

2000-173

Инженерная академия Кыргызской Республики
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
Институт машиноведения

На правах рукописи

УДК 621.01;622.233

ЯКУБОВ Толкун Тохтасинович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
КАМНЕКОЛЬНЫХ ПРЕССОВ ПКА
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ ДИНАМИКИ**

Специальности: 05.02.18 — «Теория механизмов и
машин»

05.05.06 — «Горные машины»

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

БИШКЕК 2000

Работа выполнена в Институте машиноведения Национальной Академии наук Кыргызской Республики и в Кыргызско - Узбекском университете

Научные руководители:

академик Международной инженерной академии, заслуженный деятель науки, докт. техн. наук, профессор **Мамасаидов М.Т.**,
академик Международной инженерной академии, докт. техн. наук, профессор **Еремьянц В.Э.**

Официальные оппоненты:

академик Инженерной академии, докт. техн. наук, профессор **Кутуев М.Д.**

кандидат технических наук, доцент **Каримов А.К.**

Ведущее предприятие – Ошский технологический университет (г. Ош)

Защита состоится «17» «декабря» 2000 г. в «10⁰⁰» часов на заседании специализированного совета Д 05.98.76 при Инженерной Академии Кыргызской Республики и Институте машиноведения Национальной Академии Наук Кыргызской Республики, 720055, г.Бишкек, ул. Скрыбина, 23

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института машиноведения НАН Кыргызской Республики.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 720055, г.Бишкек, ул.Скрыбина, 23, Институт машиноведения НАН КР, Спецсовет Д 05.98.76.

Автореферат разослан «18» «октябрь» 2000 г.

Учёный секретарь специализированного совета Д 05.98.76, канд. техн. наук

Абидов А.О.

Общая характеристика работы

Актуальность работы: Кыргызская Республика обладает большими запасами декоративного природного камня: гранита; мрамора; ракушечника и т.д. Добыча этого сырья, его переработка в строительные, архитектурные изделия и их реализация на внутреннем и внешнем рынках может стать одной из существенных статей доходов. В связи с этим проблема создания перспективного оборудования для добычи и обработки природного камня является одной из актуальных.

Эта проблема на протяжении ряда лет решается в Институте машиноведения НАН КР, а в последние годы и в Кыргызско-Узбекском университете. В предшествующие годы был разработан типоразмерный ряд камнекольных прессов типа ПКА с адаптивными рабочими органами для направленного раскола блоков крепких горных пород с усилиями от 400 до 3000 кН. Промышленные испытания опытных образцов и партий этих прессов показали их высокую производительность, малую энергоёмкость и возможность получать готовые изделия из отходов камнедобывающих и камнеобрабатывающих предприятий. В то же время испытания показали необходимость повышения долговечности отдельных элементов пресса, испытывающих динамические нагрузки при расколе камня.

В связи с этим совершенствование камнекольных прессов на основе исследования их динамики и уточнение методов расчёта и выбора их параметров является актуальной задачей.

Основная идея работы заключается в изучении динамических явлений, возникающих в прессе после раскола камня и уточнение на основе выявленных закономерностей методов расчёта и выбора параметров элементов пресса.

Целью работы является совершенствование конструкций камнекольных прессов типа ПКА на основе анализа их динамики.

Основные положения, выносимые на защиту:

- обоснование рациональности применения схемы стола с гидравлическим демпфером и методика выбора параметров его элементов;
- результаты исследования динамики гидропривода пресса и рекомендации по выбору параметров его элементов;
- эмпирические зависимости условного напряжения и усилия раскола от площади раскола блока камня;
- обобщённая модель изменения усилий на рабочем органе пресса в процессе раскола камня;
- обоснование целесообразности введения в конструкцию опор пресса дополнительных упругих элементов и методика выбора рационального коэффициента их жёсткости.

При выполнении настоящей работы использовались теоретические методы, связанные с построением динамических моделей отдельных узлов пресса и их анализом и экспериментальные методы исследования динамических процессов в элементах пресса.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана динамическая модель стола пресса, учитывающая колебание системы с неустойчивыми односторонними связями;
- дана оценка величин ударных импульсов, действующих на стол, его опоры и ограничитель при ударном взаимодействии стола с ограничителем и расколотыми частями камня, установлена их зависимость от массы обрабатываемого блока камня;
- разработана динамическая модель гидропривода пресса и определены закономерности изменения давления в гидроцилиндре и скорости движения поршня после раскола камня;
- на основании результатов экспериментальных исследований предложены эмпирические зависимости условных напряжений и усилий раскола от площади раскола камня;
- на основании результатов экспериментов предложена обобщённая модель изменения нагрузки на рабочем органе пресса в процессе раскола различных блоков пород, которая дополняет результаты ранее проведённых исследований и существенно расширяет представление о закономерности изменения нагрузки в процессе раскола камня;
- разработана динамическая модель станины пресса, учитывающая различные условия закрепления пресса на фундаменте и выявлены зависимости усилий, возникающих в колоннах пресса и элементах его крепления на фундаменте, от соотношения собственных частот колебаний станины и поршня гидроцилиндра, соотношения масс верхней и нижней траверс станины и условий закрепления пресса на фундаменте.

Практическая ценность работы включает следующее:

- разработаны методики проведения экспериментальных исследований изменения нагрузки на рабочем органе пресса в процессе раскола камня и колебания стола пресса после раскола камня;
- разработаны рекомендации по выбору параметров конструкции стола с гидроцилиндром-демпфером, обеспечивающих плавное восстановление исходного положения стола после раскола камня, исключение ударных нагрузок на элементы стола и увеличение запаса прочности его упругих опор не менее чем в 2 раза, по сравнению с существующей конструкцией;
- установлено, что при определённых размерах раскалываемого камня в гидроцилиндре могут возникать гидравлические удары, приводящие к снижению долговечности элементов гидропривода;

- разработаны рекомендации по устранению гидравлического удара в верхней полости гидроцилиндра путём установки в напорную магистраль дополнительной ёмкости и предложена методика расчёта её параметров;

- разработаны рекомендации по выбору параметров станины и её опорных элементов по условиям прочности резьбовых соединений и уменьшения динамических напряжений в станине.

Достоверность выводов, сформулированных в диссертации, подтверждена результатами теоретических и экспериментальных исследований динамики стола и гидропривода пресса, а также апробацией новой конструкции стола с гидроцилиндром-демпфером.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались: на заседаниях Учёного совета Института машиноведения НАН КР (г. Бишкек) в 1999 и 2000 годах, Кыргызско-Узбекском университете (г. Ош) в 1998 и 2000 годах; на Международных конференциях: "Механизмы переменной структуры и вибрационные машины" (г. Бишкек, Институт машиноведения, 1999 г.); "Технология и перспективы современного инженерного образования, науки и производства" (г. Бишкек, КТУ им. Раззакова, 1999 г.); "История, культура и экономика юга Кыргызстана" (г. Ош, КУУ, 2000 г.); на научной конференции, посвящённой 200-летию юбилею А.С. Пушкина в Кыргызстане (г. Бишкек, КРСУ, 1999 г.), на научно-практической конференции "Наука и наукоёмкие горные технологии" (г. Бишкек, КРСУ, 2000 г.).

Поставленные задачи решались автором диссертации в соответствии с планом научного проекта по договору с ДННТ КР на тему "Исследование динамики камнекольных прессов типа ПКА для обработки камня расколом" (1997-2000 гг.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 12 работ, в том числе 11 статей и 1 тезис доклада.

Объём работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, содержит 190 страниц машинописного текста, в том числе 14 таблиц, 74 рисунков и библиографию из 75 наименований.

Автор выражает свою признательность сотрудникам Института машиноведения НАН КР, Инженерной Академии КР, инженерно-технологического факультета Кыргызско-Узбекского университета за оказанную помощь и содействие при выполнении данной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе изложено существо и показана перспективность обработки природного камня путём раскола. Рассмотрены конструкции, принцип действия и технические характеристики существующих технических средств для обработки камня расколом, отмечены их преимущества и недостатки.

Приведено описание и изложен принцип действия камнекольных прессов типа ПКА с адаптивными рабочими органами (рис.1).

Обобщены результаты ранее проведенных экспериментальных исследований по процессу направленного раскола камня. Сформулированы задачи данной работы, для решения которых в прессе были выделены три основных элемента:

- стол пресса 1 (рис.1) на упругой опоре, предназначенный для установки камня в процессе его обработки;
- гидроцилиндр с гидросистемой 2, обеспечивающий воздействие рабочего инструмента на камень с определенным усилием;
- станина пресса 3, воспринимающая реактивные нагрузки со стороны стола и гидроцилиндра при расколе блоков камня.

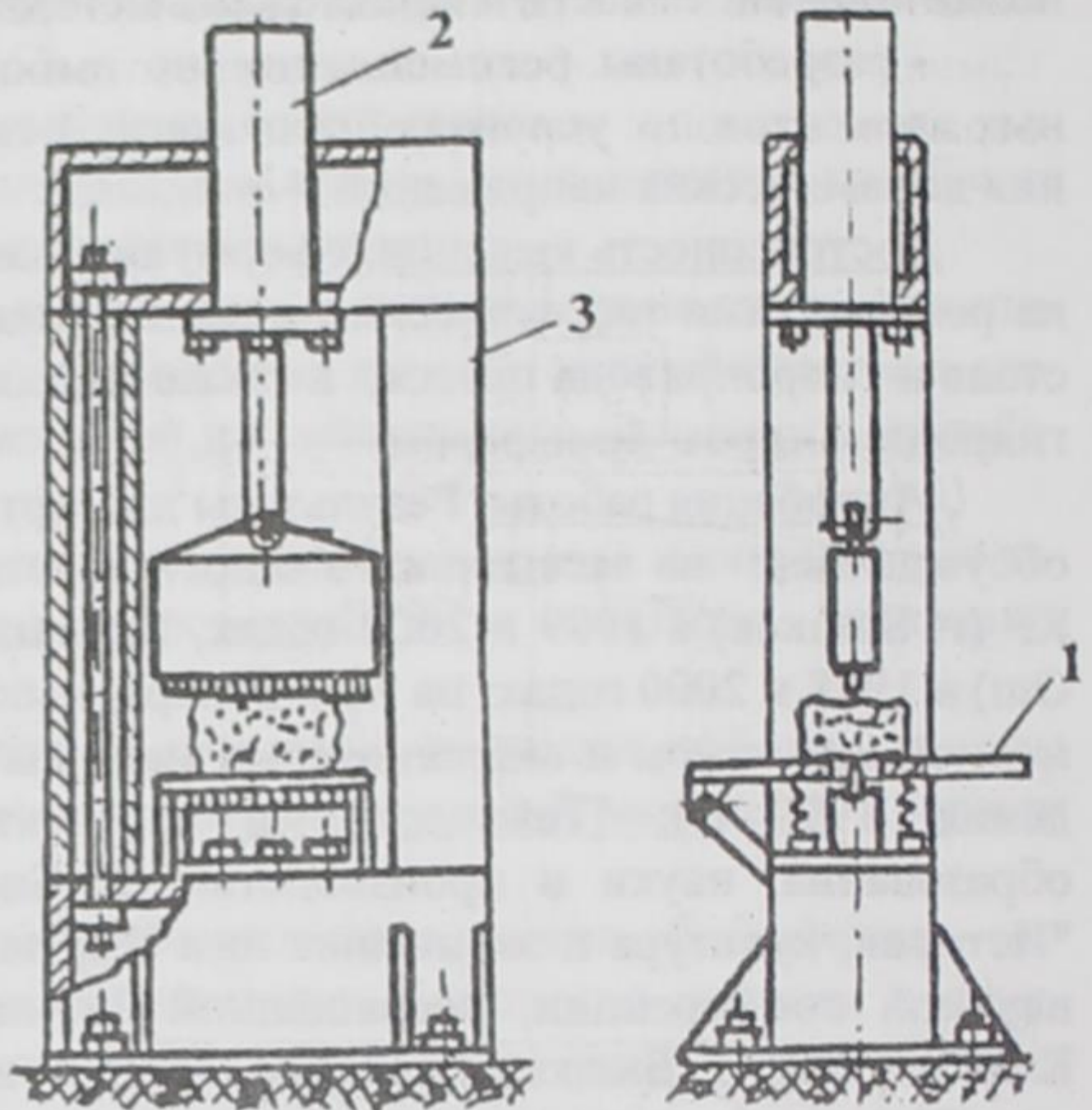


Рис.1. Конструктивная схема камнекольного пресса ПКА-800

Вторая глава посвящена исследованию колебаний стола камнекольного пресса. Разработаны динамические модели возможных вариантов конструкций стола пресса.

Рассмотрена конструкция стола без ограничителя хода (рис.2а), с неустойчивой односторонней упругой связью.

Уравнения движения для данной модели записывались в виде

$$I\ddot{\varphi} + c(\varphi + \varphi_0) = M, \quad \varphi + \varphi_0 \geq 0; \quad (1)$$

$$I\ddot{\varphi} = M, \quad \varphi + \varphi_0 < 0; \quad (2)$$

с начальными условиями: $\varphi(0) = \varphi_0$, $\dot{\varphi}(0) = 0$,

где φ - угол поворота стола при вращении вокруг шарнирной опоры, отсчитываемый от положения статического равновесия стола без камня; $I = I_c + I_k$ - суммарный момент инерции стола с камнем; $M = M_k + M_c$ - суммарный момент от силы тяжести камня и стола; φ_0 - предварительный угол поворота стола при деформации пружины от силы тяжести стола $\varphi_0 = M_c/c$; c - коэффициент жесткости упругой опоры, определяемый из условия, что при установке блока камня с максимальной массой стол должен поворачиваться на угол φ_0 (рис.2) до образования контакта лезвий нижнего рабочего органа с камнем.

На основе решения уравнений (1), (2) получены зависимости изменения усилий в упругой опоре P_y и шарнирной опоре N_A от времени (рис.2б,в) при обработке камней с различной массой. Определены диапазоны изменения массы камня, в которых обеспечивается безотрывный режим работы стола и режим с отрывом стола от упругой опоры.

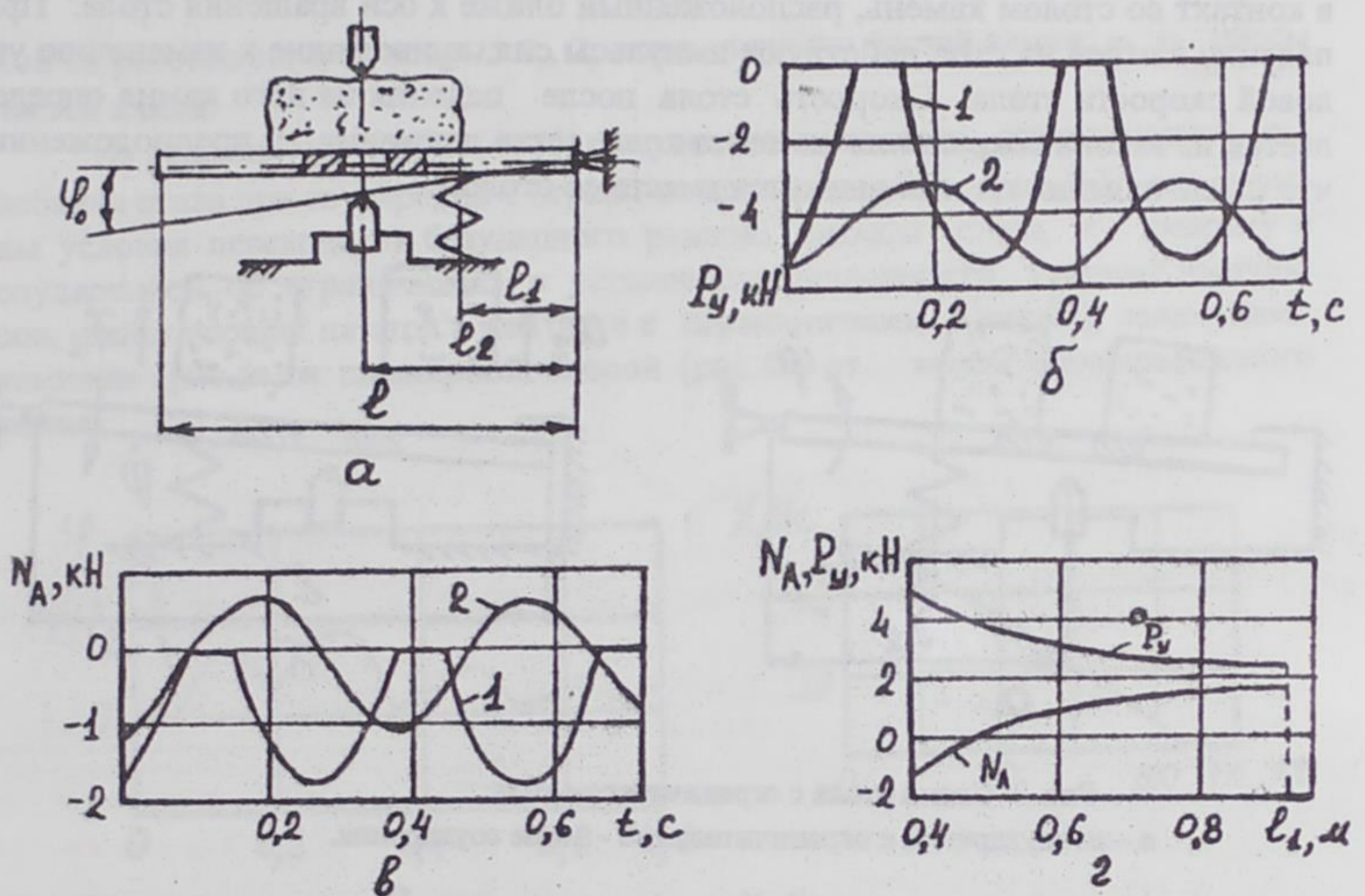


Рис.2. Схема стола без ограничителя хода (а), диаграммы зависимости от времени реакций в упругой опоре (б), шарнирной опоре(в) и диаграммы зависимости реакций в опорах от расстояния между ними (г). 1- $m_x = 10$ кг, 2 - $m_x = 208$ кг.

Из полученных зависимостей (рис.2г) определено рациональное значение расстояния между опорами стола пресса ПКА-800 ($l_1 = 0,7$ м) с точки зрения уменьшения динамических нагрузок в опорах.

При исследовании колебаний стола с жёстким ограничителем хода разработана динамическая модель стола, учитывающая его соударение с ограничителем и неудерживающие связи частей камня со столом (рис.3). Из-за наличия неудерживающих связей после удара об ограничитель стол отскакивает от него вниз со скоростью, определяемой коэффициентом восстановления скорости $R = -\dot{\varphi}_+ / \dot{\varphi}_-$. Камни после удара продолжают двигаться вверх с различны-

ми скоростями \dot{x}_1 и \dot{x}_2 определяемыми угловой скоростью стола в момент удара $\dot{\varphi}_-$ и расстояниями от оси вращения стола до центра тяжести соответствующего камня l_{c1} или l_{c2} . Части камня, имея различную скорость в момент отделения от стола, поднимаются на различную высоту x_1 и x_2 и падают на стол в различные моменты времени t_1 и t_2 с различными скоростями. Первым входит в контакт со столом камень, расположенный ближе к оси вращения стола. При падении камней на стол действуют импульсы сил, приводящие к изменению угловой скорости стола. Скорость стола после падения на него камня определяется из закона сохранения момента количества движения, в предположении, что после падения камень движется вместе со столом.

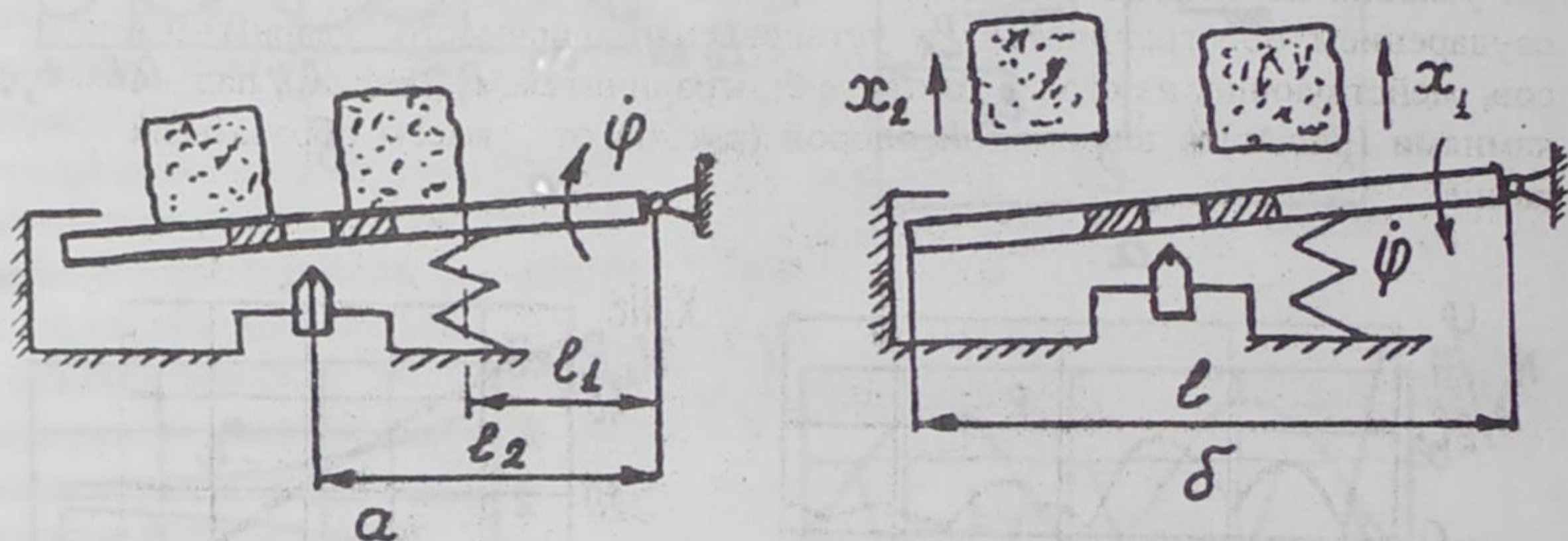


Рис. 3. Схема стола с ограничителем хода:
а - до соударения с ограничителем; б - после соударения.

С учётом изложенного динамическая модель стола записывалась в виде системы дифференциальных уравнений:

до удара стола об ограничитель $0 < t < t^*$

$$I\ddot{\varphi} + c(\varphi + \varphi_1) = M; \quad (3)$$

после удара об ограничитель $t^* < t < t_1$

$$I_c \ddot{\varphi} + c(\varphi + \varphi_1) = M_c; \quad m_1 \ddot{x}_1 = G_1; \quad m_2 \ddot{x}_2 = G_2; \quad (4)$$

после падения на стол одной части камня $t_1 < t < t_2$

$$(I_c + I_{c1})\ddot{\varphi} + c(\varphi + \varphi_1) = M_c + M_{c1}; \quad m_2 \ddot{x}_2 = G_2; \quad (5)$$

после падения на стол второй части камня $t_2 < t$

$$I\ddot{\varphi} + c(\varphi + \varphi_1) = M. \quad (6)$$

Начальные условия для решения этих уравнений имели вид:

$$\varphi(0) = \varphi_0, \quad \dot{\varphi}(0) = 0;$$

$$\varphi(t^*) = 0, \quad x_1(t^*) = 0, \quad x_2(t^*) = 0, \quad \dot{\varphi}_+(t^*) = -R\dot{\varphi}_-(t^*), \quad \dot{x}_1(t^*) = \dot{\varphi}_-(t^*)l_{c1},$$

$$\dot{x}_2(t^*) = \dot{\varphi}_-(t^*)l_{c2};$$

$$\varphi(t_1) = \frac{x_1(t_1)}{l_{k1}}, \quad \dot{\varphi}_+(t_1) = \frac{I_c \dot{\varphi}_-(t_1) + m_1 \dot{x}_1(t_1) l_{k1}}{I_c + I_{k1}};$$

$$\varphi(t_2) = \frac{x_2(t_2)}{l_{k2}}, \quad \dot{\varphi}_+(t_2) = \frac{(I_{k1} + I_c) \dot{\varphi}_-(t_2) + m_2 \dot{x}_2(t_2) l_{k2}}{I},$$

где $\varphi_1 = \frac{\delta}{l_1}$, δ - величина предварительной затяжки пружины, установленной на расстоянии l_1 от опоры; G_1, G_2 - силы тяжести частей камня; m_1, m_2 - массы частей камня.

Из решения уравнений (4)-(6) получены зависимости, описывающие колебания стола при соударении с ограничителем и камнями (рис.4а), определены условия перехода от безударного режима работы стола к режиму с соударением об ограничитель и установлены зависимости ударных импульсов, действующих на стол в контакте с ограничителем (рис.4б), падающими камнями (рис.4в) и шарнирной опорой (рис.4г) от массы обрабатываемого камня.

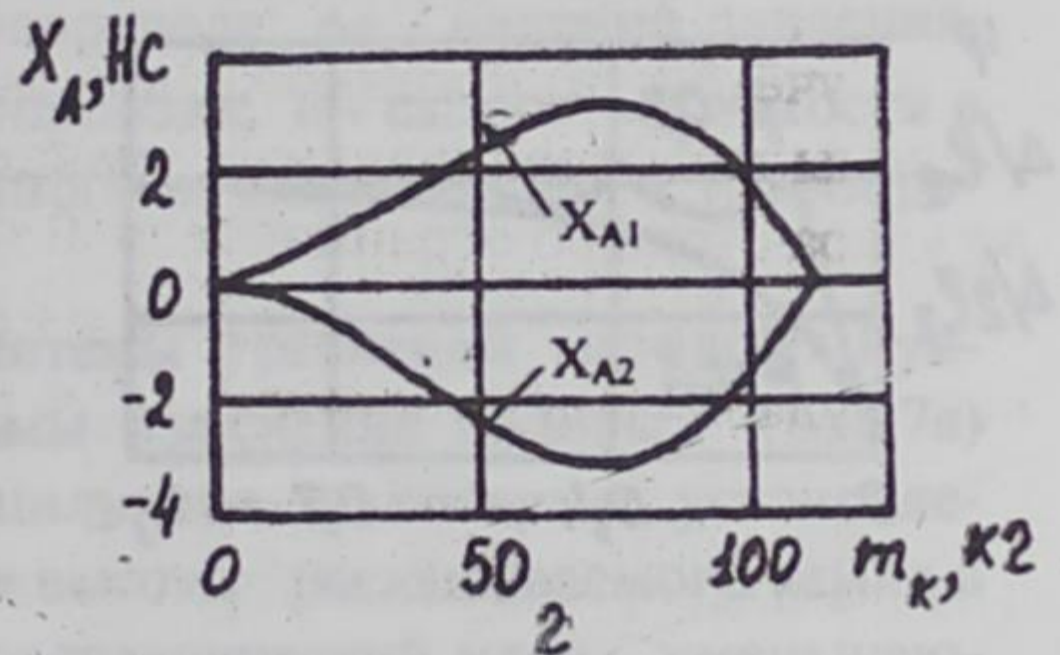
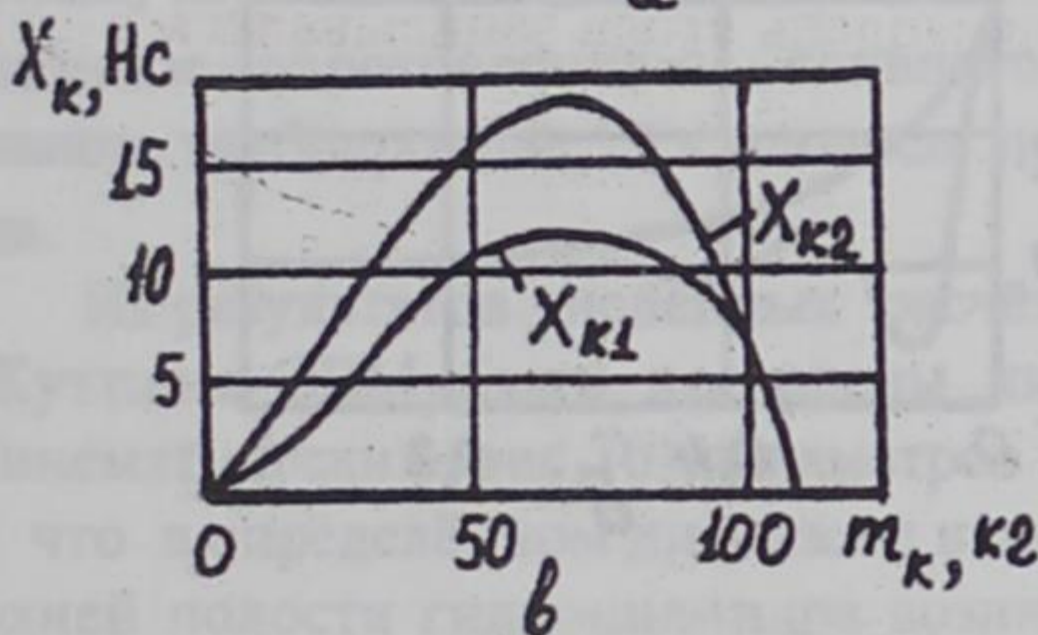
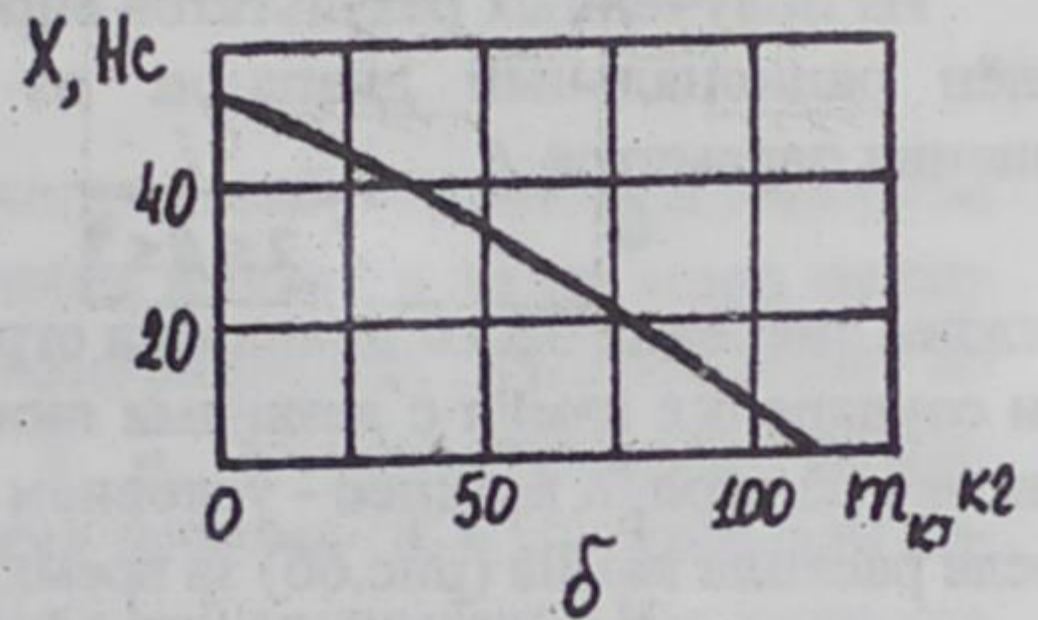
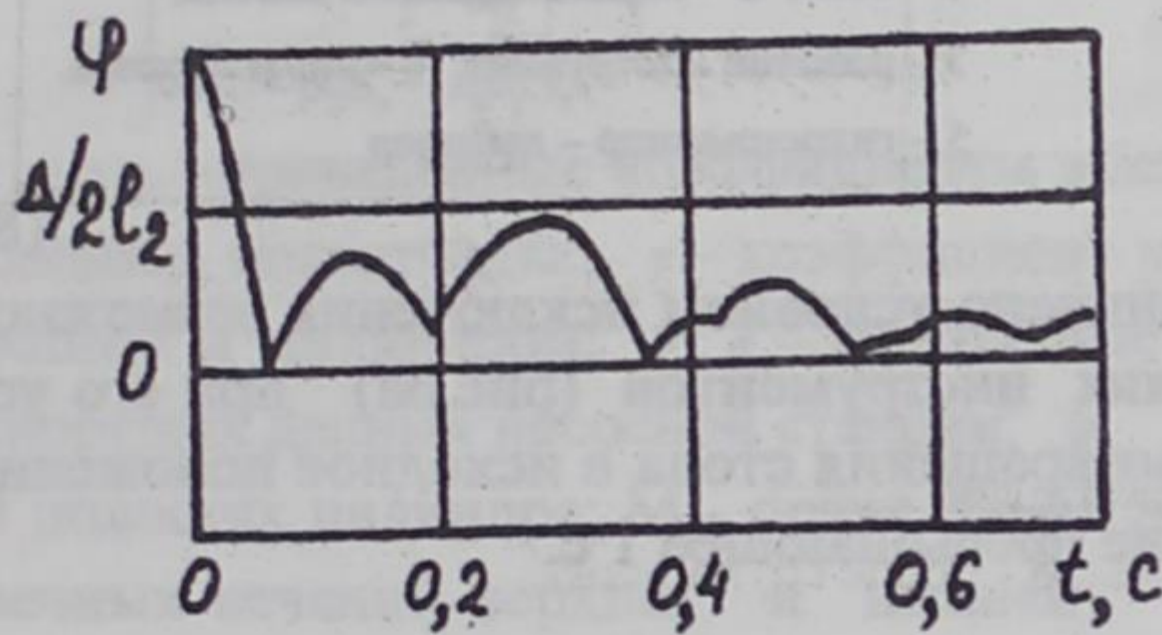


Рис. 4. Диаграммы перемещений стола в зависимости от времени (а) и диаграммы изменения ударных импульсов, действующих на стол в контакте с ограничителем (б), падающими камнями (в), и шарнирной опорой (г).

Для устранения ударных нагрузок в опорах стола предложено использовать конструкцию стола с гидравлическим демпфером (рис.5).

Динамическая модель для этой системы имела вид:

$$I\ddot{\varphi} + b\dot{\varphi} + c\varphi = M_e, \tag{7}$$

где $b\dot{\varphi}$ – момент вязкого сопротивления; b – коэффициент вязкого сопротивления.

На основе анализа этой модели построены диаграммы колебания стола при установке на него камня (рис.6а) и после раскола камня (рис.6б) при различных значениях $\beta = \frac{h}{\lambda}$, где $h = \frac{b}{2I}$ – коэффициент

демпфирования, $\lambda = \sqrt{\frac{c}{I}}$ – собственная частота колебаний стола.

Из полученных результатов определён рациональный диапазон изменения параметра β

$$2 \leq \beta \leq 3.$$

Нижнее значение этого диапазона ограничено условием исключения возможности соударения камня с лезвиями нижних инструментов (рис.6а) при его установке на стол, а верхнее – условием возвращения стола в исходное положение после раскола камня (рис.6б) за время, не превышающее 1 с.

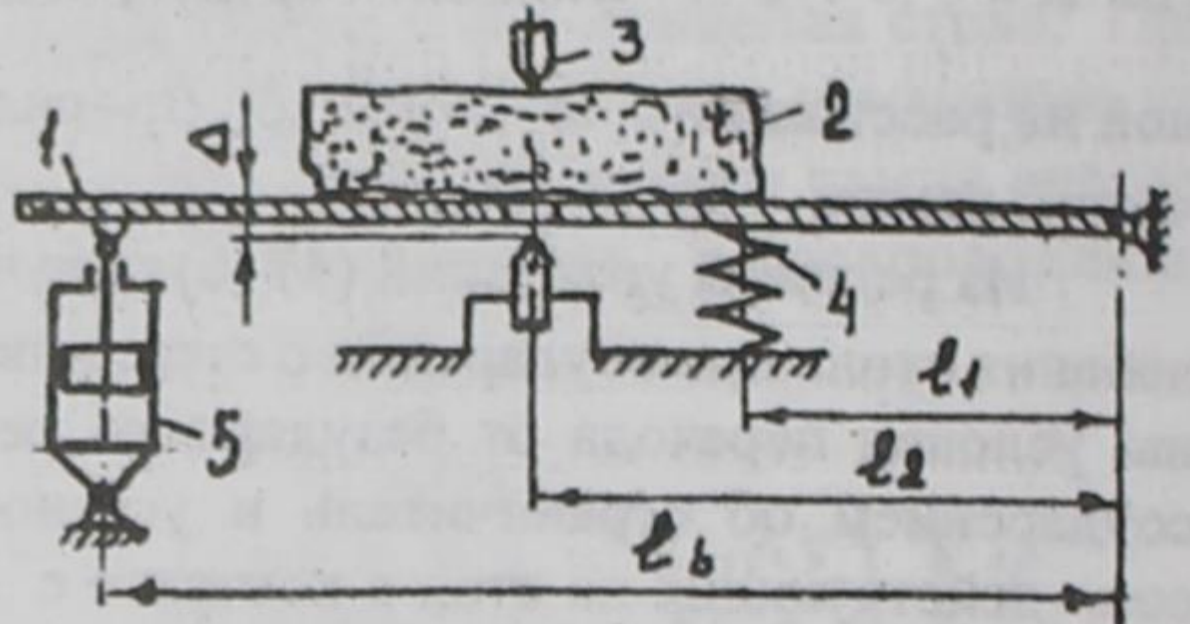


Рис.5. Динамическая модель стола

с гидравлическим демпфером

- 1 – стол, 2 – обрабатываемый камень,
- 3 – рабочий инструмент, 4 – упругая опора
- 5 – гидроцилиндр – демпфер

(8)

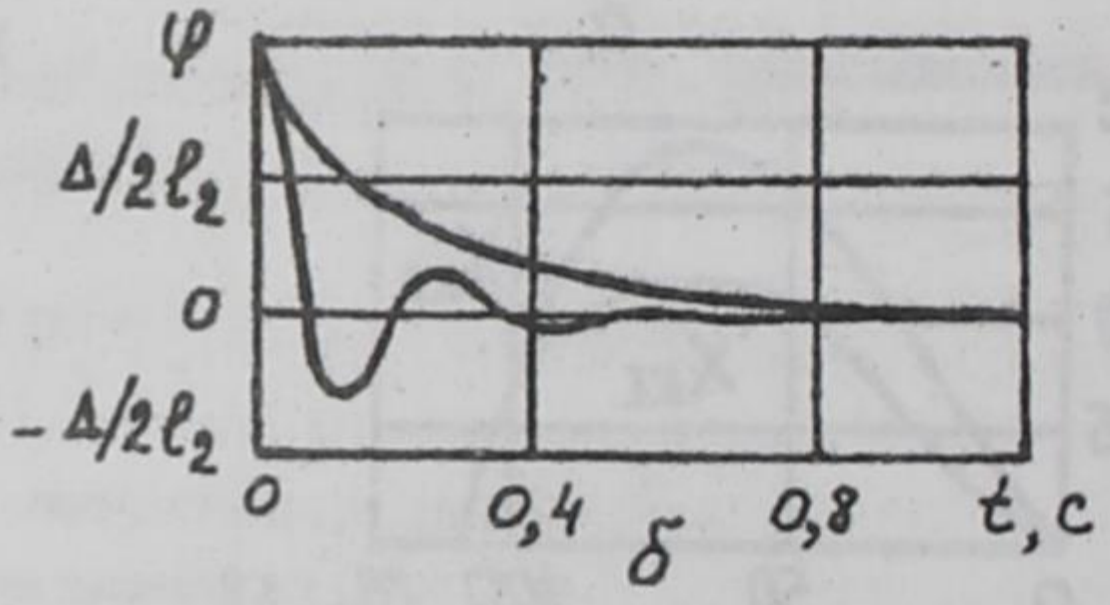
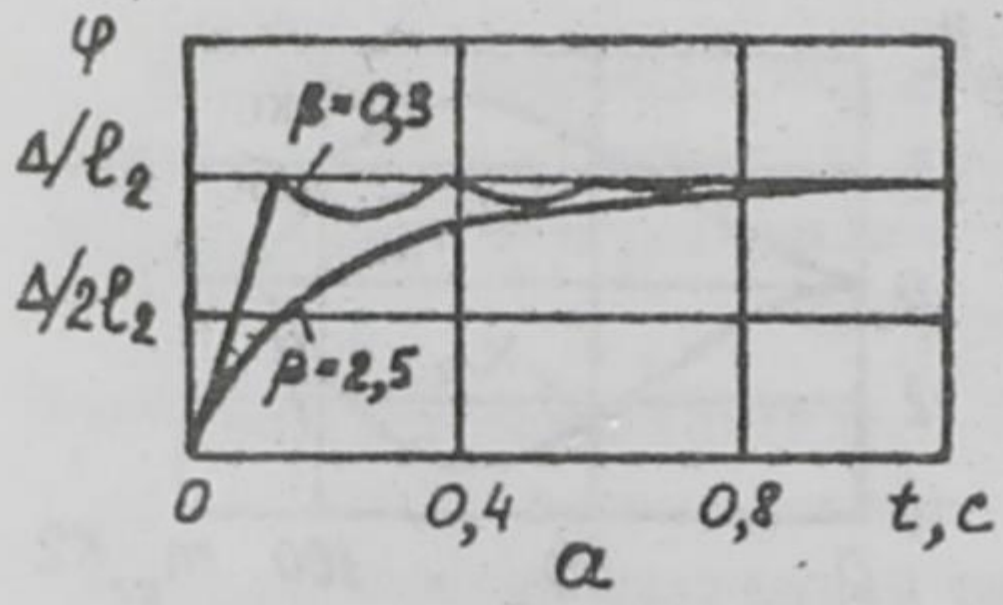


Рис. 6. Диаграммы перемещения стола при установке на него камня (а) и после раскола камня (б)

С учётом условия (8) параметры гидроцилиндра-демпфера должны обеспечивать требуемый коэффициент вязкого сопротивления, равный

$$b_T = (4...6) \cdot \sqrt{cI_c}. \tag{9}$$

Приведены возможные варианты конструкций гидроцилиндра-демпфера и предложена методика расчёта их параметров, обеспечивающих выполнение требования (9). С использованием этой методики разработаны рекомендации по выбору параметров элементов стола пресса ПКА-800, которые позволяют устранить ударные нагрузки на стол и увеличить запас прочности пружин по сравнению с существующей конструкцией стола не менее, чем в 2 раза. Эти рекомендации использованы при разработке новой конструкции стола с гидроцилиндром-демпфером, которая в период опытно-промышленных испытаний обеспечила возлагаемую на неё функцию.

В третьей главе изложены результаты исследования динамических процессов в гидросистеме пресса после раскола камня.

Динамическая модель гидроцилиндра представлялась в виде:

$$\begin{cases} M\dot{V} = p_1 S_1 - p_2 S_2; \\ \frac{p_0 - p_1}{A_{x2}} = VS_1 + \frac{\dot{p}_1 S_1^2}{\alpha_1} + \gamma(p_1 - p_2); \\ uS_c = VS_2 - \frac{\dot{p}_2 S_2^2}{\alpha_2} + \gamma(p_1 - p_2); \\ m\dot{u} = p_2 S_c - \Delta p_c S_c, \end{cases} \quad (10)$$

где $\alpha_1; \alpha_2$ - приведённые коэффициенты жёсткости столба жидкости в напорной и сливной магистралях; γ - коэффициент утечки жидкости через зазор между поршнем и цилиндром; $p_0; A_x$ - постоянные коэффициенты, определяемые из паспортных данных насосной станции; p_1 и p_2 - давления в верхней и нижней полостях цилиндра; M - приведённая масса поршня; S_1 и S_2 - площади поперечных сечений верхней и нижней полостей цилиндра; V - скорость поршня; m - масса жидкости в сливном трубопроводе; Δp_c - падение давления, вызванное сопротивлениями сливного трубопровода; u - скорость жидкости в сливном трубопроводе; S_c - площадь поперечного сечения сливного трубопровода.

Из результатов численных расчётов системы уравнений методом Рунге-Кутты на ЭВМ были построены диаграммы изменения силовых (рис.7а) и кинематических (рис.7б) параметров гидроцилиндра, по которым установлено, что в определённом диапазоне изменения высоты раскалываемого камня в верхней полости гидроцилиндра возникает гидравлический удар, уменьшающий долговечность элементов гидропривода пресса.

Путём упрощения динамической модели гидроцилиндра пресса получено аналитическое решение, которое позволяет описывать динамику гидросистемы до первого гидравлического удара в верхней полости гидроцилиндра с погрешностью 11-12%. С использованием этой модели получены формулы, определяющие закономерности изменения давления в гидроцилиндре и скорости движения поршня после раскола камня. Из них следует, что

для исключения удара в верхней полости гидроцилиндра должно выполняться условие

$$\alpha_1 \leq \alpha_2 \quad \text{или} \quad \frac{S_1}{l_{n1}} \leq \frac{S_2}{l_{n2}}, \quad (11)$$

где l_{n1} и l_{n2} - приведённые длины верхней и нижней полостей гидроцилиндра.

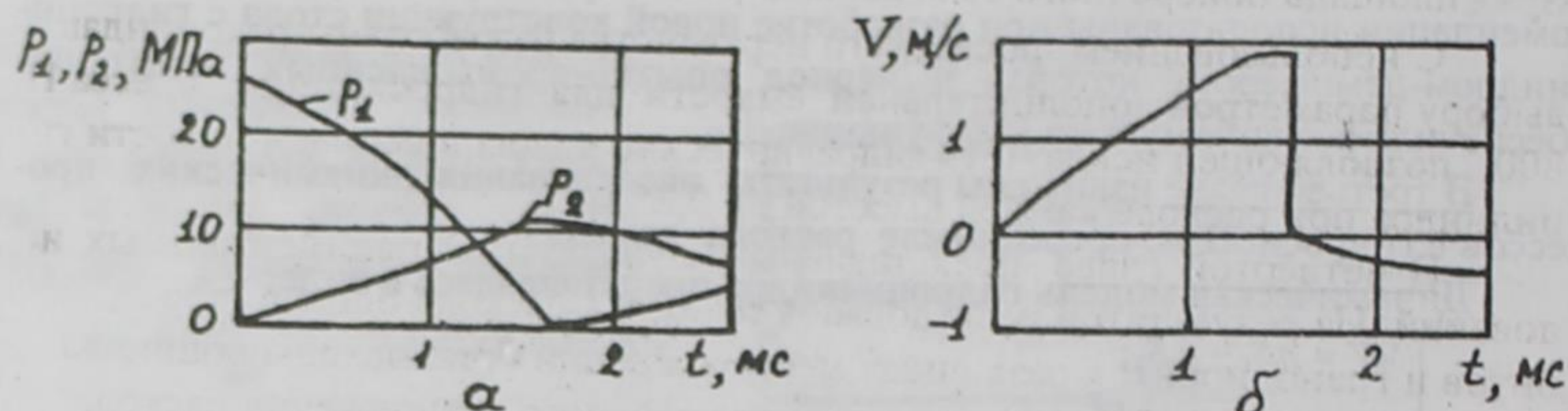


Рис. 7. Диаграммы изменения давлений в верхней p_1 и нижней p_2 полостях гидроцилиндра (а), скорости поршня V (б) в зависимости от времени

Из полученного решения установлено, что изменение высоты обрабатываемого камня приводит к изменению отношения коэффициентов жёсткостей верхней и нижней полостей гидроцилиндра $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ и скорости поршня в момент удара V_m (рис.8). Для пресса ПКА-800 условие (11) выполняется только при расколе камней с высотой h_k менее 0,115 м.

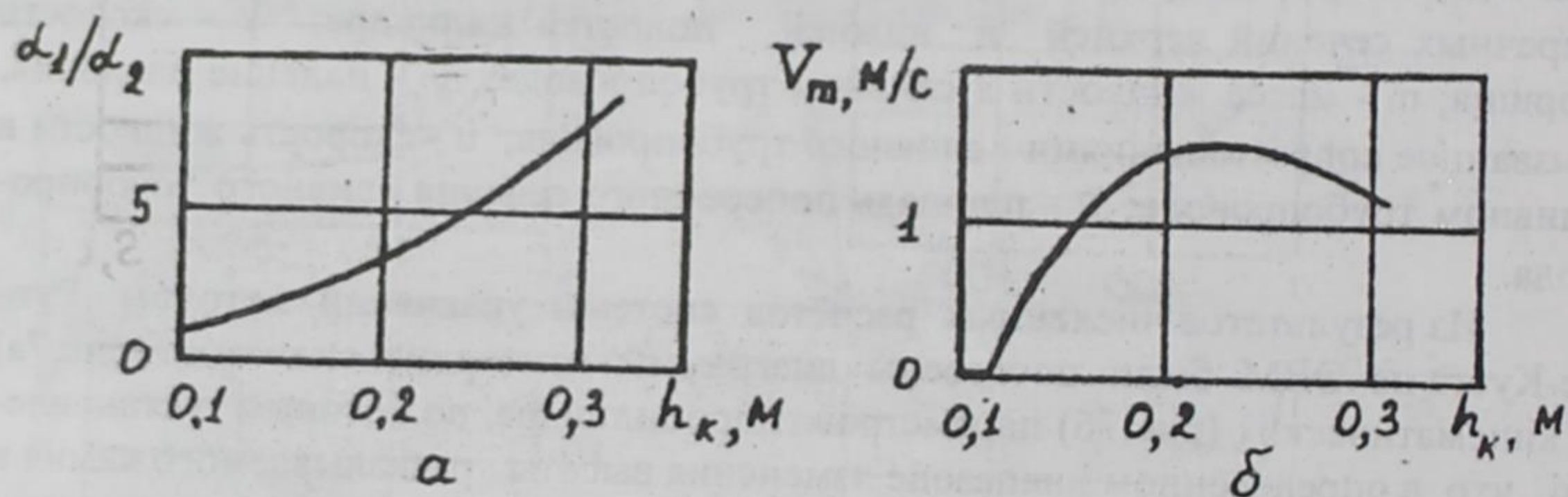


Рис. 8. Диаграммы изменения отношения коэффициентов жёсткостей верхней α_1 и нижней α_2 полостей гидроцилиндра (а), скорости поршня в момент удара (б) в зависимости от высоты камня для пресса ПКА-800

Одним из наиболее простых путей удовлетворения этого условия при других размерах камня является введение в напорную магистраль дополни-

тельной ёмкости, площадь поперечного сечения которой S_0 и длина l_0 находятся из соотношения

$$S_0 l_0 \geq \frac{S_1^2 l_{n2} - S_1 S_2 l_1 - S_n S_2 l_n}{S_2}, \quad (12)$$

где l_1 и l_n - длины верхней полости гидроцилиндра и напорного трубопровода; S_n -- площадь поперечного сечения напорного трубопровода.

С использованием последнего неравенства разработаны рекомендации по выбору параметров дополнительной ёмкости для гидросистемы пресса ПКА-800, позволяющей исключить гидравлические удары в верхней полости гидроцилиндра при расколе камней высотой до 0,25 м.

В четвёртой главе представлены результаты экспериментальных исследований. Из результатов исследования процесса раскола блоков пород из гранитов и гранодиоритов различных месторождений установлены общие для этих типов пород эмпирические зависимости условного напряжения раскола и усилия раскола от площади поперечного сечения блока пород (рис.9)

$$\tau_p = \frac{k[\sigma_{сж}]}{\sqrt[3]{S^2}}, \quad (\text{МПа}), \quad P = k[\sigma_{сж}] \cdot 10^6 \sqrt[3]{S}, \quad (\text{Н}), \quad (13)$$

где k - коэффициент, учитывающий снижение прочности породы из-за наличия микротрещин, пористости, влажности и т.д., который изменяется в диапазоне $(4,5...6) \cdot 10^{-3} \text{ м}^{\frac{4}{3}}$, $[\sigma_{сж}]$ - предел прочности породы на сжатие в МПа, S - площадь раскола, м^2 .

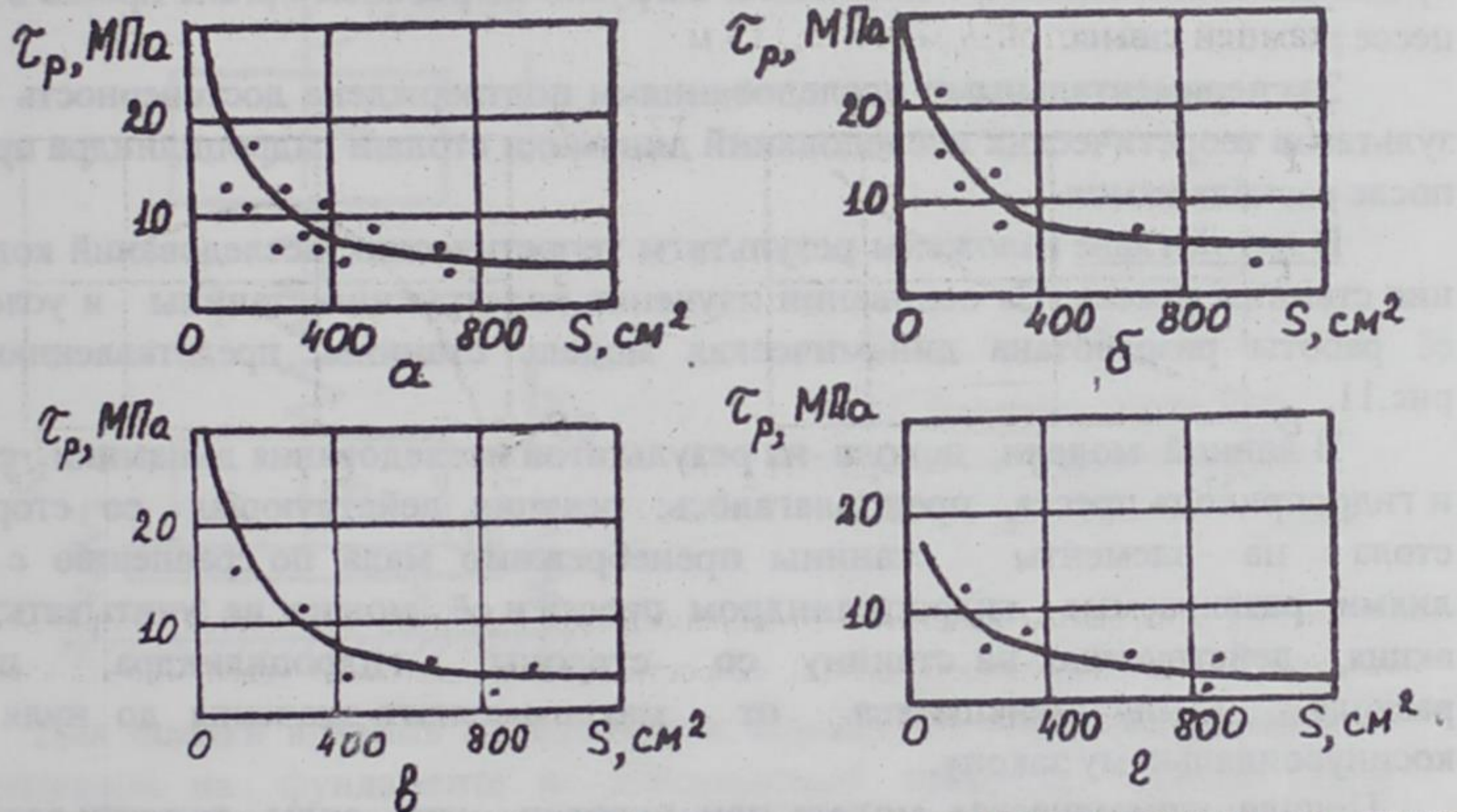


Рис. 9. Диаграммы зависимостей условного напряжения раскола от площади поверхности раскола. а - гранодиорит, б - пикрит, в - гранит розовый "Каинда", г - гранит "Курдай".

На основании результатов экспериментальных исследований установлено, что общую картину изменения усилий на рабочем органе пресса от времени в процессе раскола камня можно представить в виде обобщённой диаграммы, показанной на рис.10. Из этой диаграммы видно, что процесс раскола блока можно разделить по времени на два этапа. Первый этап, длительностью t_1 , связан с нагружением блока до начала его объёмного разрушения, а второй этап, длительностью t_2 , с самим процессом разрушения, который характеризуется наличием нескольких спадов и пиков нагрузки на рабочем органе. Число этих пиков и время t_2 возрастает с увеличением размеров камня.

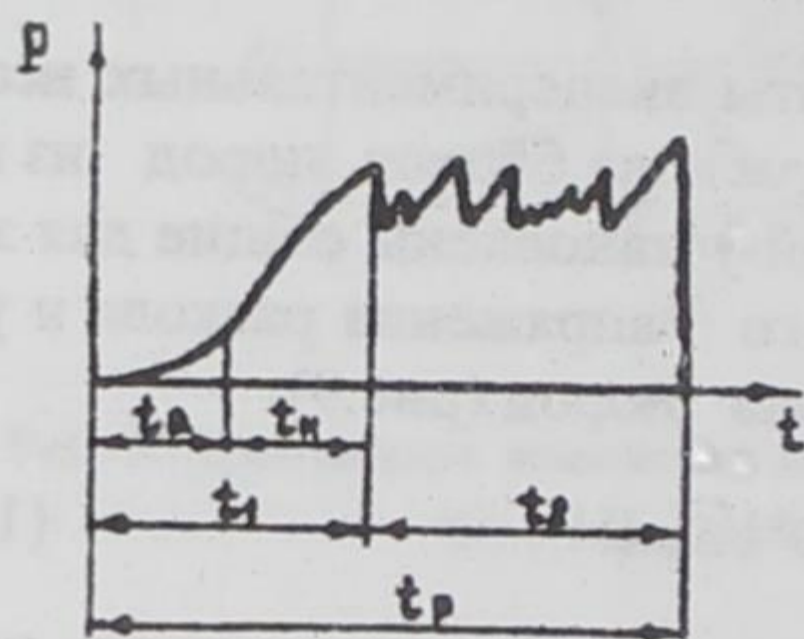


Рис.10. Диаграмма изменения усилий на рабочем органе пресса в процессе раскола блока

Полученные результаты дополняют результаты предшествующих исследований, проведённых на образцах камня малых размеров (для которых второй этап длительностью t_2 вообще не наблюдался) и существенно расширяют представления о характере изменения нагрузки на рабочем органе пресса в процессе раскола камня.

Экспериментальными исследованиями подтверждена достоверность результатов теоретических исследований динамики стола и гидроцилиндра пресса после раскола камня.

В пятой главе изложены результаты теоретических исследований колебания станины пресса. На основании изучения конструкции станины и условий её работы разработана динамическая модель станины, представленная на рис.11.

В данной модели, исходя из результатов исследования динамики стола и гидропривода пресса, предполагалось: реакция, действующая со стороны стола на элементы станины пренебрежимо мала по сравнению с усилиями, развиваемые гидроцилиндром пресса и её можно не учитывать; реакция, действующая на станину со стороны гидроцилиндра, — после раскола камня уменьшается от максимального значения до нуля по косинусоидальному закону.

Полная динамическая модель при условии, что силы тяжести верхней и нижней траверс пренебрежимо малы по сравнению с усилием P_0 , описывалась системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c_1(x_1 - x_2) = \begin{cases} P_0 \cos \lambda t, & \text{при } \lambda < \frac{\pi}{2}; \\ 0, & \text{при } \lambda > \frac{\pi}{2} \end{cases} \\ m_2 \ddot{x}_2 - c_1(x_1 - x_2) + c_2 x_2 = 0, \end{cases} \quad (14)$$

с начальными условиями:

$$x_1(0) = \frac{P_0}{c_1}, \quad x_2(0) = 0, \quad \dot{x}_1(0) = 0, \quad \dot{x}_2(0) = 0;$$

$$x_1(t_1) = x_{1_0}, \quad x_2(t_1) = x_{2_0}, \quad \dot{x}_1(t_1) = \dot{x}_{1_0}, \quad \dot{x}_2(t_1) = \dot{x}_{2_0},$$

где m_1 - приведённая масса верхней траверсы, включающая массу траверсы, гидроцилиндра и половину массы колонн; m_2 - приведённая масса нижней траверсы, включающая массу самой траверсы и половину массы колонн; c_1 - приведённый коэффициент жёсткости упругого элемента, моделирующего продольную жёсткость колонн и изгибную жёсткость траверс; c_2 - приведённый коэффициент жёсткости анкерных болтов крепления пресса на фундаменте и виброизолирующих элементов; P_0 - максимальное усилие развиваемое прессом; λ - собственная частота колебаний поршня гидроцилиндра; x_{1_0} и x_{2_0} - перемещения масс m_1 и m_2 в момент времени $t_1 = \frac{\pi}{2\lambda}$, соответствующий началу свободных колебаний системы.

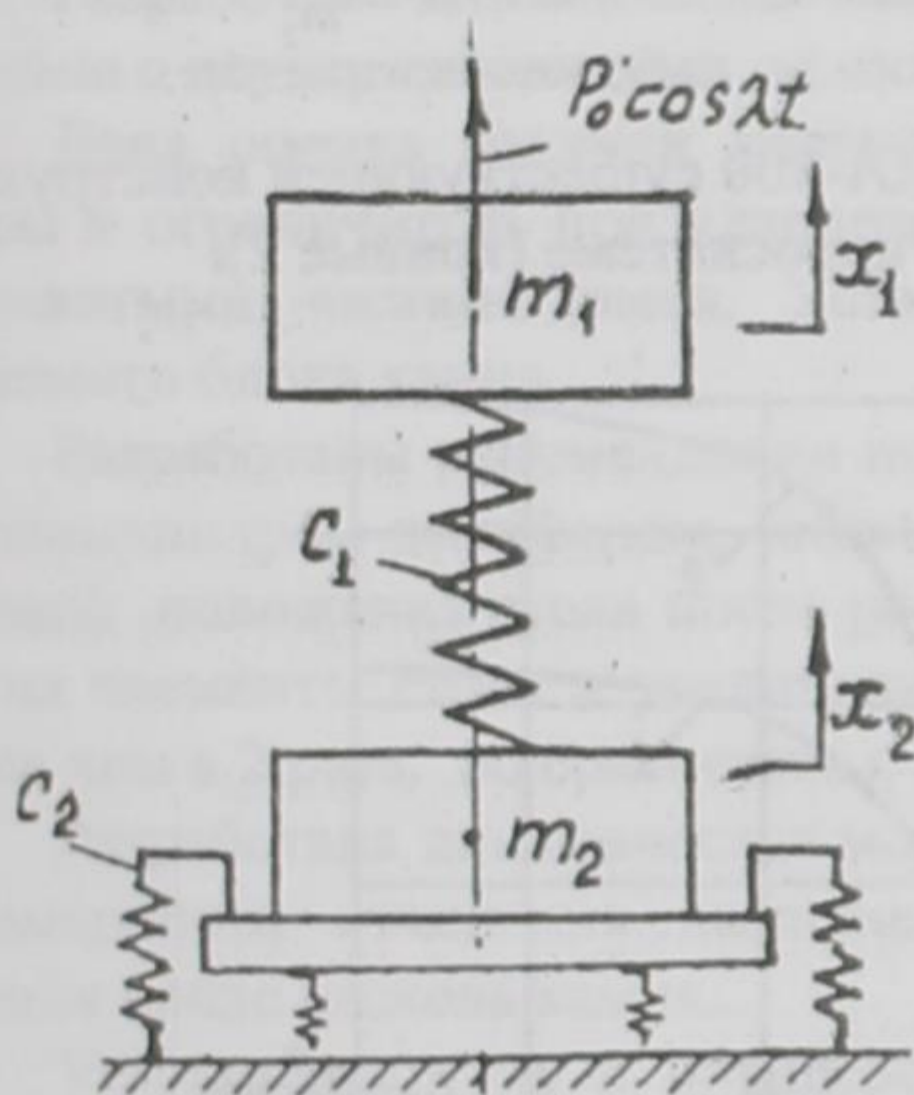


Рис. 11. Динамическая модель станины камнескольного пресса

Для оценки влияния на колебания станины её параметров, условий закрепления на фундаменте и действующей нагрузки вначале были рассмотрены два крайних случая. В первом случае предполагалось, что нижняя траверса станины жёстко связана с фундаментом и в решении уравнений (14) принималось $m_2 \rightarrow \infty$. В этом случае максимальные усилия в станине определяются только отношением собственных частот колебаний станины и поршня гидроцилиндра $\beta = \frac{h}{\lambda}$ (рис. 12, кривая 1).

Во втором случае считалось, что станина не закреплена на фундаменте и в решении (14) принималось $c_2 = 0$. В этом случае амплитуда усилий в станине зависит как от параметра β , так и от отношения масс верхней и нижней траверс $\mu = \frac{m_1}{m_2}$ (рис. 12, кривые 2, 3).

Из анализа полученных результатов (рис. 12) следует, что динамические нагрузки в станине могут существенно зависеть и от условий закрепления пресса на фундаменте.

Решением полной модели (14) получены расчётные формулы для определения усилий, возникающих в колоннах пресса и элементах его крепления на фундаменте при колебаниях станины. С использованием этих формул построены графики зависимости максимальных усилий в колоннах станины P_1 и в опорных элементах P_2 от коэффициента

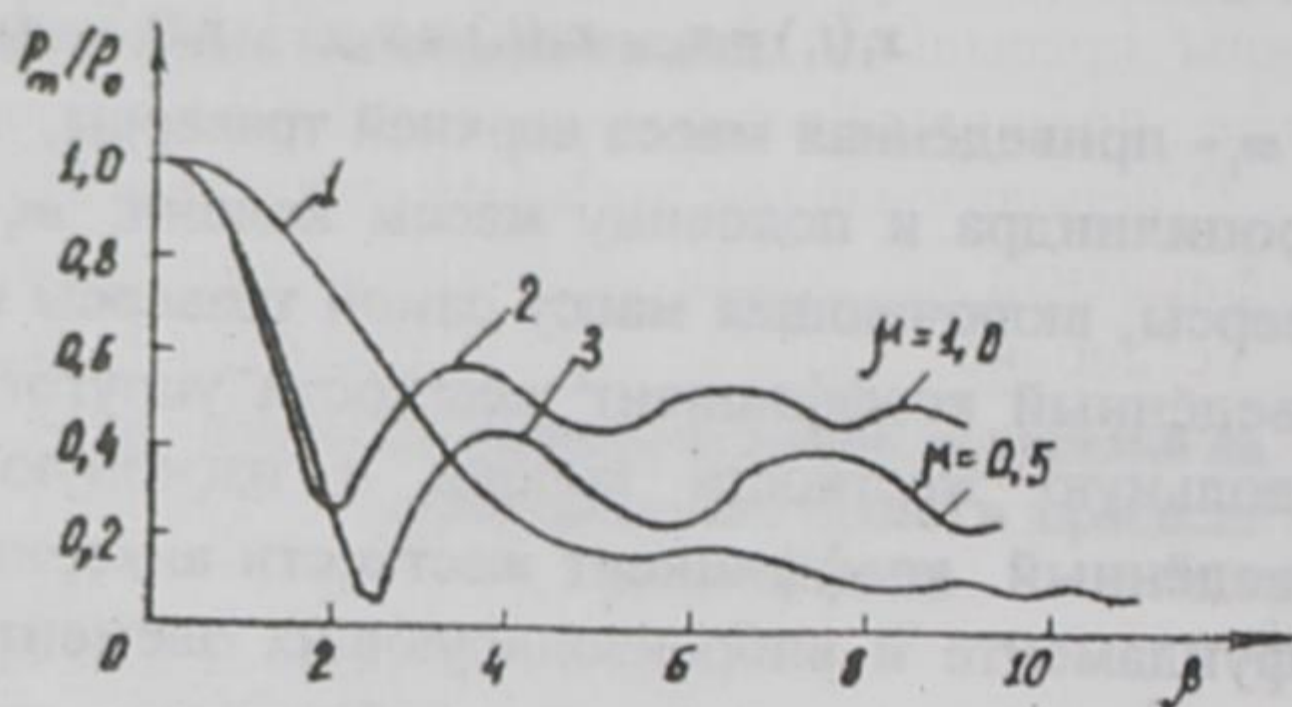


Рис. 12. Диаграмма изменения максимальных усилий в колоннах в зависимости от β при различных значениях $\mu = \frac{m_1}{m_2}$

циента приведённой жёсткости этих элементов (рис. 13) для пресса ПКА-800 существующей конструкции (кривые 1) и с дополнительной ёмкостью в гидросистеме (кривые 2).

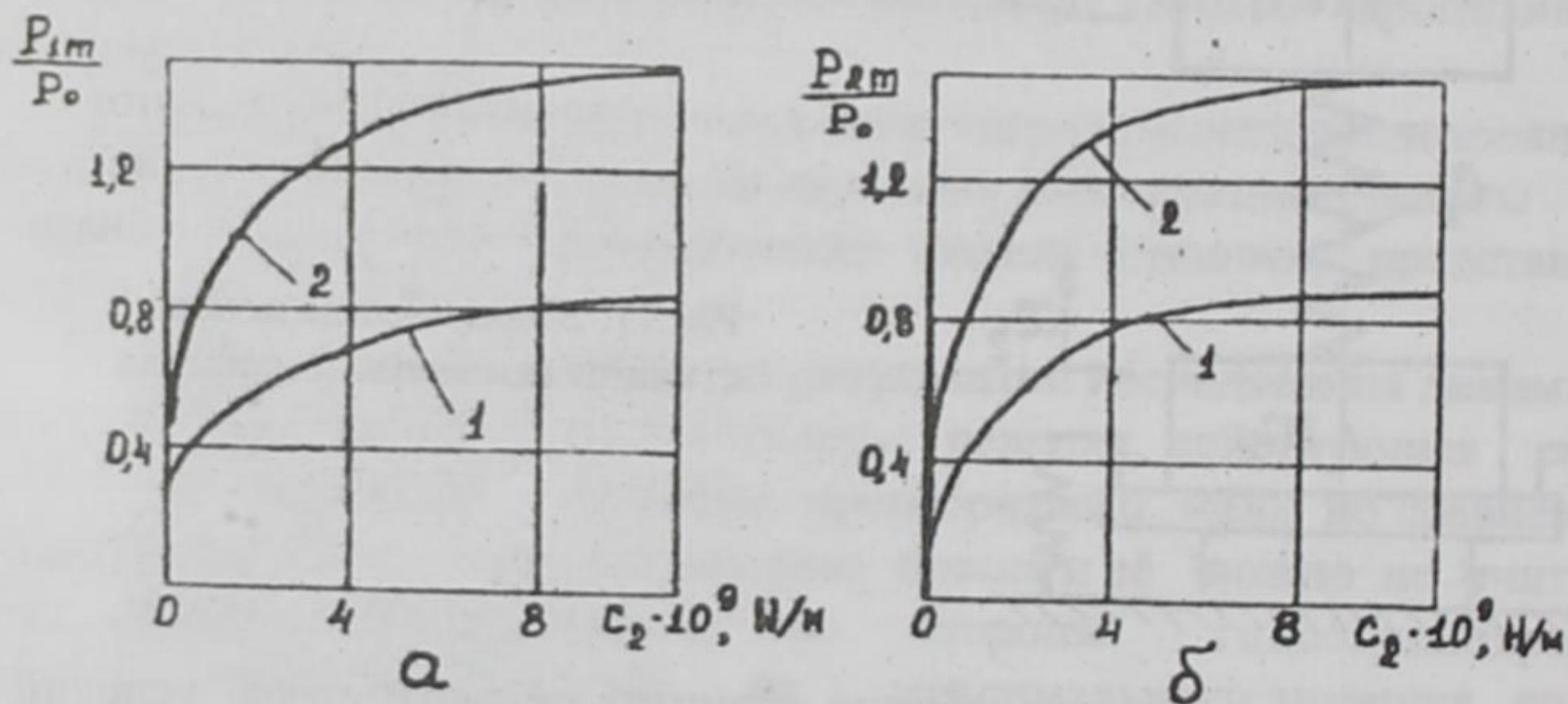


Рис. 13. Диаграммы изменения максимальных динамических нагрузок, возникающих в колоннах (а) и опорных элементах крепления станины на фундаменте (б) в зависимости от приведённого коэффициента жёсткости c_2

Из этих графиков видно, что в случае установки в гидросистеме пресса дополнительной ёмкости, динамические нагрузки в станине могут превышать значения максимального статического усилия, развиваемого прессом, в 1,4 раза (рис.13а), а в анкерных болтах в 1,45 раз (рис.13б). Эти усилия могут быть уменьшены при установке в опорах пресса дополнительных виброгасящих упругих элементов. Разработана методика выбора параметров этих элементов, в основу которой положены два требования – динамические усилия в колонне не должны превышать максимальных статических усилий, развиваемых прессом и запас прочности резьбовых соединений в опоре должен быть не менее 2,5.

С использованием этой методики разработаны рекомендации по выбору коэффициента жёсткости упругих элементов в опоре, которые позволяют даже при установке дополнительной ёмкости в гидросистеме пресса уменьшить максимальные динамические нагрузки в колоннах в 1,2 раза, а в анкерных болтах в 4,7 раз по сравнению с существующей конструкцией пресса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе решена задача совершенствования конструкции камнекольных прессов ПКА на основе анализа их динамики. При решении задачи получены следующие основные результаты.

Разработана динамическая модель стола пресса, учитывающая колебание системы с неударяющими односторонними связями.

Дана оценка величин ударных импульсов, действующих на стол, его опоры и ограничитель при ударном взаимодействии стола с ограничителем и расколотыми частями камня. Установлена их зависимость от массы обрабатываемого блока камня.

Разработаны рекомендации по выбору параметров конструкции стола с гидроцилиндром-демпфером, обеспечивающих плавное восстановление исходного положения стола после раскола камня, исключение ударных нагрузок на элементы стола и увеличение запаса прочности его упругих опор не менее чем в 2 раза, по сравнению с существующей конструкцией.

Разработана динамическая модель гидропривода пресса и определены закономерности изменения давления в гидроцилиндре и скорости движения поршня после раскола камня.

Установлено, что в определённом диапазоне изменения размеров раскалываемого камня в гидроцилиндре могут возникать гидравлические удары, приводящие к снижению долговечности элементов гидропривода.

Разработаны рекомендации по устранению гидравлического удара в верхней полости гидроцилиндра путём установки в напорную магистраль дополнительной ёмкости и предложена методика расчёта её параметров.

На основании результатов экспериментальных исследований предложена эмпирическая зависимость условных напряжений и усилий раскола от площади раскола камня, позволяющая определять габаритные размеры рабочей зоны прессов, если известно максимальное развиваемое усилие на рабочем органе пресса или наоборот найти необходимое усилие раскола по известным максимальным размерам блока камня.

На основании результатов экспериментов предложена обобщённая модель изменения усилий на рабочем органе пресса в процессе раскола различных блоков пород, которая дополняет результаты ранее проведённых исследований и существенно расширяет представления о закономерности изменения нагрузки в процессе раскола камня.

Результатами экспериментальных исследований динамики стола и гидропривода пресса, а также апробацией новой конструкции стола с гидроцилиндром-демпфером подтверждена достоверность результатов теоретических исследований.

Разработана динамическая модель станины пресса, учитывающая различные условия закрепления пресса на фундаменте и выявлены зависимости усилий, возникающих в колоннах пресса и элементах его крепления на фундаменте, от соотношения собственных частот колебаний станины и поршня гидроцилиндра, соотношения масс верхней и нижней траверс станины и от условий закрепления пресса на фундаменте.

Разработана методика выбора параметров опорных элементов станины пресса, при которых обеспечивается уменьшение динамических нагрузок в станине при удовлетворении требований прочности резьбовых соединений в опорных элементах.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах

1. Задачи исследования динамики камнекольных прессов.- Механизмы переменной структуры и виброударные машины /Материалы Междунар. конф. Бишкек: Кыргызстан, 1999. - 398 с /с 212-215 (соавторы Еремьянц В.Э., Мамасаидов М.Т.);
2. Динамические модели камнекольного пресса ПКА-800.- Механизмы переменной структуры и виброударные машины /Материалы Междунар. конф. Бишкек: Кыргызстан, 1999.- 398 с /с 215-219 (соавтор Еремьянц В.Э.);
3. Обобщение результатов экспериментальных исследований процесса направленного раскола природного камня.- Механизмы переменной структуры и виброударные машины /Материалы Междунар. конф. Бишкек: Кыргызстан, 1999.- 398 с /с 241-246 (соавторы Мамасаидов М.Т., Хохлов А.Я.);
4. Обоснование параметров стола камнекольного пресса ПКА-800.- Технология и перспективы современного инженерного образования, науки и

производства /Материалы Междунар. конф. посвящённой 45-летию организации ФПИ - КТУ им. И.Раззакова. Бишкек: Кыргызстан, 1999- 308 с /с 48-53 (соавтор Ерестьянц В.Э.);

5. Колебания стола камнекольного пресса без ограничителя хода. - Наука. Образование. Техника. /Междунар. научн. журнал №1, Ош: КУУ, 1999.-130 с /с7-13 (соавторы Мамасаидов М.Т., Ерестьянц В.Э.);

6. Динамическая модель для определения напряжённого состояния элементов камнекольного пресса семейства "Аскатеш". - Сборник научных трудов. Выпуск 1. /Институт машиноведения. Бишкек: Илим, 1997.-295с / с 279-284 (соавторы Мамасаидов М.Т., Мендекеев Р.А.);

7. Метод определения напряжённого состояния элементов камнекольного пресса.- Сборник научн. трудов КУУ. Выпуск 1. /Кыргызско-Узбекский университет. Ош: Илим, 1999.-310 с /с 165-169 (соавторы Мамасаидов М.Т., Мендекеев Р.А.);

8. Динамика гидроцилиндра камнекольного пресса.- Наука и новые технологии №1. Бишкек, 2000.-222 с /с 103-106 (соавторы Ерестьянц В.Э., Мамасаидов М.Т.);

9. Экспериментальные исследования колебания стола камнекольного пресса ПКА-800.- История, культура и экономика Юга Кыргызстана. Т.2. Ош: КУУ, 2000.- 372 с /с 354-359 (соавторы Мамасаидов М.Т., Ерестьянц В.Э.);

10. Колебание стола с ограничителем хода.- Сборник научных трудов аспирантов г.Ош, 2000.- 147 с /с 125-138 (соавтор Ерестьянц В.Э.);

11. Динамика стола камнекольного пресса.- Материалы научной конф., посвящённой 200-летию юбилею А.С. Пушкина в Кыргызстане. Бишкек: КРСУ, 2000.- 89 с /с 27-28 (соавтор Ерестьянц В.Э.);

12. Закономерности процесса направленного раскола камня на камнекольном прессе.- Известия НАН КР.Бишкек: Илим, 2000.-78 с /с 40-44 (соавторы Мамасаидов М.Т., Ерестьянц В.Э.).

Аннотация

Бул эмгекте ПКА-800 таш жаруучу пресстердин динамикасын изилдөөнүн негизинде, аларды өздөштүрүү жана жакшыртуу маселелери чечилген. ПКА-800 столунун, жумуш аткарчу органдын гидроприводунун жана станинанын динамикалык моделдери түзүлгөн. Аталган моделдерди анализдөөнүн негизинде пресстин элементтериндеги динамикалык чыңалууларды төмөндөтүү мүмкүнчүлүктөрү аныкталган жана элементтердин рационалдык чоңдуктарын аныктоо методикасы түзүлгөн, аларды ишке ашыруу мүмкүнчүлүктөрү каралган. Теориялык изилдөөлөрдүн натыйжалары эксперименттер менен такталган.

Эксперименталдык изилдөөлөрдүн негизинде жаруу күчүнүн таштын чоңдугунан байланышкан эмпирикалык көз карандылыгы сунуш кылынган жана пресстин жумуш аткаруу органынын күчүнүн ташты жаруу процессиндеги өзгөрүшүнүн закон ченемдүүлүгүнүн жалпы модели түзүлгөн.

Аннотация

В работе решается задача совершенствования камнекольных прессов, типа ПКА-800 на основе исследования их динамики. Разработаны динамические модели стола камнекольного пресса, гидропривода рабочего органа и станины. На основе анализа этих моделей выявлены возможности снижения динамических напряжений в элементах пресса и разработаны методики выбора рациональных параметров элементов, реализующих эти возможности. Достоверность результатов теоретических исследований подтверждена экспериментами.

На основе экспериментальных исследований предложена эмпирическая зависимость усилия раскола от размеров обрабатываемого камня и построена обобщенная модель закономерности изменения нагрузки на рабочем органе пресса в процессе раскола камня.

Annotation

At this paper the task of the PKA splitting presses developing on the base of their dynamics analysis is solved. There are developed dynamic models of the splitting press table, hydraulic drive of the working instrument and the press base. On the base of these models analysis there were determined the possibilities of the dynamics stresses reducing in the press elements and developed the methods for rational parameters selection, which could realize these possibilities.

Reliability of the results of these theoretical researches are proved by experiments.

On the base of these researches are proposed the empirical function of splitting effort in relation to treating stone size and synthesized the generalized model of regularity the loading changing on the working instrument during stone splitting.



Подписано в печать 12.10.2000 Формат 60x84/16

Печать офсетная. Объем 1,0 п. л. Зак. 108. Тир. 100

г. Бишкек, ул. Медерова, 68. Типография Кырг. агр. академии