

**Национальная академия наук Кыргызской Республики  
Институт машиноведения  
Министерство образования и науки Кыргызской Республики  
Кыргызский Государственный технический  
университет им. И. Раззакова**

**Диссертационный совет Д. 05. 13. 010**

На правах рукописи  
УДК 621.233

**Исаев Ильязбек Эркинбаевич**

**ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СОЗДАНИЕ АДАПТИВНОГО  
КАМНЕКОЛЬНОГО ПРЕССА С ВИНТОВЫМ ПРИВОДОМ**

**Специальность: 05.05.06 - «Горные машины»**

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

**БИШКЕК-2014**

Работа выполнена в Кыргызско-Узбекском университете МОН КР и  
Институте природных ресурсов Южного отделения НАН КР

**Научный руководитель:** д.т.н., профессор, академик НАН КР и  
МИА, заслуженный деятель науки КР  
**Мамасаидов Мухамеджан Ташалиевич**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Шамсутдинов Марат Мубарякшаевич**

кандидат технических наук, доцент  
**Орозов Кельдибек Кубатбекович**

**Ведущая организация:** **Кыргызский Национальный аграрный  
университет им. К.И. Скрябина**  
(Кыргызская Республика, г.Бишкек  
720005, ул. Медерова, 68).

Защита состоится «14» марта 2014 г. в 14-00 ч. на заседании Диссертационного совета Д **05.13.010** при Институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики и Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова, по адресу: Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института машиноведения НАН КР, по адресу: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23, Институт машиноведения НАН КР.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной гербовой печатью, просим направлять в адрес диссертационного совета: 720055, г. Бишкек, ул. Скрябина, 23, Институт машиноведения НАН КР, а также по e-mail: [imash\\_kg@mail.ru](mailto:imash_kg@mail.ru). Тел. (0312)541149, факс (0312)562785.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д  
05.13.10, к.т.н.



Квитко С.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Природный камень является одним из самых древних строительных материалов, которым пользовался ещё первобытный человек. Он обладает высокими декоративными свойствами, долговечностью и может сохранять физико-механические свойства под воздействием различных факторов. В связи с этим колотые изделия из природного камня с успехом применяются при облицовке цоколя зданий и сооружений, отделке набережных и фонтанов, для покрытия площадей и разграничения проезжей части улиц, изготовления монументов и ограждений в садово-парковой архитектуре. Для изготовления колотых изделий в виде брусчатки используются камнекольные прессы. Актуальность темы обусловлена тем, что в практике машиностроения хорошо зарекомендовали себя электромеханические прессы с винтовыми приводными механизмами. А в современной отечественной камнеобработке этот положительный опыт не используется, отсутствуют даже простейшие камнекольные устройства с винтовым приводом.

Поэтому разработка и внедрение новых перспективных конструкций адаптивных камнекольных прессов с винтовым приводом является актуальной задачей.

**Связь темы диссертации с планами НИР.** Диссертационная работа выполнялась в соответствии с координационными планами Министерства образования и науки КР и Национальной академии наук КР по научным темам: «Разработка новой методики расчёта, проектирования и конструкции камнекольных прессов типа ПКА для обработки камня» (2001-2003 гг.); «Создание и опытные испытания винтового камнекольного прессы» (2005-2007 гг.); «Инновационные технологии использования природных ресурсов Южного региона республики» (2007-2009 гг.); «Разработка инновационных технологий освоения природных ресурсов Южного региона КР» (2010-2012 гг.), выполняемым в НИЦ «Природный камень» Кыргызско-Узбекского университета и Институте природных ресурсов Южного отделения НАН КР.

**Целью** работы является обоснование параметров, разработка конструкции и создание винтового камнекольного прессы (ВКП) с усилием до 400 кН для производства колотых изделий из природного камня.

Поставленная цель обуславливает необходимость решения следующих научно-технических задач:

- изучение и анализ технических средств для производства колотых изделий из природного камня;
- обоснование принципиальной схемы и выбор основных узлов перспективного камнекольного прессы с винтовым приводом;

- динамическое исследование, анализ закономерностей «нагрузки – движения» и разработка методики расчета основных элементов камнекольного пресса с винтовым приводом;
- исследование технологии производства колотых изделий, анализ
- зависимостей ее главных показателей и выявление целенаправленных путей совершенствования винтового камнекольного пресса;
- обоснование конструктивных параметров и разработка технического проекта винтового камнекольного пресса с усилием 400кН;
- создание опытного образца нового винтового камнекольного пресса и его стендовые испытания.

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

- 1.развитая классификация современных камнекольных станков и оборудования;
- 2.динамические модели и закономерности «нагрузки-движения» силовых элементов и механического привода винтового камнекольного пресса, учитывающие инерционные свойства рабочего органа, винтовой передачи, станины (траверсы) и привода;
- 3.обобщенная модель технологии производства, учитывающая время подачи и установки заготовки камня на рабочий стол пресса, аналитические зависимости сменной производительности винтового камнекольного пресса и себестоимости колотых изделий из природного камня.

### **Научная новизна** работы заключается в следующем:

- развита классификация современных камнекольных станков и оборудования с учетом в ней вида привода и механизма адаптации, формы заготовки камня;
- разработана динамическая модель привода и установлено, что при расколе камня колебание элементов привода винтового камнекольного пресса происходит по гармоническим законам, а момент на валу электродвигателя ВКП при подобранных характеристиках колеблется с частотой  $250 \text{ с}^{-1}$  и амплитудой 60 (Нм).
- разработана динамическая модель пресса и выявлено, что при конструировании камнекольного пресса с винтовым приводом необходимо подбирать соотношение масс рабочего органа ( $m_1$ ) и верхней траверсы ( $m_2$ ) в диапазоне от 10 до 15.
- разработана обобщенная модель и установлены зависимости главных показателей технологии производства колотых изделий (сменной производительности винтового камнекольного пресса, себестоимости производимых колотых изделий, потерь при производстве колотых изделий) от всей совокупности основных факторов.

**Практическая значимость работы** заключается в:

- разработке конструкции нового винтового камнекольного пресса типа ВКП-1 (патент КР №987 от 28.09.07).
- разработке рекомендаций по совершенствованию конструкции нового винтового камнекольного пресса ВКП-1
- создании и успешной апробации опытного образца малого винтового камнекольного пресса ВКП-50.

**Личный вклад соискателя.** Соискателем развита классификация камнекольных станков и оборудования; разработаны динамические модели и выявлены закономерности «нагрузки - движения» силовых элементов и механического привода винтовых камнекольных прессов; определены зависимости основных показателей технологического процесса обработки природного камня винтовыми камнекольными прессами от производительности ВКП, себестоимости производимых колотых изделий и потери сырья при обработке камня расколом; Автор участвовал в обосновании параметров и разработке приоритетной конструкции винтового камнекольного пресса типа ВКП-1 и опытно - промышленных образцов винто-гидравлических камнекольных прессов типа КРМ-160, КРМ-60, КРМ-25; разработал методику и проводил стендовые испытания опытного образца малого винтового камнекольного пресса ВКП-50.

**Апробация результатов работы.** Результаты исследований докладывались и обсуждались на международных, республиканских и региональных научно-технических конференциях: «Наука и образование для устойчивого горного развития», посвященной Международному году Гор (г. Ош, ОшГУ, 2002 г.); «Динамика и прочность горных машин» (г. Новосибирск, ИГД СО РАН, 2003 г.); «Тюрко-согдийский синтез и развитие проблемы культурного наследия» (г. Ош, КУУ, 2004 г.); «Машины с механизмами переменной структуры и виброударные машины» (г. Бишкек, Институт машиноведения НАН КР и Инженерная Академия КР, 2004 г.); «Образование через науку» (г. Бишкек, КГТУ, 2004 г.) «Актуальные проблемы механики и горного машиноведения, развития и интеграции ВУЗов», посвященной к 15-летию КУУ и 60-летию академика М.Т. Мамасаидова (г. Ош, КУУ, 2009 г.); Международной научно-практической конференции «Теория машин и рабочих процессов», посвященной 90-летию со дня рождения академика Алимова О.Д., (г. Бишкек, Институт Машиноведения НАН КР, 2013 г.)

**Публикации.** По результатам выполненных научных исследований опубликовано 16 научных работ, в том числе 3 зарубежные, 3 единоличные. Получен Патент КР на изобретение № 987 от 28.09.2007.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 127 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав,

заключения и приложения, содержит 39 иллюстраций и 9 таблиц, список использованных источников из 110 наименований.

Автор выразит большую благодарность д.т.н., проф. Р.А. Мендекееву, который был практически соруководителем и к.т.н. Т.Т. Якубову за оказанную помощь при выполнении данной работы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** кратко изложена общая характеристика диссертационной работы, включая актуальность темы и цель исследований, научную новизну и практическую значимость, рекомендации и сведения по апробации ее результатов.

**В первой главе** на основе изучения работ ученых Мельникова Н.В., Чеснокова М.М., Шлаина И.Б., Орлова А.М., Сычева Ю.И., Алимова О.Д., Мамасаидова М.Т., Еремьянца В.Э., Бакка Н.Т., Малышева Н.А., Носенко Н.Е., Кукунова И.М., Чернышева С.Н., Мендекеева Р.А., Якубова Т.Т. и др. представлены краткие сведения о технологии обработки природного камня направленным расколом. Приведен аналитический обзор существующих камнекольных станков и оборудования, в котором изложены их техническое существо и особенности. Развита классификация современных камнекольных прессов и оборудования с учетом последних достижений (рис. 1). Необходимо отметить, что в странах СНГ камнекольное оборудование до 1990 г. создавалось лишь в Кыргызстане, где было освоено производство адаптивных камнекольных прессов типа ПКА-400, ПКА-800 и ПКА-3000 «Аскатеш».

На основе аналитического обзора сделан вывод, что в странах СНГ ныне отсутствуют легкие и простые по конструкции, дешевые по стоимости, надежные и эффективные в эксплуатации камнекольные прессы. Исходя из этого, в диссертационной работе поставлена цель разработки: создание для практики камнеобработки и строительной индустрии таких технических средств для направленного раскола природного камня, а именно: винтовых камнекольных прессов с электромеханическим приводом.

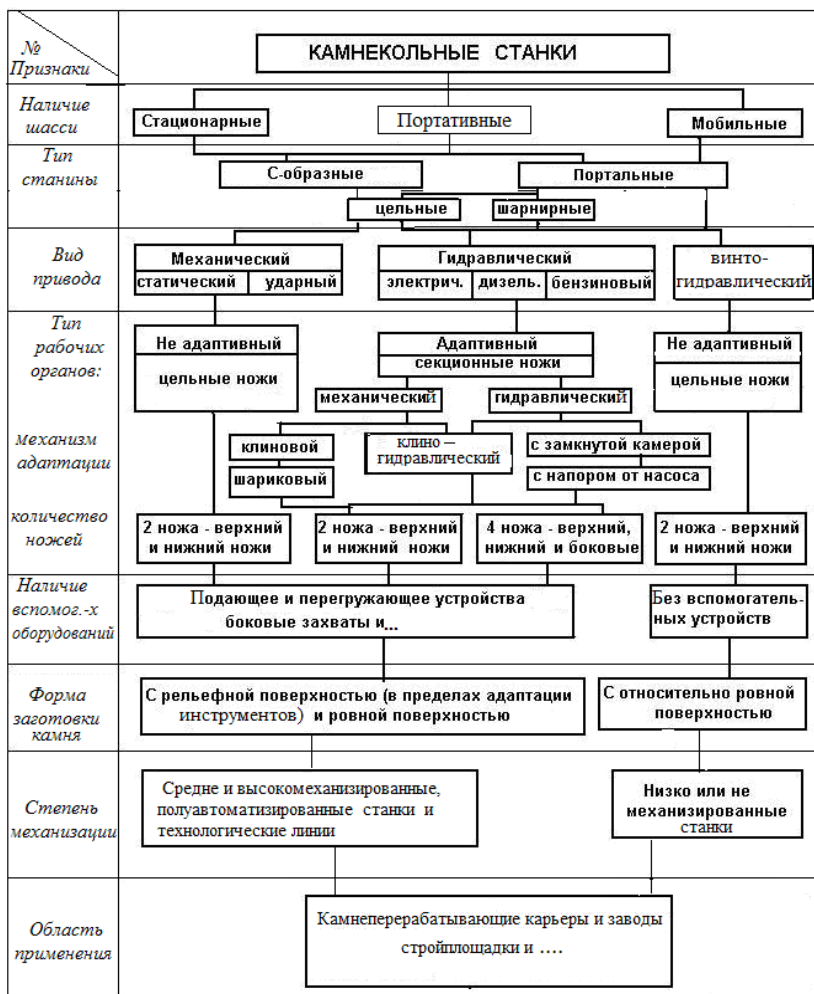
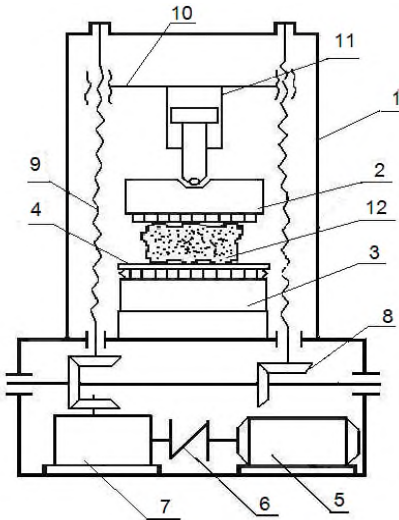


Рисунок 1 - Развитая классификация камнекольных станков

**Во второй главе** обоснованы принципиальная схема (рис. 2) и предпосылки к динамическому исследованию перспективного винтового камнекольного пресса.

Разработаны динамические модели механического привода ВКП и выявлена достаточная адекватность её упрощенной двухмассовой модели (рис. 3) с соответствующими упруго-инерционными элементами.



- 1 – станина; 2,3 – верхний и нижний рабочие органы; 4 – рабочий стол; 5 – электродвигатель; 6 – муфта; 7 – редуктор; 8 – конические зубчатые колёса; 9 – силовой винт; 10 – верхний траверса; 11 – демпфер; 12 – природный камень.

Рисунок 2 - Принципиальная схема винтового камнекольного пресса

Упрощенную модель привода ВКП можно описать системой из двух дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} J_1 \varphi_1'' + c(\varphi_1 - \varphi_2) = M_d; \\ J_2 \varphi_2'' - c(\varphi_1 - \varphi_2) = M_c, \end{cases} \quad (1)$$

где  $J_1, J_2$  – приведенные моменты инерции элементов привода ВКП,

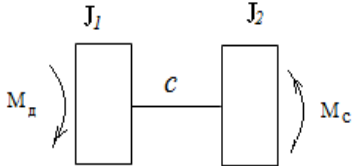


Рисунок 3 – Упрощенная двухмассовая динамическая модель привода ВКП ( $J_1=36,9 \text{ кг м}^2, J_2=92 \text{ кг м}^2, c = 0,74 \cdot 10^5 \text{ Н м}$ )

$\varphi_1, \varphi_2$  - угол поворота сечения вала,  $c$  - коэффициент жесткости приведенного вала,  $M_d$  - движущий момент со стороны электродвигателя,  $M_c$  - момент сопротивления, возникающий в процессе раскола камня рабочими органами.

При свободных колебаниях (т.е. при  $M_d = 0$  и  $M_c = 0$ ) система уравнений (1) имеет решение:

$$\varphi_1 = \varphi_{10} - \varphi_{10} (c/J_1 k^2)(1 - \cos kt) \quad \text{и} \quad \varphi_2 = \varphi_{10} [1 - c/J_1 k^2](1 - \cos kt), \quad (2)$$

где  $k^2 = c/J, J = J_1 J_2 / (J_1 + J_2)$  – собственная частота колебания системы и приведенный момент инерции системы соответственно,  $\varphi_{10}$  - угол пово-



рота первой массы относительно второй массы в начальный момент времени;  $t$ - время.

Отсюда момент, возникающий в упругой связи между массами, равен

$$M=c(\varphi_1-\varphi_2)=c\varphi_{10}\cos kt, \quad (3)$$

что характеризует изменение момента на валу двигателя без внешних воздействий.

Для решения системы уравнений (1) введем новую переменную  $\varphi=\varphi_1-\varphi_2$  и с учетом начальных условий находим

$$\varphi = -\frac{M_c}{c_1} + \left(\varphi_0 + \frac{M_c}{c_1}\right) \cdot \cos \lambda t, \quad (4)$$

где  $\lambda^2 = \frac{c}{J_2}$  - частота вращения вала двигателя с учетом действующих

нагрузок,  $\varphi_0$ - начальный угол поворота,  $c_1$  -коэффициент жесткости вала двигателя.

На основе решения (4) определим движущей момент на валу двигателя

$$M_D = \varphi \cdot c_1 = (M_c + \varphi_0 \cdot c_1) \cos \lambda t - M_c. \quad (5)$$

На основе полученных зависимостей (3) и (5), построены диаграммы изменения момента на приведенном валу (рис. 4 и 5) для представленного механического привода ВКП. Из них следует, что происходят существенные колебания системы привода ВКП. Причем колебания системы имеют практически одинаковую частоту, как при свободных колебаниях, так и нагруженных внешними моментами. Амплитуда колебаний момента на приводном валу составляет 13,5 Н·м

при свободных движениях и достигает до 60 Н·м при действии внешних нагрузок.

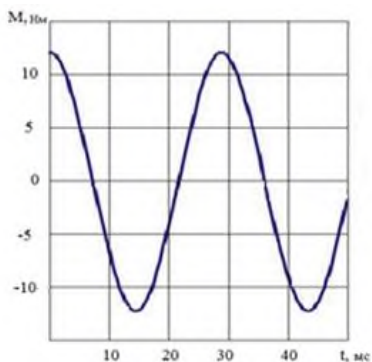


Рисунок 4 - Диаграмма изменения момента на приведённом валу привода ВКП при свободных колебаниях

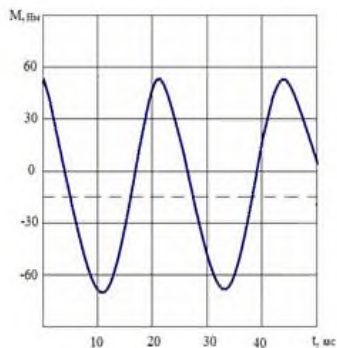


Рисунок 5 - Диаграмма изменения момента на приведенном валу привода ВКП в процессе расколе КАМНЯ

Для оценки динамических процессов, возникающих на приведенном валу, определим коэффициент неравномерности хода двигателя по формуле

$$\delta = \frac{2\left(1 - \frac{1}{\xi^c}\right)}{1 + \frac{1}{\xi^c}}, \quad (6)$$

где 
$$\xi^c = \frac{1}{\frac{\omega_{\dot{A}}}{\gamma} - 1}, \quad \gamma = \frac{\dot{I}_{\dot{A}} - \dot{I}_{\dot{n}}}{\sqrt{J_2 c}}.$$
 (7)

Как показано на графике (рис. 6), с увеличением коэффициента динамичности  $\gamma$  в диапазоне от 100 до 800, коэффициент неравномерности  $\delta$  уменьшается с 0,55 до 0,055. Для представленной принципиальной схемы привода ВКП с принятыми конкретными параметрами значение  $\gamma = 84$ , что соответствует  $\delta = 0,6$ . Это недопустимо большая неравномерность хода двигателя, которую необходимо существенно уменьшить. Для тяжело нагруженных прессов значение  $\delta$  должно лежать в диапазоне от 0,05 до 0,15 (см. рис. 6, показано штриховкой). Чтобы обеспечить такое условие, необходимо подбирать параметры привода ВКП, удовлетворяющие условию

$$300 < \frac{M_{\dot{A}} - \dot{I}_{\dot{n}}}{\sqrt{J_2 c}} < 900, \quad (8)$$

т.е. необходимо уменьшить либо момент инерции  $J_2$ , либо коэффициент жесткости  $c$  при тех усилиях раскола.

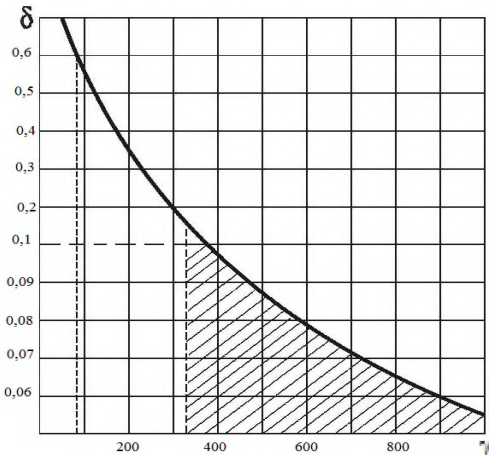


Рисунок 6 - График изменения коэффициента неравномерности хода двигателя ( $\delta$ ) в зависимости от коэффициента динамичности ( $\gamma$ )

Итак, результаты исследования динамики привода ВКП позволяют сформулировать конкретные рекомендации и дают необходимое условие для выбора рациональных параметров привода перспективного винтового камнекольного пресса.

На следующем этапе выполнены исследования динамики несущей станины, силового винтового механизма (винт-гайка) и рабочего органа

пресса. Была разработана динамическая модель силовых элементов винтового камнекольного пресса (рис. 7).

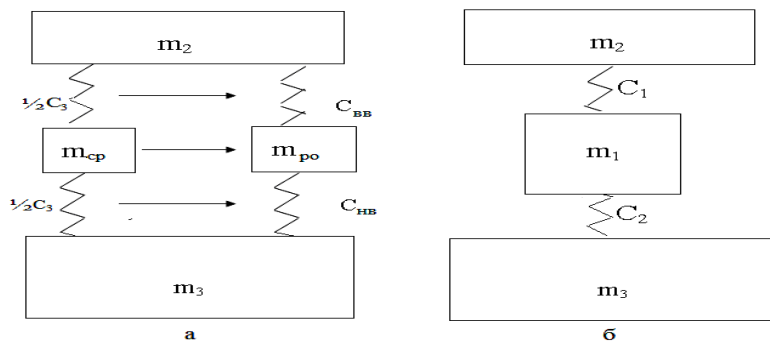


Рисунок 7 - Динамическая модель силовых элементов камнекольного пресса с винтовым приводом: а- общая модель, б- упрощённая модель

В общей динамической модели силовых элементов ВКП (рис. 7, а) учитываются упругие и инерционные характеристики винтовой передачи и станины пресса. Здесь  $m_2$  - масса верхней части станины (траверсы),  $m_{cp}$  – средней части станины, учитывающая массы ее боковые стенок,  $m_{po}$  – масса рабочего органа,  $m_3$  – масса нижней части станины нижнего рабочего органа (нижней траверсы),  $c_3$  – жёсткость станины пресса,  $c_{vb}$  и  $c_{nb}$  – жесткости верхней и нижней частей силового винта. На основе следующих допущений: масса рабочего стола сравнительно мала по сравнению с массами остальных силовых элементов пресса, и поэтому ее можно не учитывать; жесткость пружины рабочего стола ничтожно мала по сравнению с жесткостью других силовых элементов пресса, и, следовательно, ею можно пренебречь; силы тяжести силовых элементов пресса можно не учитывать из-за малости их значений по сравнению с развиваемым усилием раскола  $P$  (для ВКП было принято  $P = 400$  кН) была составлена упрощённая модель силовых элементов ВКП (рис. 7,б), в которой:  $c_1$ ,  $c_2$  – жёсткости верхней и нижней части винтового силового механизма и станины;  $m_2$  – масса верхнего рабочего органа и средней части станины;  $m_1$ ,  $m_3$  - массы нижнего рабочего органа и нижней части станины (траверсы).

Упрощённая динамическая модель ВКП описывается системой трех дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} m_1 x_1'' + c_1(x_1 - x_2) - c_2(x_1 - x_3) = 0; \\ m_2 x_2'' - c_1(x_1 - x_2) = 0; \\ m_3 x_3'' - c_2(x_1 - x_3) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – координаты центров тяжестей рассматриваемых масс.

Введя новые переменные  $y_1 = x_1 - x_2$ ,  $y_2 = x_1 - x_3$  и учитывая начальные условия, получим окончательное решение системы (9):

$$y_1 = P \left( -\frac{2m_2 + m_1}{m_1 m_2 (p^2 - q^2)} + \frac{1}{C_1} \right) \cos pt + \frac{2m_2 + m_1}{m_1 m_2 (p^2 - q^2)} \cos qt, \quad (10)$$

где  $p = \sqrt{h - \sqrt{h^2 - k^2}}$ ;  $q = \sqrt{h + \sqrt{h^2 - k^2}}$ ;

являются частотами колебаний системы:

$$h = \frac{1}{2} \left( \frac{c_1}{\dot{I}_1} - \frac{c_2}{\dot{I}_2} \right); \quad k^2 = \frac{c_1 \tilde{r}_2}{\dot{I}}$$

$$M_1 = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}; \quad M_2 = \frac{m_1 m_3}{m_1 - m_3}; \quad \dot{I} = \frac{\dot{\delta}_1 \dot{\delta}_2 \dot{\delta}_3}{\dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2 - \dot{\delta}_3}.$$

Из диаграммы (рис. 8) зависимости (10) видно, что колебание силовых элементов пресса носит периодический характер с частотами  $p$  и  $q$ .

Максимальная величина деформации не превышает значения, соответствующего моменту раскола блока камня. Поэтому расчёт внутренних усилий силовых приводных винтов в процессе раскола проведём по формулам:

$$P_{e1} = y_1 \cdot C_1, \quad P_{e2} = y_2 \cdot C_2 \quad (11)$$

Учитывая, что одна из гармоник колебаний верхней части имеет меньшую амплитуду, окончательно получим

$$P_{e1} = P \frac{C_1 (2m_2 + m_1)}{m_1 m_2 (p^2 - q^2)} \cos qt; \quad (12)$$

$$P_{e2} = P C_2 [k_1 (k_4 - k_3 p^2) \cos pt + k_2 (k_3 q^2 - k_4) \cos qt]. \quad (13)$$

Полученные выражения показывают, что величина внутренних усилий в верхней и нижней части винта зависит как от коэффициентов жёсткости, так и от соотношения масс рассматриваемой модели. Из диаграммы (рис. 9) следует, что с увеличением соотношения масс  $m_1/m_2$  коэффициент амплитуда колебаний уменьшается. В диапазоне изменения  $m_1/m_2$  от 1 до 10 наблюдается интенсивное уменьшение коэффициент амплитуды колебаний  $K_2$  от  $15 \cdot 10^{-11}$  до  $5 \cdot 10^{-11}$  м/Н. Дальнейший рост соотношения  $m_1/m_2$  приводит к незначительному уменьшению амплитуды.

Отсюда можно сделать вывод о том, что при конструировании винтового камнекольного пресса необходимо подбирать параметры рабочего органа и верхней траверсы, удовлетворяющие соотношению их масс  $m_1/m_2$  в диапазоне от 10 до 15, т.е. подбирать параметры верхней траверсы и нижнего основания с таким условием.

Таким образом, результаты исследования динамики силовых элементов камнекольного пресса с винтовым приводом позволили сформулировать научно-обоснованные рекомендации по выбору рациональных параметров несущей станины, силовых винтов и рабочих органов.

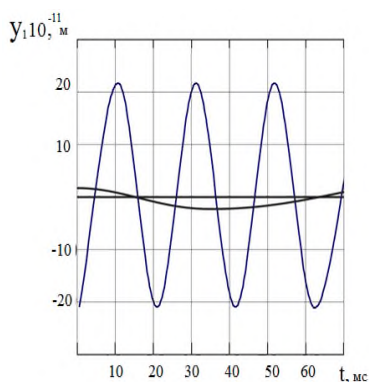


Рисунок 8 – Диаграмма изменения деформации верхней части винта в зависимости от времени

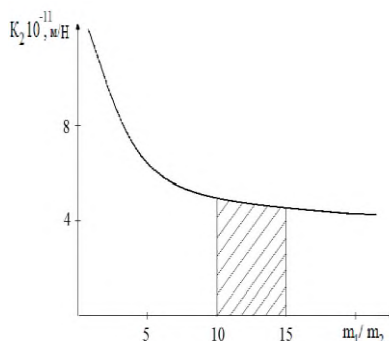


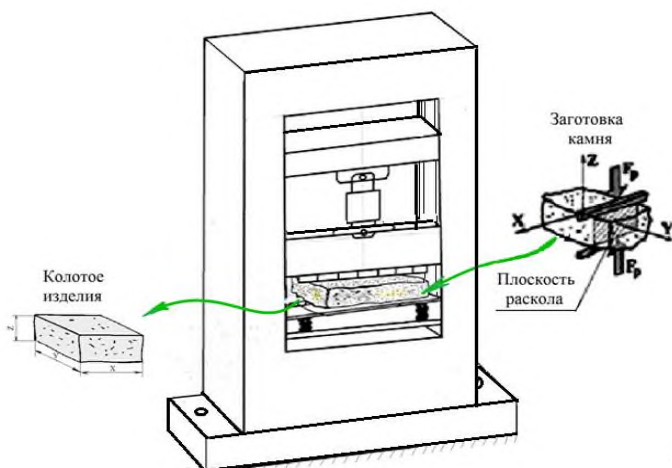
Рисунок 9 - Диаграмма изменения коэффициента амплитуды колебаний верхней части винта от соотношения масс  $m_1 / m_2$

**В третьей главе** приводятся результаты исследования технологии производства колотых изделий винтовым камнекольным прессом. Разработана обобщенная модель технологии производства колотых изделий винтовым камнекольным прессом (рис. 10) на основе принятых допущений:

1. подача камня на рабочий стол осуществляется подающим устройством или вручную;

2. заготовки - плитовидные камни и приобретает вид готовой продукции при 1...4 расколах;
3. раскол камня всегда направлен по линии адаптивных раскалывающих инструментов;
4. произведенные колотые изделия имеют форму параллелепипеда с размерами  $X, Y, Z$ ;
5. снятие колотых изделий и отходов камня с рабочего стола обеспечивается вручную.

В качестве главных показателей (критерии) технологического процесса приняты: производительность винтового камнекольного пресса ( $П_{см}$ ), себестоимость производимых колотых изделий ( $C$ ) и потери сырья при обработке камня расколом ( $K_A$ ).



Основные технологические операции при расколе камня

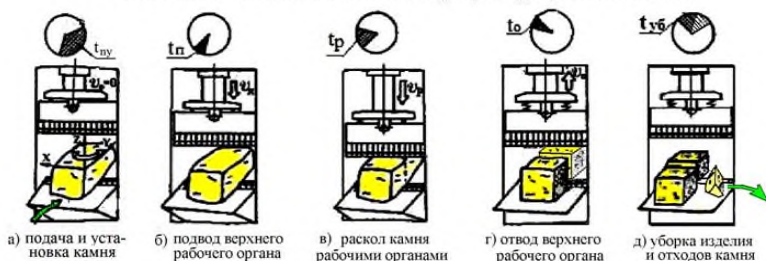


Рисунок 10 – Технологическая схема производства колотых изделий винтовым камнекольным прессом

Сменная производительность винтового камнекольного прессы представлена как

$$P_{CM} = \frac{T_{CM} - T_{ПЗ} - T_{ТТ} - T_{ПР}}{\sum t_1}, \text{ м}^2, \quad (14)$$

где  $T_{CM}$  – продолжительность рабочей смены, мин;  $T_{ПЗ}$  – время подготовительно-заключительных операций, мин;  $T_{ТТ}$  – время техобслуживания и текущего ремонта прессы, мин;  $T_{ПР}$  – время простоев по техническим (поломки, неисправности), технологическим и организационным причинам в течении смены, мин;  $\sum t_1$  – сумма основного и вспомогательного времени для производства 1 м<sup>2</sup> или (1 м<sup>3</sup>) колотых изделий, мин/м<sup>2</sup>.

Выражая время  $\sum t_1$  через режимные и конструктивные параметры ВКП, формы заготовки камня и технологические факторы, была найдена зависимость сменной производительности в виде

$$P_{CM} = \frac{[T_{CM} - (T_{ПЗ} + T_{ТТ} + T_{ПР})]XY}{(t_{ny} + t_n + t_p + t_o + t_{y\sigma}) \sum_{i=1}^n K_{pi}}, \text{ м}^2. \quad (15)$$

где  $t_{ny}$  – время подачи и установки заготовки камня на рабочий стол прессы, мин;  $t_n$  – время подвода верхнего рабочего органа прессы, мин;  $t_p$  – время совершения одного раскола камня, мин;  $t_o$  – время отвода верхнего рабочего органа прессы, мин;  $t_{y\sigma}$  – время уборки готовой продукции или переориентации заготовки камня и отходов раскола с рабочего стола прессы, мин; X, Y – размеры изделия в планиметрии;  $\sum_{i=1}^n K_{pi}$  – число расколов для получения одного колотого изделия, где  $K_{pi} = 1 \dots 4$ .

Себестоимость получаемых колотых изделий винтовым прессом (C) выражена совокупностью затраченных средств для производства 1 м<sup>2</sup> продукции

$$C = C_{AO} + C_{ЗП} + C_{ТТ} + C_{PM}, \text{ сом/м}^2, \quad (16)$$

где  $C_{AO}$  – удельные затраты на амортизацию прессы;  $C_{ЗП}$  – удельные расходы на заработную плату рабочих;  $C_{ТТ}$  – удельные расходы на техобслу-

живание и текущий ремонт пресса;  $C_{PM}$  – удельные затраты на раскалывающий инструмент и прочие материалы.

Принимая во внимание коэффициент выхода изделий ( $K_B$ ), получим зависимость себестоимости колотых изделий в виде

$$\tilde{N} = \frac{1}{N_{\tilde{N}} \cdot \dot{I}_{\tilde{N}} \cdot K_B} \left[ \ddot{O}_{\tilde{E}} \left( \frac{\dot{I}_{\tilde{A}i} + \dot{I}_{\dot{O}O} + \dot{I}_{\Sigma l}}{100} \right) + \sum_{i=1}^n \hat{E}_{\tilde{n}} \cdot \dot{I}_{\tilde{C}i} \right] + \frac{\ddot{O}_D \cdot \hat{E}_D}{\xi_D}, \text{ сом/м}^2, \quad (17)$$

где  $H_{AO}$  – норма амортизационных отчислений, %;  $Ц_K$  – балансовая стоимость камнекольного пресса, сом;  $N_{CM}$  – количество рабочих смен в году;  $П_{CM}$  – производительности винтового камнекольного пресса; где  $K_{ni}$  – количество персонала  $i$ -го разряда, обслуживающего винтовой камнекольный пресс;  $H_{3n}$  – годовой фонд зарплаты персонала  $i$ -го разряда по тарифу, сом;  $K_p$  – среднее число расколов при получении колотых изделий;  $H_{\Sigma M}$  – норма на прочие материалы (смазочные материалы, электроэнергию, спецодежду и др.), отнесенные на 1 м<sup>2</sup> готовой продукции;  $Ц_p$  и  $\xi_P$  – цена и стойкость комплекта раскалывающих инструментов, сом и м<sup>2</sup>.

Потери сырья при производстве колотых изделий винтовым камнекольным прессом представим через коэффициент потерь сырья ( $K_{\Delta}$ ), определяемый соотношением объема полученной полезной продукции к объему исходного обрабатываемого сырья

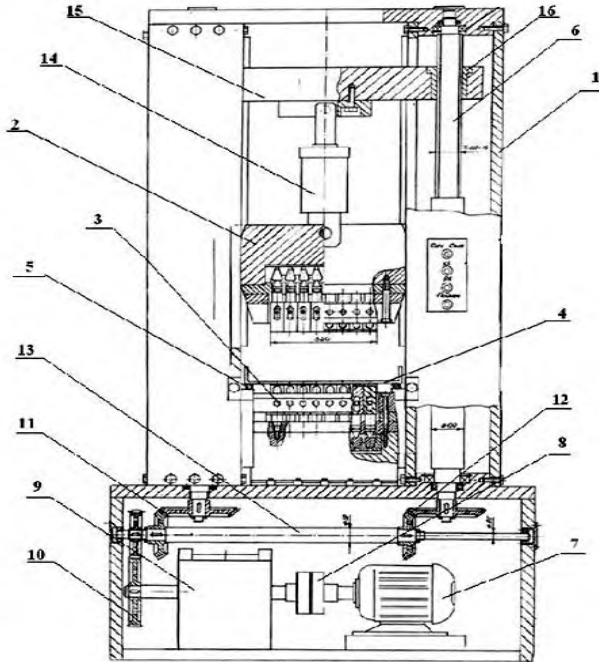
$$K_{\Delta} = 1 - K_g = 1 - \frac{V_{изд}}{V_{исх}} = 1 - \frac{XYZ}{X'Y'Z'}, \quad (18)$$

где  $K_g$  – коэффициент выхода готовой продукции;  $V_{исх}$  – объем исходного обрабатываемого сырья заготовки камня, м<sup>3</sup>;  $V_{изд}$  – объем полученного колотого изделия, м<sup>3</sup>; между наибольшим размером – длиной заготовки ( $X'$ ), средним размером – шириной заготовки ( $Y'$ ) и наименьшим размером – толщиной заготовки ( $Z'$ ).

Выполнен анализ зависимостей главных показателей технологии производства колотых изделий (сменной производительности винтового камнекольного пресса  $П_{CM}$  и себестоимости производимых колотых изделий  $C$ ) от всей совокупности основных факторов. На основе которого выявлены пути совершенствования узлов и механизмов перспективных винтовых камнекольных прессов.

**В четвертой главе** определены рациональные параметры силового приводного винта и разработана конструктивная схема уникального винтового камнекольного пресса ВКП-1 (рис. 11).





1 – станина; 2, 3 - рабочие органы; 4 - рабочий стол; 5 - пружинный амортизатор; 6 - силовые винты; 7 - электродвигатель; 8 - муфта; 9 - редуктор; 10, 11, 12 – зубчатые шестерни; 13 - соединительный вал; 14 – демпфер; 15 - верхний траверса; 16 – силовая гайка

Рисунок 11 - Конструктивная схема уникального винтового камнекольного пресса ВКП-1 (Патент КР №987 от 28.09. 2007 г.).

В качестве основных узлов винтового камнекольного пресса ВКП-1 были приняты П – образная сварная станина из листовой стали, два параллельных силовых винта, вращающихся от механического привода, два соосно движущихся адаптивных рабочих органа, образующих с винтами замкнутый силовой контур, механический привод (редуктор) с электродвигателем, позволяющий обеспечить работу исполнительного органа на рабочем и холостом ходу. Разработанный пресс ВКП-1 оснащается гидравлическим демпфером, который гасит динамические нагрузки на силовые винты в момент раскола камня, что обеспечивает уникальность его конструкции.

С целью выявления функциональной работоспособности и технической возможности нового вида камнекольных прессов создан опытный образец

малого винтового камнекольного пресса ВКП-50 (рис. 12) и изготовлен в механических мастерских Кыргызско-Узбекского университета.

Опытный образец пресса ВКП-50 обладает малыми размерами и имеет отступления от предусмотренного проектом уникального винтового камнекольного пресса ВКП-1, в частности, этот опытный образец имеет механическую конструкцию без гидравлического демпфера.

В ходе стендовых испытаний на прессе ВКП-50 были произведены образцы мини брусчатки из известняка ракушечника месторождения «Сары-Таш».



Рисунок 12 - Опытный образец малого винтового камнекольного пресса ВКП-50

#### Техническая характеристика

Развиваемое усилие, кН	50
Скорость движения рабочего органа, м/сек	0,025
Количество раскалывающих ножей, шт.	8
Ход рабочего органа, мм	300
Мощность электродвигателя привода, кВт	5,5
Скорость вращения электродвигателя, об/мин	1500
Размеры обрабатываемого камня, мм: длина	200
	ширина
	100
	высота
	100

Испытания показали, что новая конструкция винтового камнекольного пресса типа ВКП-50 является работоспособной, его основные узлы, в т.ч. механический привод, функционирует надежно. Следовательно такие прессы могут быть рекомендованы к промышленному применению.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Диссертационная работа посвящена актуальной задаче, связанной с обоснованием параметров и режимов работы адаптивного камнекольного пресса с винтовым приводом. В результате выполненных исследований в работе можно сделать следующие выводы:

1. Существенно развита классификация современных камнекольных прессов с учетом последних достижений

2. Разработана динамическая модель механического привода винтового камнекольного пресса и получены закономерности движения его элементов при холостом и рабочем ходе пресса, учитывающие инерционные свойства винтовой передачи и привода.

3. Установлено, что при расколе камня колебание элементов привода винтового камнекольного пресса происходит по гармоническим законом, а момент на валу электродвигателя ВКП-1 при подобранных характеристиках колеблется с частотой  $250 \text{ с}^{-1}$  и амплитудой 60 (Нм). Выявлено, что уменьшение коэффициента неравномерности хода двигателя требует увеличения моментов инерции элементов привода или увеличения их жесткости.

4. Разработана динамическая модель силовых элементов винтового камнекольного пресса и установлены закономерности нагружения силовых элементов камнекольного пресса с винтовым приводом. Выявлено, что при конструировании камнекольного пресса с винтовым приводом необходимо подбирать соотношению масс рабочего органа ( $m_1$ ) и верхней траверсы ( $m_2$ ) ВКП в диапазоне от 10 до 15.

5. Разработана обобщенная модель технологии производства колотых изделий из природного камня, учитывающая зависимости главных показателей: сменной производительности пресса, себестоимости колотых изделий и потерь сырья при расколе камня от совокупности всех параметров технологического процесса.

6. Разработана конструкция нового перспективного винтового камнекольного пресса ВКП-1 и ВКП-50. Создан опытный образец малого винтового камнекольного пресса ВКП-50 в условиях полигона НИЦ «Природный камень» Кыргызско-Узбекского университета.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОПУБЛИКОВАНЫ В СТАТЬЯХ:

1. **Исаев, И.Э.** К созданию новой конструкции камнекольного пресса с электромеханическим винтовым приводом [Текст]: / И.Э. Исаев, Т.Т. Якубов, Р.А. Мендекеев // Наука. Образование. Техника. КУУ. – Ош, 2002.-№2.- С. 96-98.
2. **Исаев, И.Э.** Разработка динамической модели привода винтового камнекольного пресса [Текст]: / И.Э. Исаев, Т.Т. Якубов // Материалы посвященной 10-летию Ош ГУ и международному году гор. Вестник. – Ош, 2002. - №5. – С. 195-199.
3. **Исаев, И.Э.** Разработка динамической модели винтового камнекольного пресса [Текст]: / И.Э. Исаев, Т.Т. Якубов, Р.А. Мендекеев // II-Межд. научн. конф. РАН СО Институт горного дела. - Новосибирск, 2003. - № 1. – С. 161-165.
4. **Исаев, И.Э.** Результаты промышленных испытаний карьерной камнераспиловочной машины ККМ-1 [Текст]: / И.Э. Исаев, М.М. Исманов, Р.А. Мендекеев, М.Т. Мамасаидов // НОТ. КУУ. – Ош, 2003. - №1. – С. 164-167.
5. **Исаев, И.Э.** Новые камнекольные прессы для производства колотых изделий из камня [Текст]: / И.Э. Исаев, Р.А. Мендекеев, М.Т. Мамасаидов // Наука. Образование. Техника. КУУ. – Ош, 2003. - №1. – С. 177-180.
6. **Исаев, И.Э.** Исследование динамики винтового камнекольного пресса [Текст]: / И.Э. Исаев, Т.Т. Якубов, Р.А. Мендекеев, М.Т. Мамасаидов // Инст. горного дела им. Д.А. Кунаева, Межд. научно-практ. конф. – Алмата, 2005.- С. 158-162.
7. **Исаев, И.Э.** Расчет на прочность элементов грузового домкрата винтового камнекольного пресса [Текст]: / И.Э. Исаев // Известия «ОшГУ. - Ош, 2005. – С. 56-60.
8. **Исаев, И.Э.** Методика определения рациональных параметров винтового механизма камнекольного пресса ВКП-1 [Текст]: / И.Э. Исаев, Р.А. Мендекеев, М.Т. Мамасаидов // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2006. - №2. – С. 11-13.

9. **Исаев, И.Э.** Совершенствование конструкции рабочего органа камнекольного пресса [Текст]: / И.Э. Исаев, Р.А. Мендекеев, М.Т. Мамасаидов // Наука. Образование. Техника. КУУ.- Ош, 2007. – №1. – С. 99-101.

10. **Исаев, И.Э.** Винтовой электромеханический камнекольный пресс ВКП-1 [Текст]: / М.Т. Мамасаидов, Р.А. Мендекеев, С.А. Абдраимов, И.Э. Исаев // Патент № 987 KG С1 31.10.2007.

11. **Исаев, И.Э.** Разработка и создание винтового камнекольного пресса для получения колотых изделий из камня [Текст]: / И.Э. Исаев, Р.А. Мендекеев, М.Т. Мамасаидов // Инст. горного дела им. Д.А. Кунаева. – Алматы, 2005. – С. 168-171.

12. **Исаев, И.Э.** Обоснование параметров гидравлического камнекольного пресса с нижним расположением гидроцилиндра [Текст]: / И.Э. Исаев, Н.А. Калдыбаев, Р.А. Мендекеев, М.Т. Мамасаидов // Вестник. ИГУ. - Каракол, 2007. - №18. – С. 135-137.

13. **Исаев, И.Э.** Классификация камнекольных станков [Текст]: / И.Э. Исаев // Известия. КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2009.- №15. – С. 121-126.

14. **Исаев, И.Э.** Обобщенная модель и анализ производительности винтового камнекольного пресса [Текст]: / И.Э. Исаев, М.Т. Мамасаидов // Наука. Образование. Техника. КУУ. - Ош, 2013. - №2.- С.41-44.

15. **Исаев, И.Э.** Винто-гидравлический камнекольный пресс для производства колотых строительных изделий из камня [Текст]: / И.Э. Исаев, Р.А. Мендекеев, М.Т. Мамасаидов // Сб. науч. тр. Институт машиноведения НАН КР. Межд. научно-практич. конф.«Теория машин и рабочих процессов», посвященной 90-летию со дня рождения академика О.Д.Алимова. – Бишкек, 2013. – С. 228-232.

16. **Исаев, И.Э.** Винтовой электромеханический камнекольный пресс ВКП-1 [Текст]: / И.Э. Исаев // Сб. науч. тр. Инст. маш-я НАН КР. Межд. научно-практич. конф. – Бишкек, 2013. - С. 233-237.

**05.05.06 “Тоо машиналары” кесипчилигине тиешелүү техникалык илимдер кандидаты даражасына ээ болуу үчүн «Адаптивтүү таш жаруучу бурамалуу пресстин динамикалык анализи жана аны жасоо” темадагы Исаев Ильязбек Эркинбаевичтин диссертациясынын**  
**КЫСКАЧА МАЗМУУНУ**

**Ачкыч сөздөр:** пресс, бурамалуу механизм, конструкция, динамика, куч элементтери, модель, өндүрүү технологиясы.

**Изилдөө объектиси жана предмети:** Адаптивтүү таш жаруучу бурамалуу пресс.

**Иштин максаты:** Иштин негизги максаты, табийгый таштан жарылган буюмдарды алуу үчүн, адаптивтүү таш жаруучу бурама пресстин конструкциясын иштеп чыгуу өлчөмдөрүн аныктоо жана жасоо.

**Изилдөө ыкмалары:** теориялык эксперименталдык динамикалык талдоо, ыкмалары колдонулду; эксперименталдык изилдөө иштеп чыгарылган стенддин жардамы менен аткарылды.

**Илимий жаңылыгы:** Таш жаруучу пресстердин классификациясы өнүктүрүлүп, жаңы жетишкендиктери менен түзүлгөн; адаптивтүү таш жаруучу бурамалуу пресстин (ВКП) тетиктеринин жана куч элементтеринин (пресстин тулкусу, иштөөчү органы, бурамасы) динамикалык модели түзүлүп, пресстин иштеген жана куру абалдары учурундагы тетиктердин кыймылынын закон ченемдүүлүгү аныкталды; бурамалуу пресстин өлчөмдөрүн аныктоо методикасы иштелген; таш жарып алуу модели, табийгый таштан жарылган буюмдарды өндүрүүнүн технологиясы негизделген.

Адаптивтүү ВКП-1 конструкциясы иштелип чыкты. Таш жаруучу бурамалуу пресстин кичине тажырыйбалуу үлгүсү ВКП-50 иштелип чыгып жасалды жана ийгиликтүү сыноодон өттү.

**Колдонууга сунуштоолор:** жыйынтыгы адаптивтүү таш жаруучу бурамалуу пресстерди конструкциясын иштеп чыгууда, жасоодо жана тоо машиналары адистигин даярдоодо.

**Колдонуу чойросу:** адаптивтүү таш жаруучу бурамалуу пресстерди динамикасын жана технологиясын изилдоодо.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Исаева Ильязбека Эркинбаевича на тему: «Динамический анализ и создание адаптивного камнекольного пресса с винтовым приводом» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 – «Горные машины»

**Ключевые слова:** винтовой механизм, динамика, привод, элемент, разработка, конструкция, камнекольный пресс, модель, технологии производства.

**Объект исследования** - камнекольный пресс с винтовым приводом.

**Цель работы** - обоснование параметров, разработка конструкции и создание винтового камнекольного пресса с усилием до 400 кН для производства колотых изделий из природного камня.

**Методы исследования и аппаратура.** Используются методы теоретических и экспериментальных исследований, математических моделей, динамический и технологический анализ. Экспериментальные исследования проводились с помощью разработанного стенда, фотокамеры, универсальных измерительных приборов.

**Полученные результаты и их новизна.** Существенно развита классификация современных камнекольных станков и оборудования. Разработаны динамические модели и установлены закономерности «нагрузки-движения» силовых элементов и механического привода винтового камнекольного пресса. Разработана обобщенная модель и установлены зависимости главных показателей технологии производства колотых изделий из природного камня винтовыми камнекольными прессами. Научно обоснованы методики расчета и выбора рациональных параметров камнекольного пресса с винтовым приводом. Разработана приоритетная конструкция винтового камнекольного пресса типа ВКП-1, ВКП-50.

**Рекомендации по использованию:** результаты могут быть использованы при конструировании и создании адаптивных камнекольных прессов с винтовым приводом и при подготовке специалистов по горные машины.

**Область применения:** динамические и технологические исследования адаптивного камнекольного пресса с винтовым приводом.

## SUMMARY

**Isayev Ilyazbek Erkinbaevicha dissertation on "the dynamic analysis and the creation of an adaptive splitting press with screw drive " for the degree of candidate of technical sciences on specialty 05.05.06 - "Mining machines"**

**Keywords:** screw mechanism , dynamics, drive , element, design, construction, splitting the press , model, production technology.

**Object of research** - Splitting press with screw drive .

**Purpose** - to study parameters, the development of the design and creation of splitting screw press with a force of up to 400 kN for the production of chipped products from natural stone.

**Research methods and apparatus.** The methods of theoretical and experimental studies, mathematical models, dynamic and technological analysis. Experimental study of conducted using the developed stand, camera, universal measuring devices.

**The results obtained and their novelty.** Developed significantly Splitting classification of modern machines and equipment. Developed dynamic models and regularities " of loading - motion" force elements and mechanical drive screw splitting press. The generalized model and installed according to the main indicators of production technology stab of natural stone splitting screw presses. Scientifically justified methodology for calculating and rational choice splitting parameters press with screw drive. Scientifically justified methodology for calculating and rational choice splitting parameters press with screw drive. Developed a priority design screw press type splitting WCP-1, WCP-50.

**Recommendations for use:** life results can be used in the design and creation of adaptive Splitting presses with screw drive and in training of mining machinery.

**Scope:** dynamic and technological research with adaptive splitting press screw drive.





