

Национальная академия наук Кыргызской Республики  
ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Министерство образования и науки Кыргызской Республики  
КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени И. Раззакова

Диссертационный совет Д 05.18.576

На правах рукописи  
УДК 622.23.05

**Исманов Медербек Марипжанович**

**НАУЧНО-ПРИКЛАДНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ  
РАБОЧИХ ОРГАНОВ КАМНЕРЕЗНЫХ МАШИН**

05.05.06 – «Горные машины»

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

Бишкек 2018

Работа выполнена в Кыргызско-Узбекском университете.

**Научный консультант** доктор технических наук, профессор  
**Мамасаидов Мухаммаджан Ташалиевич**  
(Кыргызско-Узбекский университет)

**Официальные  
оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Еремьянц Виктор Эдуардович** (Кыргызско-  
Российский Славянский университет)

доктор технических наук, доцент  
**Аширалиев Абдигумаматкадыр Аширалиевич**  
(Жалал-Абадский государственный  
университет)

доктор технических наук, с.н.с.  
**Султаналиев Бактыбек Сабырбекович**  
(Институт машиноведения НАН КР)

**Ведущая организация:** **Ошский технологический университет**  
**им. М.М. Адышева** (723503, г. Ош,  
ул. Н. Исанова, 81)

Защита состоится «29» июня 2018 года в 14.00 час. на заседании диссертационного совета Д 05.18.576 при Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики и Кыргызском государственном техническом университете имени И. Раззакова Министерства образования и науки Кыргызской Республики по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Института машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики и Кыргызского государственного технического университета имени И. Раззакова, на сайте <http://imash.kg/index.php/2016-03-25-04-59-37/d-05-18-576/soiskateli>.

Отзыв на автореферат в двух экземплярах, с подписью, заверенной гербовой печатью, просим направлять по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23, Институт машиноведения НАН КР, диссертационный совет Д 05.18.576 или по e-mail: [imash.dissovet@gmail.com](mailto:imash.dissovet@gmail.com).

Автореферат разослан «28» мая 2018 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 05.18.576, к.т.н., с.н.с.



Квитко С.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Горнодобывающей отрасли Правительством Кыргызской Республики уделяется особое внимание и отводится первостепенная роль в социально-экономическом развитии страны.

Развитие отечественной камнедобывающей и камнеобрабатывающей промышленности, основанное на собственной минерально-сырьевой базе, вносило бы огромную пользу для экономики страны. Для производства высококачественных изделий из природного камня в нашей стране имеются свыше 170 месторождений облицовочного и стенового камня с общим запасом свыше 1 млрд. м<sup>3</sup>. Изделия из природного камня Кыргызстана, благодаря своему естественному виду и лучшим физико-механическим свойствам, все больше и больше находят широкое применение в современном строительстве. Основываясь на огромные запасы, высокие цены и повышенный zahraniчный спрос на отечественные изделия из камня можно отметить, что камнедобывающая и камнеобрабатывающая отрасли могли бы стать весомым источником валютных поступлений в бюджет Кыргызстана.

В настоящее время технические средства и технологии добычи и распиловки блоков камня, применяемые в Кыргызстане, физически и морально устарели, применение их приводит к низкой производительности и высокой себестоимости получаемых изделий, а потери сырья составляют до 70 % от общего объема добываемых блоков природного камня.

В связи с этим представляемая диссертация посвящена актуальной проблеме – разработке научно-прикладных основ создания новых рабочих органов перспективных камнерезных машин и высокоэффективных технологий вырезания строительных изделий из массива природного камня.

Необходимо отметить, что в теорию и практику разработки методов расчета параметров, создания технических средств и технологий добычи и обработки блоков природного камня крупный вклад внесли видные ученые: Л.И. Барон, Ю.Я. Берлин, А.М. Орлов, Ю.И. Сычев, М.И. Гальперин, Р.В. Михельсон, Ю.И. Михайлов, И.А. Терь-Азарьев, К.С. Барданян, В.А. Александров, О.Б. Синельников, О.Д. Алимов, М.Т. Мамасаидов, И.Г. Басов, В.Г. Юдин, Г.Д. Першин, Р.А. Мендекеев и многие другие. Труды крупных ученых Кыргызской Республики, таких как А.В. Фролов, С.А. Абдраимов, М.С. Джуматаев, М. Ураимов, В.Э. Еремянц, Э.Б. Бексалов, Ж.У. Усубалиев, Ю.М. Сосновский, А. Аширалиев, А.О. Абидов, Э.С. Абдраимов, Б.С. Султаналиев, С.С. Искенов и других, посвящены обоснованию параметров и созданию технических средств разрушения и обработки горных пород.

**Связь темы диссертации с крупными научными программами.** Работа выполнена в соответствии с координационным планом научно-исследовательских работ Департамента науки Министерства образования и науки КР и Кыргызско-Узбекского университета (КУУ), в период с 2006 по 2017 гг.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является разработка научно-прикладных основ, позволяющих переходить к созданию перспективных камнерезных машин с новыми рабочими органами, обеспечивающими повышение долговечности и надежности их работы, эффективности их применения для вырезания строительных изделий из массива камня.

Для достижения цели поставлены **задачи исследования:**

- обзор и анализ имеющихся технологий вырезания блоков из массива камня и существующих конструкций камнерезных машин с цепными и канатными рабочими органами;
- разработка динамических моделей и получение зависимостей, описывающих движение цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин в процессе резания камня;
- выявление и анализ взаимосвязей конструктивных, режимных и силовых параметров цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин;
- обоснование предпосылок к расчету рациональных параметров цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин;
- разработка методики выбора рациональных параметров цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин, базируясь на положениях многокритериальной оптимизации;
- обоснование конструкций, разработка и создание опытных образцов камнерезных машин с новыми цепными и канатными рабочими органами;
- разработка эффективных технологий применения опытных образцов камнерезных машин с новыми цепными и канатными рабочими органами для вырезания строительных изделий непосредственно из массива камня;
- разработка методики стендовых и промышленных испытаний опытных образцов камнерезных машин с цепными и канатными рабочими органами;
- анализ технико-экономических показателей существующих и опытных образцов камнерезных машин с цепными и канатными рабочими органами.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в следующем:

- впервые разработаны динамические модели и получены зависимости, описывающие движение цепного и канатного рабочих органов

камнерезных машин в процессе вырезания строительных изделий из массива камня, позволяющие произвести расчет конструктивных и режимных параметров цепного и канатного рабочих органов, силовых показателей процесса резания с учетом прочностных характеристик природного камня;

- разработаны методики выбора рациональных параметров цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин, которые основываются на положениях многокритериальной оптимизации, где в качестве критериев выбраны суммарная сила сопротивления, скорость резания, ширина режущей цепи и диаметр каната;

- впервые разработаны конструктивные схемы цепных рабочих органов, которые в отличие от известных содержат режущую цепь шириной 16 мм, плоскую раму трапециевидальной и клиновидной форм, по рабочему контуру которых установлены специальные ролики;

- разработаны конструктивные схемы камнерезных машин с новыми цепными и канатными рабочими органами, которые в отличие от известных содержат специальные механизмы и приводы с лучшими техническими характеристиками;

- впервые разработаны оригинальные технологические схемы способов вырезания строительных изделий из массива камня малой и средней прочности, которые в отличие от известных содержат технологию эффективного применения цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин.

#### **Практическая значимость полученных результатов:**

- разработаны и созданы опытные образцы камнерезных машин КМЦ-1 и КМК-1 с новыми конструкциями режущей цепи и плоской рамы, обеспечивающие уменьшение ширины технологической щели, силы трения скольжения и дифференцированное распределение удельных нагрузок по резцам при резании камня, и конструкцией рабочего шкива, обеспечивающий снижение износа алмазных втулок и уменьшение нагрузок на режущий канат.

- стендовыми испытаниями новых рабочих органов камнерезных машин КМЦ-1 и КМК-1 обеспечено определение их рациональных режимов резания для камней малой и средней прочности.

- промышленными испытаниями установлено, что камнерезные машины КМЦ-1 и КМК-1 с новыми рабочими органами обеспечивают вырезание из массива камня малой и средней прочности до 100 шт. стеновых блоков размером 400x300x200 мм в смену с лучшими технико-экономическими показателями.

- внедрение машин КМЦ-1 и КМК-1 с новыми рабочими органами в производственную деятельность ОАО «Ош-Ак-Таш» и ОсОО

«Араван-Таш» по предлагаемым технологиям привело к снижению энергоемкости процесса на 26–30 %, суммарного времени на изготовление готовой продукции на 22–25 %;

- разработана и предложена Правительству Кыргызской Республики Программа развития камнедобывающей и камнеобрабатывающей отраслей промышленности на среднесрочный период с 2017 по 2022 гг.

#### **Экономическая значимость полученных результатов:**

- обеспечено повышение производительности техпроцесса получения строительных изделий из камня до 30 %, уменьшение себестоимости получения 1 м<sup>3</sup> блока известняка – ракушечника «Сары-Таш» от 299 до 892 сомов, а годовой экономический эффект от внедрения опытного образца камнерезной машины КМЦ-1 с новым цепным рабочим органом на месторождении известняков-ракушечников «Сары-Таш» ОАО «Ош Ак-Таш» по предлагаемой технологии составляет 2 142 164 сомов;

- обеспечено повышение производительности техпроцесса получения строительных изделий из камня до 24%, уменьшение себестоимости получения 1 м<sup>3</sup> блока известняка «Араван-Таш» от 3018,9 до 834,3 сомов, а годовой экономический эффект от внедрения опытного образца камнерезной машины КМК-1 с новым канатным рабочим органом на месторождении известняков «Араван-Таш» по предлагаемой технологии составляет 1 823 452 сомов.

#### **Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Динамические модели и зависимости, описывающие движение цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин в процессе вырезания строительных изделий из массива камня, позволяющие сформулировать рекомендации по определению их рациональных параметров и разработке их высокоэффективных конструкций.

2. Методики выбора рациональных параметров цепного и канатного рабочих органов, обеспечивающие разработку надежных и высокоэффективных их конструкций.

3. Конструктивные схемы режущей цепи и плоской рамы цепного рабочего органа, позволяющие уменьшить ширину технологической щели, силы трения скольжения и дифференцированное распределение удельных нагрузок по резцам при резании природного камня.

4. Конструктивные схемы камнерезных машин с новыми цепными и канатными рабочими органами, позволяющие повысить долговечность и надежность их работы, эффективность их применения для вырезания строительных изделий из массива камня малой и средней прочности.

5. Технологические схемы способов вырезания строительных изделий из массива камня, обеспечивающие увеличение производительности, снижение себестоимости и потерь сырья процесса резания камня.

**Личный вклад соискателя.** Выносимые на защиту научные результаты получены соискателем лично. Создание и испытание опытных образцов камнерезных машин с новыми рабочими органами проведены совместно с сотрудниками КУУ, ОАО «Ош-Ак-Таш», ОсОО «Vip Строй», ОсОО «Таш-Махал» и «Араван-Таш».

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на международных научных конференциях: «Машины с механизмами переменной структуры и виброударные машины» (Бишкек, 2004 г.); «Горные науки Республики Казахстан – итоги и перспективы» (Алматы, 2004 г.); «Актуальные проблемы механики и горного машиноведения, развития науки и интеграции ВУЗов» (Ош, 2009 г.); «Теория машин и рабочих процессов» (Бишкек, 2013 г.); «Инновационные технологии для решения проблем комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов и устойчивого развития» (Ош, 2015 г.); «Актуальные проблемы развития науки, образования и интеграции ВУЗов» (Ош, 2015 г.); «Актуальные проблемы экологии и адаптации человечества к изменениям климата» (Берлин, 2017 г.); на республиканских научных конференциях: «Современные проблемы геологии, экологии, природопользования, технологии и образования» (Ош, 2005 г.); «Актуальные проблемы механики машин» (Бишкек, 2014 г.).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** По материалам диссертации опубликовано 35 научных трудов, в том числе 9 статей в зарубежных периодических научных изданиях, индексируемых системами Scopus и РИНЦ, 20 статей – в журналах, рекомендованных ВАК КР. Получено 4 патента КР на изобретения.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации составляет 323 страницы машинописного текста, включая 30 таблиц, 132 рисунка, список использованных источников из 208 наименований и 12 приложений.

Автор выражает искреннюю признательность научному консультанту, академику М.Т. Мамасаидову, сотрудникам КУУ, ОАО «Ош Ак-Таш», ОсОО «Таш-Махал», «Vip Строй» и «Араван-Таш».

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, поставлены цели и задачи исследований, определены основные положения, выносимые на защиту, сформулированы научная новизна, практическая и экономическая значимость диссертации, личный вклад автора.

**В первой главе** выполнен обзор и анализ существующих технологий вырезания блоков из массива камня. Установлено, что своей прогрессивностью, технологичностью и другими технико-экономическими пока-

зателями камнерезные машины с цепными и канатными рабочими органами имеют широкие перспективы и масштабы применения.

Проведен патентный поиск, сделан обзор и краткий анализ конструктивных схем камнерезных машин с цепными и канатными рабочими органами, позволяющие произвести их классификацию (рисунок 1 и 2)



Рисунок 1 - Классификация камнерезных машин с цепными рабочими органами

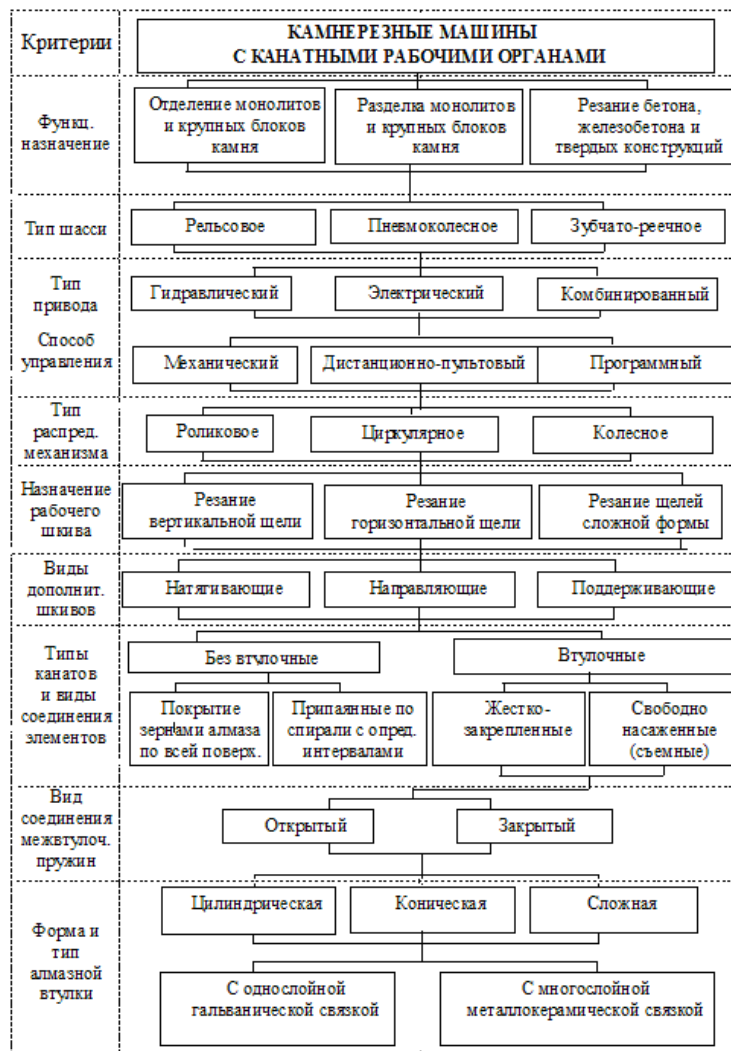


Рисунок 2 - Классификация камнерезных машин с канатными рабочими органами

– несовершенная конструкция плоской рамы цепного рабочего органа, имеющая склонность к вибрациям и частым отскакиваниям от забоя, в результате чего происходит частая поломка резцов и элементов режущей цепи, что приводит к снижению надежности и долговечности машины в целом;

– неравномерное внедрение резцов цепных рабочих органов в массив и, как следствие, недифференцированное распределение удельных нагрузок по резцам в процессе резания камня, что обуславливает повышенные динамические нагрузки на элементы режущей цепи;

– чрезвычайно высокая потеря мощности на трение скольжения между плоской рамой и режущей цепью, а также между звеньями цепи;

– образование широкой технологической щели (40 мм и выше при резании камней с прочностью до 80 МПа), приводящей к неэффективному использованию мощности и значительным потерям сырья;

– весьма большие потери рабочего времени и материальных средств из-за несовершенства технологии применения камнерезных машин с цепными рабочими органами.

Выявлены также целенаправленные пути совершенствования конструкций канатных рабочих органов камнерезных машин, направленные на устранение следующих их серьезных недостатков:

– низкая надежность работы и точность движения рабочего шкива из-за быстрого износа его рабочей поверхности;

– частые разрывы алмазного режущего каната из-за превышения предельно допустимого значения динамической силы натяжения его и отсутствия рациональных режимов резания;

– применение дополнительных технических средств точного бурения при отделении блоков и монолитов природного камня от массива;

– несовершенство технологий применения канатных рабочих органов при вырезании блоков и монолитов из массива природного камня.

Исходя из вышеизложенного, сформулирована актуальность проблемы и осуществлена постановка задач комплексных научных изысканий.

Определено, что решение поставленных задач способствует разработке научно-прикладных основ создания перспективных камнерезных машин с высокоэффективными рабочими органами, а также технологий их применения для вырезания архитектурно-строительных изделий непосредственно из массива камня.

**Во второй главе** изложены результаты теоретических исследований по разработке обобщенных динамических моделей цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин. Получены уравнения движения, установлены взаимосвязи силовых и режимных показателей процесса резания от конструктивных параметров цепного и канатного



рабочих органов, прочностных характеристик природного камня. На основе анализа полученных взаимосвязей обоснованы рекомендации для создания высокоэффективных конструкций цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин.

Известно, что в процессе резания камня на цепной рабочий орган действуют следующие силы (рисунок 3): силы тяжести ведущей звездочки  $G_3$ , плоской рамы (бара)  $G_B$ , ведомого ролика  $G_P$ , режущей цепи  $G_{II}$ ; сила тяги камнерезной машины  $P_T$ ; сила давления штока гидроцилиндра  $P_{шт}$ . На ведущую звездочку через ведущую ветвь режущей цепи также действуют суммарные силы трения  $P_{ТР}$ , возникающие между режущей цепью и рамой бара, а также между резцом и разрабатываемой породой, суммарные силы сопротивления резанию  $P_P$ , силы, затрачиваемые на транспортирование мелочи камня из технологической щели  $P_{щ}$ . Силы противодействия  $P_{ТР}$ ,  $P_P$  и  $P_{щ}$  были заменены одной равнодействующей силой  $P_C$ . Используя теорему теоретической механики о переносе силы в другую точку, сила  $P_C$  приведена к оси  $O_1$  ведущей звездочки, прибавляя при этом момент  $M_C$  от сил сопротивления  $P_C$ . Сила тяги камнерезной машины  $P_T$  и сила давления гидроцилиндра  $P_{шт}$  заменена одной равнодействующей силой, т.е. усилием подачи  $P_{II}$ . Учитывая то, что процесс резания щели происходит в направлении оси  $O_1x$ , а резцы контактируют в точках с обрабатываемой породой, принимая силу  $P_{шт}$  весьма малой по сравнению с величиной  $P_T$ , силу  $P_{II}$  приложим в точке С и направим параллельно оси  $O_1x$ . В результате разработана обобщенная динамическая модель цепного рабочего органа в процессе резания камня с учетом следующих допущений (рисунок 4):

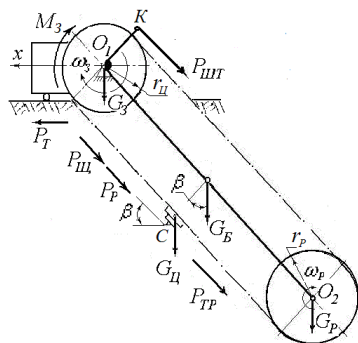


Рисунок 3 - Расчетная схема цепного рабочего органа камнерезной машины

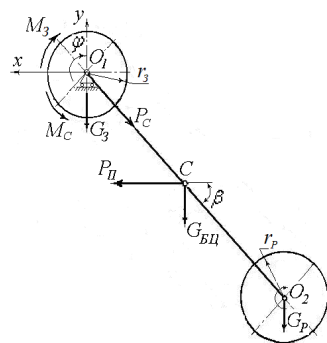


Рисунок 4 - Обобщенная динамическая модель цепного рабочего органа

- радиус ведущей звездочки равен радиусу вращения режущей цепи

и ведомого ролика ( $r_3 = r_{II} = r_P$ );

- силы сопротивления движению ведомой ветви режущей цепи весьма малы, и ими можно пренебречь ( $P_C^B = 0$ );

- силы сопротивления, возникающие при повороте шарниров цепи, ничтожно малы ( $P_C^{III} \ll P_C$ );

- сила давления штока гидроцилиндра весьма мала по сравнению с силой тяги камнерезной машины ( $P_T \gg P_{шт}$ );

- коэффициенты трения качения в подшипниках ведущей звездочки и ведомого ролика практически равны нулю ( $P_{ТР}^3 = 0$ ;  $P_{ТР}^P = 0$ ).

В качестве обобщенных координат приняты поступательное перемещение цепного рабочего органа  $x$  и угол поворота ведущей звездочки  $\varphi$  (рисунок 4).

На основе расчетной схемы (рисунок 3) суммарная сила сопротивления  $P_C$  выражена зависимостью вида

$$P_C = P_{II}(f_P + f_K) + (k_P \cdot \mu + k_T) \cdot \frac{B_{щ} \cdot H_{щ} \cdot n \cdot v_{II} \cdot \cos \beta}{3600 \cdot v_{II}}, \quad (1)$$

где  $P_{II}$  – усилие подачи, Н;  $f_P$  и  $f_K$  – соответственно, коэффициент трения скольжения режущей цепи по сопрягаемым плоскостям рамы (бара) цепного рабочего органа и резца по обрабатываемой поверхности природного камня;  $k_P$  – удельная нагрузка на резец при резании, зависящая от физико-механических свойств природного камня, Н/м<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент сопротивления природного камня относительно сдвигу или срезу;  $k_T$  – удельная нагрузка на резец при транспортировании мелочи камня из технологической щели, Н/м<sup>2</sup>;  $B_{щ}$  и  $H_{щ}$  – ширина и глубина прорезаемой технологической щели, м;  $n$  – число линий резания;  $v_{II}$  и  $v_{II}$  – скорость подачи (м/час) и скорость резания (м/с);  $\beta$  – угол наклона цепного рабочего органа, град.

Исходя из разработанной динамической модели, по методу Лагранжа были получены уравнения движения цепного рабочего органа в процессе резания камня:

$$\begin{cases} 2m \cdot x'' + m_{II} \cdot r_3 \cdot \varphi'' = P_{II} - P_C \cdot \cos \beta; \\ (m_3 + m_P + 2m_{II}) \cdot r_3^2 \cdot \varphi'' + m_{II} \cdot r_3 \cdot x'' = M_3 - M_C \end{cases}, \quad (2)$$

где  $m_3$ ,  $m_P$ ,  $m_{II}$  и  $m$  – соответственно, масса ведущей звездочки, плоской рамы, режущей цепи и цепного рабочего органа в целом, кг;  $r_3$  – радиус

ведущей звездочки, м;  $M_3$  - крутящий момент ведущей звездочки, Н·м;  $M_C$  - момент от суммарной силы сопротивления, Н·м;  $\varphi'' = \varepsilon_3$  - угловое ускорение ведущей звездочки, рад/с<sup>2</sup>;  $x'' = a_{ц}$  - линейное ускорение цепного рабочего органа, м/с<sup>2</sup>.

Из уравнения (2) после преобразований получена зависимость углового ускорения ведущей звездочки от конструктивных и режимных параметров цепного рабочего органа, а также силовых характеристик процесса резания природного камня, как

$$\varepsilon_3 = \frac{2m \cdot (M_3 - M_C) - m_{ц} \cdot r_3 \cdot (P_{ц} - P_C \cos \beta)}{r_3^2 [2m \cdot (m_3 + m_p + 2m_{ц}) - m_{ц}^2]} \quad (3)$$

Аналогичным образом установлена зависимость линейного ускорения цепного рабочего органа в виде

$$a_{ц} = \frac{(P_{ц} - P_C \cos \beta) \cdot r_3 \cdot (m_3 + m_p + 2m_{ц}) - (M_3 - M_C) \cdot m_{ц}}{r_3 \cdot [2m \cdot (m_3 + m_p + 2m_{ц}) - m_{ц}^2]} \quad (4)$$

Главной особенностью полученных выражений (1) – (4) являются то, что в этих уравнениях определены взаимосвязи конструктивных и режимных параметров цепного рабочего органа с силовыми показателями процесса резания камня, упруго-инерционными свойствами ведущей звездочки и режущей цепи, коэффициентом сопротивления пород относительно сдвигу или срезу  $\mu$ .

Сделан анализ зависимости режимных и конструктивных параметров цепного рабочего органа на основе установленных взаимосвязей (1) – (4). На рисунках 5, 6 и 7 приведены графики зависимостей суммарной силы сопротивления ( $P_C$ ), углового ускорения ведущей звездочки ( $\varepsilon_3$ ) и линейного ускорения цепного рабочего органа ( $a_{ц}$ ) от различных параметров. В них закономерности изменения  $P_C$ ,  $\varepsilon_3$  и  $a_{ц}$  от каждого из параметров изображены отдельно при средних значениях других параметров, взятых из существующей практики:  $P_{ц} = 3,6$  кН;  $P_C = 2,2$  кН;  $v_{ц} = 2,6$  м/с;  $v_{п} = 60$  м/ч;  $n = 4$ ;  $B_{щ} = 0,03$  м;  $H_{щ} = 2,0$  м;  $f_p = 0,15$ ;  $f_k = 0,3$ ;  $\mu = 0,35$ ;  $k_p = 2,0 \cdot 10^3$  кН/м<sup>2</sup>;  $k_T = 24,0$  кН/м<sup>2</sup>;  $M_3 = 0,5$  кН·м;  $M_C = 0,3$  кН·м;  $m = 40,0$  кг;  $m_p = 2,0$  кг;  $m_{ц} = 22,0$  кг;  $m_3 = 2,0$  кг;  $r_3 = 0,1$  м;  $\beta = 60^\circ$ .

На основе анализа зависимостей разработаны следующие рекомендации по созданию высокоэффективных конструкций цепных рабочих органов:

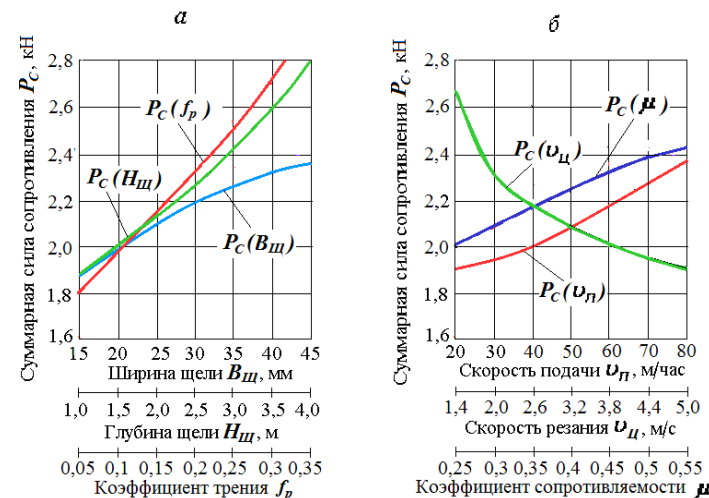


Рисунок 5 – Зависимости суммарной силы сопротивления: а – от конструктивных параметров цепного рабочего органа; б – от режимных параметров

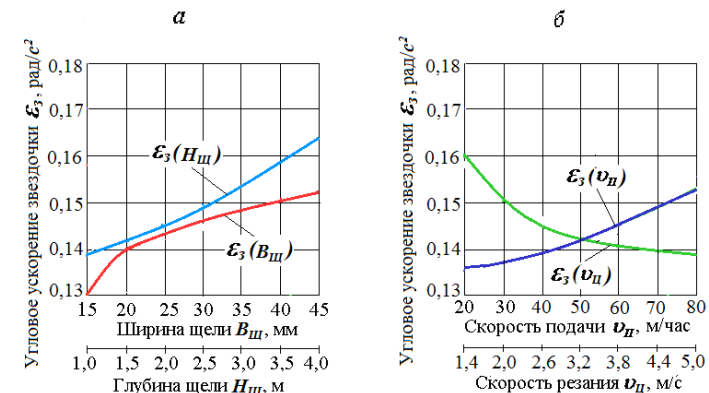


Рисунок 6 – Зависимости углового ускорения ведущей звездочки: а – от конструктивных параметров цепного рабочего органа; б – от режимных параметров

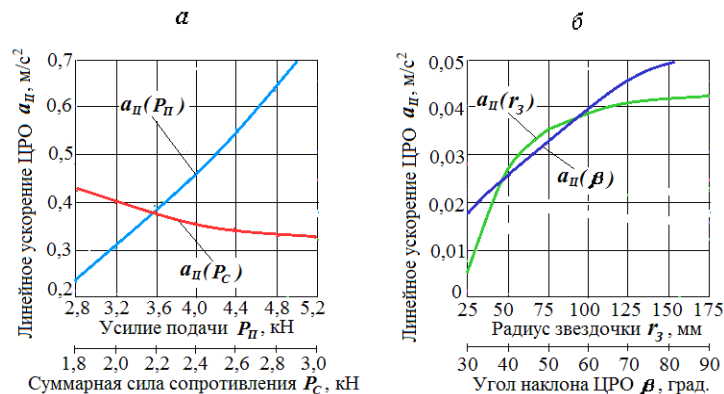


Рисунок 7 – Зависимости линейного ускорения цепного рабочего органа: а – от силовых параметров процесса резания; б – от конструктивных параметров

- камнерезные машины следует оснастить цепными рабочими органами, позволяющими производить резание щелей глубиной от 1,0 до 2,5 м, шириной 15 - 18 мм при угле наклона цепного рабочего органа 70 - 80°;
- скорость рабочей подачи цепного рабочего органа следует выбирать в пределах от 20 до 40 м/час, а скорость резания – от 2,6 до 3,8 м/с;
- по рабочему контуру плоской рамы цепного рабочего органа следует установить специальные ролики, обеспечивающие уменьшение величины силы трения скольжения между плоской рамой и режущей цепью в 50 раз;
- рама цепного рабочего органа камнерезной машины должна иметь трапециевидную или клиновидную форму для снижения начального угла резания резцов, постепенного внедрения их в природный камень, равномерного распределения удельных нагрузок по резцам;
- радиус ведущей звездочки целесообразно выбирать в интервале от 20 до 25 мм, а ее число зубьев и линий резания цепи не должно превышать 4;
- целесообразно разработать и создать режущую цепь цепного рабочего органа из следующих видов звеньев с указанными толщинами: боковые (правые и левые), толщиной 4,0...5,0 мм; средние (правые и левые), толщиной 6,0...8,0 мм; соединяющие (правые и левые), толщиной 4,0 ... 5,0 мм.

Для исследования динамики канатного рабочего органа камнерезной машины разработана расчетная схема (рисунок 8).

В процессе резания камня на ведущую ветвь режущего каната действуют: силы трения скольжения  $P_{TP}$ , силы сопротивления резанию  $P_P$  и упругости  $P_U$ . Все действующие силы сопротивления заменены

одной суммарной силой  $P_C$ , а силы тяжести рабочей тележки  $G_T$  и груза  $G_G$  – усилием подачи  $P_{II}$ .

Приведя все действующие силы к рабочему шкиву через ведущую ветвь, получена динамическая модель канатного рабочего органа в процессе резания камня (рисунок 9) с учетом следующих допущений:

- проскальзывание режущего алмазного каната по шкиву отсутствует;
- сила тяги рабочей тележки тросом равна силе тяжести груза ( $G_T = G_G$ );
- коэффициенты трения качения подшипников и колес рабочей тележки ничтожно малы, и они катятся без скольжения;
- ведущая ветвь режущего алмазного каната расположена параллельно рельсу рабочей тележки, она работает только на растяжение, его кручением пренебрегаем;
- силами сопротивления, действующими на ведомую ветвь режущего алмазного каната, пренебрегаем из-за их малой величины.

В качестве обобщенных координат приняты поступательное перемещение рабочей тележки по рельсу  $x$  и угол поворота рабочего шкива  $\varphi$  (рисунок 9).

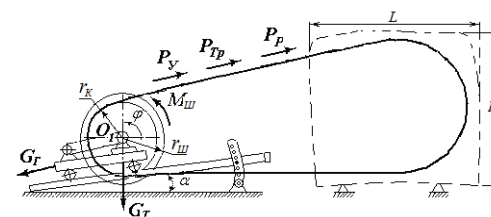


Рисунок 8 – Расчетная схема канатного рабочего органа камнерезной машины

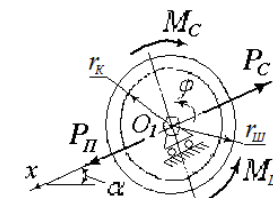


Рисунок 9 – Динамическая модель канатного рабочего органа

Исходя из расчетной схемы зависимость суммарной силы сопротивления  $P_C$  определена в виде

$$P_C = P_{II}(f + f_C) + \frac{M_{ш} \cdot \omega_{ш}}{v_K} \cdot \mu + \frac{\pi \cdot E \cdot d_T^2}{4l} \cdot \Delta l, \quad (5)$$

где  $P_{II}$  – усилие подачи, Н;  $f$  – коэффициент трения алмазной втулки режущего каната о горную породу;  $f_C$  – коэффициент сопротивления движению алмазного каната в технологической щели;  $M_{ш}$  и  $\omega_{ш}$  – соответственно, крутящий момент (Н·м) и угловая скорость рабочего шкива (рад/с);  $v_K$  – линейная (окружная) скорость режущего каната, м/с;  $\mu$  – коэффициент сопротивления природного камня относительному сдвигу.



гу или срезу;  $E$  – модуль упругости троса, Н/м<sup>2</sup>;  $d_T$  – диаметр троса, м;  $l$  и  $\Delta l$  – длина и удлинение ведущей ветви режущего каната, м.

На основе разработанной модели и пользуясь методикой Лагранжа, определены уравнения движения канатного рабочего органа камнерезной машины в процессе резания природного камня:

$$\begin{cases} m_M \cdot x'' + m_2 r_K \cos \alpha \cdot \varphi'' = P_{II} - P_C, \\ \frac{1}{2} (m_1 r_{III}^2 + 2m_2 r_K^2) \cdot \varphi'' + m_2 r_K \cos \alpha \cdot x'' = M_{III} - P_C \cdot r_K, \end{cases} \quad (6)$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_M$  – соответственно масса рабочего шкива, режущего каната и камнерезной машины без направляющих рельсов, кг;  $r_K$  – радиус вращения режущего алмазного каната вокруг оси  $O_I$  рабочего шкива, м;  $\alpha$  – угол наклона рельса к горизонту, град.;  $P_{II}$  и  $P_C$  – соответственно усилие подачи и суммарная сила сопротивления, кН;  $M_{III}$  – крутящий момент рабочего шкива, Н·м;  $\varphi'' = \varepsilon_{III}$  – угловое ускорение рабочего шкива, рад/с<sup>2</sup>;  $x'' = a_K$  – линейное ускорение рабочей тележки камнерезной машины, м/с<sup>2</sup>.

После решения уравнения (6) методом подстановки переменных получена зависимость углового ускорения рабочего шкива в виде

$$\varepsilon_{III} = \frac{2[(M_{III} - P_C \cdot r_K) \cdot m_M + (P_C - P_{II}) \cdot m_2 \cdot r_K \cdot \cos \alpha]}{m_1 \cdot r_{III}^2 \cdot m_M + 2m_2 \cdot r_K^2 \cdot (m_1 + m_T + m_2 \sin^2 \alpha)}, \quad (7)$$

где  $m_T$  – масса рабочей тележки с приводов канатного рабочего органа, кг;  $r_{III}$  – радиус рабочего шкива, м.

Аналогичным образом получена зависимость линейного ускорения рабочей тележки камнерезной машины

$$a_K = \frac{(P_{II} - P_C) \cdot (m_1 r_{III}^2 \cdot m_M + 2m_2 r_K^2) + 2P_{II} \cdot m_2 r_K^2 \cdot (m_1 + m_3)}{m_M [m_1 r_{III}^2 \cdot m_M + 2m_2 r_K^2 \cdot (m_1 + m_T + m_2 \sin^2 \alpha)]} + \frac{2m_2 r_K \cdot m_M \cdot (P_C r_K - M_{III}) \cos \alpha}{m_M [m_1 r_{III}^2 \cdot m_M + 2m_2 r_K^2 \cdot (m_1 + m_T + m_2 \sin^2 \alpha)]}. \quad (8)$$

Главной особенностью полученных выражений (5) – (8) являются то, что в этих уравнениях определены взаимосвязи конструктивных и режимных параметров канатного рабочего органа с силовыми показателями процесса резания камня, упруго-инерционными свойствами рабочего шкива и режущего алмазного каната, а также физико-механическими свойствами камня ( $\mu$ ). Анализ зависимости режимных и конструктив-

ных параметров канатного рабочего органа произведен на основе полученных уравнений (5) и (7).

На рисунках 10 и 11 приведены графики закономерностей изменения суммарной силы сопротивления ( $P_C$ ) и углового ускорения рабочего шкива ( $\varepsilon_{III}$ ), построенные на основе зависимостей (5) и (7). В нем закономерности изменения от каждого из параметров, изображены отдельно при средних значениях других параметров, взятых из существующей практики:  $P_{II} = 0,6$  кН;  $P_C = 0,4$  кН;  $\mu = 0,35$ ;  $f = 0,3$ ;  $f_C = 0,15$ ;  $M_{III} = 0,5$  кН·м;  $v_K = 30$  м/с;  $\omega_{III} = 75$  рад/с;  $l = 4,0$  м;  $\Delta l = 0,6 \cdot 10^{-3}$  м;  $E = 1,6 \cdot 10^8$  кН/м<sup>2</sup>;  $d_T = 4,0 \cdot 10^{-3}$  м;  $m_M = 240$  кг;  $m_1 = 55,0$  кг;  $m_2 = 5,0$  кг;  $m_T = 180,0$  кг;  $r_{III} = 0,48$  м;  $r_K = 0,42$  м;  $\alpha = 22^\circ$ .

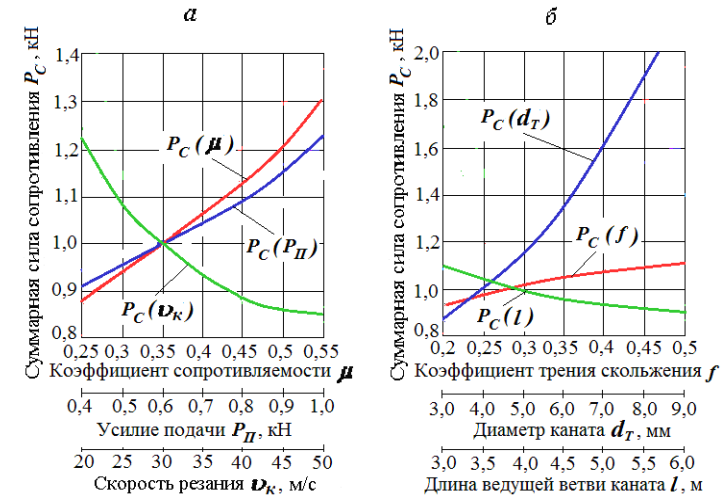


Рисунок 10 – Зависимости суммарной силы сопротивления: а – от режимных параметров канатного рабочего органа; б – от конструктивных параметров

На основе анализа сформулированы следующие рекомендации по созданию перспективных конструкций канатных рабочих органов:

– необходимо создавать конструкцию платформы рабочей тележки камнерезной машины, позволяющей рабочему шкиву поворачиваться и занимать фиксированное вертикальное и горизонтальное положения, обеспечивать канатному рабочему органу резание вертикальных и горизонтальных технологических щелей в массиве природного камня;

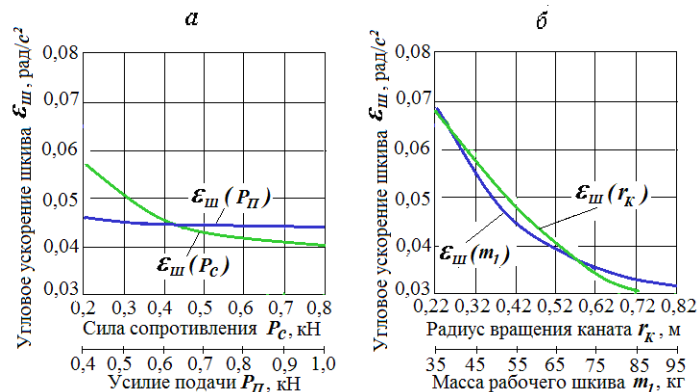


Рисунок 11 – Зависимости углового ускорения рабочего шкива: а - от силовых параметров процесса резания камня; б – от конструктивных параметров канатного рабочего органа

- рабочий шкив канатного рабочего органа следует изготавливать с диаметром от 1,0 до 1,5 м, массой - от 35 до 55 кг;
- усилию подачи канатного рабочего органа следует выбирать от 0,6 до 0,8 кН, а угловую скорость при его рабочем вращении от 75 до 85 рад/с;
- скорости движения режущего алмазного каната целесообразно выбирать в пределах от 30 до 40 м/с, радиус его вращения - 0,42 до 0,62 м, а длину ведущей ветви режущего каната от 4,0 до 5,0 м;
- диаметр каната (троса) следует выбирать от 4,0 до 6,0 мм.

Разработка конструкции цепного и канатного рабочих органов на основе вышеуказанных рекомендаций дает основание для повышения долговечности и надежности их работы с высокими технико-экономическими показателями.

**В третьей главе** определены рациональные положения цепного и канатного рабочих органов. Обоснованы условия динамической уравновешенности цепного (при  $\varepsilon_3 = 0$ ,  $a_{ш} = 0$ ) и канатного (при  $\varepsilon_{ш} = 0$ ,  $a_k = 0$ ) рабочих органов в процессе резания камня и определены зависимости соответствующих им режимных и конструктивных параметров. Сформулированы условия динамической прочности цепного и канатного рабочих органов и на их основе выработаны рекомендации к выбору их минимально допустимых геометрических параметров. Разработана методика выбора рациональных параметров цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин на основе положения многокритериальной оптимизации.

Для определения рационального положения цепного рабочего органа разработана расчетная схема (рисунок 12) с учетом следующих допущений:

- звенья режущей цепи и резцедержатели принимаются как одно целое;
- в каждом звене-кулаке цепи установлен только один резец;
- резцы установлены по одной линии, т.е. число линий резания равно единице ( $n = 1$ ).

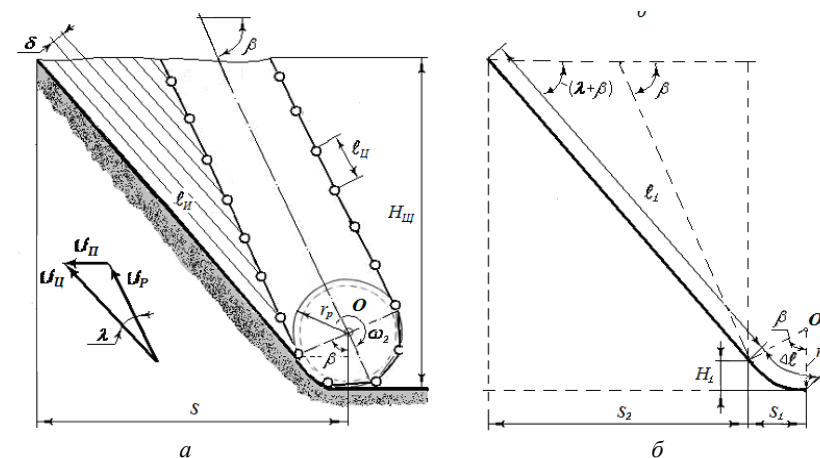


Рисунок 12 – Расчетная схема процесса резания камня цепным рабочим органом: а – с кинематическими параметрами; б – с геометрическими параметрами

На основе расчетной схемы определена зависимость длины пути резания одного резца  $l_{ш}$  за один цикл от геометрических параметров процесса резания камня в виде

$$l_{ш} = \frac{H_{ш} - r_p \cdot (1 - \cos \beta)}{\sin(\lambda + \beta)} + \left( \frac{\beta}{180^\circ} \right) \cdot \pi \cdot r_p, \quad (9)$$

где  $H_{ш}$  – глубина резания технологической щели, м;  $r_p$  – радиус вращения резца, м;  $\lambda$  – угол между векторами скорости резания  $v_p$  и абсолютной скорости резца  $v_{ш}$ , град.;  $\beta$  – угол наклона цепного рабочего органа, град.

Величина горизонтального перемещения цепного рабочего органа  $s$  за один цикл выражена зависимостью вида

$$s = [H_{ш} - r_p (1 - \cos \beta)] \cdot \operatorname{ctg}(\lambda + \beta) + r_p \cdot \sin \beta. \quad (10)$$

Время прохода одного резца  $t_K$  в контакте с породой

$$t_K = l_H / v_{ц} \quad (11)$$

Исходя из уравнений (9) - (11), построены диаграммы (рисунок 13), характеризующие зависимости  $l_H$ ,  $s$  и  $t_K$  от угла наклона рабочего органа  $\beta$ .

Они построены при постоянных значениях величин, соответствующих режимным и конструктивным параметрам цепного рабочего органа камнерезной машины ЦКМ-1 «Аскатеш»:  $H_{ц} = 1,4$  м;  $r_P = 0,25$  м;  $\lambda = 1^0$ ;  $v_{ц} = 2,62$  м/с.

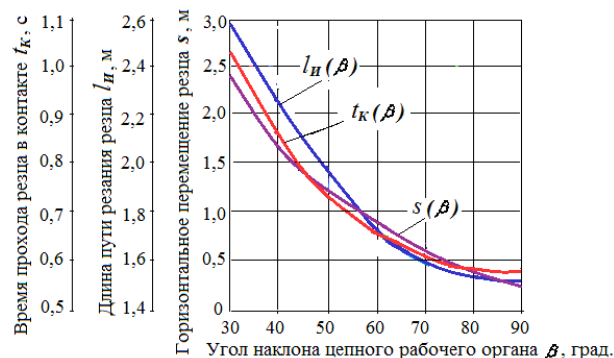


Рисунок 13 – Зависимости параметров процесса резания камня от угла наклона цепного рабочего органа

Анализ зависимостей  $s(\beta)$ ,  $l_H(\beta)$  и  $t_K(\beta)$  позволил определить рациональное положение цепного рабочего органа в пределах его угла наклона  $\beta$  от  $72^0$  до  $80^0$ .

Принимая  $\varepsilon_3 = 0$  и  $a_{ц} = 0$ , из уравнений (3) и (4) определены условия динамической уравновешенности цепного рабочего органа:

$$\frac{(M_3 - M_C)}{m_{ц}} = \frac{(P_{ц} - P_C \cdot \cos \beta) \cdot r_3}{2m}; \quad \frac{(P_{ц} - P_C \cos \beta) \cdot r_3}{m_{ц}} = \frac{(M_3 - M_C)}{(m_3 + m_P + 2m_{ц})} \quad (12)$$

Исходя из уравнений (12) определены зависимости рациональных режимных и конструктивных параметров цепного рабочего органа.

Определены условия динамической прочности цепного рабочего органа с учетом их реальных конструкций. Звенья режущей цепи при динамических нагрузках на растяжение считаются работоспособными, если максимальные напряжения в их опасных сечениях меньше предела

прочности материала звеньев (рисунок 14). Данное условие выражено неравенством вида:

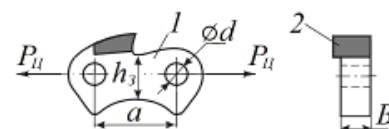
$$\sigma_{max} = \frac{P_{ц}}{B_3 \cdot h_3} \leq [\sigma]_0, \quad (13)$$

где  $P_{ц}$  – максимальное усилие протягивания режущей цепи, Н;  $B_3$  – ширина звена цепи, м;  $h_3$  – высота опасного сечения звена, м;  $[\sigma]_{max}$  – максимальное динамическое напряжение в опасном сечении звена режущей цепи, Н/м<sup>2</sup>;  $[\sigma]_0$  – предел прочности звена при пульсационной динамической растягивающей нагрузке, Н/м<sup>2</sup>.

При срезе условие динамической прочности соединяющей оси звеньев режущей цепи можно записать зависимостью вида (рисунок 15):

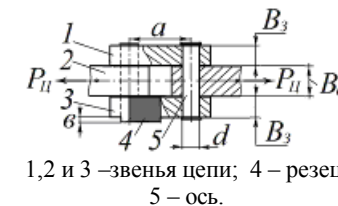
$$\tau_{max} = \frac{P_{ц}}{(\pi \cdot \frac{d^2}{4}) \cdot i_{cp}} \leq [\tau]_0, \quad (14)$$

где  $d$  – диаметр соединяющей оси, м;  $i_{cp} = 2$  – число плоскостей среза.



1 – звено цепи; 2 – твердосплавный резец.

Рисунок 14 – Режущее звено цепи



1, 2 и 3 – звенья цепи; 4 – резец; 5 – ось.

Рисунок 15 – Детали режущей цепи

Условие динамической прочности соединяющей оси звеньев режущей цепи при смятии определяется как

$$\sigma_{CM} = \frac{P_{ц}}{d \cdot B_3 \cdot i_{cm}} \leq [\sigma]_{CM}, \quad (15)$$

где  $i_{cm} = 2$  – количество боковых режущих звеньев (рисунок 15).

Полученные условия динамической прочности цепного рабочего органа (13) – (15) позволили разработать рекомендации по выбору его минимально допустимых геометрических параметров.

Учитывая вышеизложенные рекомендации и условия прочности, разработана методика выбора параметров цепного рабочего органа, базирующаяся на положениях многокритериальной оптимизации. В основу методики положены выражения, характеризующие зависимости  $P_C$ ,  $v_{ц}$  и  $B_{ц}$ :

$$P_C = P_{II}(f_P + f_K) + (k_P \cdot \mu + k_T) \cdot \frac{B_{III} \cdot H_{III} \cdot n \cdot v_{II} \cdot \cos \beta}{3600 \cdot v_{II}},$$

$$v_{II} = \frac{(k_P \cdot \mu + k_T) \cdot m_{II} \cdot r_3 \cdot B_{III} \cdot H_{III} \cdot n \cdot v_{II} \cdot \cos^2 \beta}{3600 \cdot [m_{II} \cdot r_3 P_{II}(1 - (f_P + f_K) \cdot \cos \beta) - 2m \cdot (M_3 - M_C)]}, \quad (16)$$

$$B_{III} = \left( \frac{N_{II} \cdot \eta}{v_{II}} \right) \cdot \frac{1}{h_C \cdot [\sigma]_O} + \left( \frac{N_{II} \cdot \eta}{v_{II}} \right) \cdot \frac{1}{d \cdot [\sigma]_{CM}} + 2\epsilon,$$

где  $N_{II}$  и  $\eta$  – мощность (кВт) и к.п.д. привода цепного рабочего органа;  $\epsilon$  – выступ твердосплавного резца, м;  $h_C$  – высота опасного сечения среднего звена режущей цепи, м.

По структуре предлагаемая методика состоит из трех разделов (рисунок 16): ввод исходных данных, диалоговый алгоритм, выбор параметров.

Располагая полученной математической моделью (16), принимая параметры  $P_C$ ,  $v_{II}$  и  $B_{III}$ , как основные показатели работоспособности цепного рабочего органа – критериев качества, изложены существо и последовательность предлагаемой методики выбора его основных параметров.

На основе разработанной методики осуществлен выбор наиболее рациональных конструктивных, режимных и силовых параметров цепного рабочего органа перспективных камнерезных машин из совокупности возможных их значений с использованием компьютерной программы на языке Pascal ABC. Выбранные параметры обеспечили необходимые условия критериев качества цепного рабочего органа:  $P_C \rightarrow \min$ ,  $v_{II} \rightarrow \max$  и  $B_{III} \rightarrow \min$ .

Для определения рационального положения канатного рабочего органа составлена расчетная схема (рисунок 17) с учетом следующих допущений:

- электродвигатель привода рабочего шкива не включен, т.е. процесс резания камня еще не начался;
- на режущий алмазный канат действуют только силы упругости ведущих и ведомых ветвей, а равнодействующая этих сил направлена параллельно рельсам;
- сила тяги, действующая на рабочую тележку, равна нулю ( $P_T = 0$ ).
- На рабочую тележку действуют силы упругости, вызванные натяжением ведущей  $P_V^I$  и ведомых ветвей  $P_V^{II}$  режущего каната, суммарная сила трения скольжения колес  $P_{TP}^K$  и сила тяжести рабочей тележки  $G_T$ .

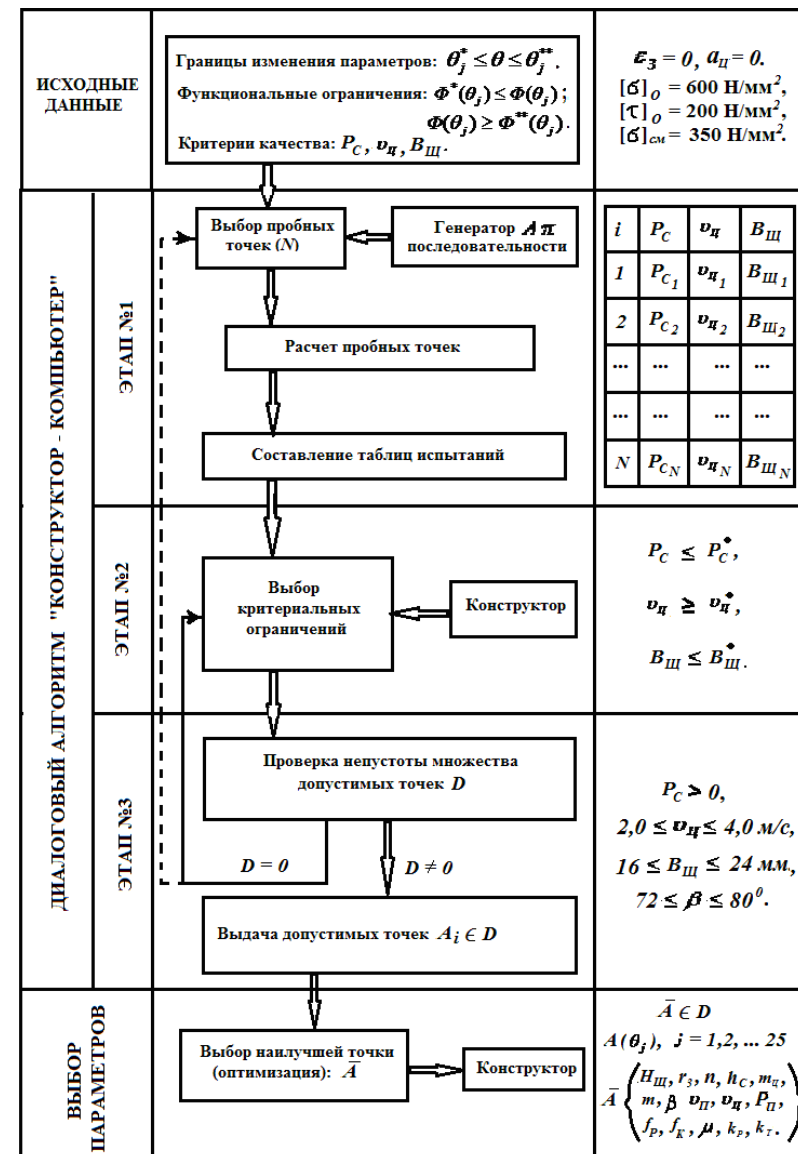


Рисунок 16 – Алгоритм выбора основных параметров цепного рабочего органа

Приведя все действующие силы к центру колес рабочей тележки камнерезной машины, получена другая расчетная схема (рисунок 18). Откуда определены необходимые условия рационального положения канатного рабочего органа:

$$\operatorname{tg} \alpha = \left( \frac{f_k}{r} + \frac{P_y}{G_T \cdot \cos \alpha} \right) \geq 0,25, \quad (17)$$

где  $r$  – радиус колеса рабочей тележки, м;  $f_k$  – коэффициент трения качения колеса рабочей тележки;  $P_y$  – равнодействующая сил упругости, Н;  $\alpha$  – угол наклона рельса к горизонту, град.

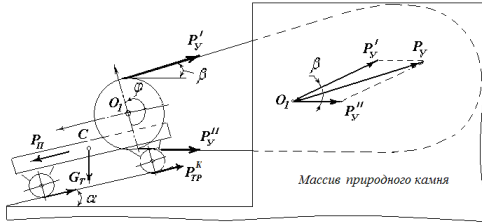


Рисунок 17 – Расчетная схема рабочей тележки камнерезной машины

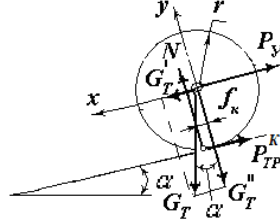


Рисунок 18 – Расчетная схема колеса рабочей тележки

Исходя из уравнения (17), определены условия рационального положения канатного рабочего органа относительно его угла наклона в виде  $15^0 \leq \alpha \leq 35^0$ .

Принимая  $\varepsilon_{ш} = 0$  и  $a_K = 0$ , из уравнений (7) и (8) после соответствующих преобразований определены условия динамической уравновешенности канатного рабочего органа в процессе резания камня:

$$\frac{M_{ш}}{r_K} = \frac{P_C (m_M - m_2 \cdot \cos \alpha) + P_{II} \cdot m_2 \cdot \cos \alpha}{m_M}, \quad (18)$$

$$\frac{2 M_{ш} \cdot m_2 \cdot r_K \cos \alpha - P_{II} (m_1 \cdot r_{ш}^2 + 2 m_2 \cdot r_K^2)}{m_M \cdot m_1 \cdot r_{ш}^2 + 2 m_2 \cdot r_K^2 (m_2 - m_M \cos \alpha)} = \frac{P_C}{m_M}. \quad (19)$$

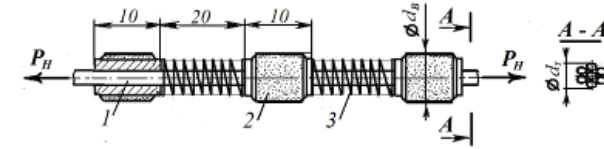
Исходя из уравнений (18) и (19) определены зависимости рациональных режимных и конструктивных параметров канатного рабочего органа.

Сформулированы условия динамической прочности режущего каната на растяжение (разрыв). Режущий канат при работе на растяжение считается прочным, если максимальные фактические напряжения в поперечном сечении каната (троса) меньше предельных (рисунок 19):

$$\sigma_{max} = \frac{P_H}{\pi \cdot (d_T^2 / 4) \cdot k_3} \leq [\sigma]_0, \quad (20)$$

где  $\sigma_{max}$  и  $[\sigma]_0$  – фактическое максимальное и допускаемое напряжения в поперечном сечении каната, Н/м²;  $k_3 = 0,6$  – коэффициент для определения фактической площади поперечного сечения каната;  $d_T$  – диаметр каната, м.

Условие (20) позволило разработать рекомендации по выбору минимальных значений геометрических параметров канатного рабочего органа.



1 – канат (трос); 2 – алмазная втулка; 3 – пружина.  
Рисунок 19 – Режущий алмазный канат

С учетом вышеизложенных рекомендаций и условий прочности разработана методика выбора параметров канатного рабочего органа, базирующаяся на положениях многокритериальной оптимизации. В основу методики положены уравнения, характеризующие зависимости  $P_C$ ,  $v_K$  и  $d_T$ .

$$P_C = P_{II} (f + f_c) + \frac{M_{ш} \cdot \omega_{ш} \cdot \mu}{v_K} + \frac{\pi \cdot E \cdot d_T^2}{4l} \cdot \Delta l, \quad (21)$$

$$v_K = \frac{M_{ш} \cdot \omega_{ш} \cdot \mu}{\left[ \frac{M_{ш} \cdot m_M - P_{II} \cdot m_2 \cdot r_K \cdot \cos \alpha}{r_K \cdot (m_M - m_2 \cdot \cos \alpha)} - P_{II} (f + f_c) - \frac{\pi \cdot E \cdot d_T^2}{4l} \cdot \Delta l \right]}$$

$$d_T = \sqrt{\left( \frac{4 N_K \cdot \eta}{v_K} \right) \cdot \frac{1}{\pi \cdot k_\phi \cdot k_3 \cdot [\sigma]_0}},$$

где  $N_K$  и  $\eta$  – мощность (кВт) и к.п.д. привода канатного рабочего органа;  $k_\phi = 0,61$  – коэффициент полезного использования рабочего контура каната.

Методика по структуре идентична предыдущей (рисунок 16), состоит из трех разделов: ввод исходных данных, диалоговый алгоритм, выбор параметров.

Аналогичным образом, располагая полученной математической моделью (21), принимая суммарную силу сопротивления  $P_C$ , скорость



резания  $v_K$  и диаметра каната  $d_T$ , как основные критерии качества, изложены существо и последовательность предлагаемой методики выбора его основных параметров.

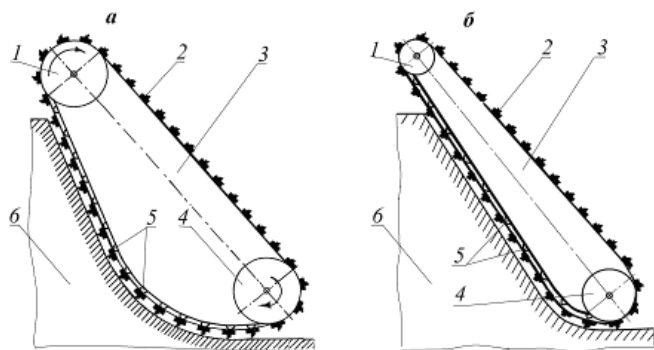
На основе разработанной методики осуществлен выбор наиболее рациональных конструктивных, режимных и силовых параметров канатного рабочего органа перспективных камнерезных машин из совокупности возможных их значений с использованием компьютерной программы на языке Pascal ABC. Выбранные параметры обеспечили необходимые условия критериев качества канатного рабочего органа:  $P_C \rightarrow \min$ ,  $v_K \rightarrow \max$  и  $d_T \rightarrow \min$ .

Полученные рациональные параметры позволяют создавать высокоэффективные цепные и канатные рабочие органы камнерезных машин, обеспечивающие их надежность и долговечность работы в процессе вырезания изделий из массива камня малой и средней прочности.

**Четвертая глава** посвящена созданию опытных образцов камнерезных машин с новыми рабочими органами, разработке высокоэффективных технологий их применения для вырезания строительных изделий из массива природного камня малой и средней прочности.

Разработана новая конструкция, создан опытный образец режущей цепи цепного рабочего органа шириной 16 мм. Новизна и оригинальность ее защищена патентом Кыргызской Республики №1729.

Разработаны новые конструкции цепных рабочих органов (рисунок 20) с плоскими рамами трапецевидальной и клиновидной форм,



1 – ведущая звездочка; 2 – режущая цепь; 3 – плоская рама; 4 – ведомый ролик; 5 – специальные ролики; 6 – массив камня.

Рисунок 20 – Конструктивные схемы перспективных цепных рабочих органов: а – с плоской рамой трапецевидальной формы; б – с плоской рамой клиновидной формы

по рабочему контуру которых установлены специальные ролики.

Приоритет и оригинальность этих конструкций цепных рабочих органов защищены патентами Кыргызской Республики на изобретения №353 и №1728.

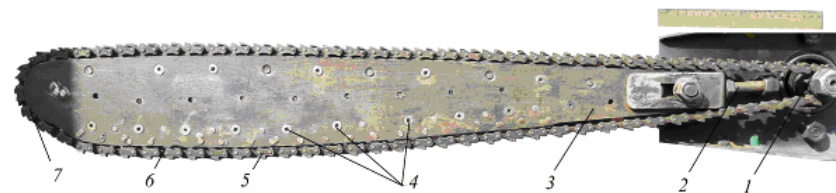
Предложенные изменения конфигурации плоских рам со специальными роликами по их рабочему контуру и конструкция их режущей цепи с твердосплавными резцами обеспечивают:

- плавный переход резцов от дуги ведомого ролика в другой, прямо-линейный рабочий участок плоской рамы, уменьшение начального угла резания резцов, постепенное и равномерное внедрение их в породу, дифференцированное распределение удельных нагрузок по резцам при резании камня;

- плавное перемещение режущей цепи, снижение величины силы трения скольжения между плоской рамой и режущей цепью в среднем в 50 раз, уменьшение вибраций камнерезной машины, существенное увеличение к.п.д. привода цепного рабочего органа;

- уменьшение поломок резцов и элементов режущей цепи, повышение надежности и долговечности, увеличение производительности их работы.

На основе выполненных рабочих чертежей плоской рамы и режущей цепи с ее основными элементами был изготовлен опытный образец цепного рабочего органа клиновидной формы (рисунок 21). Габаритные размеры цепного рабочего органа: ширина – 16 мм, общая длина – 1040 мм, а рабочая длина составляет 810 мм. Плоская рама и все звенья режущей цепи изготовлены из среднеуглеродистой стали (сталь 45), а ведущая звездочка, ведомый ролик, соединяющая ось и специальные ролики, расположенные по контуру плоской рамы, изготовлены из легированной стали марки 40Х.

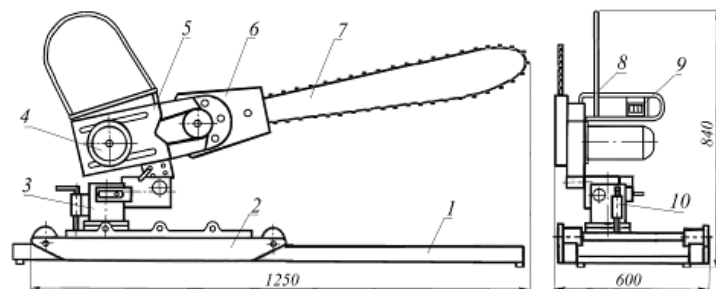


1 – ведущая звездочка; 2 – натягивающий болт; 3 – плоская рама; 4 – винты; 5 – режущая цепь; 6 – специальные ролики; 7 – ведомый ролик.

Рисунок 21 – Опытный образец цепного рабочего органа

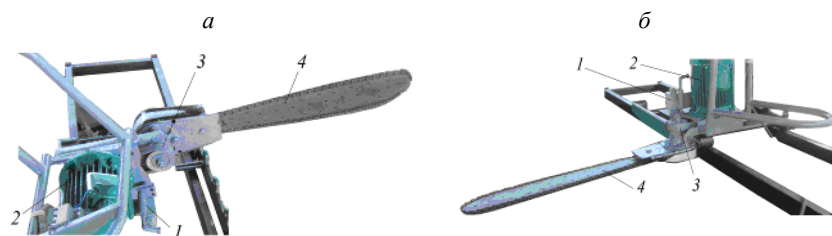
В условиях ОсОО «Vip Строй» на основе рабочих чертежей были созданы опытные образцы основных узлов и деталей камнерезной

машины. На основе конструктивной схемы камнерезной машины (рисунок 22) обеспечен монтаж ее основных узлов и механизмов на шасси, т.е. на рабочей тележке. В результате этих работ создан опытный образец камнерезной машины с новым цепным рабочим органом типа КМЦ-1 (рисунок 23). Она предназначена для вырезания стеновых блоков и других строительных изделий (кирпич, бордюр и др.) из массива природного камня малой и средней прочности. Технические характеристики опытного образца машины КМЦ-1 приведены в таблице 1.



1 – рельс; 2 – рабочая тележка; 3 – манипулятор; 4 – привод цепного рабочего органа; 5 – корпус привода; 6 – защитный корпус ведущей звездочки; 7 – цепной рабочий орган; 8 – ручка управления; 9 – пульт управления; 10 – ручка для удержания цепного рабочего органа в фиксированном положении.

Рисунок 22 – Конструктивная схема камнерезной машины КМЦ-1



1 – манипулятор; 2 – привод цепного рабочего органа; 3 – клиноременная передача; 4 – цепной рабочий орган.

Рисунок 23 – Опытный образец камнерезной машины КМЦ-1: *а* – вертикально-поперечное положение цепного рабочего органа; *б* – горизонтальное

Машина КМЦ-1 обеспечивает прорезание в массиве камня вертикально-продольных (рисунок 22), вертикально-поперечных (рисунок 23, *а*) и горизонтальных (рисунок 23, *б*) технологических щелей. Она мо-

жет быть применена также для распиловки крупногабаритных блоков природного камня малой и средней прочности на строительные изделия. Размеры изделий соответствуют ГОСТ 9480-77 и ГОСТ 23342-78.

Таблица 1 – Технические характеристики камнерезной машины КМЦ-1

Ширина прорезаемой щели, мм	16
Максимальная глубина прорезаемой щели, мм	810
Параметры привода цепного рабочего органа (ЦРО): - мощность привода ЦРО (электродвигателя), кВт - число оборотов вала электродвигателя, об/мин - диаметр ведущего шкива, мм - диаметр ведомого шкива, мм - число рядов клинового ремня	4,0 1450 80 50, 80, 100, 125 2
Параметры ЦРО: - тип плоской рамы ЦРО - форма плоской рамы ЦРО - диаметр ведущей звездочки ЦРО, мм - диаметр ведомого ролика ЦРО, мм	Роликовая Клиновидная 38 70
Параметры режущей цепи: - шаг режущей цепи, мм - ширина режущей цепи, мм - скорость движения режущей цепи, м/с - скорость подачи режущей цепи, м/ч - тип режущего инструмента	25 16 1,62; 2,0; 2,6; 4,06 20 ÷ 80 Твердосплавный
Максимальный угол поворота ЦРО, град.: - в вертикальном положении - в горизонтальном положении	120° 180°
Напряжение питания	380В/50Гц
Габаритные размеры, мм: длина х ширина х высота	1250х600х840
Масса с направляющей (рельсами), кг	180

Разработана конструкция (рисунок 24) и создан опытный образец рабочего шкива (рисунок 25) из алюминиевого сплава (АЛ34) с диаметром 960 мм, шириной 40 мм и глубиной ручья 50 мм, обеспечивающего:

- уменьшение сжимающих, растягивающих и изгибающих нагрузок на проволоки троса, снижение износа алмазных втулок режущего каната;
- уменьшение массы камнерезной машины и увеличение надежности и долговечности режущих алмазных канатов.

Разработана конструкция и создан опытный образец камнерезной машины с новым канатным рабочим органом типа КМК-1 в условиях ОсОО «Таш-Махал» (рисунок 26 и 27).

Машина КМК-1 обеспечивает резание вертикальных и горизонтальных технологических щелей шириной 10 мм, вырезание строительных изделий из массива камня малой и средней прочности.

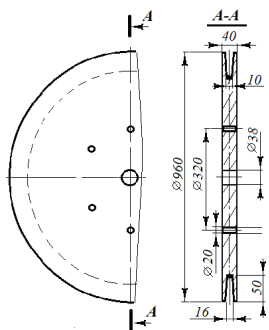
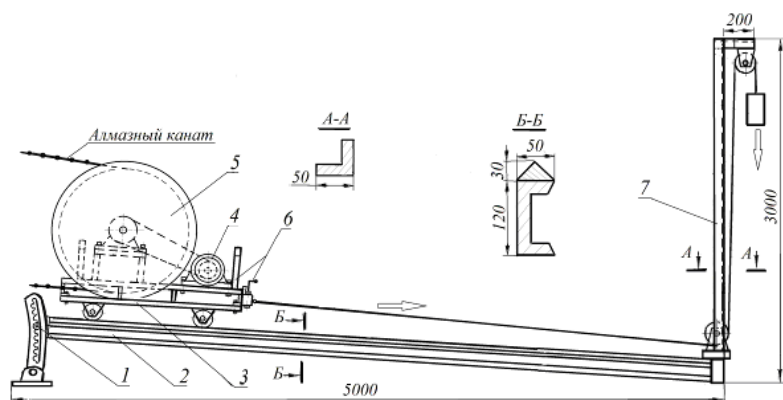


Рисунок 24 – Конструктивная схема рабочего шкива



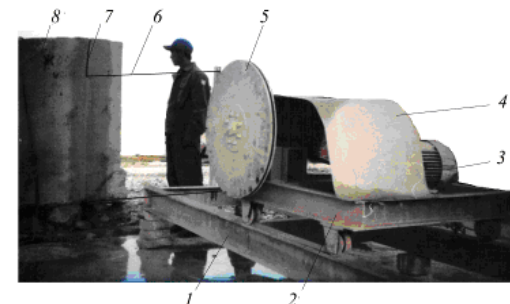
Рисунок 25 – Опытный образец рабочего шкива



1 – специальная стойка; 2 – рельс; 3 – рабочая тележка; 4 – привод канатного рабочего органа; 5 – рабочий шкив; 6 – механизм поворота правой платформы рабочей тележки; 7 – устройство натяжения режущего каната.

Рисунок 26 – Конструктивная схема камнерезной машины КМК-1

Она имеет легкую конструкцию, поэтому ее нетрудно сдвигать с места, настраивать на следующую технологическую щель, приподнимать рабочий конец рельса на определенный угол для создания необходимого усилия подачи режущего каната. Технические характеристики машины КМК-1 приведены в таблице 2.



1 – рельс; 2 – рабочая тележка; 3 – привод канатного рабочего органа; 4 – защитный корпус привода канатного рабочего органа; 5 – рабочий шкив; 6 – режущий алмазный канат; 7 – технологическая щель; 8 – кондиционный блок камня.

Рисунок 27 – Опытный образец камнерезной машины КМК-1

Таблица 2 – Технические характеристики опытного образца машины КМК-1

Ширина прорезаемой щели, мм	10
Максимальные размеры распиливаемого монолита камня, мм: длина х ширина х высота	3500х3200х2000
Параметры рабочего шкива, мм:	
– диаметр х ширина	960 х 40
– число оборотов (факт.), об/мин	675
– угловая скорость, рад/с	70,6
– угол поворота, град	90
Параметры режущего алмазного каната:	
– длина контура, м	10 – 15
– скорость движения, м/с	30,1
– усилие подачи режущего каната, кН	0,4 – 1,0
Параметры привода канатного рабочего органа:	
– мощность привода (электродвигателя), кВт	7,5
– число оборотов вала электродвигателя, об/мин	1350
– диаметр ведущего шкива, мм	125
– диаметр ведомого шкива, мм	250
– тип передачи	клиноременный
Параметры рабочей тележки:	
– максимальное рабочее перемещение, мм	3500
– масса, кг	200
Параметры система водяного охлаждения:	
– давление, МПа	0,2 - 0,4
– расход, л/мин	2,5 - 3,0
Напряжение питания	380В/50Гц
Габаритные размеры, мм: длина х ширина х высота	5200 х 1470 х 3000
Масса с направляющими рельсами, кг	500

Разработаны оригинальные технологии применения опытных образцов камнерезных машин КМЦ-1 и КМК-1 для вырезания строительных изделий непосредственно из массива природного камня. Новизна предложенных технологий защищена патентами Кыргызской Республики на изобретения №1727 и №1942.

В пятой главе представлены результаты стендовых и промышленных испытаний опытных образцов камнерезных машин КМЦ-1 и КМК-1 с новыми рабочими органами. Проанализированы технико-экономические показатели существующих и опытных образцов камнерезных машин.

Стендовые испытания опытного образца камнерезной машины КМЦ-1 с новым цепным рабочим органом проводились в условиях ОсОО «Vir Строй» на специально подготовленном экспериментальном стенде (рисунок 28) пробной распиловкой блоков камня месторождений известняка-ракушечника «Ак-Таш» и «Сары-Таш», известняка «Араван-Таш». Блоки камней имели размеры 1,8 x 1,2 x 0,6 м, а общий их объем при испытаниях составил около 9,0 м<sup>3</sup>.

Проведение стендовых испытаний машины КМЦ-1 базировалась на методах оценки эффективности работы камнерезных машин и камнераспиловочных станков. При этом ставились задачи:

- определение функциональной работоспособности основных деталей и узлов нового опытного образца камнерезной машины КМЦ-1;
- определение взаимосвязи величины угловой скорости ведущей звездочки ( $\omega_3$ ) от скорости подачи цепного рабочего органа ( $v_{II}$ );
- выявление рациональных режимов резания нового цепного рабочего органа машины КМЦ-1 для камней малой и средней прочности.

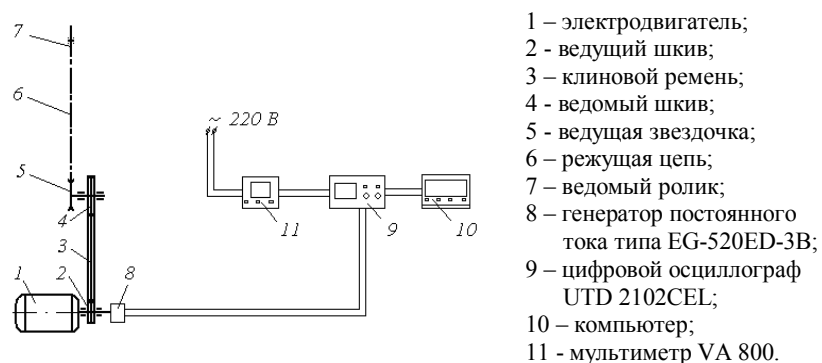
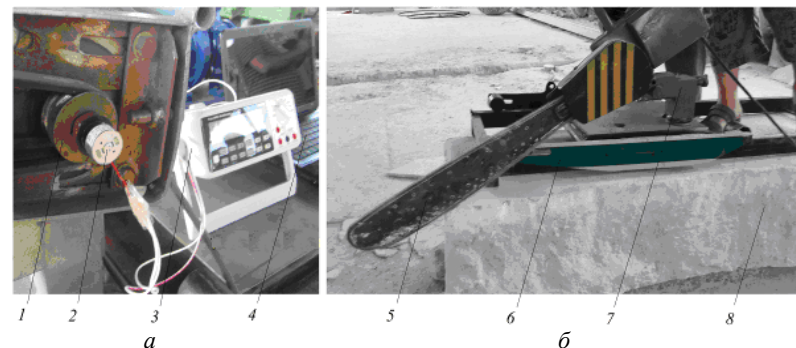


Рисунок 28 – Схема экспериментального стенда

Во время экспериментальных исследований использована аппаратура, включающая специальные датчики и измерительные приборы (рисунок 29, а). Одновременно проводились испытания машины КМЦ-1 с новым цепным рабочим органом распиловкой указанных блоков камня на строительные изделия (рисунок 29, б). При этом максимальная глубина вертикальных щелей (шириной 16 мм) составляла 600 мм (кратная ширине изделия), а расстояния между ними принимались равными толщине изделия. Длина щели составляла в среднем 1800 мм, а горизонтальные щели прорезались на глубину 360 мм и 480 мм (кратную толщине изделия).

На рисунке 30 представлена экспериментальная диаграмма, полученная при распиловке блока известняка-ракушечника «Ак-Таш» с помощью использованной аппаратуры (при  $v_{II} = 40$  м/ч). Полученная диаграмма характеризует изменение угловой скорости ведущей звездочки  $\omega_3$  за время  $t'$ , в течение которой она делает один оборот.

Результаты экспериментов и стендовых испытаний по определению рациональных режимов работы опытного образца цепного рабочего органа машины КМЦ-1, в частности рациональные значения скорости резания  $v_{II}$  и подачи  $v_{II}$  для известняков-ракушечников «Ак-Таш», «Сары-Таш» и известняка «Араван-Таш», представлены в таблице 3.



- 1 – ведущий шкив; 2 – генератор постоянного тока; 3 – мультиметр;  
4 – компьютер; 5 – цепной рабочий орган; 6 – рабочая тележка; 7 – манипулятор;  
8 – блок камня.

Рисунок 29 – Стендовые испытания опытного образца камнерезной машины КМЦ-1 с новым цепным рабочим органом: а – использованная аппаратура; б – распиловка блока камня новым цепным рабочим органом



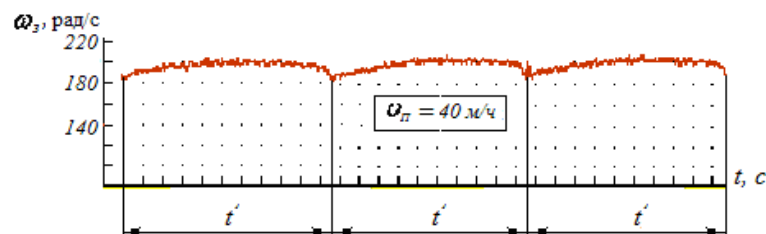


Рисунок 30 – Зависимости угловой скорости ведущей звездочки  $\omega_z$  от периода времени  $t'$

Таблица 3 – Рациональные значения основных режимных параметров нового цепного рабочего органа камнерезной машины КМЦ-1

Порода, месторождение	Скорость подачи, м/ч	Скорость резания, м/с
Известняк-ракушечник «Ак-Таш»	40 ... 45	3,4 ... 3,8
Известняк-ракушечник «Сары-Таш»	30 ... 35	2,8 ... 3,2
Известняк «Араван-Таш»	25 ... 30	2,6 ... 3,0

Сходимость теоретических и экспериментальных значений скорости подачи и скорости резания нового цепного рабочего органа машины КМЦ-1 для известняка-ракушечника «Ак-Таш», соответственно составили 5,9 и 11,2 %, известняка-ракушечника «Сары-Таш» – 7,7 и 6,3 %, известняка «Араван-Таш» – 8,4 и 12,5 %. Результаты экспериментов подтвердили обоснованность теоретических предпосылок и конструкторских решений, перспективность нового цепного рабочего органа камнерезной машины КМЦ-1.

Испытания показали, что опытный образец машины КМЦ-1 с новым цепным рабочим органом работоспособен, все узлы и механизмы функционируют нормально. Машина КМЦ-1 с новым цепным рабочим органом обеспечивает устойчивое резание горизонтальной и вертикальной щелей с шириной до 16 мм в блоках природного камня малой и средней прочности.

Стендовые испытания опытного образца камнерезной машины КМК-1 с новым канатным рабочим органом проводились в условиях ОсОО «Таш-Махал» на специально подготовленном экспериментальном стенде (рисунок 31), пробной распиловкой блоков камня месторождений известняка-ракушечника «Ак-Таш» и «Сары-Таш», известняка «Араван-Таш». Общие объемы блоков камня в испытаниях составили св. 10,0 м<sup>3</sup>. Во время экспериментальных исследований использована аппаратура, включающая специальные датчики и измерительные приборы (рисунок 32).



Рисунок 31 – Схема экспериментального стенда

Рисунок 32 – Экспериментально-стендовые испытания машины КМК-1

Проведение стендовых испытаний машины КМК-1 также базировалась на методах оценки эффективности работы камнерезных машин и камнераспиловочных станков. При этом ставились задачи:

- определение функциональной работоспособности основных деталей и узлов опытного образца камнерезной машины КМК-1 с новым канатным рабочим органом;
- определение зависимости величины угловой скорости рабочего шкива ( $\omega_{ш}$ ) от усилия подачи режущего каната ( $P_{п}$ );
- выявление рациональных режимов резания природного камня малой и средней прочности новым канатным рабочим органом машины КМК-1.

Одновременно проводились испытания машины КМК-1 (рисунок 32) с новым канатным рабочим органом распиловкой некондиционных блоков камня на строительные изделия-заготовки. При этом расстояния между вертикальными технологическими щелями (шириной 10 мм) принимались равными ширине изделий. Расход охлаждающей воды составлял 2,5 – 3,0 л/мин при давлении 0,2 – 0,4 МПа. В процессе распиловки камня необходимое натяжение и усилие подачи режущего каната обеспечивалось изменением угла наклона рельса машины КМК-1 к горизонту.

На рисунке 33 представлена экспериментальная диаграмма, полученная при распиловке блока известняка-ракушечника «Сары-Таш» с помощью использованной аппаратуры (при  $P_{п} = 0,7 – 0,8$  кН). Она характеризует изменение величины угловой скорости рабочего шкива  $\omega_{ш}$  за время  $t'$ , в течении которой он делает один оборот.



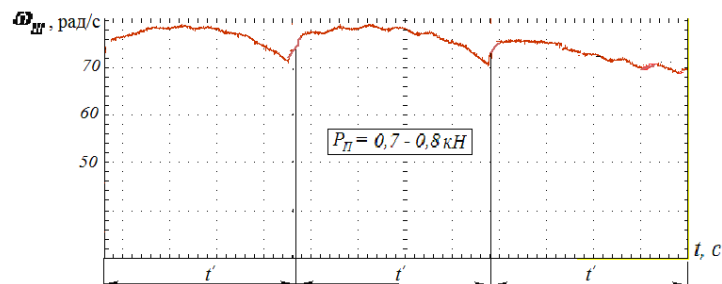


Рисунок 33 – Зависимости угловой скорости рабочего шкива  $\omega_{ш}$  от периода времени  $t'$

Результаты экспериментальных исследований по определению рациональных режимов работы опытного образца машины КМК-1, в частности рационального значения скорости резания  $v_k$  и усилия подачи  $P_{п}$  для известняка-ракушечника «Ак-Таш», «Сары-Таш» и известняка «Араван-Таш» представлены в таблице 4.

Сходимость теоретических и экспериментальных значений усилия подачи нового канатного рабочего органа для указанных пород камня колеблется в пределах от 6,6 до 12,5 %, а скорости резания – от 4,1 до 12,4 %.

Таблица 4 – Рациональные значения режимных параметров нового канатного рабочего органа камнерезной машины КМК-1

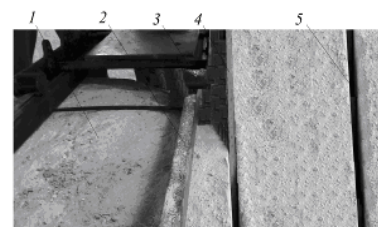
Порода, месторождение	Усилие подачи, кН	Скорость резания, м/с
Известняк-ракушечник «Ак-Таш»	0,6 ... 0,7	32,6 ... 34,5
Известняк-ракушечник «Сары-Таш»	0,7 ... 0,8	30,1 ... 32,4
Известняк «Араван-Таш»	0,8 ... 0,9	30,1 ... 31,2

Результаты экспериментов подтвердили правильность теоретических предпосылок и конструкторских решений, перспективность нового канатного рабочего органа опытного образца камнерезной машины КМК-1.

Промышленные испытания опытного образца камнерезной машины КМК-1 с новым цепным рабочим органом проводились на месторождении известняков-ракушечников «Сары-Таш» совместными усилиями специалистов ОАО «Ош Ак-Таш» и Кыргызско-Узбекского университета.

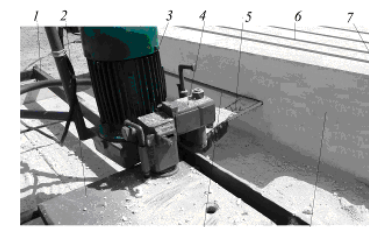
Технология вырезания строительных изделий из массива камня машиной КМК-1 заключалась в следующем: вначале машина КМК-1 устанавливалась на кровле подготовленного забоя и нарезались продольные технологические щели (рисунок 34). Расстояние между ними было принято равным ширине получаемого изделия. Затем машина КМК-1

опускалась на подошву уступа и цепным рабочим органом прорезались горизонтальные щели, выдерживая высоту получаемого изделия (рисунок 35). После чего машина КМК-1 устанавливалась на кровле забоя и прорезались поперечные щели. Размер между ними принимался равным длине вырезаемого изделия. При вырезании поперечной щели изделия полностью отделялись от массива камня.



1 – массив камня; 2 – рельс; 3 – рабочая тележка; 4 – цепной рабочий орган; 5 – продольная технологическая щель.

Рисунок 34 – Эпизод резания цепным рабочим органом продольных щелей



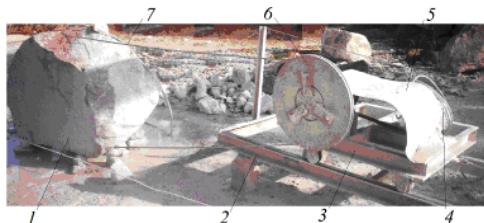
1 – рельс; 2 – рабочая тележка; 3 – привод цепного рабочего органа; 4 – манипулятор; 5 – цепной рабочий орган; 6, 7 и 8 – технологические щели; 9 – массив камня.

Рисунок 35 – Эпизод резания цепным рабочим органом горизонтальных щелей

Испытания показали, что камнерезная машина КМК-1 с новым цепным рабочим органом обладает хорошей работоспособностью, обеспечивает резание горизонтальных и вертикальных щелей в массиве природного камня, необходимых для получения строительных изделий.

Промышленные испытания опытного образца камнерезной машины КМК-1 с новым канатным рабочим органом проводились на месторождении известняков «Араван-Таш» совместными усилиями специалистов ОсОО «Араван-Таш» и Кыргызско-Узбекского университета. Технология разделки монолитов канатным рабочим органом машины КМК-1 на нужные строительные изделия заключалась в следующем. Вначале распиливаемый монолит ставился напротив машины КМК-1 так, чтобы плоскость намечаемого пропила совпадала с плоскостью рабочего шкива и режущего каната (рисунок 36). Затем алмазный режущий канат заводится на монолит, образуя петлю охвата, и рабочая тележка под действием собственной силы тяжести начнет перемещаться, создавая необходимое усилие подачи. Далее с включением электродвигателя и вращением рабочего шкива начинается процесс распиловки монолита. При этом в зону резания подается вода для охлаждения и удаления шлама из технологической щели. Разделка монолита и некондиционных

блоков на строительные изделия-заготовки выполнялась при скорости резания режущего каната 30,1 м/с и усилии подачи 0,8 – 0,9 кН. При этом расход охлаждающей воды составил 2,5 – 3,0 л/мин, а ширина технологической щели была равна 10 мм.



1 – монолит; 2 – рельс; 3 – рабочая тележка; 4 – привод канатного рабочего органа; 5 – защитный корпус привода; 6 – рабочий шкив; 7 – режущий алмазный канат.

Рисунок 36 – Распиловка монолита известняка «Араван-Таш» на изделия-заготовки канатным рабочим органом камнерезной машины КМК-1

За период промышленных испытаний камнерезной машиной КМЦ-1 были получены 700 шт. стеновых блоков размером 400х300х200 мм и два вида бордюров: 560 шт. размером 1000х200х80 мм и 300 шт. размером 1000х300х150 мм (рисунок 37). При испытании камнерезной машины КМК-1 получено 36 шт. строительных изделий - заготовок (размером 1500 х 1000 х 200 мм) и 42 шт. стеновых блоков размером 400х300х200 мм (рисунок 38).



Рисунок 37 – Строительные изделия, полученные машиной КМЦ-1



Рисунок 38 – Строительные изделия, полученные машиной КМК-1

Таким образом, промышленные испытания опытных образцов камнерезных машин КМЦ-1 и КМК-1 с новыми рабочими органами на месторождениях камня малой и средней прочности показали относительно высокую эффективность их применения на практике.

Они вызвали значительный интерес многих ОсОО, занимающихся добычей и обработкой природного камня, которые нуждаются в оснащении ресурсо- и энергосберегающими камнерезными машинами.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

В диссертационной работе решена актуальная проблема разработки научно-прикладных основ создания камнерезных машин с эффективными рабочими органами, обеспечивающими оптимизацию динамических процессов и характеристик, повышение долговечности, надежности и качества их работы, а также совершенствование технологии их применения.

По результатам исследований сформулированы следующие выводы и рекомендации:

1. Обоснована необходимость создания камнерезных машин с новыми рабочими органами и технологий их применения для получения строительных изделий из массива камня малой и средней прочности.

2. Разработаны динамические модели и получены, зависимости описывающие движение цепного и канатного рабочих органов при вырезании строительных изделий из массива камня. Установлены взаимосвязи силовых и режимных показателей процесса резания от конструктивных параметров цепного и канатного рабочих органов, а также прочностных характеристик природного камня. На основе анализа взаимосвязей сформулированы следующие рекомендации:

- камнерезные машины следует оснастить цепными рабочими органами, позволяющими производить резание щелей глубиной от 1,0 до 2,5 м, шириной 16 мм при угле наклона цепного рабочего органа 72 - 80°, скорости рабочей подачи – от 25 до 45 м/час, скорости резания – от 2,6 до 3,8 м/с;

- плоская рама цепного рабочего органа должен иметь трапециевидную или клиновидную форму для снижения начального угла резания резцов, постепенного внедрения их в природный камень и равномерного распределения удельных нагрузок по резцам;

- по рабочему контуру предложенных плоских рам следует установить специальные ролики, превращающие трение скольжения между рамой и режущей цепью в трение качения, что обеспечивает уменьшение силы сопротивления трению в 50 раз;

- камнерезные машины следует оснастить канатными рабочими органами, позволяющими производить резание вертикальных и горизонтальных щелей в массиве природного камня. При этом усилие подачи канатного рабочего органа следует выбирать от 0,4 до 0,6 кН, диаметр каната - от 3,0 до 5,0 мм, скорость его движения - от 30 до 40 м/с, радиус вращения от 0,42 до 0,62 м, а длину ведущей ветви режущего каната от 4,0 до 5,0 м;

- рабочий шкив следует изготавливать с диаметром от 1,0 до 1,5 м, массой от 25 до 35 кг, а его угловую скорость - от 70 до 80 рад/с.

3. Определены условия рационального рабочего положения, динамической уравновешенности и прочности цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин в процессе резания камня.

4. Разработаны методики выбора основных параметров цепного и канатного рабочих органов, которые базируются на положениях многокритер-

риальной оптимизации с использованием компьютерных программ на языке Pascal ABC.

5. Выполнены технические проекты и разработаны новые конструкции цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин. Разработаны конструкции и созданы опытные образцы камнерезных машин КМЦ-1 и КМК-1 с новыми цепными и канатными рабочими органами. Разработаны оригинальные технологии вырезания строительных изделий из массива камня малой и средней прочности с помощью новых рабочих органов опытных образцов камнерезных машин КМЦ-1 и КМК-1.

6. Проведены стендовые испытания нового цепного и канатного рабочих органов камнерезных машин КМЦ-1 и КМК-1 с распиловкой блоков камня малой и средней прочности. Доказано достоверность теоретических положений со сходимостью от 6,3 до 12,5 %.

7. Успешно проведены промышленные испытания опытных образцов камнерезных машин КМЦ-1 и КМК-1 с новыми цепными и канатными рабочими органами на месторождениях природного камня малой и средней прочности по предлагаемой технологии, доказана эффективность работы нового цепного и канатного рабочих органов, обеспечивающие вырезание строительных изделий из массива камня, совмещая традиционные способы отделения от массива и распиловку блоков камня в единый технологический процесс.

8. Экономический эффект от внедрения камнерезной машины КМЦ-1 с новым цепным рабочим органом по предлагаемой технологии на месторождении известняков-ракушечников «Сары-Таш» составляет 2 142 164 сомов в год, а внедрение машины КМК-1 с новым канатным рабочим органом на месторождении известняков «Араван-Таш» - 1 823 452 сомов в год.

9. Определено, что результаты диссертационной работы, позволяют обновить парк камнедобывающей и камнеобрабатывающей техники высокоэффективными камнерезными машинами, обеспечивающими значительное сокращение сроков фондоотдачи и повышение рентабельности предприятий, занимающихся производством изделий из природного камня.

10. Разработана и предложена Правительству Кыргызской Республики Программа развития камнедобывающей и камнеобрабатывающей отраслей промышленности в Кыргызстане на среднесрочный период с 2017 по 2022 гг.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

1. **Исманов, М.М.** Зависимости динамических реакций режущего органа машины ЦКМ-1 от параметров процесса резания камня [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, М.А. Маматов // Машины с механизмами переменной структуры и виброударные машины: сб. науч. тр. ИМаш НАН КР. Вып. 4 по матер. IV – Межд. научной конф. – Бишкек: Илим, 2004. – С. 250 – 260.

2. **Исманов, М.М.** Зависимости силовых параметров процесса распиловки камня от глубины резания и диаметра дисковой пилы [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, А.Б. Эсенкулов // Машины с механизмами переменной структуры и виброударные машины: сб. науч. тр. ИМаш НАН КР. Вып. 4 по матер. IV – Межд. науч. конф. – Бишкек: Илим, 2004. – С. 260 – 270.

3. **Ismanov, M.M.** Generalized model of technology for article production from stone massif [Text] / M.T. Mamasaidov, R.A. Mendekeev, M.M. Ismanov // Journal of Mining Science. - New York, 2004.- Vol. 40, № 5.- P. 521- 527.

4. **Исманов, М.М.** Алмазно-канатные устройства для добычи и распиловки блоков камня [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, С.Б. Саттиев // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2005. – № 2. – С. 136 – 140.

5. **Исманов, М.М.** К анализу технико-экономических показателей абразивно-канатных устройств [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, С.Б. Саттиев // Наука.Образование.Техника. – Ош: КУУ, 2007.–№ 1.– С. 85 – 88.

6. **Исманов, М.М.** Технология добычи блоков природного камня алмазно-канатными устройствами [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, С.Б. Саттиев // Известия ОшТУ. – Ош: ОшТУ, 2007. – № 2. – С. 31 – 35.

7. **Исманов, М.М.** Анализ зависимости потерь сырья при вырезании блоков из массива камня алмазно-канатным устройством [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, С.Б. Саттиев // Наука. Образование. Техника: по матер. Межд. научной конф. «Актуальные проблемы механики и горного машиноведения, развития науки и интеграции ВУЗов». – Ош: КУУ, 2009. – № 1(1). – С. 56 – 58.

8. **Исманов, М.М.** К исследованию динамики цепного режущего органа камнерезной машины ЦКМ-1 [Текст] / М.М. Исманов // Инженер. – Бишкек, 2010. – № 1.- С. 51 – 56.

9. **Исманов, М.М.** Анализ зависимости себестоимости вырезания блоков из массива камня алмазно-канатным устройством [Текст] / М.М. Исманов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2010. – № 1. – С. 78 – 82.

10. **Исманов, М.М.** Дифференциальные уравнения движения цепного режущего органа в процессе резания камня. [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов // Вестник южного отделения НАН КР. – Ош: ЮО НАН, 2011.- № 1. – С. 63 – 69.

11. **Исманов, М.М.** Динамика цепного режущего органа в процессе внедрения его в массив камня [Текст] / М.М. Исманов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2011. – № 3,4. - С. 57 – 61.

12. **Исманов, М.М.** Динамика цепного режущего органа камнерезной машины «Виктория» [Текст] / М.М. Исманов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2011. – № 3,4. - 88 – 93.

13. **Исманов, М.М.** Современные баровые камнерезные машины и мировой опыт их применения при добыче блоков природного камня [Текст] /

Р.А. Мендекеев, М.М. Исманов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2012. – № 3,4. 47 – 55.

14. **Исманов, М.М.** Анализ технологий отделения блоков природного камня от массива путем резания [Текст] / М.М. Исманов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2012. – № 3,4. – С. 58 – 65.

15. **Исманов, М.М.** Динамика процесса резания камня цепным режущим органом [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов // Матер. Межд. науч.-практ. конф. «Теория машин и рабочих процессов», посв. 90-лет. со дня рожд. акад. О.Д. Алимова. – Бишкек: ИМаш НАН КР, 2013. – С. 207 – 213.

16. **Исманов, М.М.** Анализ зависимости режимных и силовых параметров цепного режущего органа [Текст] / М.М. Исманов // Матер. Межд. научно-практ. конф. «Теория машин и рабочих процессов», посв. 90-лет. со дня рожд. акад. О.Д. Алимова. – Бишкек: ИМаш. НАН КР, 2013. – С. 213 – 218.

17. **Исманов, М.М.** Анализ конструкций режущих алмазных канатов [Текст] / М.М. Исманов, Б. Усон кызы // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2013. – № 1. – С. 71 – 77.

18. **Исманов, М.М.** Дифференциальные уравнения движения алмазно-канатного устройства [Текст] / М.М. Исманов // Актуальные проблемы механики машин: сб. науч. тр. ИМаш НАН КР. Матер. Респ. науч. конф., посв. 70-лет. со дня рожд. Первого президента ИА КР С. Абдраимова. – Бишкек: Илим, 2014. – С. 145 – 150.

19. **Исманов, М.М.** Исследование износа и разрушения стальных канатов [Текст] / М.М. Исманов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2014. – № 1. – С. 55 – 58.

20. **Исманов, М.М.** Исследование динамики клиноременной передачи алмазно-канатной машины [Текст] / М.М. Исманов // Вестник ОшГУ по матер. Межд. науч.-практ. конф. «Роль науки и образования в современных условиях глобализации». – Ош: ОшГУ, 2015. – № 4. – С. 98 – 103.

21. **Исманов, М.М.** Технология вырезания строительных изделий-заготовок из массива природного камня [Текст] / М.М. Исманов // Известия ОшГУ. Матер. Межд. науч.-техн. конф. «Инновационные технологии для решения проблем комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов и устойчивого развития». – Ош: ОшГУ, 2015. – № 2. – С. 119 – 124.

22. **Исманов, М.М.** Рабочие алмазные канаты камнерезных машин [Текст] / М.М. Исманов, А.Т. Нурмааматов // Наука. Образование. Техника. – Ош: КУУ, 2015. – № 3,4. – С. 36 – 41.

23. **Исманов, М.М.** Динамика алмазно-канатной машины АКМ-1 в процессе резания камня [Текст] / М.М. Исманов // Приволжский научный вестник. – Ижевск: Фаворит, 2016. – № 3 (55). – С. 40 – 45.

24. **Исманов, М.М.** Определение условий динамической уравновешенности алмазно-канатной машины АКМ-1 [Текст] / М.М. Исманов // Символ науки. – Уфа: Омега Сайнс, 2016. – № 5 (часть 2). – С. 32 – 38.

25. **Исманов, М.М.** Зависимости силы натяжения режущего каната от режимных параметров алмазно-канатной машины АКМ-1 [Текст] / М.М.

Исманов // Приволжский научный вестник. – Ижевск: Фаворит, 2016. – № 6 (58). – С. 14 – 21.

26. **Исманов, М.М.** Разработка динамической модели и получение уравнений движения алмазно-канатной машины АКМ-1 [Текст] / М.М. Исманов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – Екатеринбург: УГГУ, 2016. – № 5. – С. 60 – 69.

27. **Исманов, М.М.** Разработка обобщенной динамической модели и получение уравнений движения цепного рабочего органа камнерезных машин [Текст] / М.М. Исманов, И.Э. Исаев // Инновационная наука. – Уфа: АЭТЕРНА, 2016. – № 10 (часть 2). – С. 48 – 56.

28. **Исманов, М.М.** Условия динамической уравновешенности камнерезной машины цепным рабочим органом [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов // Приволжский научный вестник. – Ижевск: Фаворит, 2017. – № 2 (66). – С. 40 – 44.

29. **Исманов, М.М.** Технология отделения от массива камня монолитов и строительных изделий [Текст] / М.М. Исманов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск: СО РАН, 2017. – № 2. – С. 102 – 109.

30. **Исманов, М.М.** Определение рациональных параметров канатного рабочего органа камнерезной машины [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов, А.Х. Жораев // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – Екатеринбург: УГГУ, 2017. – № 4. – С. 86 – 91.

31. **Исманов, М.М.** Обоснование конструкции и создание нового образца цепного рабочего органа камнерезной машины [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов // Машиноведение. – Бишкек: ИМаш НАН КР, 2017. – № 1. – С. 54 – 62.

#### Патенты на изобретения:

32. **Патент КР №1727.** Способ отделения монолитов и крупных заготовок строительных изделий из массива природного камня [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов; Кыргызпатент. – №20140003.1; заявл. 17.01.2014; опубл. 30.04.2015. Бюллетень № 4. – 5 с.: ил.

33. **Патент КР №1728.** Цепной режущий орган [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов; Кыргызпатент. – №20140020.1; заявл. 21.02.2014; опубл. 30.04.2015. Бюллетень № 4. – 4 с.: ил.

34. **Патент КР №1729.** Режущая цепь [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов; Кыргызпатент. – № 20140021.1; заявл. 21.02.2014; опубл. 30.04.2015. Бюллетень № 4. – 4 с.: ил.

35. **Патент КР №1942.** Комбинированный способ вырезания строительных изделий-заготовок из массива природного камня [Текст] / М.Т. Мамасаидов, М.М. Исманов; Кыргызпатент. – № 20160002.1; заявл. 04.01.2016; опубл. 28.02.2017. Бюллетень № 2. – 5 с.: ил.

**«Таш кесүүчү машиналардын жумушчу органдарын жаратуунун илимий-колдонмо негиздери» темасындагы Исманов Медербек Марипжановичтин 05.05.06 – Тоо-кен машиналары адистиги боюнча техника илимдеринин доктору окумуштуулук даражасын изденип алууга жазылган диссертациясынын РЕЗЮМЕСИ**

**Ачык сөздөр:** таштын массиви, кесип алуунун технологиясы, курулуш буюмдары, чынжырдуу жумушчу орган, эшмезымдуу жумушчу орган, таш кесүүчү машина, динамикалык модель, кыймылдын теңдемеси.

**Изилдөө объекти** – таш кесүүчү машиналардын жумушчу органдары менен таш массивинен курулуш буюмдарын кесип алуу процесси.

**Изилдөө предмети** – чынжырдуу жана эшмезымдуу жумушчу органдар.

**Илимий иштин максаты** – табигый таш массивинен курулуш буюмдарын кесип алууда натыйжалуу колдонулуучу, узак мөөнөткө туруктуу иштөөнү жогорулатуучу перспективдүү таш кесүүчү машиналардын жаңы жумушчу органдарын жаратуунун илимий-колдонмо негиздерин иштеп чыгуу.

**Изилдөөнүн ыкмалары жана аппаратурасы.** Булактарды жана көз карандылыктарды талдоо, динамикалык моделди иштеп чыгуу, көп критерий-лерди оптималдаштыруу, математикалык статистика ыкмалары колдонулду. Эксперименттерде сандык осциллограф, мультиметр, компьютер колдонулду.

**Алынган жыйынтыктар жана алардын илимий жаңылыгы.** Таш массивинен курулуш буюмдарын кесип алуу процессинде чынжырдуу жана эшмезымдуу жумушчу органдардын динамикалык моделдери иштелип чыгылды жана алардын кыймылдарынын көз карандылыктары алынды. Алардын рационалдык өлчөмдөрүн тандоонун илимий негизделген сунуштары түзүлдү, өз ара байланыштары аныкталды. Чынжырдуу жана эшмезымдуу жумушчу органдардын рационалдуу өлчөмдөрүн тандап алуу методдору көп критерийлерди оптималдаштыруу жоболорунун негизинде иштелип чыгылды. Жаңы жумушчу органдуу таш кесүүчү машиналардын конструктивдик, төмөн жана орто бышыктыктагы таш массивинен курулуш буюмдарын кесип алуучу ыкмалардын технологиялык схемалары иштелип чыгылды. Жаңы жумушчу органдуу КМЦ-1 жана КМК-1 таш кесүүчү машиналар, төмөнкү жана орто бышыктыктагы таш массивинен курулуш буюмдарын алууну мыкты техникалык-экономикалык көрсөткүчтөр менен камсыздады.

**Колдонуу даражасы.** Жаңы чынжырдуу жана эшмезымдуу жумушчу органдуу таш кесүүчү КМЦ-1 жана КМК-1 машиналары «Сары-Таш», «Араван-Таш» кендеринде ийгиликтүү ишке киргизилди, «Ош Ак-Таш» ААК, «Таш-Махал» жана «Vip Строй» ЖЧК ишканаларында натыйжалуу колдонулду.

**Колдонуу тармактары:** ташты казып алуучу жана ташты иштетүүчү өндүрүш тармактары, курулуш индустриясы.

**РЕЗЮМЕ**

диссертации Исманова Медербек Марипжановича на тему «Научно-прикладные основы создания рабочих органов камнерезных машин» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.06 – Горные машины

**Ключевые слова:** массив камня, технология вырезания, строительные изделия, цепной рабочий орган, канатный рабочий орган, камнерезная машина, динамическая модель, уравнения движения.

**Объект исследования** – процесс вырезания строительных изделий из массива природного камня рабочими органами камнерезных машин.

**Предмет исследования** – цепной и канатный рабочие органы.

**Цель работы** – разработка научно-прикладных основ, позволяющих переходить к созданию перспективных камнерезных машин с новыми рабочими органами, обеспечивающими повышение долговечности и надежности их работы, эффективности их применения для вырезания строительных изделий из массива природного камня.

**Методы исследования и аппаратура.** Использованы методы анализа источников и зависимостей, разработки динамических моделей, многокритериальной оптимизации, математической статистики. В экспериментах использованы цифровой осциллограф, мультиметр и компьютер.

**Полученные результаты и их новизна.** Разработаны динамические модели и получены зависимости, описывающие движения цепного и канатного рабочих органов в процессе вырезания строительных изделий из массива камня. Установлены взаимосвязи конструктивных и режимных параметров цепного и канатного рабочих органов от силовых показателей процесса резания и прочностных характеристик камня. Разработаны методики выбора наиболее рациональных параметров цепного и канатного рабочих органов на положениях многокритериальной оптимизации. Разработаны конструктивные схемы камнерезных машин с новыми рабочими органами и оригинальные технологические схемы способов вырезания строительных изделий из массива камня малой и средней прочности. Созданные камнерезные машины КМЦ-1 и КМК-1 с новыми цепными и канатными рабочими органами обеспечили вырезание строительных изделий из массива камня малой и средней прочности с лучшими технико-экономическими показателями.

**Степень использования.** Камнерезные машины КМЦ-1 и КМК-1 с новыми цепными и канатными рабочими органами успешно внедрены на карьере известняков-ракушечников «Сары-Таш» и известняков «Араван-Таш», использованы в ОАО «Ош Ак-Таш», ОсОО «Таш Махал» и «Vip Строй».

**Область применения:** камнедобывающие и камнеобрабатывающие отрасли промышленности, строительная индустрия.



## SUMMARY

of the dissertation of Ismanov Mederbek Maripzhanovich on the theme "Scientific and applied basis for creating working parts of stone-cutting machines" for the degree of doctor of technical sciences in specialty 05.05.06 – Mining machines

**Key words:** stone massif, cutting technology, construction products, chain working part, rope working part, stone cutting machine, dynamic model, equations of motion.

**The object of research** – is the process of cutting out building products from the array of natural stone by the working bodies of stone-cutting machines.

**The subject of the research** – is the chain and rope working organs.

**The purpose of the work** – is the development of scientific and applied basis for the creation of perspective stone cutting machines with new working parts and effective technologies for their application for cutting out construction products made of stone massif of small and medium solidity.

**Methods of research and equipment.** Methods for analyzing sources and dependencies, developing dynamic models, multicriteria optimization, and mathematical statistics were utilized. In the experimental digital oscilloscope, a multimeter and a computer were applied.

**The results obtained and their novelty.** Dynamic models have been developed and the equations of movement of chain and rope working parts were obtained in the process of cutting out construction products from a stone massif. Interrelations have been established and scientifically grounded recommendations on the choice of rational design and regime parameters have been formulated. The development of a technique for selecting the most rational parameters of chain and rope working parts of stone cutting machines is provided at the positions of multicriteria optimization using computer programs. New designs of chain and rope working parts have been developed and created, ensuring the improvement of their technical and dynamic characteristics in the stone cutting process. Created promising designs of stone-cutting machines KMS-1 and KMK-1 with new chain and rope working parts, as well as developed original technologies for their application, ensured the cutting of construction products directly from a massif of small and medium solid stone with the best technical and economic indicators.

**Degree of use.** Stone-cutting machines KMS-1 and KMK-1 with new chain and rope working organs were successfully engrained in the quarries of limestone-rock shells "Sary-Tash" and limestones "Aravan-Tash", applied in OJSC "Osh Ak-Tash", LLC "Tash Mahal" and in "Vip Story".

**Scope:** stone-mining and stone-working industries, construction industry.



Подписано в печать 26.05.2018. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Офсетная печать. Объем 3,0 п.л.  
Тираж 100 экз. Заказ 298.

Отпечатано в типографии КРСУ  
720048, Бишкек, ул. Горького, 2