,2м превышают допускаемые значения, и происходит скол материала в плоскости 1-2. Изменение шага отбивки на величину нормальных напряжений в плоскости 1-1 влияния не оказывает.

Прочность материала оказывает существенное влияние на напряжения в негабарите. При неизменных параметрах удара и размерах негабарита раскол в плоскости 1-1 произойдет при σ≤200 МПа (рис. 3.7).

С увеличением энергии удара напряжения в негабарите также возрастают (рис. 3.8) и при T=40 кДж происходит раскол в плоскости 1-1.

Следует отметить, что во всех случаях касательные напряжения в плоскости 1-3 превосходят допускаемые значения, и если не произошел раскол или скол негабарита, то должен появиться выкол в плоскости 1-3 или локальное разрушение в зоне контакта.

Предложенная математическая модель дает возможность получить зависимости основных параметров процесса разрушения от указанных факторов.

На рис. 3.9 представлены зависимости основных параметров процесса разрушения негабарита от его ширины. С увеличением ширины негабарита *а* ударное усилие P и его составляющие *W*, *W2 и W3* также увеличиваются. Это объясняется тем, что, не смотря на уменьшение глубины погружения инструмента *h*, площадь контакта боковых граней инструмента с породой *S* возрастает. Одновременно увеличиваются поверхности возможного разрушения *S1*, *S2*, *S3*. Так как интенсивность нарастания площадей по сравнению с силовыми воздействиями выше, то напряжения в указанных плоскостях снижаются. Углы β и δ зависят только от угла заострения рабочего инструмента α и остаются постоянными.

Увеличение высоты негабарита *с* влечет за собой увеличение площади *S1* и, следовательно, снижения нормального напряжения в плоскости 1-1. Остальные параметры процесса остаются неизменными (рис. П.2.1, приложение 2).

В случае увеличения расстояния b будет увеличиваться площадь поверхности *S2*, что приведет к снижению касательных напряжений в плоскости 1-2 (рис. П.2.2, приложение 2).

На рис. 3.10 представлены зависимости основных параметров процесса разрушения негабарита от угла заострения рабочего инструмента α. С увеличением угла заострения площадь контакта боковых граней инструмента с породой *S* практически не меняется. Поэтому величина нормальной составляющей ударного усилия остается постоянной. Однако, в связи с тем, что направление действия последней изменяется, величина ударного усилия Р растет.

Другие составляющие ударного усилия W2~u~W3 постепенно уменьшаются. Площади поверхностей разрушения остаются практически постоянными, а углы β и δ изменяются в обратно пропорциональной зависимости.

С увеличением энергии единичного удара все силовые параметры процесса, площади *S и S3*, глубина погружения *h* возрастают, остальные параметры не меняются (рис. П.2.3, приложение 2).

Разработанный механизм разрушения негабаритов позволяет установить влияние энергии единичного удара, прочности материала, размеров негабарита и формы инструмента, а также точки нанесения удара на основные параметры процесса разрушения. Для увеличения напряжений в негабарите следует повышать энергию единичного удара и уменьшать угол заострения рабочего инструмента.



а, м

Рис. 3.4 Зависимость нормальных (σ1) и касательных (τ2) напряжений от ширины (а) негабарита: *c*=1 м; b=0,4 м; σ=250 МПа; T=32 кДж ([σ] и [τ] – допускаемые нормальные и касательные напряжения материала)



Рис. 3.5 Зависимость нормальных (σ1) и касательных (τ2) напряжений от высоты (*c*) негабарита: a=1 м; b=1 м; σ=250 МПа; T=32 кДж ([σ] и [τ] – допускаемые нормальные и касательные напряжения материала)



b, м

Рис. 3.6 Зависимость нормальных (σ1) и касательных (τ2) напряжений от шага отбивки (b): a=0,4 м; c=1 м; σ=250 МПа; T=32 кДж ([σ] и [τ] – допускаемые нормальные и



Рис. 3.7 Зависимость нормальных (σ1) и касательных (τ2) напряжений от прочности материала (σ): a=1 м; *c*=0,6 м; b=0,9 м; T=32 кДж ([σ] и [τ]– допускаемые нормальные и касательные напряжения материала)





Рис. 3.8 Зависимость нормальных (σ1) и касательных (τ2) напряжений от энергии удара (Т): a=1 м; *c*=0,6 м; b=0,9 м; σ=100 МПа ([σ] и [τ]– допускаемые нормальные и касательные напряжения материала)





Рис. 3.9 Зависимость основных параметров процесса разрушения негабарита (P, W, σ1, W2, τ2, W3, S1, δ, S2, β, S3, h, S) от его ширины (a): b=1 м; *c*=1 м; H=1,6 м; σ=100 МПа; α=π/3; M=2000 кг; T=32 кДж







Рис. 3.10 Зависимость основных параметров процесса разрушения негабарита (P, W, σ1, W2, τ2, W3, S1, δ, S2, β, S3, h, S) от угла заострения рабочего инструмента (α): a=1 м; b=1 м; *c*=1 м; H=1,6 м; σ=100 МПа; M=2000 кг; T=32 кДж



α, рад



Продолжение рис.3.10



Рис. 3.11 Зависимость высоты подъема (Н) при расколе образца от его высоты (*c*): Н – теоретические, Н'– экспериментальные данные;
 а =0,06м; b=0,06м; σ=120МПа;α=π/брад.



Рис. 3.12 Зависимость высоты подъема (H) при расколе образца от угла заострения инструмента (α): H– теоретические, H'– экспериментальные кривые; a=0,06м; *c*=0,12м; b= 0,06м; σ=120МПа.



Рис. 3.13 Зависимость энергии удара (Т), необходимой для разрушения, от: *а*) ширины (а) и высоты (*c*) негабарита;

b) угла заострения инструмента (α) и прочности материала (σ).

Для подтверждения адекватности математической модели проведены экспериментальные исследования.

На рис. 3.11 и 3.12 приведены сравнения результатов, полученных на математической и физической модели подсистемы «инструмент – негабарит». Анализ показал их удовлетворительную сходимость. Ошибка находится в пределах 10–22%.

Разработанный механизм разрушения негабаритов позволяет установить зависимость энергии единичного удара, необходимой для разрушения, от размеров, прочности негабарита и угла заострения инструмента. В результате обработки данных вычислительного эксперимента в среде «Statistica» определены значащие коэффициенты регрессионной модели, подтверждена ее адекватность и получено уравнение регрессии, определяющее зависимость энергии удара от исследуемых факторов:

 $T = 1237,3 - 358,1a - 880,6c + 109,2c^2 - 2,51\sigma - 1294,5\alpha + 297,9\alpha^2$

 $+ 178,4ac + 0,52a\sigma + 204,1a\alpha + 1,25c\sigma + 494c\alpha + 1,43\sigma\alpha$

На рис. 3.13 представлены фрагменты, иллюстрирующие регрессионную зависимость. Анализ показывает, что наибольшее влияние на энергию удара оказывают высота негабарита и угол заострения инструмента, причем их влияние нарастает в квадратичной зависимости. Ширина и прочность негабарита связаны с энергией удара прямо пропорциональной зависимостью.

Математическая модель подсистемы «инструмент – негабарит» позволяет получить зависимости энергоемкости процесса от угла заострения инструмента и прочности материала (рис.3.14).

Из графика следует, что с увеличением угла заострения энергоемкость увеличивается. Это объясняется тем, что сопротивление внедрению инструмента определяется величиной площади контакта боковых поверхностей инструмента с материалом. При неизменной энергии единичного удара и прочности материала площадь контакта, а, значит, и сопротивление внедрению инструмента остаются постоянными. При этом реакция со стороны негабарита направлена перпендикулярно боковой поверхности инструмента. Поэтому с увеличением угла

заострения направление действия реакции приближается к вертикальному. Так как раскол негабарита происходит под действием нормальных напряжений, то энергоемкость увеличивается.

С увеличением прочности материала энергоемкость раскола негабарита также увеличивается. Зависимость нелинейная: с увеличением прочности материала скорость нарастания энергоемкости уменьшается. Это объясняется тем, что с увеличением прочности материала нарастает допускаемый передел прочности на разрыв, материал оказывает большее сопротивление внедрению инструмента. В связи с этим увеличивается энергия, необходимая для нарушении сплошности и целостности материала, что приводит к увеличению энергоёмкости.



Рис. 3.14 Зависимость энергоемкости процесса от угла заострения инструмента и прочности материала: a=0,9м; b=1м; M=1000кг; H=1,6м

3.2 Результаты исследований подсистемы «базовая машина - ударный механизм»

На рис. 3.15 представлена зависимость основных параметров процесса взвода ударной части от жесткости пружины. С увеличением жесткости до 50 кН/м нарастает давление в напорной магистрали и нагрузка на двигатель базовой машины. В результате незначительно снижаются угловая скорость коленчатого вала и подача гидронасоса, а вместе с ней – скорость подъема ударной части. При этом время подъема ударной части незначительно увеличивается.

Дальнейшее увеличение жесткости приводит к перегрузке двигателя, и последний переходит на корректурную ветвь внешней скоростной характеристики. Интенсивность изменения указанных параметров (кроме давления в напорной магистрали) меняется за счет падения угловой скорости коленчатого вала.

С увеличением высоты подъема (рис. 3.16) и массы ударной части (рис. 3.17) картина качественно не меняется, т.к. действия указанных факторов также приводят к увеличению давления в напорной магистрали и загрузке двигателя базовой машины.

На рис. 3.18 представлена зависимость основных параметров процесса взвода ударной части от площади поперечного сечения штоковой полости гидроцилиндра подъема. При минимальной площади поперечного сечения (0,0084 м²) возникает высокое давление, что приводит к перегрузке двигателя базовой машины и переходу на корректурную ветвь внешней скоростной характеристики. При этом угловая скорость коленчатого вала, подача гидронасоса и скорость подъема ударной части минимальны.

С увеличением площади поперечного сечения (0,0092 м²) давление в напорной магистрали снижается, при этом уменьшается нагрузка на двигатель базовой машины, вследствие чего повышается угловая скорость коленчатого вала, незначительно увеличивая подачу гидронасоса. Незначительное увеличение подачи не может компенсировать потерю скорости подъема ударной части за счет увеличения площади поперечного сечения штоковой полости, и последняя



С, кН/м

Рис. 3.15 Зависимость основных параметров процесса взвода ударной части от жесткости пружины: М=3500 кг; H=2м; S=0,0092м²



Рис. 3.16 Зависимость основных параметров процесса взвода ударной части от высоты подъема: С=55 кДж; М=3500 кг; S=0, 01 м²


Рис. 3.17 Зависимость основных параметров процесса взвода ударной части от ее массы: С=55 кДж; H=2м; S=0,0092м²



Рис. 3.18 Зависимость основных параметров процесса взвода ударной части от поперечного сечения штоковой полости гидроцилиндра подъема: М=3500 кг; H=2м; C=55 кДж

начинает снижаться. Время подъема увеличивается пропорционально площади поперечного сечения штоковой полости.

Все выходные параметры (кроме давления) имеют на графиках «точку перелома», которая соответствует работе двигателя в режиме максимальной мощности. Поэтому рациональными следует считать параметры навесного оборудования, значения которых на этапе «взвод» выводят двигатель базовой машины в режим максимальной мощности.

На этапе «разгон» кинематическая связь с приводом разорвана, ударная часть под действием силы тяжести и реакции пружины перемешается вниз. Выходные параметры этапа: время разгона (t), скорость (V) и ускорение (*a*) ударной части в момент удара, энергия удара (T).

На рис. 3.19 представлена зависимость основных параметров процесса разгона ударной части от жесткости пружины. Повышение жесткости влечет за собой увеличение потенциальной энергии сжатой пружины и ускорения ударной части. Это приводит к повышению скорости ударной части и сокращению времени разгона. Энергии удара увеличивается за счет скорости ударной части.

Увеличение массы ударной части (рис. 3.20), в противоположность повышению жесткости пружины, приводит к уменьшению ее скорости и увеличению времени разгона. Это объясняется тем, что доля силы жесткости пружины в общем балансе сил, действующих на ударную часть, с увеличением ее массы уменьшается.

Энергии удара увеличивается за счет массы ударной части.

Увеличение высоты подъема (рис. 3.21) приводит к повышению потенциальной энергии ударной части как за счет энергии сжатой пружины, так и гравитационной составляющей. Поэтому скорость нанесения удара нарастает интенсивнее. Время разгона и энергия удара также увеличиваются по параболической зависимости.

На основе результатов исследований на математической модели с учетом технических характеристик экскаваторов 3-5 размерных групп получены



Рис. 3.19 Зависимость основных параметров процесса разгона ударной части от жесткости пружины: М=3500кг; H=2м



М, Кг

Рис. 3.20 Зависимость основных параметров процесса разгона ударной части от ее массы: С=45кH/м; H=2м



Рис. 3.21 Зависимость основных параметров процесса разгона ударной части от высоты подъема: М=3500кг; С=45000H/м



Рис. 3.22 Зависимость основных параметров навесного оборудования от массы экскаватора



Продолжение рис. 3.22

зависимости основных параметров навесного оборудования от массы экскаватора (рис. 3.22).

3.3 Области рационального использования навесного оборудования

На основе полученных результатов разработан типоразмерный ряд навесного оборудования для одноковшовых экскаваторов 3-5 размерных групп, основные параметры которых представлены в таблице 3.1.

Исследованиями на математической модели получены области рационального использования типоразмерного ряда навесного оборудования. На рис. 3.23 (а) представлена зависимость высоты негабарита от его ширины, при которых происходит раскол для различных навесного оборудования.

Для навесного оборудования на базе экскаватора 3-й размерной группы

(энергия удара 36 кДж) на породах с пределом прочности 100 МПа площадь поперечного сечения негабарита не превышает 0,87 м². Для навесного оборудования с энергией удара 210 кДж размер негабарита в поперечнике может достигать 2,5 м². При этом следует отметить, что процесс разрушения протекает эффективней при условии а $\geq c$.

На рис. 3.23 (б) представлена зависимость высоты негабарита от его ширины для пород с различным пределом прочности. С увеличением предела прочности в 3 раза размер поперечника негабарита уменьшается в 1,9 раза.

Таблица 3.1

Масса экскаватора, т	13	18	28	38
Мощность двигателя, кВт	77	77	140	213
Общая масса навесного	2000	2200	4500	6000
оборудования, кг				
Масса ударной части, кг	1500	1500	3500	4500
Жесткость пружины, кН/м	40	26	45	60
Высота подъема ударной части, м	1	1,5	2	2
Площадь поперечного сечения	0,003	0,003	0,01	0,01
штоковой полости гидроцилиндра				
подъема ударной части, м ²				
Максимальное давление в	20	20	15	20
напорной магистрали, МПа				
Скорость удара, м/с	6,8	8,2	9,5	9,6
Частота ударов, уд/мин	15	10	10	12
Энергия удара, кДж	35	55	155	205

Основные параметры типоразмерного ряда навесного оборудования



а, м



б)

Рис. 3.23 Области рационального использования навесных оборудований а) – энергии единичного удара (σ=100 МПа); в зависимости от: б) – прочности материала негабарита (Т=210 кДж)

Выводы

1. При взаимодействии клиновидного инструмента с негабаритом могут возникать три вида разрушения: выкол, скол и раскол. Выкол и скол происходят под действием максимальных касательных напряжений в плоскостях, выходящих на дневную и боковую поверхности под углами, зависящими от угла заострения инструмента. Раскол образуется под действием нормальных напряжений в плоскости, совпадающей с направлением удара.

2. Угол заострения инструмента и ширина негабарита оказывает влияние на величину нормальных и касательных напряжений в материале, высота негабарита - только на нормальные напряжения, шаг отбивки - только на касательные напряжения. При заданных размерах негабарита разрушение произойдет в зависимости от соотношения энергии удара и прочности материала.

3. При увеличении угла заострения рабочего инструмента от $\pi/3$ до $2\pi/3$ энергоемкость процесса увеличивается в 1,7 раза. Изменение прочности материала в 5 раз приводит к увеличению энергоемкости в 2,3 раза.

4. Рациональными следует считать параметры навесного оборудования, полученные с учетом ограничений, накладываемых габаритно-весовыми характеристиками базовой машины, значения которых на этапе «взвод» выводят двигатель на режим максимальной мощности.

5. Разработан типоразмерный ряда навесного оборудования, области рационального использования которых определяют прочностные свойства и размер негабарита в поперечнике.

4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УДАРНОГО РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТОВ ГОРНЫХ ПОРОД

4.1 Технико-экономическая эффективность использования оборудования для ударного разрушения негабаритов горных пород

Эффективность использования навесного оборудовании проиллюстрирована на рис. 4.1.



Рис. 4.1 Сравнение производительности навесного оборудования и гидромолотов фирмы «Hydrex» (Корея): материал – песчаник (σ=100 МПа)

Производительность определялась для условных негабаритов в форме куба: материал – песчаник (σ=100 МПа), размеры – максимально возможные при расколе за 1-2 удара для всего типоразмерного ряда (рис. 3.22-а).

$$\Pi = \frac{60n}{2}\nu k_{\scriptscriptstyle B} \ , \label{eq:phi}$$

где: п – число ударов в минуту, уд/мин;

 ν – объем негабарита, м³;

к_в- коэффициент использования по времени (к_в =0,2) .

Данные по производительности гидромолотов фирмы «Hydrex» приведены в [132].

Анализ показывает, что производительность нового навесного оборудования для всего типоразмерного ряда увеличивается на 13–27%.

4.2 Методика расчета навесного оборудования для ударного разрушения негабаритов горных пород

На основе анализа и обобщения результатов исследований разработана методика расчета навесного оборудования, которая включает в себя следующие основные положения.

Исходя из среднего размера и прочностных свойств негабаритов, а также требований к выполнению работ, определяется энергия удара, необходимая для разрушения негабарита:

 $T = 1237,3 - 358,1a - 880,6c + 109,2c^2 - 2,51\sigma - 1294,5\alpha + 297,9\alpha^2 + 297,$

 $178,4ac + 0,52a\sigma + 204,1a\alpha + 1,25c\sigma + 494c\alpha + 1,43\sigma\alpha$

1. По энергии удара определяется масса экскаватора и выбирается размерная группа базовой машины:

$$m = 0,137T + 9,5$$

2. Из условия устойчивости в транспортном положении определяется общая масса навесного оборудования:

$$m_3 = 169,6m - 380$$

3. Из условия устойчивости в рабочем положении определяется реакция в точке опоры навесного оборудования:

$$R = -0.1m^2 + 9.6m - 100.4$$

и масса ударной части:

$$M = 123,7m - 107,4$$

4. Определяется жесткость пружины:

$$C = \frac{R}{Hk_2}$$

5. С учетом массы ударной части, высоты подъема и жесткости пружины определяется площадь поперечного сечения гидроцилиндра подъема ударной части:

$$F = \frac{G + CH}{p}$$

6. По найденным значениям основных параметров дальнейший расчет гидрообъемного привода ведется по существующим методикам.

Выводы

1. Использование навесного оборудования для разрушения негабаритов горных пород позволяет повысить производительность всего типоразмерного ряда на 13–27%, что для машины на базе экскаватора 3 размерной группы дает годовой экономический эффект 1,2 млн. руб.

2. Разработанная методика расчета позволяет, исходя среднего размера и прочностных свойств негабаритов, а также требований к выполнению работ, определить рациональные параметры навесного оборудования.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи повышения эффективности оборудования для ударного разрушения негабаритов, имеющей существенное значение для дальнейшего развития горнодобывающей отрасли промышленности. Выполненные исследования и разработки позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Выполненный системный анализ позволил выделить основные подсистемы: «инструмент – негабарит» и «базовая машина – ударный механизм» и разработать их математические модели.

2. Исследованиями подсистемы «инструмент – негабарит» установлено, что наибольшее влияние на энергию удара, необходимую для разрушения негабарита, оказывают высота негабарита и угол заострения инструмента, причем их влияние нарастает в квадратичной зависимости. Ширина и прочность негабарита связаны с энергией удара прямо пропорциональной зависимостью. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований показало их удовлетворительную сходимость. Ошибка находится в пределах 10–22%.

3. Основными параметрами навесного оборудования являются: масса ударной части, жесткость пружины, высота подъема и диаметр гидроцилиндра подъема ударной части, рациональные значения которых выводят двигатель базовой машины на режим максимальной мощности. Разработан типоразмерный ряд навесного оборудования к экскаваторам массой 14–38 тонн и определены области его рационального использования.

4. Разработанная методика расчета позволяет исходя из среднего размера и прочностных свойств материала негабаритов, а также требований к выполнению

работ определить рациональные параметры навесного оборудования. Расчетный годовой экономический эффект использования навесного оборудования на базе экскаватора 3 размерной группы составляет 1,2 млн руб.

Исходя из вышеизложенного, дальнейшие исследования целесообразно направить на повышение энергии единичного удара навесного оборудования за счет совершенствования конструктивных схем ударного механизма и применения новых эффектов взаимодействия инструмента с негабаритом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров, В. В. Развивающиеся системы в науке, технике, обществе и культуре: ч. 1. Теория систем и системное моделирование / В. В. Александров. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 243 с.

Александров, Е. В. Прикладная теория и расчеты ударных систем / Е.
 В. Александров, В. Б. Соколинский. – М.: Наука, 1969. – 201 с.

Алексеев, А. Д. Предельное состояние горных пород / А. Д. Алексеев,
 Н. В. Недодаев. – Киев: Наукова думка,1982. – 203 с.

4. Алексеева, Т. В. Гидравлические машины и привода дорожностроительных машин. Учебное пособие / Т. В. Алексеева, Э. Б. Шерман. – Новосибирск, 1977. – 110 с.

5. Алимов, О. Д. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах / О. Д. Алимов, В. К. Манжосов, В. Э. Еремьянц. – М.: Наука, 1985. – 360 с.

6. Аль-саккаф, Халед Саед Таха. Результаты исследования рабочего процесса ударника для разрушения негабаритов горных пород на математической модели / В. Г. Зедгенизов, Халед Саед Таха Аль-саккаф // Вестник ИрГТУ. – 2013.–№7(78). – С.18–22.

Аль-саккаф, Халед Саед Таха. К вопросу о взаимодействии клиновидного инструмента с массивом хрупкого материала / В. Г. Зедгенизов, Халед Саед Таха Аль-саккаф // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2011. – №1(1). – С.44–49.

8. Аль-саккаф, Халед Саед Таха. Некоторые закономерности разрушения горных пород при ударном взаимодействии клиновидного инструмента с

негабаритом / В. Г Зедгенизов, Халед Саед Таха Аль-саккаф // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – №8.– С.28–31.

9. Аль-саккаф, Халед Саед Таха. Типоразмерный ряд ударников для разрушения негабаритов горных пород / Халед Саед Таха. Аль-саккаф // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : мат. III Всерос. науч.-практ. конф. (Иркутск, 11–12 апреля, 2013 г.).– Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.– С.381–386.

10. Антонов, А. В. Системный анализ. учеб. для вузов / А.В. Антонов. – М.: Высш. шк., 2004. – 454 с.

11. Антощенко, Н. И. Разрушение горных пород взрывом: учебное пособие / Н. И. Антощенко, А. Я. Попов. – Донб.: Алчевск, 2005. –282 с.

12. Афанасьев, А. И. Энергоэффективность машин ударного действия / А.
И. Афанасьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2002. – №9. – С. 37–39.

13. Бажал, А. И. и др. Сущностный анализ технологий разрушения твердых тел / А. И. Бажал и др. // Материалы уральской горнопромышленной декады (14-23 апреля , 2008 г.).

14. Баловнев, В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учебное пособие для студентов вузов / В. И. Баловнев. – М.: Высш. школа, 1981. – 335 с.

15. Баловнев, В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. 2-е изд., перераб. / В. И. Баловнев.– М.: Машиностроение, 1994.– 432 с.

16. Баловнев, В. И. Определение главных параметров одноковшовых экскаваторов в зависимости от условий эксплуатации / В.И. Баловнев // Строительные и дорожные машины. –2007. –№8. – С. 34–37.

17. Баловнев, В. И. Определение оптимальных параметров и выбор землеройных машин в зависимости от условий эксплуатации: учеб. пособие / В.И. Баловнев.– М.: МАДИ (ГТУ), 2010.– 134 с.

18. Барон, Л. И. Сопротивляемость горных пород отрыву / Л.

И. Барон, Л. Г. Керекилица. – Киев. : Изд-во: Наукова Думка, 1974. – 192 с.

19. Барон, Л. И. Методика определения контактной прочности горных пород / Л. И. Барон, Л. Б. Глатмащ, А. Н. Мельников. – Институт горного дела им. А.А. Скочинского, 1976. – 24 с.

20. Барон, Л.И. Дробимость горных пород / Л. И. Барон, Ю. Г. Коняшин,В. М. Курбатов. – М.: АН СССР, 1963. –167 с.

Барон, Л. И. Разрушаемость горных пород свободным ударом / Л.И.
 Барон, И.Е. Хмельковский. –М.: Наука, 1971. – 203 с.

22. Барон, Л.И. Экспериментальные исследования процессов разрушения горных пород ударом / Л. И. Барон, Г. М. Веселов, Ю. Г. Коняшин.– М.: АН СССР, 1962. – 217 с.

23. Берсенев, В. С. Влияние ударной нагрузки на эффект разрушения угля: дис.... канд. Ленингр. Горн. Ин-т. 1952.

24. Берсенев, В. С. Разрушение углей ударом / В. С. Берсенев. Записки Ленингр. Горн. Инст-та. Гидромеханизация горных работ . 1959.

25. Боголюбова, М. Н. Системный анализ и математическое моделирование в машиностроении: учебное пособие / М. Н. Боголюбова – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. –123 с.

26. Борисов, А. А. Разрушение углей и горных пород ударной нагрузкой.Сб. 2. Расчеты, конструирование и испытания горных машин. Углетехиздат. 1955.

27. Веников, В. А. Теория подобия и моделирования: Учебник для вузов по спец. «Кибернетика электр. систем». – 3-е изд., перераб. и доп./ В. А. Веников, Г. В. Веников. – М.: Высш. шк., 1984. – 439 с.

28. Гайдес, М.А. Общая теория систем. (Системы и системный анализ). издание 2-е исправленное / М. А. Гайдес.– Глобус-пресс, 2005.– 201 с.

29. Галдин, Н. С. Определение основных параметров рабочего органа ударного действия при разрушении грунта / Н. С. Галдин // Строительные и дорожные машины. – 2006. – №6. – С.37–39.

30. Галдин, Н. С. Проектирование гидроимпульсного рабочего оборудования для одноковшовых экскаваторов / Н. С. Галдин // Строительные и дорожные машины. – 2007. – №4. – С.42–44.

Геронтьев, В. И. Некоторые итоги исследования разрушения углей в массиве ударной нагрузкой. Сб. Вопросы разрушения и давления горных пород / В. И. Геронтьев, Я. Б. Кальницкий, В. С. Берсенев.– Углетехиздат. 1955.

32. Гехт, А. Х. Особенности конструкций и расчета некоторых типов балочных стрел строительных башенных кранов / А. Х. Гехт // Строительные и дорожные машины. –2007. – №4. – С. 45–49.

33. Горбунов, В. Ф. Импульсный гидропривод горных машин / В. Ф. Горбунов, А. Г. Лазуткин, Л. С. Ушаков. – Новосибирск: Наука, 1986. –200 с.

34. Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах / Л. А. Шрейнер, Н. Н. Павлова, Б. В. Байдюк, В. М. Якушев, Т. Н. Портнова.– М: «Недра», 1968. –358 с.

35. Доронин С. В. Оценка конструктивных решений и расчетное обоснование рациональных параметров деталей машин ударного действия для разрушения горных пород. / С. В. Доронин, Д. В. Косолапов // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. –№10. – С.47–53.

36. Жлобинский, Б. А. Динамическое разрушение горных пород при вдавливании / Б. А. Жлобинский.–М.: «Недра» ,1970.– 152 с.

37. Жуков, И. А. К разработке безлезвийного бурового инструмента для разрушения горных пород высокой крепости / И. А. Жуков // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – №6. – С.39–41.

38. Жуков, И. А. Разрушение хрупких сред безлезвийным инструментом с образованием отверстий некруглого сечения / И. А. Жуков, Л. Т. Дворников // Горное оборудование и электромеханика. –2009. –№2. – С.23–26.

39. Завадский, Ю. В. Методика статистической обработки экспериментальных данных / Ю. В. Завадский.– М.: МАДИ, 1973. – 97 с.

40. Зедгенизов, В. Г. Моделирование рабочего процесса ударника для разрушения горных пород и прочных строительных материалов / В. Г. Зедгенизов,

А. В. Мельников // Горное оборудование и электромеханика. – 2008.– №2.– С.3943.

41. Зедгенизов, В. Г. Определение основных параметров ударника для разрушения горных пород и прочных строительных материалов / В. Г. Зедгенизов, А. В. Мельников // Горное оборудование и электромеханика.– 2009. –№2.– С54– 56.

42. Иванов, Р. А. Выбор ударных устройств для экскаваторного ковша активного действия / Р. А. Иванов, А. И. Федулов // Строительные и дорожные машины.– 2006. –№2.– С.30–32.

43. Ивахник, В. Г. Современные тенденции повышения физикомеханических свойств конструкционных материалов горных машин и оборудования / В. Г. Ивахник, К. И. Шахова // Горное оборудование и электромеханика. –2008. – №11.– С.25–34.

44. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г.С.Батуев и др. – М. : Машиностроение, 1977.– 240 с.

45. Кантович, Л. И. Адаптивные гидравлические ударные устройства / Л. И. Кантович, С. Л. Лазуткин, Д. Ю. Фабричный // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. –№2. – С.32–35.

46. Кантович, Л. И. Моделирование рабочего процесса горной машин с адаптивной гидравлической импульсной системой / Л. И. Кантович, С.Л. Лазуткин, Д.Ю. Фабричный // Горное оборудование и электромеханика. – 2010.– №3.– С.32–35.

47. Каркашадзе, Г. Г. Механическое разрушение горных пород: Учеб. пособие для вузов / Г. Г Каркашадзе.– М.: Издательство МГГУ, 2004. – 222 с.

48. Кильчевский, Н. А. Теория соударений твердых тел / Н. А. Кильчевский; Академия наук украинской ССР институт механики. Киев: Наукова думка, 1969. –246 с.

49. Колмогоров, В. Л. Напряжения, деформации, разрушение / В. Л. Колмогоров.–М.: Изд-во «Металлургия», 1970.– 229 с.

50. Коршунов, А. Н. Разрушение подмосковного ископаемого угля при

динамическом воздействии горной машины / А. Н. Коршунов.– М.: Горн. унив., 1958.

51. Красников, Ю. Д. Перспективы развития техники и технологии массового поточного безвзрывного разрушения породного массива на основе мощных нетрадиционных ударных установок / Ю. Д. Красников, Б. М. Васильев // Горное

оборудование и электромеханика. – 2008. – №11. – С.50–52.

52. Крикун, В. Я. Расчет основных параметров гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата: учеб. пособие / В.
Я. Крикун, В. Г. Манасян. –М.: АСВ. – 2001.–104 с.

53. Кубачек, В. Р. Параметры разрушения горных пород свободным ударом / В. Р. Кубачек, В. И. Саитов, Н. И. Паладеева // Строительные и дорожные машины.– 1985. –№6.– С.17–18.

54. Кубачек, В. Р. Критерий ударного разрушения горных пород / В. Р.
Кубачек, В. И. Саитов, Н. И. Паладеева // Известия высших учебных заведений.
Горный журнал. – 1985. – №8. – С.75–78.

55. Кузин Э. Н. Рабочий орган землеройных машин непрерывного действия как объект управления / Э. Н. Кузин. Строительные и дорожные машины. – 2007. –№2. –С.45–49.

56. Курбатова, О. А. История развития горной механики: Учеб. пособие / О. А. Курбатова, А. З. Харин.– Владивосток: ДВГТУ, 2004. –137 с.

57. Лагунова, Ю. А. Разработка математической модели процесса разрушения горных пород «в слое» / Ю. А. Лагунова // Горное оборудование и электромеханика. – 2008.– №11.– С.38–43.

58. Логов, А. Б. Механическое разрушение крепких горных пород / А. Б.
Логов, Б. Л. Герике, А. Б. Раскин.– Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. – 141
с.

59. Малинин, Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести: Учебник для студентов втузов / Н. Н. Малинин.–М.: Машиностроение, 1968 .– 400с. 60. Макаров, Е. Г. Сопротивление материалов на базе Mathcad / Е. Г. Макаров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 512 с.

61. Макклинток, Ф. Деформация и разрушение материалов / Ф. Макклинток, А. Аргон.– М.: Мир, 1970.– 443 с.

62. Манжосов, В. К. Модели продольного удара / В. К. Манжосов.– Ульяновск УлГТУ, 2006.– 160 с.

63. Махно, Д. Е. Горные машины и оборудование (для открытых работ);
Учебное пособие. Второе издание, переработанное и дополненное / Д. Е. Махно,
Н. Н. Страбыкин, В. Н. Кисурин.– Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004.–194 с.

64. Махно, Д. Е. Методы и способы разрушения горных пород / Д. Е. Махно, В. П. Федорко: монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. – 136 с.

65. Машины ударного действия для разрушения горных пород / Д. П.
 Лобанов, В. Б. Горовиц, Е. Г. Фонберштейн и др. – М.: Недра, 1983.– 152 с.

66. Мельников А. В. Анализ работы молота с пружинным аккумулятором энергии при разрушении негабаритов горных пород / А. В. Мельников // Горное оборудование и электромеханика. – 2008.– №11.– С.43–47.

67. Механические и абразивные свойства горных пород / Л. А. Шрейнер,Н. Н. Павлова, Б. В. Байдюк, В. М. Якушев. – М: Гостоптехиздат, 1958. – 202 с.

68. Мещерский, И. В. Сборник задач по теоретической механике:
Учеб. пособие; 36-е изд., исправл. / Под ред. Н. В. Бутенина, А. И. Лурье,
Д. Р. Меркина. – М.: Наука. гл. ред. физ. – мат. лит., 1986. – 448 с.

69. Мухин, В. И. Исследование систем управления: учебник; 2-е изд., доп. и пере-раб / В. И. Мухин. – М.: Издательство «Экзамен», 2006. – 479с.

70. Набиулин, Р. Ш. Сопоставительный анализ средств для разрушения негабаритов / Р. Ш. Набиулин, А. П. Комиссаров //Горное оборудование и электромеханика. – 2006. –№1.– С.33–34.

71. Набиуллин, Р. Ш. Обзор способов дробления негабаритов / Р. Ш. Набиуллин // Нетрадиционные технологии и оборудование для разработки сложно-структурных месторождений полезных ископаемых: сб. докладов II

международной научно-технической конференции. Чтения памяти В. Р. Кубачека. – Екатеринбург: УГГУ, 2005. – С. 29-38.

72. Набуллин Р. Ш. Анализ и разработка конструктивной схемы оборудования для вторичного дробления горных пород: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Набуллин Рустем Шафкатович. – Екатеринбург, 2008. – 104 с.

73. Навроцкий, К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов/ К. Л. Навроцкий.– Москва: Машиностроение, 1991.– 384 с.

74. Новые методы разрушения горных пород: Учеб. пособие для вузов / Емелин М. А, Морозов В. Л., Новиков Н. П. и др.– М.: Недра, 1990. –240 с.

75. Новые методы разрушения и механика горных пород: сборник научных трудов / Академия наук украинской ССР институт геотехнической механики; под ред. Б. Д. Алымов [и др.].– Киев: Наукова Думка. – 1981.– 188 с.

76. Остроушко, И. А. Забойные процессы и инструменты при бурении горных пород / И. А. Остроушко. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 272 с.

77. Остроушко, И.А. Разрушение горных пород при бурении / И.А. Остроушко.– М.: Госгеолиздат, 1952. – 254 с.

78. Павлова, Н. Н. разрушение горных пород при динамическом нагружении / Н. Н. Павлова, Л. А. Шрейнер. –М.: Издательство «Недра», 1964.– 160 с.

79. Патент РФ №2291298. Способ взвода, разгона и нанесения удара и устройство для его осуществления при разрушении различных материалов. Опубл. 10.01.2007.

 Передача удара и машины ударного действия: Сборник научных трудов / Г. Н. Покровский. – Новосибирск: 1976.–163 с.

81. Пластичность и разрушение / под ред. В. Л. Колмогоров. – М.: Изд-во «Металлургия», 1977. – 336 с.

82. Покровский, И. С. Теория ударного бурения / И. С. Покровский // Горный журнал.– 1949. – №12. – С. 17–26.

83. Протасов, Ю. И. Разрушение горных пород / Ю. И. Протасов. – М.:
Изд. МГГУ, 2001. – 453 с.

84. Прочность и деформируемость горных пород / Ю. М. Карташов, Б.
В. Матвеев, Г. В. Михеев, А. Б. Фадеев. – М.: Недра, 1979. –269 с.

85. Разрушение горных пород / под ред. Р.М. Эйгелеса.– М.: «Недра», 1968.–179 с.

86. Разрушение горных пород механическими способами / Л. И. Барон,
А. И. Берон и др. – М.: Изд-во «Наука», 1966. – 278 с.

87. Разрушение горных пород при статическом и динамическом нагружении: сб. науч.тр. / АН УССР. ин-т. геотехн. механики /Э.И. Ефремов и др. – Киев : Наукова Думка, 1990.– 144 с.

88. Разрушение негабаритных кусков горных пород / В. Ф. Бызов, М. И Великий, А. И. Черконос, С. З. Вайтман. – Киев: Техника, 1986. – 135 с.

89. Репин С. В. Машины для земляных работ: учеб. пособие / С.В. Репин,А. В. Зазыкин. СПбГАСУ, 2006. – 81 с.

90. Ромакин, Н. Е. Усилие внедрения и оптимальный угол заострения рабочего наконечника при статическом проколе грунта / Н. Е. Ромакин, Н. В. Малкова // Строительные и дорожные машины. –2006. –№10.– С.35-37.

91. Савченко, Н. Н. Технико-экономический анализ проектных решений. Учебное издание / Н. Н. Савченко. – М.: Издательство «Экзамен», 2002. – 128 с.

92. Саитов, В. И. Условия подобия процессов разрушения горных пород при дроблении / В. И. Саитов // Изв. вуз. – 1986.–№10.– С.59–63.

93. Сапоненко, У. И. Машинист экскаватора одноковшового / У. И. Сапоненко. – М.: Издательский центр (Академия), 2008. – 64 с.

94. Севастьянов, В. С. Исследование процесса ударного разрушения крепких горных пород применительно к исполнительному органу проходческого комбайна. Канд. диссер. ВУГИ. 1958.

95. Седов, Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов; Изд. 8-е, переработанное, главная редакция физико-математической

литературы.- М.: Изд-во «Наука». -1977.- 440 с.

96. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. Учебник под ред. Г. С. Варданяна / Г. С. Варданян, В. И. Андреев, Н. М. Атаров, А. А. Горошков. – М.: Издательство АСВ, 1995. – 568 с.

97. Спивак, А. И. Механика горных пород / А. И. Спивак, А. Н. Попов. – М.: «Недра», 1975. – 200 с.

98. Справочник. Открытые горные работы / К. Н. Трубецкой, М. Г Потапов, К. Е. Виницкий, Н. Н. Мельников и др. – М.: Горное бюро, 1994.– 590 с.

99. Судьнков, Ю. В. Исследование ударных систем «поршень – боек - инструмент» при разрушении кембрийских глин / Ю. В. Судьнков, А. Я. Бурак, Д. А. Юнгмейстер, В. А. Пивнев // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 11.– С.18–21.

100. Сурмин, Ю. П.Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие/ Ю. П. Сурмин. – К.:МАУП, 2003. – 368 с.

101. Тамбовцев, П. Н. Гравитационный пневмомолот для добычи крупноразмерных гранитных блоков / П. Н. Тамбовцев // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – №7. – С.6–8.

102. Технико-экономические обоснования в дипломных проектах / К. Д. Гарбер, Ф. И. Гилицкий, Т. С. Карачун, Н. И. Новицкий; Под ред. Ф. И. Гилицкого.–Мн.: Выш. шк., 1985.–133с.

103. Технико-экономические показатели работы зарубежных горнодобывающих предприятий министерство цветной металлургии. Цниицветмет экономики и информации / В. Г. Гальперин. – Москва: 1988.–132 с.

104. Технико-экономические расчеты на предприятии / В. И. Габ, И. В. Шетело, В. М. Козуб, Е. И. Хмелевский. – К.: Техн., 1984.– 127 с.

105. Технико-экономический анализ и прогнозирование параметров строительных машин / В. А. Бауману М. Д. Гилула, В. Н. Вязовикин и др.– М.: Машиностроение, 1980. – 224 с.

106. Технико-экономический анализ машин и приборов /Ю. Н. Мымрин, К. А. Грачева, Ю. В. Скворцов и др. Под общ. ред. М. И. Ипатова и В. И.

Постникова.-М.: Машиностроение, 1985. -248 с.

107. Технико-экономическое обоснование дипломных проектов: Учеб. пособие для втузов / Л. А. Астреина, В. В. Валдесов, В. К. Беклешов и др.; Под. ред. В. К. Беклешова.–М.: Высш. шк., 1991.–176с.

108. Тимофеев, О. В. Исследование разрушения горных пород крупным сколом при ударном приложении нагрузки. Канд. диссер. Ленингр. Горн. Ин-т. 1956.

109. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер; Перев. с англ., главная редакция физико-математической литературы. –М.: изд-во «Наука», 1975. – 576 с.

110. Трегубов, Н. М. Вторичное дробление горных пород при циклично-поточной технологии добычи / Н. М. Трегубов М.: Недра ,1976.– 160 с.

111. Ушаков, Л. С. Гидравлические схемы ударных устройств и исполнительные органы для горных, строительных и дорожных работ / Л. С. Ушаков // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – №4. –С.17–20.

112. Ушаков, Л. С. Исследование напряженно-деформированного состояния массива при разрушении пород ударно-скалывающим исполнительным органом / Л. С. Ушаков, Ю. Н. Каманин // Горное оборудование и электромеханика.– 2008.– №4.– С.40-42.

113. Федулов, А.И. Ударное дробление крепких материалов / А. И. Федулов, Р. А. Иванов // Механизация строительства. – 2005. –№1. – С.7–9.

114. Федулов А. И. Удельные показатели процесса разрушения материалов и оценки технического уровня ударных машин / А. И. Федулов, Р. А. Иванов // Горное машиноведение. – 2006. –№1. – С.76–81.

115. Федулов, А. И. Ударное разрушение мерзлых грунтов / А. И. Федулов, Р. Д. Иванов.– Новосибирск: Изд-во «Наука» Сибирское отделение, 1975. –137 с.

116. Царицын, В. В. Бурение горных пород / В. В. Царицын; Киев, гос. изд. технич. литературы УССР, 1959. – 342 с.

117. Чернышов, В. Н. Теория систем и системный анализ: методические указания / В.Н. Чернышов, А. В. Чернышов. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 32 с.

118. Чернышов, В. Н.Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие / В. Н. Чернышов, А. В. Чернышов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 96 с.

119. Чупров, И. В. Исследование взаимосвязи параметров электромагнитных молотов с физико-механическими свойствами горных пород при дроблении негабаритов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Чупров Игорь Валерьевич.– Екатеринбург, 2006. –107 с.

120. Чупров, И. В. Взаимосвязь удельной энергии разрушения горной породы с энергией единичного удара / И. В. Чупров // Изв. вузов. Горный журнал. – 2006. – №5. – С.66–69.

121. Шрейнер, Л. А. Физические основы механики горных пород / Л. А. Шрейнер.– М.: Л. Гостоптехиздат, 1950. – 212 с.

122. Экомасов, С. П. Исследование механизма послойного разрушения мерзлых грунтов механическим ударом / С. П. Экомасов, О. В. Падмарков // Известия Вузов. Геология и разведка. – 2007. –№3. –С.49–52.

123. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/965/Вторичное.

124. http://ustenko.fromru.com/part1.html.

125. http://www.rae.ru/monographs/52-2032.

126. http://www.build-road.ru/280-droblenie-negabaritov.html.

127. http://www.mining-enc.ru/v/vtorichnoe-droblenie.

128. http://www.sgb.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id= 95:ryda&catid=2:gornoe-delo&Itemid=4

129. http://www.promsors.ru/pages/page34.html.

130. http://sst-yugorsk.ru/.

131. http://tbm-dnepr.com.ua/fractum.html.

132. http://www.prof-ivanovo.ru/hammer-performance/.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

П.1.1 Расчет годового экономического эффекта

Для оценки эффективности использования навесного оборудования приведем сравнение по технико-экономическим показателям с базовой техникой. В качестве базовой техники выбран экскаватор ЕК – 14 с оборудованием гидромолот PB-140 по цене 480 тыс. руб.

Калькуляция затрат на изготовление навесного оборудования представлена в табл. П.1.1

Таблица П.1.1

N⁰	Статьи затрат	Удельный вес,	Удельный вес,
		%	т. руб.
1	Материалы	30	90
2	Комплектующие	15	45
3	Оплата труда	25	75
4	Косвенные расходы	30	90
5	Итого:	100	300
6	Транспортно-заготовительные затраты	7%	21
7	Плановые накопления	7%	21
8	Итого:		342

Калькуляция затрат

П.1.2 Годовая эксплуатационная производительность

Таблица П.1.2

N⁰	Показатели	Плановое количество
п/п		дней
1	Общее число календарных дней	365
2	Нерабочие дни, в т.ч:	59
	- праздничные	7
	- выходные	52
3	Число рабочих дней в году, из них:	306
	- ТО и Р	34
	- на перебазировку	18
	- по метеоусловиям	20
4	Действительный фонд рабочего времени, дн.	234
5	Число смен работы в сутки	2
6	Рабочее время за одну смену, ч	8
7	Действительный фонд рабочего времени, ч	3744

Годовой фонд времени работы

Годовая эксплуатационная производительность определяется по формуле:

 $Q_{rod} = \prod_{9} \times T_{r} \times K_{b},$

где: П_э – часовая эксплуатационная производительность,м³/ч;

 $\Pi_3 = 46 \text{ м}^3/\text{ч} (рис.4.1);$

Т_г – годовой фонд времени работы машины, час;

К_в – коэффициент использования машины по времени, К_в=0,85.

БТ Q_{год}=3744×40×0,85=127296 м³/год

П.1.3 Калькуляция стоимости текущих затрат

Годовые эксплуатационные затраты при расчете экономической эффективности составляют:

 $\mathbf{S} = \mathbf{S}_{3\Pi} + \mathbf{S}_{9} + \mathbf{S}_{ap},$

где: S_{зп} – общий фонд заработной платы

S_э – затраты на содержание и эксплуатацию техники

S_{ар} – годовые амортизационные отчисления

Расчет общего фонда заработной платы ведется по формуле:

$$\mathbf{S}_{_{3\Pi}} = \lambda \times \mathbf{T}_{_{\Gamma O \mathcal{I}}} \, \times \, \sum_{i=1}^{m} \, \times \mathbf{C}_{_{T i}} \, ,$$

где: С_{ті} – часовая тарифная ставка, С_{ті =} 90 руб.

m-число рабочих, m=1;

 λ – коэффициент перехода от тарифного к общему фонду заработной платы, λ =1,4

$$S_{3II} = 1.4 \times 3744 \times 90 = 471744$$
 руб.

Величина годовых амортизационных отчислений определяется следующим образом:

$$S_{ap} = K_p \times C_M$$
,

где: С_м – стоимость новой установки, С_м = 342000 руб.;

К_р – норма отчислений на полное восстановление, К_р = 15%

HT $S_{ap} = 0.15 \times 342000 = 51300$ py6.

БТ $S_{ab} = 0.15 \times 480000 = 72000$ руб.

Расходы по содержанию к эксплуатации техники включают в себя:

- годовые затраты на капитальный ремонт - S_{кр};

- затраты на ТО и ТР - S_{эр};

- затраты на топливо S_т;
- затраты на смазочные и вспомогательные материалы S_{см};
- затраты на перебазировку S_{пб};

Затраты на капитальный ремонт

$$\mathbf{S}_{\mathrm{KP}} = \mathbf{A}_{\mathrm{KP}} \times \mathbf{C}_{\mathrm{M}},$$

где: С_м – стоимость новой установки, С_м=342000 руб.

A_{кр} – норма отчислений на капитальный ремонт, A_{кр}= 25%;

HT $S_{\kappa p} = 0.25 \times 342000 = 85500$ py6.

БТ $S_{KD} = 0.25 \times 480000 = 120000$ руб.

Величина затрат на ТО и ТР на год работы определяется как:

$$S_{\text{3p}} = 0,001 \times S_{\text{3pk}} \times T_{\text{год}}$$

где: S_{эрк} - затраты на TO и TP на 1000 часов работы техники, S_{эрк} = 72000 руб. S_{эр} = 0,001×72000×3744 = 269568 руб.

Расчет затрат на топливо ведется по формуле:

$$\mathbf{S}_{\mathbf{T}} = \sum_{i=1}^{p} \quad \coprod_{\mathbf{T}_{i}} \times \mathbf{W}_{\mathbf{T}_{i}} \times \mathbf{T}_{\mathbf{T}_{i}}$$

где: р – число сортов топлива, p=1;

 $\coprod_{\text{ті}}$ – цена топлива, $\coprod_{\text{ті}} = 31$ руб/кг;

 $W_{\tau i}$ – часовой расход топлива, $W_{\tau i}$ = 52 кг/ч

$$S_{T} = 31 \times 52 \times 3744 = 5035328$$
 руб.

Затраты на смазочные материалы

$$\mathbf{S}_{\mathrm{CM}} = \boldsymbol{\xi} \times \mathbf{S}_{\mathrm{T}},$$

где: ξ – коэффициент перехода от годовой стоимости расхода топлива к стоимости масла, ξ = 0,25

S_{см} = 0,25 ×5035328 = 1508832 руб.

Годовые затраты на перебазировку определяются по формуле:

$$\mathbf{S}_{\mathrm{n}\mathrm{f}} = \sum \mathbf{T}_{\mathrm{n}\mathrm{e}\mathrm{p}} \times \mathbf{C}_{\mathrm{Maul.}\mathrm{vaca}},$$

где: Т_{пер} – время перевозки, Т_{пер} = 42 ч

С_{маш.часа} – стоимость машино-часа работы экскаватора (2300 руб./ч)

$$S_{IIIII} = 42 \times 2300 = 96600$$
 руб.

Годовые эксплуатационные затраты сведены в табл. П.1.3:

Таблица П.1.3

N⁰	Наименование показателя	Величина, руб.		
п/п		БТ	HT	
1	Общий фонд заработной платы	471744	471744	
2	Амортизационные отчисления	72000	51300	
3	Затраты на содержание и	7030328	6995828	
	эксплуатацию техники, в т.ч:			

Калькуляция затрат

- на капитальный ремонт	120000	85500
- на ТО и ТР	269568	269568
- на топливо	5035328	5035328
- на СМ	1508832	1508832
- на перебазировку	96600	96600
ИТОГО:	7574072	7518872

П.1.4 Технико-экономические показатели

Себестоимость разрушения 1 м³ негабарита:

$$S_{e\partial} = \frac{S}{Q_{\Im}}$$

где: S – текущие затраты, руб;

 $Q_{\Im}-$ годовая эксплуатационная производительность, м $^3/$ год

HT
$$S_{e\partial 1} = \frac{7518872}{146390} = 51 py6/m^3$$

BT $S_{e\partial 2} = \frac{7574072}{127296} = 59 py6/m^3$

Удельные капиталовложения на единицу продукции:

HT
$$K_{y\partial I} = \frac{C_M}{Q_{\Im I}} = \frac{342000}{146390} = 2,3 py6.$$

ET $K_{y\partial 2} = \frac{480000}{127296} = 3,7 py6.$

Приведенные затраты машин найдем по формуле:

$$3_{31} = S_{eg1} + K_{yg1} \times E_H = 51 + 2,3 \times 0,15 = 51,35$$
 py6.
 $3_{32} = 59 + 3,7 \times 0,15 = 59,55$ py6.

где: Е_н – нормативный коэффициент Е_н = 0,15.

Годовой экономический эффект:

$$\Im_{\Gamma O \Pi} = \Pi_{\Im} \times (\Im_{31} - \Im_{32}) = 146390 \times (59,55 - 51,35) = 1200000$$
 руб.





с,м



Рис. П.2.1 Зависимость основных параметров процесса разрушения негабарита от его высоты: b=1 м; a=1 м; H=1,6 м; σ =100 МПа; α = $\pi/3$; M=2000 кг; T=32 кДж



Продолжение Рис. П.2.1



Рис. П.2.2. Зависимость основных параметров процесса разрушения негабарита от шага отбивки: a=1 м; *c*=1 м; H=1,6 м; σ =100 МПа; α = $\pi/3$; M=2000 кг; T=32 кДж





Продолжение Рис. П.2.2.







Рис. П.2.3 Зависимость основных параметров процесса разрушения негабарита от энергии удара: b=1 м; *c*=1 м; a=1м; H=1,6 м; σ =100 МПа; $\alpha = \pi/3$; M=2000 кг



Продолжение Рис. П.2.3



Рис. П2.4 Зависимость основных параметров процесса разрушения негабарита от прочности материала: b=1 м; *c*=1 м; a=1м; H=1,6 м; σ=100 МПа; α=π/3; M=2000 кг; T=32 кДж



```
σ, МПа
```




ПРИЛОЖЕНИЕ 3

П.З.1. Матрица (взвод)

$S M^2$	М, кг Н	Нм				С, кН/м		
В , М	IVI, KI	11, M		40	45	50	55	60
			P	5,952	6,250	6,548	6,845	7,143
		0.5	ω	206,328	205,806	205,284	204,761	204,239
		0,5	V	1,019	1,017	1,014	1,011	1,009
			t	0,491	0,492	0,493	0,494	0,496
			P	8,333	8,929	9,524	10,120	10,710
		1	ω	202,150	201,105	200,060	199,015	197,971
		1	V	0,999	0,993	0,988	0,983	0,978
			t	1,001	1,007	1,012	1,017	1,023
			P	10,710	11,610	12,500	13,390	14,290
	3000	15	ω	197,971	196,404	194,837	193,270	191,703
		1,5	V	0,978	0,970	0,962	0,955	0,947
0 0084			t	1,534	1,546	1,559	1,571	1,584
0,0004			P	13,100	14,290	15,480	1,667	17,860
		2	ω	193,792	191,703	189,613	145,028	52,176
		2	V	0,957	0,947	0,937	0,716	0,258
			t	2,089	2,112	2,135	2,792	7,760
			P	15,480	16,960	18,450	19,940	21,430
		25	ω	189,613	121,815	5,750	-10,315	-226,380
		2,5	V	0,937	0,602	0,028	-0,545	-1,118
			t	2,669	4,155	88,016	-4,588	-2,236
			P	6,548	6,845	7,143	7,440	7,738
	3500	0,5	ω	205,284	204,761	204,239	203,717	203,194
			V	1,014	1,011	1,009	1,006	1,004
			t	0,493	0,494	0,496	0,497	0,498

$S w^2$	Мис	Н, м				С, кН/м		
5 , M	IVI, KI	11, M		40	45	50	55	60
			P	8,929	9,524	10,120	10,710	11,310
		1	ω	201,105	200,060	199,015	197,971	196,926
		1	V	0,993	0,988	0,983	0,978	0,973
			t	1,007	1,012	1,017	1,023	1,028
			P	11,310	12,200	13,100	13,990	14,880
		15	ω	196,926	195,359	193,792	192,225	190,658
		1,5	V	0,973	0,965	0,957	0,950	0,942
			t	1,542	1,554	1,567	1,580	1,593
			P	13,690	14,880	16,070	17,260	18,450
		2	ω	192,747	190,658	188,568	98,602	5,750
		2	V	0,952	0,942	0,931	0,487	0,028
			t	2,101	2,124	2,147	4,106	70,413
			P	16,070	17,560	19,050	20,540	22,020
		25	ω	188,568	75,389	-40,676	-56,741	-272,806
		2,5	V	0,931	0,372	-0,201	-0,774	-1,348
			t	2,684	6,713	-12,442	-3,229	-1,855
			P	7,143	7,440	7,738	8,036	8,333
		0.5	ω	204,239	203,717	203,194	202,672	202,150
		0,5	V	1,009	1,006	1,004	1,001	0,999
			t	0,496	0,497	0,498	0,499	0,501
			P	9,524	10,120	10,710	11,310	11,900
	4000	1	ω	200,060	199,015	197,971	196,926	195,881
			V	0,988	0,983	0,978	0,973	0,968
			t	1,012	1,017	1,023	1,028	1,033
			Р	11,900	12,800	13,690	14,580	15,480
		1,5	ω	195,881	194,314	192,747	191,180	189,613
			V	0,968	0,960	0,952	0,944	0,937
			t	1,550	1,563	1,575	1,588	1,601

$S m^2$	Мис	Н, м				С, кН/м		
5 , M	1 VI, KI	11, M		40	45	50	55	60
			Р	14,290	15,480	16,670	17,860	19,050
		2	ω	191,703	189,613	145,028	52,176	-40,676
		2	V	0,947	0,937	0,716	0,258	-0,201
			t	2,112	2,135	2,792	7,760	-9,954
			Р	16,670	18,150	19,640	21,130	22,620
		25	ω	145,028	28,963	-87,102	-3,167	-319,233
		2,5	V	0,716	0,143	-0,430	-1,004	-1,577
			t	3,490	17,474	-5,810	-2,491	-1,585
			Р	7,738	8,036	8,333	8,631	8,929
		0.5	ω	203,194	202,672	202,150	201,627	201,105
		0,5	V	1,004	1,001	0,999	0,996	0,993
			t	0,498	0,499	0,501	0,502	0,503
			P	10,120	1,071	11,310	11,900	12,500
		1	ω	199,015	197,971	196,926	195,881	194,837
		1	V	0,983	0,978	0,973	0,968	0,962
			t	1,017	1,023	1,028	1,033	1,039
			P	1,250	13,390	14,290	15,180	16,070
	4500	15	ω	194,837	193,270	191,703	190,136	188,568
		1,5	V	0,962	0,955	0,947	0,939	0,931
			t	1,559	1,571	1,584	1,597	1,610
			P	14,880	16,070	17,260	18,450	19,640
		2	ω	190,658	188,568	98,602	5,750	-87,102
		2	V	0,942	0,931	0,487	0,028	-0,430
		-	t	2,124	2,147	4,106	70,413	-4,648
			P	17,260	18,750	20,240	21,730	23,210
		25	ω	98,602	-17,463	-33,528	-49,593	-365,659
		2,5	V	0,487	-0,086	-0,660	-1,233	-1,806
			t	5,133	-28,981	-3,790	-2,028	-1,384

$S m^2$	М, кг	Нм				С, кН/м		
5 , M	IVI, KI	11, 11		40	45	50	55	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $
			P	8,333	8,631	8,929	9,226	9,524
		0.5	ω	202,150	201,627	201,105	200,582	200,060
		0,5	V	0,999	0,996	0,993	0,991	0,988
			t	0,501	0,502	0,503	0,505	0,506
			P	10,710	11,310	11,900	12,500	13,100
		1	ω	197,971	196,926	195,881	194,837	193,792
		1	V	0,978	0,973	0,968	0,962	0,957
			t	1,023	1,028	1,033	1,039	1,045
			P	13,100	13,990	14,880	15,770	16,670
	5000	15	ω	193,792	192,225	190,658	189,091	145,028
50	5000	1,5	V	0,957	0,950	0,942	0,934	0,716
			t	1,567	1,580	1,593	1,606	2,094
			P	15,480	16,670	17,860	19,050	20,240
		2	ω	189,613	145,028	52,176	-40,676	-133,528
		2	V	0,937	0,716	0,258	-0,201	-0,660
			t	2,135	2,792	7,760	-9,954	-3,032
			P	17,860	19,350	20,830	22,320	23,810
		25	ω	52,176	-63,889	-79,954	-96,019	-412,085
		2,5	V	0,258	-0,316	-0,889	-1,462	-2,036
			t	9,700	-7,922	-2,812	-1,710	-1,228
			P	5,435	5,707	5,978	6,250	6,522
		0.5	ω	207,237	206,760	206,283	205,806	205,329
		0,5	V	0,935	0,933	0,930	0,928	0,926
0.0002	3000		t	0,535	0,536	0,537	0,539	0,540
0,0072			P	7,609	8,152	8,696	9,239	9,783
		1	ω	203,421	202,467	201,514	200,560	199,606
		1	V	0,917	0,913	0,909	0,905	0,900
			t	1,090	1,095	1,100	1,106	1,111

$S w^2$	Миг	Нм				С, кН/м		
5 , M	IVI, KI	11, 111		40	45	50	55	60
			Р	9,783	10,600	11,410	12,230	13,040
		15	ω	199,606	198,175	196,744	195,314	193,883
		1,5	V	0,900	0,894	0,887	0,881	0,874
			t	1,666	1,678	1,690	1,703	1,715
			Р	11,960	1,304	14,130	15,220	16,300
		2	ω	195,790	193,883	191,975	190,067	173,288
		2	V	0,883	0,874	0,866	0,857	0,782
			t	2,265	2,287	2,310	2,333	2,559
			Р	14,130	15,490	16,850	18,210	19,570
		25	ω	191,975	189,590	130,899	24,926	-81,047
		2,5	V	0,866	0,855	0,590	0,112	-0,366
			t	2,887	2,924	4,235	22,238	-6,839
			Р	5,978	6,250	6,522	6,793	7,065
		0.5	ω	206,283	205,806	205,329	204,852	204,375
		0,5	V	0,930	0,928	0,926	0,924	0,922
			t	0,537	0,539	0,540	0,541	0,542
			P	8,152	8,696	9,239	9,783	10,330
		1	ω	202,467	201,514	200,560	199,606	198,652
		1	V	0,913	0,909	0,905	0,900	0,896
	3500		t	1,095	1,100	1,106	1,111	1,116
			P	10,330	11,140	11,960	12,770	13,590
		15	ω	198,652	197,221	195,790	194,360	192,929
		1,5	V	0,896	0,890	0,883	0,877	0,870
			t	1,674	1,686	1,699	1,711	1,724
		2	Р	12,500	13,590	14,670	15,760	16,850
			ω	194,837	192,929	191,021	189,114	130,899
			V	0,879	0,870	0,862	0,853	0,590
			t	2,276	2,298	2,321	2,345	3,388

$S m^2$	Миг	. Н, м				С, кН/м		
5 , M	IVI, KI	11, M		40	45	50	55	60
			P	14,670	16,030	17,390	18,750	20,110
		2.5	ω	191,021	188,637	88,510	-17,463	-123,436
		2,5	V	0,862	0,851	0,399	-0,079	-0,557
			t	2,902	2,938	6,263	-31,741	-4,491
			Р	6,522	6,793	7,065	7,337	7,609
		0.5	ω	205,329	204,852	204,375	203,898	203,421
		0,5	V	0,926	0,924	0,922	0,920	0,917
			t	0,540	0,541	0,542	0,544	0,545
			Р	8,696	9,239	9,783	10,330	10,870
		1	ω	201,514	200,560	199,606	198,652	197,698
		1	V	0,909	0,905	0,900	0,896	0,892
			t	1,100	1,106	1,111	1,116	1,122
			P	10,870	11,680	12,500	13,320	14,130
	4000	1,5	ω	197,698	196,267	194,837	193,406	191,975
			V	0,892	0,885	0,879	0,872	0,866
			t	1,682	1,695	1,707	1,720	1,732
			P	13,040	14,130	15,220	16,300	17,390
		2	ω	193,883	191,975	190,067	173,288	88,510
		2	V	0,874	0,866	0,857	0,782	0,399
			t	2,287	2,310	2,333	2,559	5,010
			P	15,220	16,580	17,930	19,290	20,650
		25	ω	190,067	152,093	46,121	-59,852	-165,825
		2,5	V	0,857	0,686	0,208	-0,270	-0,748
			t	2,916	3,644	12,018	-9,261	-3,343
			P	7,065	7,337	7,609	7,880	8,152
	4500	0,5	ω	204,375	203,898	203,421	202,944	202,467
			0,5	V	0,922	0,920	0,917	0,915
			t	0,542	0,544	0,545	0,546	0,548

$S m^2$	Миг	г Н, м				С, кН/м		
5 , M	IVI, KI	11, M		40	45	50	55	60
			P	9,239	9,783	10,330	10,870	11,410
		1	ω	200,560	199,606	198,652	197,698	196,744
		1	V	0,905	0,900	0,896	0,892	0,887
			t	1,106	1,111	1,116	1,122	1,127
			P	11,410	12,230	13,040	13,860	14,670
		15	ω	196,744	195,314	193,883	192,452	191,021
		1,0	V	0,887	0,881	0,874	0,868	0,862
			t	1,690	1,703	1,715	1,728	1,741
			P	13,590	14,670	15,760	16,850	17,930
		2	ω	192,929	191,021	189,114	130,899	46,121
			V	0,870	0,862	0,853	0,590	0,208
			t	2,298	2,321	2,345	3,388	9,615
			P	15,760	17,120	18,480	19,840	21,200
		25	ω	189,114	109,704	3,732	-2,241	-208,214
		2,5	V	0,853	0,495	0,017	-0,461	-0,939
			t	2,931	5,053	148,544	-5,422	-2,662
			P	7,609	7,880	8,152	8,424	8,696
		0.5	ω	203,421	202,944	202,467	201,991	201,514
		0,5	V	0,917	0,915	0,913	0,911	0,909
			t	0,545	0,546	0,548	0,549	0,550
			P	9,783	10,330	10,870	11,410	11,960
		1	ω	199,606	198,652	197,698	196,744	195,790
	5000	1	V	0,900	0,896	0,892	0,887	0,883
			t	1,111	1,116	1,122	1,127	1,132
		1,5	P	11,960	12,770	13,590	14,400	15,220
			ω	195,790	194,360	192,929	191,498	190,067
			V	0,883	0,877	0,870	0,864	0,857
			t	1,699	1,711	1,724	1,737	1,750

$S m^2$	М, кг	Нм				С, кН/м		
b , m	1 VI, KI	11, 11		40	45	50	55	60
			P	14,130	15,220	16,300	17,390	18,480
		2	ω	191,975	190,067	173,288	88,510	3,732
		2	V	0,866	0,857	0,782	0,399	0,017
			t	2,310	2,333	2,559	5,010	118,835
			P	16,300	17,660	19,020	20,380	21,740
		25	ω	173,288	67,315	-38,657	-144,630	-250,603
		2,5	V	0,782	0,304	-0,174	-0,652	-1,130
			t	3,199	8,234	-14,339	-3,833	-2,212
			Р	5,000	5,250	5,500	5,750	6,000
		0.5	ω	208,000	207,561	207,122	206,683	206,245
		0,5	V	0,863	0,861	0,859	0,858	0,856
			t	0,579	0,581	0,582	0,583	0,584
			P	7,000	7,500	8,000	8,500	9,000
		1	ω	204,490	203,612	202,735	201,857	200,979
		1	V	0,849	0,845	0,841	0,838	0,834
			t	1,179	1,184	1,189	1,194	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $
			P	9,000	9,750	10,500	11,250	12,000
0.01	3000	15	ω	200,979	199,663	198,347	197,030	18,480 3,732 0,017 118,835 21,740 -250,603 -1,130 -2,212 6,000 206,245 0,856 0,584 9,000 200,979 0,834 1,199 12,000 195,714 0,812 1,847 15,000 190,449 0,790 2,531 18,000 41,034 0,170 14,683
0,01		1,5	V	0,834	0,828	0,823	0,818	
			t	1,799	1,811	1,823	1,835	1,847
			P	11,000	12,000	13,000	14,000	15,000
		2	ω	197,469	195,714	193,959	192,204	190,449
		2	V	0,819	0,812	0,805	0,798	0,790
			t	2,441	2,463	2,485	2,508	2,531
			P	13,000	14,250	15,500	16,750	18,000
		25	ω	193,959	191,765	189,571	138,529	41,034
		2,5	V	0,805	0,796	0,787	0,575	0,170
			t	3,106	3,142	3,178	4,349	14,683

$S x^2$	Ми	Н, м				С, кН/м		
5 , M	IVI, KI	11, M		40	45	50	55	60
			P	5,500	5,750	6,000	6,250	6,500
		0.5	ω	207,122	206,683	206,245	205,806	205,367
		0,5	V	0,859	0,858	0,856	0,854	0,852
			t	0,582	0,583	0,584	0,586	0,587
			Р	7,500	8,000	8,500	9,000	9,500
		1	ω	203,612	202,735	201,857	200,979	200,102
		1	V	0,845	0,841	0,838	0,834	0,830
	3500		t	1,184	1,189	1,194	1,199	1,204
			P	9,500	10,250	11,000	11,750	12,500
		15	ω	200,102	198,786	197,469	196,153	194,837
		1,5	V	0,830	0,825	0,819	0,814	0,808
			t	1,807	1,819	1,831	1,843	1,855
			p	11,500	12,500	13,500	14,500	15,500
		2	ω	196,592	194,837	193,082	191,326	189,571
		2	V	0,816	0,808	0,801	0,794	0,787
			t	2,452	2,474	2,496	2,519	2,543
			p	13,500	14,750	16,000	17,250	18,500
		25	ω	193,082	190,888	188,694	99,531	2,036
		2,5	V	0,801	0,792	0,783	0,413	0,008
			t	3,120	3,156	3,193	6,053	295,925
			p	6,000	6,250	6,500	6,750	7,000
		05	ω	206,245	205,806	205,367	204,928	204,490
	4000	0,5	V	0,856	0,854	0,852	0,850	0,849
			t	0,584	0,586	0,587	0,588	0,589
			p	8,000	8,500	9,000	9,500	10,000
		1	ω	202,735	201,857	200,979	200,102	199,224
			V	0,841	0,838	0,834	0,830	0,827
			t	1,189	1,194	1,199	1,204	1,210

$S m^2$	Миг	Нм				С, кН/м			
6 , M	1 VI, KI	11, 11		40	45	50	55	60	
			p	10,000	10,750	11,500	12,250	13,000	
		15	ω	199,224	197,908	196,592	195,275	193,959	
		1,5	V	0,827	0,821	0,816	0,810	0,805	
			t	1,815	1,827	1,839	1,851	1,864	
			p	12,000	13,000	14,000	15,000	16,000	
		2	ω	195,714	193,959	192,204	190,449	188,694	
		2	V	0,812	0,805	0,798	0,790	0,783	
			t	2,463	2,485	2,508	2,531	2,554	
			p	14,000	15,250	16,500	17,750	19,000	
		25	ω	192,204	190,010	158,028	60,533	-36,962	
		2,5	V	0,798	0,788	0,656	0,251	-0,153	
			t	3,135	3,171	3,813	9,953	-16,301	
			p	6,500	6,750	7,000	7,250	7,500	
		05	ω	205,367	204,928	204,490	204,051	203,612	
		- ,-	V	0,852	0,850	0,849	0,847	0,845	
			t	0,587	0,588	0,589	0,591	0,592	
			p	8,500	9,000	9,500	10,000	10,500	
		1	ω	201,857	200,979	200,102	199,224	198,347	
		1	V	0,838	0,834	0,830	0,827	0,823	
	4500		t	1,194	1,199	1,204	1,210	1,215	
			p	10,500	11,250	12,000	12,750	13,500	
		15	ω	198,347	197,030	195,714	194,398	193,082	
		1,5	V	0,823	0,818	0,812	0,807	0,801	
			t	1,823	1,835	1,847	1,860	1,872	
		2	p	12,500	13,500	14,500	15,500	16,500	
			ω	194,837	193,082	191,326	189,571	158,028	
			2	V	0,808	0,801	0,794	0,787	0,656
			t	2,474	2,496	2,519	2,543	3,050	

$S m^2$	Миг	Нм				С, кН/м		
З, М	IVI, KI	11, M		40	45	50	55	60
			p	14,500	15,750	17,000	18,250	19,500
		2.5	ω	191,326	189,133	119,030	21,535	-75,960
		2,5	V	0,794	0,785	0,494	0,089	-0,315
			t	3,149	3,186	5,062	27,978	-7,932
			p	7,000	7,250	7,500	7,750	8,000
		0.5	ω	204,490	204,051	203,612	203,173	202,735
		0,5	V	0,849	0,847	0,845	0,843	0,841
			t	0,589	0,591	0,592	0,593	0,594
			p	9,000	9,500	10,000	10,500	11,000
	1	ω	200,979	200,102	199,224	198,347	197,469	
	1	V	0,834	0,830	0,827	0,823	0,819	
		t	1,199	1,204	1,210	1,215	1,220	
			p	11,000	11,750	12,500	13,250	14,000
	5000	15	ω	197,469	196,153	194,837	193,520	192,204
	5000	1,5	V	0,819	0,814	0,808	0,803	0,798
			t	1,831	1,843	1,855	1,868	1,881
			p	13,000	14,000	15,000	16,000	17,000
		2	ω	193,959	192,204	190,449	188,694	119,030
			V	0,805	0,798	0,790	0,783	0,494
			t	2,485	2,508	2,531	2,554	4,049
			p	15,000	16,250	17,500	18,750	20,000
		25	ω	190,449	177,527	80,032	-17,463	-114,958
		2,5	V	0,790	0,737	0,332	-0,072	-0,477
			t	3,164	3,394	7,528	-34,502	-5,241
			р	4,630	4,861	5,093	5,324	5,556
0 0108	3000	0.5	ω	208,650	208,244	207,837	207,431	207,025
0,0108		0,0	V	0,802	0,800	0,799	0,797	0,795
		t	0,624	0,625	0,626	0,627	0,629	

$S w^2$	Мир	Н, м				С, кН/м		
5 , M	IVI, KI	11, M		40	45	50	55	60
			p	6,481	6,944	7,407	7,870	8,333
		1	ω	205,400	204,587	203,775	202,962	202,150
		1	V	0,789	0,786	0,783	0,780	0,777
			t	1,267	1,272	1,277	1,282	1,288
			p	8,333	9,028	9,722	10,420	11,110
		15	ω	202,150	200,931	199,712	198,493	197,274
		1,5	V	0,777	0,772	0,767	0,763	0,758
			t	1,931	1,943	1,955	1,967	1,979
			p	10,190	11,110	12,040	12,960	13,890
		2	ω	198,899	197,274	195,649	194,024	192,399
		2	V	0,764	0,758	0,752	0,745	0,739
			t	2,617	2,639	2,661	2,683	2,706
			p	12,040	13,190	14,350	15,510	16,670
		25	ω	195,649	193,618	191,586	189,555	145,028
		2,5	V	0,752	0,744	0,736	0,728	0,557
			t	3,326	3,361	3,396	3,433	4,487
			p	5,093	5,324	5,556	5,787	6,019
		0.5	ω	207,837	207,431	207,025	206,618	206,212
		0,5	V	0,799	0,797	0,795	0,794	0,792
			t	0,626	0,627	0,629	0,630	0,631
			p	6,944	7,407	7,870	8,333	8,796
	3500	1	ω	204,587	203,775	202,962	202,150	201,337
		1	V	0,786	0,783	0,780	0,777	0,774
			t	1,272	1,277	1,282	1,288	1,293
			p	8,796	9,491	10,190	10,880	11,570
		15	ω	201,337	200,118	198,899	197,681	196,462
		1,5	V	0,774	0,769	0,764	0,759	0,755
			t	1,939	1,951	1,963	1,975	1,987

$S w^2$	Ми	Нм		С, кН/м						
5 , M	1 VI, KI	11, 111		40	45	50	55	60		
			p	10,650	11,570	12,250	13,430	14,350		
		2	ω	198,087	196,462	194,837	193,212	191,586		
		2	V	0,761	0,755	0,749	0,742	0,736		
			t	2,628	2,650	2,672	2,694	2,717		
			p	12,500	13,660	14,810	15,970	17,130		
		25	ω	194,837	192,805	190,774	188,743	108,919		
		2,5	V	0,749	0,741	0,733	0,725	0,418		
			t	3,340	3,375	3,411	3,448	5,974		
			p	5,556	5,787	6,019	6,250	6,481		
		05	ω	207,025	206,618	206,212	205,806	205,400		
		0,5	V	0,795	0,794	0,792	0,791	0,789		
			t	0,629	0,630	0,631	0,632	0,634		
		1	p	7,407	7,870	8,333	8,796	9,259		
			ω	203,775	202,962	202,150	201,337	200,524		
			V	0,783	0,780	0,777	0,774	0,770		
			t	1,277	1,282	1,288	1,293	1,298		
			p	9,259	9,954	10,650	11,340	12,040		
	4000	15	ω	200,524	199,306	198,087	196,868	195,649		
		1,5	V	0,770	0,766	0,761	0,756	0,752		
			t	1,947	1,959	1,971	1,983	1,996		
			p	11,110	12,040	12,960	13,890	14,810		
		2	ω	197,274	195,649	194,024	192,399	190,774		
	-	2	V	0,758	0,752	0,745	0,739	0,733		
			t	2,639	2,661	2,683	2,706	2,729		
			p	12,960	14,120	15,280	16,440	17,590		
		25	ω	194,024	191,993	189,961	163,083	72,810		
		2,5	V	0,745	0,738	0,730	0,627	0,280		
			t	3,354	3,389	3,425	3,990	8,937		

$S w^2$	Мис	Нм				С, кН/м		
5 , M	IVI, KI	11, 11		40	45	50	55	60
			p	6,019	6,250	6,481	6,713	6,944
		0.5	ω	206,212	205,806	205,400	204,993	204,587
		0,5	V	0,792	0,791	0,789	0,788	0,786
			t	0,631	0,632	0,634	0,635	0,636
			p	7,870	8,333	8,796	9,259	9,722
		1	ω	202,962	202,150	201,337	200,524	199,712
		1	V	0,780	0,777	0,774	0,770	0,767
			t	1,282	1,288	1,293	1,298	1,303
			p	9,722	10,420	11,110	11,810	12,500
	4500	1,5	ω	199,712	198,493	197,274	196,055	194,837
			V	0,767	0,763	0,758	0,753	0,749
			t	1,955	1,967	1,979	1,991	2,004
			p	11,570	12,500	13,430	14,350	15,280
		2	ω	196,462	194,837	193,212	191,586	189,961
			V	0,755	0,749	0,742	0,736	0,730
			t	2,650	2,672	2,694	2,717	2,740
		2,5	p	13,430	14,580	15,740	16,900	18,060
			ω	193,212	191,180	189,149	126,974	36,701
			V	0,742	0,735	0,727	0,488	0,141
			t	3,368	3,404	3,440	5,125	17,730
			p	6,481	6,713	6,944	7,176	7,407
		0.5	ω	205,400	204,993	204,587	204,181	203,775
		0,5	V	0,789	0,788	0,786	0,784	0,783
	5000		t	0,634	0,635	0,636	0,637	0,639
	5000		p	8,333	8,796	9,259	9,722	10,190
		1	ω	202,150	201,337	200,524	199,712	198,899
		1	V	0,777	0,774	0,770	0,767	0,764
			t	1,288	1,293	1,298	1,303	1,309

$S m^2$	Миг	Нм		С, кН/м						
5 , M	IVI, KI	11, 11		40	45	50	55	60		
			p	10,190	10,880	11,570	12,270	12,960		
		15	ω	198,899	197,681	196,462	195,243	194,024		
		1,5	V	0,764	0,759	0,755	0,750	0,745		
			t	1,963	1,975	1,987	2,000	2,012		
			p	12,040	12,960	13,890	14,810	15,740		
		2	ω	195,649	194,024	192,399	190,774	189,149		
			V	0,752	0,745	0,739	0,733	0,727		
			t	2,661	2,683	2,706	2,729	2,752		
			p	13,890	15,050	16,200	17,360	18,520		
		25	ω	192,399	190,368	181,137	90,865	0,592		
		2,5	V	0,739	0,731	0,696	0,349	0,002		
			t	3,382	3,418	3,592	7,161	1100,000		
			p	4,310	4,526	4,741	4,957	5,172		
		0,5	ω	209,210	208,832	208,454	208,075	207,697		
			V	0,748	0,747	0,746	0,744	0,743		
			t	0,668	0,669	0,671	0,672	0,673		
		1	p	6,034	6,466	6,897	7,328	7,759		
			ω	206,184	205,428	204,671	203,915	203,158		
			V	0,738	0,735	0,732	0,729	0,727		
0.0116	3000		t	1,356	1,361	1,366	1,371	1,376		
0,0110			p	7,759	8,405	9,052	9,698	10,340		
		15	ω	203,158	202,023	200,889	199,754	198,619		
		1,5	V	0,727	0,723	0,719	0,715	0,710		
			t	2,064	2,076	2,087	2,099	2,111		
			p	9,483	10,340	11,210	12,070	12,930		
		2	ω	200,132	198,619	197,106	195,593	194,080		
			V	0,716	0,710	0,705	0,700	0,694		
			t	2,794	2,815	2,837	2,859	2,881		

$S x^2$	Миг	Нм		С, кН/м						
5 , M	IVI, KI	11, M		40	45	50	55	60		
			p	11,210	12,280	1,336	14,440	15,520		
		2.5	ω	197,106	195,215	193,324	191,432	189,541		
		2,5	V	0,705	0,698	0,692	0,685	0,678		
			t	3,546	3,580	3,615	3,651	3,687		
			p	4,741	4,957	5,172	5,388	5,603		
		0.5	ω	208,454	208,075	207,697	207,319	206,941		
		0,5	V	0,746	0,744	0,743	0,742	0,740		
			t	0,671	0,672	0,673	0,674	0,675		
			p	6,466	6,897	7,328	7,759	8,190		
		1	ω	205,428	204,671	203,915	203,158	202,402		
			V	0,735	0,732	0,729	0,727	0,724		
			t	1,361	1,366	1,371	1,376	1,381		
			p	8,190	8,836	9,483	10,130	10,780		
	3500	1,5	ω	202,402	201,267	200,132	198,997	197,863		
			V	0,724	0,720	0,716	0,712	0,708		
			t	2,072	2,084	2,095	2,107	2,119		
		2	p	9,914	10,780	11,640	12,500	13,360		
			ω	199,376	197,863	196,350	194,837	193,324		
			V	0,713	0,708	0,702	0,697	0,692		
			t	2,804	2,826	2,848	2,870	2,892		
			p	11,640	12,720	13,790	14,870	15,950		
		25	ω	196,350	194,458	192,567	190,676	188,785		
		2,5	V	0,702	0,696	0,689	0,682	0,675		
			t	3,559	3,594	3,629	3,665	3,702		
			р	5,172	5,388	5,603	5,819	6,034		
	4000	0.5	ω	207,697	207,319	206,941	206,562	206,184		
		.,.	V	0,743	0,742	0,740	0,739	0,738		
			t	0,673	0,674	0,675	0,677	0,678		

$S w^2$	M	Цу				С, кН/м		
З, М	IVI, KI	11, M		40	45	50	55	60
			p	6,897	7,328	7,759	8,190	8,621
		1	ω	204,671	203,915	203,158	202,402	201,645
		1	V	0,732	0,729	0,727	0,724	0,721
			t	1,366	1,371	1,376	1,381	1,386
			p	8,621	9,267	9,914	10,560	11,210
		15	ω	201,645	200,510	199,376	198,241	197,106
		1,5	V	0,721	0,717	0,713	0,709	0,705
			t	2,080	2,091	2,103	2,115	2,127
			p	10,340	11,210	12,070	12,930	13,790
		2	ω	198,619	197,106	195,593	194,080	192,567
			V	0,710	0,705	0,700	0,694	0,689
			t	2,815	2,837	2,859	2,881	2,904
			p	12,070	13,150	14,220	15,300	16,380
		2,5	ω	195,593	193,702	191,811	189,919	167,441
			V	0,700	0,693	0,686	0,679	0,599
			t	3,573	3,608	3,644	3,680	4,174
		0.5	p	5,603	5,819	6,034	6,250	6,466
			ω	206,941	206,562	206,184	205,806	205,428
		0,5	V	0,740	0,739	0,738	0,736	0,735
			t	0,675	0,677	0,678	0,679	0,680
			p	7,328	7,759	8,190	8,621	9,052
	4500	1	ω	203,915	203,158	202,402	201,645	200,889
		1	V	0,729	0,727	0,724	0,721	0,719
			t	1,371	1,376	1,381	1,386	1,392
			p	9,052	9,698	10,340	10,990	11,640
		1.5	ω	200,889	199,754	198,619	197,484	196,350
		1,0	V	0,719	0,715	0,710	0,706	0,702
			t	2,087	2,099	2,111	2,123	2,136

$S w^2$	Миг	Нм		С, кН/м						
5 , M	1 VI, KI	11, 111		40	45	50	55	60		
			p	10,780	11,640	12,500	13,360	14,220		
		2	ω	197,863	196,350	194,837	193,324	191,811		
		2	V	0,708	0,702	0,697	0,692	0,686		
			t	2,826	2,848	2,870	2,892	2,915		
			p	12,500	13,580	14,660	15,730	16,810		
		25	ω	194,837	192,945	191,054	189,163	133,822		
		2,5	V	0,697	0,690	0,683	0,677	0,479		
			t	3,587	3,622	3,658	3,695	5,223		
			p	6,034	6,250	6,466	6,681	6,897		
		0,5	ω	206,184	205,806	205,428	205,049	204,671		
			V	0,738	0,736	0,735	0,733	0,732		
			t	0,678	0,679	0,680	0,682	0,683		
			p	7,759	8,190	8,621	9,052	9,483		
		1	ω	203,158	202,402	201,645	200,889	200,132		
			V	0,727	0,724	0,721	0,719	0,716		
			t	1,376	1,381	1,386	1,392	1,397		
		1.5	p	9,483	10,130	10,780	11,420	12,070		
	5000		ω	200,132	198,997	197,863	196,728	195,593		
	5000	1,5	V	0,716	0,712	0,708	0,704	0,700		
			t	2,095	2,107	2,119	2,132	2,144		
			p	11,210	12,070	12,930	13,790	14,660		
		2	ω	197,106	195,593	194,080	192,567	191,054		
		2	V	0,705	0,700	0,694	0,689	0,683		
			t	2,837	2,859	2,881	2,904	2,927		
			p	12,930	14,010	15,090	16,160	17,240		
		25	ω	194,080	192,189	190,298	184,250	100,203		
		2,5	V	0,694	0,687	0,681	0,659	0,358		
			t	3,601	3,637	3,673	3,793	6,975		

П.3.2. Матрица (разгон)	

Миг	Нм				С, кН/м		
1 VI, KI	11, 14		35	40	45	50	55
	0,5	а	15,833	16,667	17,5	18,333	19,167
		Т	19380	20000	20630	21250	21880
		V	3,594	3,651	3,708	3,764	3,819
		t	0,251	0,245	0,239	0,234	0,228
	1	а	21,667	23,333	25	26,667	28,333
		Т	47500	50000	52500	55000	57500
		V	5,627	5,774	5,916	6,055	6,191
		t	0,304	0,293	0,283	0,274	0,266
	1,5	а	27,5	30	32,5	35	37,5
3000		Т	84380	90000	95630	101200	106900
		V	7,5	7,746	7,984	8,216	8,441
		t	0,33	0,316	0,304	0,293	0,283
	2	а	33,333	36,667	40	43,333	46,667
		Т	130000	140000	150000	160000	170000
		V	9,309	9,661	10	10,328	10,646
		t	0,346	0,33	0,316	0,304	0,293
	2,5	а	39,167	43,333	47,5	51,667	55,833
		Т	184400	200000	215600	231300	246900
		V	11,087	11,547	11,99	12,416	12,829
		t	0,357	0,34	0,324	0,311	0,299
	0,5	а	15	15,714	16,43	17,143	17,857
3500		Т	21880	22500	23130	23750	24380
		V	3,536	3,586	3,64	3,684	3,732
		t	0,258	0,252	0,247	0,242	0,237

Мкг	Нм						
1 VI, KI	11, 141		35	40	45	50	55
	1	а	20	21,429	22,86	24,286	25,714
		Т	52500	55000	57500	60000	62500
		V	5,477	5,606	5,73	5,855	5,976
		t	0,316	0,306	0,296	0,287	0,279
	1,5	а	25	27,143	29,29	31,429	33,571
		Т	91880	97500	103100	108700	114400
		V	7,246	7,464	7,68	7,883	8,084
		t	0,346	0,332	0,32	0,309	0,299
	2	а	30	32,857	35,714	38,571	41,429
		Т	140000	150000	160000	170000	180000
		V	8,944	9,258	9,562	9,856	10,142
		t	0,365	0,349	0,335	0,322	0,311
	2,5	а	35	38,571	42,14	45,714	49,286
		Т	196900	212500	228100	243800	259400
		V	10,607	11,019	11,42	11,802	12,174
		t	0,378	0,36	0,344	0,331	0,319
	0,5	а	14,375	15	15,625	16,25	16,875
		Т	24380	25000	25630	26250	26880
		V	3,491	3,536	3,579	3,623	3,666
		t	0,264	0,258	0,253	0,248	0,243
	1	а	18,75	20	21,25	22,5	23,75
4000		Т	57500	60000	62500	65000	67500
		V	5,362	5,477	5,59	5,701	5,809
		t	0,327	0,316	0,307	0,298	0,29
	1,5	a	23,125	25	26,875	28,75	30,625
		Т	99380	105000	110600	116300	121900
		V	7,049	7,246	7,437	7,624	7,806
		t	0,36	0,346	0,334	0,323	0,313

Миг	Нм		С, кН/м						
WI, KI	11, 11		35	40	45	50	55		
	2	а	27,5	30	32,5	35	37,5		
		Т	150000	160000	170000	180000	190000		
		V	8,66	8,944	9,22	9,487	9,747		
		t	0,381	0,365	0,351	0,338	0,327		
	2,5	а	31,875	35	38,125	41,25	44,375		
		Т	209400	225000	240600	256300	271900		
		V	10,232	10,607	10,969	11,319	11,659		
		t	0,396	0,378	0,362	0,348	0,336		
	0,5	а	13,889	14,444	15	15,556	16,111		
		Т	26880	27500	28130	28750	29380		
		V	3,456	3,496	3,536	3,575	3,613		
		t	0,268	0,263	0,258	0,254	0,249		
	1	а	17,778	18,889	20	21,111	22,222		
		Т	62500	65000	67500	70000	72500		
		V	5,27	5,375	5,477	5,578	5,676		
		t	0,335	0,325	0,316	0,308	0,3		
	1,5	а	21,667	23,333	25	26,667	28,333		
4500		Т	106900	112500	118100	123800	129400		
		V	6,892	7,071	7,246	7,416	7,583		
		t	0,372	0,359	0,346	0,335	0,325		
	2	а	25,556	27,778	30	32,222	34,444		
		Т	160000	170000	180000	190000	200000		
		V	8,433	8,692	8,94	9,189	9,428		
		t	0,396	0,379	0,365	0,352	0,341		
	2,5	а	29,444	32,222	35	37,778	40,556		
		Т	221900	237500	253100	268800	284400		
		V	9,93	10,274	10,607	10,929	11,242		
		t	0,412	0,394	0,378	0,364	0,351		

Мкг	Н, м				С, кН/м		
WI, KI	11, 141		35	40	45	50	55
	0,5	а	13,5	14	14,5	15	15,5
		Т	29380	30000	30630	31250	31880
		V	3,428	3,464	3,5	3,536	3,571
		t	0,272	0,267	0,263	0,258	0,254
	1	а	17	18	19	20	21
		Т	67500	70000	72500	75000	775000
		V	5,196	5,292	5,385	5,477	5,568
		t	0,343	0,333	0,324	0,316	0,309
	1,5	а	20,5	22	23,5	25	26,5
5000		Т	114400	120000	125600	131300	136900
2000		V	6,764	6,928	7,089	7,246	7,399
		t	0,383	0,369	0,357	0,346	0,336
	2	а	24	26	28	30	32
		Т	170000	180000	190000	200000	210000
		V	8,246	8,485	8,7	8,944	9,165
		t	0,408	0,392	0,378	0,365	0,354
	2,5	а	27,5	30	32,5	35	37,5
		Т	234400	250000	265600	281300	296900
		V	9,682	10	10,308	10,607	10,897
		t	0,426	0,408	0,392	0,378	0,365

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

$a:=1 \qquad b:=1 \qquad \underset{\underset{\scriptstyle \text{MM}}{}}{c}:=1 \qquad \underset{\underset{\scriptstyle \text{MM}}{}}{H}:=1.6 \qquad \sigma:=100\cdot10^6 \sigma1:=0.02\cdot\sigma$	τ2 :=	= 0.1σ τ3 := 0.1·σ	Si = 0.01 Ti = 32000 S1 := 0.5 gi = 10
h := 0.007 χ := 6 P := 5.10 ⁶ χ := 3.10 ⁶ β := 0.5 χ := β V Given	W2 :=	0.8W W3 := W2	S2 := 0.5 S3 := 0.02 $\alpha := \frac{\pi}{3}$ M := 2000 E := 30.10 ³
$h = \frac{M \cdot V^2}{2 \cdot P} \qquad V = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \qquad P = 2 \cdot W \cdot \sin(\alpha) \qquad W = \sigma \cdot S$	0	0 6.796·10 ⁻³	S1 = $(c - h) \cdot a$ $\sigma 1 = \frac{W \cdot cos(\alpha)}{S1}$ $\tau 3 = \frac{W3}{S3}$ $E = \frac{T}{S1}$
$\delta = 0.5 \cdot \alpha \qquad W2 = W \cdot \cos(\alpha - \delta) \qquad S2 = a \cdot \frac{b}{\cos(\delta)} \qquad T = \frac{M \cdot V^2}{2}$ $\beta = -0.5 \cdot \alpha + 0.785 \qquad W2$	1 2	5.657 4.709·10 ⁶	W3 = W $\cdot \sin(\beta)$ S3 = a $\cdot \frac{h}{\cos(\alpha + \beta)}$
$\tau 2 = \frac{1}{S2}$	3	2.718 [,] 10 ⁶	
h = Find(h, V, P, W, S, T, S1, σ1, δ, W2, S2, τ2, β, W3, S3, τ3, Ε)	4 5	0.027 3.2·10 ⁴	
4 7 9	6	0.993	
h =	7 8	1.369·10¤ 0.524	
	9	2.354.106	
	10 11	2.039.106	
	12	0.261	
	13	7.025.105	
	14 15	2.679·10 ⁷	
	16	3.222 [.] 10 ⁴	

Рис. П.4.1 Пример математического моделирования подсистемы «инструмент – негабарит»

$$M := 3500 \qquad H_{w} := 2 \qquad g_{w} := 60000 \qquad g_{w} := 10 \qquad H_{w} := 0.01$$

$$q := 50 \cdot 10^{-6} \qquad i := 1.205 \qquad w := 188 \quad w1 := 150 \qquad y_{w} := 0.8 \qquad t := 2.2 \qquad p := 20 \cdot 10^{6}$$
Given
$$p = \frac{c \cdot H + M \cdot g}{F} \qquad M1 = q \cdot p \qquad \frac{M1}{i} = if(w \le 188.496, -0.532 \cdot w + 768.718, -23.642 \cdot w + 5125)$$

$$w1 = \frac{w}{i} \qquad V = \frac{w1 \cdot q}{F} \qquad t = \frac{H}{V}$$

$$g_{w} := Find(p, w, V, t, w1, M1)$$

$$p = \begin{pmatrix} 1.55 \times 10^{7} \\ 189.571 \\ 0.787 \\ 2.543 \\ 157.321 \\ 775 \end{pmatrix}$$

$$M_{w}(w) := if(w \le 188.496, -0.532 \cdot w + 768.718, -23.642 \cdot w + 5125)$$

$$M_{w}(w) := if(w \le 188.496, -0.532 \cdot w + 768.718, -23.642 \cdot w + 5125)$$

$$M_{w}(w) := if(w \le 188.496, -0.532 \cdot w + 768.718, -23.642 \cdot w + 5125)$$

Рис. П.4.2 Пример математического моделирования подсистемы «базовая машина – ударный механизм»

100

w

200

300

200

0^L 0

ПРИЛОЖЕНИЕ 5



Ордена Трудового Красного Знамени

Иркутский Завод Тяжелого Машиностроения

ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

ОАО «Промышленное объединение «Иркутский завод тяжелого машиностроения» 664007 Россия, г. Иркутск, ул. Октябрьской Революции, 1 тел.: (3952) 25-33-77 факс: (3952) 25-33-77

. Исх. № *Ш/Ю1* «<u>02</u>» апреля 2014 года

Справка

об использовании результатов диссертационной работы

Результаты кандидатской диссертации соискателя Аль-Саккаф Халед Саед Таха на тему «Рациональные параметры навесного оборудования для ударного разрушения негабаритов горных пород» (научный руководитель проф. Зедгенизов В.Г.) приняты к внедрению. Методика расчета представляет определенный интерес и будет использована при разработке и создании оборудования для дробления негабаритов.

Директор по производству ОАО «ПО ИЗТМ» Г.А. Барбаков Ведущий конструктор Л.Н. Тутурин 0A0 «ПО «ИЗТМ» Начальник ЦЗЛ кандидат технических на В.Л. Ивакин

133