

На правах рукописи

Жуков Иван Алексеевич

ФОРМИРОВАНИЕ УПРУГИХ ВОЛН В ВОЛНОВОДАХ
ПРИ УДАРЕ ПО НИМ ПОЛУКАТЕНОИДАЛЬНЫМИ БОЙКАМИ

Специальность 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2005

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк

Научный руководитель: Заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук,
профессор Дворников Л. Т.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор, Манжосов В. К.;
доктор технических наук,
профессор Каледин В. О.

Ведущая организация: Кузбасский государственный
технический университет
(КузГТУ), г. Кемерово

Защита состоится 1 июля 2005г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.01 при Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 30

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 53-а.

Автореферат разослан ____ мая 2005г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.269.01,
кандидат технических наук,
доцент

Костюченко Т. Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Ведущей отраслью промышленности Кузбасса является добыча угля и железной руды, в которой занято большое количество населения области. Объем добычи непрерывно растет в результате освоения новых месторождений и расширения производственной мощности предприятий. Извлечение и переработка твердых полезных ископаемых, строительство подземных сооружений, добыча строительных материалов сопряжены с необходимостью разрушения больших объемов горных пород, исчисляемых в России миллиардами кубических метров в год. В горнодобывающей отрасли создаются разнообразные машины и механизмы, разрушение горных пород связано с большими затратами труда, времени, энергии и денежных средств. В настоящее время большой объем горной массы перерабатывается буровзрывным способом, одной из главных операций которого является операция бурения шпуров и скважин, которая представляет собой весьма трудоемкий и тяжелый цикл горнопроходческих работ при добыче полезных ископаемых. Вследствие этого вопросы совершенствования буровой техники весьма актуальны и имеют важное народнохозяйственное значение.

Наибольший эффект разрушения достигается при ударном воздействии на горную породу, именно на этом принципе строятся многие горные машины, в частности машины, используемые для бурения шпуров и скважин. Актуальность совершенствования ударных систем технологического назначения связана со значительными экономическими выгодами, заключающимися в увеличении производительности буровых работ и уменьшении энергозатрат на бурение.

В настоящем исследовании ставятся и решаются задачи, связанные с проблемой повышения эффективности разрушения горной породы ударными воздействиями. В работе ставится задача о создании рациональной конструкции бойка, генерирующего в волноводе ударный импульс такой формы, при которой достигается максимальная передача энергии ударной системы разрушаемому объекту. Обосновываются способ образования и конструкции новых бойков, защищенные патентами Российской Федерации. Теоретические выводы проверяются физическим экспериментом.

Целью работы является поиск и обоснование рациональной конструкции бойков ударных механизмов, аналитическое и экспериментальное решение задачи о формировании упругих волн в волноводах при ударе по ним полукатеноидальными бойками.

Идея работы заключается в увеличении значения коэффициента передачи энергии, а, следовательно, и в увеличении производительности ударных систем технологического назначения путем подбора целесообразных форм бойков.

Задачи исследования:

- Подтвердить целесообразность поиска рациональных форм ударяющих тел ударных механизмов.
- Провести сравнительные исследования различных форм бойков.

- Обосновать рациональную форму бойка, генерирующего в волноводе ударный импульс наиболее близкий к оптимальному.
- Теоретически и экспериментально обосновать и подтвердить полученные результаты.

Методы исследования основаны на использовании

- известных положений теории удара;
- решений задач о продольном соударении стержней с использованием одномерной волновой теории Сен-Венана и графодинамического метода;
- математических принципов метода операционного исчисления;
- приемов конструирования деталей машин.

Научные положения, выносимые на защиту:

- Обоснование возможности существенного повышения эффективности разрушения горных пород ударными системами путем использования новых форм бойков ударных механизмов, а именно выполненных в виде полукатеноидов вращения.
- Способ образования полукатеноидальных бойков с использованием в виде образующих участков катены (цепной линии), рассматриваемой в осях, повернутых относительно исходных осей на различные углы.
- Аналитическое решение задачи об ударе по волновым полукатеноидальными бойками с использованием теории Сен-Венана и интегрального преобразования Лапласа.
- Компьютерная программа поиска форм ударных импульсов ступенчатыми бойками, аппроксимирующими заданные криволинейными образующие бойков.
- Результаты экспериментального исследования по установлению форм ударных импульсов, генерируемых в волноводе полукатеноидальными бойками.

Достоверность и обоснованность научных положений и результатов обеспечена тем, что выполненные аналитические исследования основываются на классических положениях одномерной волновой теории удара, на известных законах механики и теории упругости. При решении частных задач в работе используются методы операционного исчисления, графодинамический метод теории удара и обоснованный физический эксперимент.

Научная новизна работы заключается в

- разработке способа образования видов полукатеноидальных бойков ударных механизмов;
- определении условий и законов формирования упругих волн в волноводе при ударе по ним полукатеноидальными бойками;
- разработке компьютерной программы, позволяющей решать задачу о генерировании волновых ударных импульсов в стержневой системе и оценивать результаты с высокой степенью точности;

- разработке принципиально новой конструкции бойка ударного механизма в биметаллическом исполнении.

Практическая полезность. На разработанные способ образования видов полукатеноидальных бойков ударных механизмов и конструкцию бойка ударного механизма в биметаллическом исполнении получены патенты РФ на изобретения. Разработанный способ образования полукатеноидальных бойков ударных механизмов внедрен на ОАО «Завод Универсал» г. Новокузнецка, занимающийся проектированием и производством гидравлических молотов.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на VIII, IX, X, XI, XII, XIII студенческих конференциях по секции теории механизмов, динамики и прочности машин, СибГИУ, г. Новокузнецк, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 гг.; Юбилейной научно-практической конференции молодых исследователей Кузбасса «Шаг в будущее – 50 лет КузГТУ», Кемерово, 2000г.; 9-ой Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-9-2003)», Улан-Удэ, Байкал, 2003г.; XXIV Российской школе по проблемам науки и технологий, посвященной 80-летию со дня рождения академика В. П. Макеева, Государственный ракетный центр «КБ им. академика В. П. Макеева», Межрегиональный совет по науке и технологиям, Миасс, 2004г.; пятнадцатой научно-практической конференции по секции механики и машиностроения, СибГИУ, Новокузнецк, 2004г.; встрече руководителей и специалистов промышленных предприятий с рационализаторами и изобретателями, Администрация Кемеровской области, Клуб директоров машиностроительных предприятий, Кузбасская торгово-промышленная палата, КузбассРИЦ, Кемерово, 2005г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных статей, получено 2 патента РФ на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 61 наименование, 4 приложений. Основной текст изложен на 132 машинописных листах и поясняется 45 рисунками и 2 таблицами.

Автор считает своим долгом отметить неоценимую помощь в выполнении настоящего исследования со стороны кандидатов технических наук Мясникова А. А., Рындина В. П., Фомина Б. В.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность постановки и задачи исследований; определено содержание решаемых задач; приведены основные результаты, выносимые на защиту; кратко изложено содержание работы.

В первой главе приводится обзор известных работ по изучению формирования упругих волн в волноводах бойками ударных систем технологического назначения, проведен анализ известных методов решения задач о продольном ударе, проведен анализ известных и запатентованных к настоящему времени форм бойков ударных механизмов.

Значительный вклад в установление теории формирования упругих волн при продольном соударении стержней внесли Сен-Венан, Н.Е. Жуковский, С.П. Тимошенко, А.Н. Динник, Н.А. Кильчевский, В.Л. Бидерман, Х.А. Рахматулин, Б.М. Малышев, П.М. Алабужев, Е.В. Александров, В.Б. Соколинский, П.М. Огибалов, Я.Г. Пановко, С.А. Зегжда, О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников, В.К. Манжосов, В.Э. Еремьянц, Б.Н. Стихановский, В.Д. Андреев, К.И. Иванов, И.Д. Шапошников, А.А. Мясников и ряд других исследователей.

Наиболее простой теорией соударения двух тел является теория Ньютона, основанная на использовании понятия коэффициента восстановления скорости тел после удара. Модель Ньютона широко используется при расчете и анализе виброударных систем и в задачах, связанных с определением кинематических параметров движения тел.

Дальнейшее развитие теория удара получила в работах Герца, в которых им задача о прямом соударении упругих тел была сведена к задаче о соударении двух твердых тел с находящимся между ними упругим элементом.

Преобразования кинетической энергии бояка в энергию продольных колебаний волновода при продольном соударении и распространении волн продольных колебаниях в деталях ударного механизма описываются дифференциальным уравнением одномерной волновой теории, сформулированной Сен-Венаном:

$$\frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{1}{S(x)} \cdot \frac{dS(x)}{dx} \cdot \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} - \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2} = 0, \quad (1)$$

где $u(x, t)$ – функция смещения поперечного сечения стержня с координатой x в момент времени t ,

$$\tau = ct, \quad (2)$$

$c = \sqrt{\frac{E}{\gamma}}$ – скорость распространения упругих волн продольной

деформации в стержне с плотностью материала γ и модулем упругости E ,

$S(x)$ – функция площади поперечных сечений.

Решение уравнения (1) известно в форме Даламбера:

$$u(x, \tau) = f(x + a\tau) + g(x - a\tau), \quad (3)$$

представляющего собой суперпозицию двух волн – падающей и отраженной.

Решение этого уравнения возможно операционным методом на основе интегрального преобразования Лапласа по времени:

$$\frac{\partial^2 u(x, p)}{\partial x^2} - \frac{1}{S(x)} \cdot \frac{dS(x)}{dx} \cdot \frac{\partial u(x, p)}{\partial x} - p^2 \cdot u(x, p) + p \cdot u(x, 0) + \frac{\partial u(x, 0)}{\partial t} = 0, \quad (4)$$

где p – комплексный параметр преобразования.

Достаточно точно и полно решить задачу о формировании и распространении импульсов упругой деформации в ударных системах переменной формы позволяет графодинамический метод, в основе которого лежит определение сил, возникающих в бойке и волноводе.

После их соударения кинетическая энергия E бояка преобразуется в энергию ударного импульса E_I , которая частично в виде E_2 отражается от

среды и движется к ударному торцу бойка, при этом лишь часть энергии в виде E_3 расходуется на разрушение среды, а энергия E_4 уходит в среду и рассеивается (рисунок 1). Для оценки эффективности процесса используют коэффициент передачи энергии (КПЭ) импульса:

$$\eta = \frac{E_1 - E_2}{E_1}. \quad (5)$$

Энергия E_1 определяется по падающему ударному импульсу, а E_2 – по отраженному. Коэффициент η принимается как критерий эффективности работы ударной системы.

В 1962 г. одним из известных ученых-исследователей теории удара Александровым Е. В. было сделано открытие, заключающееся в том, что коэффициент передачи энергии зависит не только от массы бойка m и его предударной скорости V_0 , но и от форм соударяющихся тел. На этом основании подбор рациональных формы бойков является одним из наиболее действенных методов проектирования ударных систем, приводящий к увеличению значения коэффициента передачи энергии.

Исследованиями Мясникова А. А. было установлено, что ударный импульс оптимальной для разрушения формы по амплитуде должен начинаться с некоторого определенного значения и возрастет с интенсивностью, соответствующей интенсивности роста сопротивляемости обрабатываемой среды внедрению (рисунок 2).

Во второй главе проведен поиск рациональной формы бойка ударного механизма и обосновывается использование полукатеноидальных бойков в ударных системах технологического назначения.

На форму ударного импульса оказывает значительное влияние кривизна образующей боковой поверхности ударника, а, следовательно, и распределение объема в бойке по мере продвижения от ударного торца к неударному при условии равенства объемов сравниваемых бойков. Поэтому было предложено в качестве бойка, генерирующего оптимальный по форме ударный импульс, принять катеноид вращения, который обладает уникальным свойством: любой кусок катеноида (рисунок 3) имеет площадь боковой поверхности меньшую, чем всякая другая поверхность, ограниченная тем же контуром.

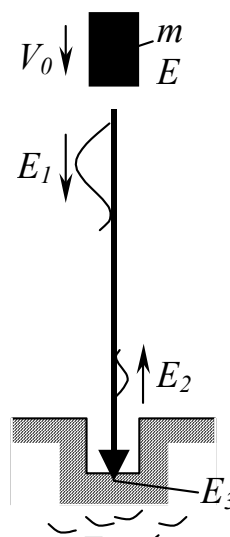


Рисунок 1 –
Распределение
предударной энергии
бойка

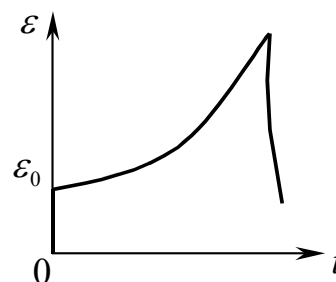


Рисунок 2 – Оптимальная
форма ударного импульса

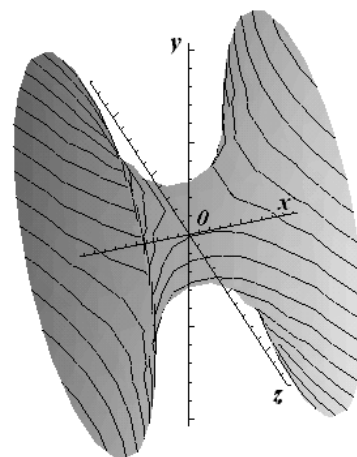


Рисунок 3 –
Катеноид вращения

В таком ударнике образующей является цепная линия – катена, описываемая в прямоугольной системе координат уравнением

$$y = \frac{a}{2} \left(e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}} \right) = a \cdot ch \frac{x}{a}, \quad (6)$$

Создание полукатеноидальных бойков заключается в выполнении из твердых материалов тел вращения, образующей которых является кривая, описываемая уравнением (6). Однако при этом в получаемых бойках быстрое нарастание их радиального размера приводит к габаритам, непригодным для применения в практике.

Рисунок 4 –
Способ образования видов
катеноидных бойков

Diagram illustrating a fluid flow problem in a channel. The flow is directed from right to left with velocity V_0 . The channel has a horizontal bottom wall and a curved top wall defined by the equation $y = a \cdot \operatorname{ch} \frac{x}{a}$. The region of interest is labeled D . The horizontal axis is x , with the inlet at $x=L$ and the start of the curved wall at $x=0$. The vertical distance from the x -axis to the top wall at $x=0$ is labeled d_0 . The flow extends to $-\infty$ on the right.

8

$$\frac{\partial^2 w(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{2}{a} th \frac{x}{a} \cdot \frac{\partial w(x, \tau)}{\partial x} - \frac{\partial^2 w(x, \tau)}{\partial \tau^2} = 0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u(x, \tau)}{\partial \tau^2} = 0, \quad (8)$$

где w, u – смещения сечений бойка и стержня соответственно.

С учетом начальных

$$w(x, 0) = 0, \quad u(x, 0) = 0, \quad \frac{\partial w(x, 0)}{\partial \tau} = \frac{V_0}{c}, \quad \frac{\partial u(x, 0)}{\partial \tau} = 0 \quad (9)$$

и граничных условий

$$w(0, \tau) = u(0, \tau); \quad \frac{\partial w(0, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial u(0, \tau)}{\partial \tau}; \quad \frac{\partial w(L, \tau)}{\partial x} = 0; \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} \frac{\partial u(x, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (10)$$

задача представляется в области изображений:

$$\frac{d^2 w(x, p)}{d x^2} + \frac{2}{a} th \frac{x}{a} \frac{d w(x, p)}{d x} - p^2 w(x, p) = -\frac{V_0}{c}; \quad (11)$$

$$\frac{d^2 u(x, p)}{d x^2} - p^2 u(x, p) = 0, \quad (12)$$

где L – длина бойка,

V_0 – предударная скорость бойка.

И в изображениях определяются функция смещения сечений бойка и стержня:

$$w(x, p) = C_2 \frac{1}{ch \frac{x}{a}} \left(\left(\frac{r+b}{r-b} \right) e^{rx-2rL} + e^{-rx} \right) + \frac{V_0}{cp^2}, \quad (13)$$

$$u(x, p) = C_3 e^{xp}, \quad (14)$$

где C_2 и C_3 – некоторые постоянные,

$$r = \frac{1}{a} \sqrt{1 + p^2 a^2}, \quad (15)$$

$$b = \frac{1}{a} th \frac{L}{a}. \quad (16)$$

Ударный импульс связан с функцией смещения сечений стержня зависимостью:

$$F(x, p) = ES_0 \frac{\partial u(x, p)}{\partial x}, \quad (17)$$

где S_0 – площадь поперечного сечения стержня.

В результате подстановки в (17) $x = 0$ находится

$$F_0 = F(0, p) = ES_0 \frac{\partial u(0, p)}{\partial x} = ES_0 C_3 p. \quad (18)$$

Из граничных условий находится постоянная C_3 и определяется функция, описывающая ударный импульс, генерируемый полукатеноидальным бойком:

$$F_0 = \frac{ES_0V_0}{cp} \cdot \frac{(r+b)(1-e^{-2rL})}{(r+b+p) \left(1 - \frac{e^{-2rL}(r+b)(r-b-p)}{(r+b+p)(r-b)} \right)}. \quad (19)$$

На основании формулы разложения в степенной ряд:

$$\frac{1}{1-z} = \sum_{n=0}^{\infty} z^n, \quad (20)$$

получается:

$$\begin{aligned} F_0 &= \frac{ES_0V_0}{cp} \cdot \frac{(r+b)(1-e^{-2rL})}{(r+b+p)} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{e^{-2rLn}(r+b)^n(r-b-p)^n}{(r+b+p)^n(r-b)^n} = \\ &= \frac{ES_0V_0}{c} \left[\frac{(r+b)}{p(r+b+p)} - e^{-2rL} \cdot \frac{(r+b)}{p(r+b+p)} \left(1 - \frac{(r+b)(r-b-p)}{(r+b+p)(r-b)} \right) - \right. \\ &\quad \left. - e^{-4rL} \frac{(r+b)^2(r-b-p)}{p(r+b+p)^2(r-b)} \left(1 - \frac{(r+b)(r-b-p)}{(r+b+p)(r-b)} \right) - \dots \right]. \end{aligned} \quad (21)$$

На основании свойств изображений определяется изображение первой волны ударного импульса:

$$F_{01} = \frac{ES_0V_0}{c} \cdot \frac{(r+b)}{p(r+b+p)}. \quad (22)$$

Посредством использования обратного интегрального преобразования Лапласа определяется функция-оригинал, описывающая первую волну ударного импульса:

$$\begin{aligned} F_{K1} &= \frac{ES_0V_0}{c} \left[1 - \frac{1}{2} cth \frac{L}{a} \cdot J_1 \left(\frac{ct}{a} \right) + \frac{J_0 \left(\frac{ct}{a} \right)}{4sh^2 \frac{L}{a}} - \frac{cth^2 \frac{2L}{a}}{2a \cdot th \frac{L}{a}} \cdot \int_0^{ct} \left(-J_0 \left(\frac{U}{a} \right) e^{\frac{ct-U}{a \cdot sh \frac{2L}{a}}} \right) dU - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{2sh^2 \frac{L}{a}} \right) e^{\frac{ct}{a \cdot sh \frac{2L}{a}}} \right], \end{aligned} \quad (23)$$

где J_0 - функция Бесселя 1-го рода нулевого порядка,

J_1 - функция Бесселя 1-го рода 1-го порядка,

при условии, что $0 \leq t \leq \frac{2L}{a}$.

Анализ примера построения первой волны ударного импульса (рисунок 7), генерируемого полукатеноидальным бойком при ударе по волноводу, показывает, что:

- амплитуда ударного импульса на переднем фронте нарастает почти по линейному закону;
- значение максимальной амплитуды импульса превышает значение амплитуды импульса, генерируемого бойком равного со штангой сечения, более чем в 2 раза.

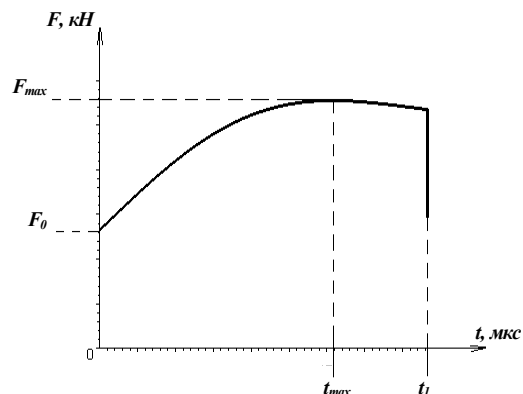


Рисунок 6 – Первая волна ударного импульса, генерируемого полукатеноидальным бойком

Катеноид вращения, как боек ударных систем технологического назначения, обладая вышеотмеченными качествами, оказывается весьма сложным телом с точки зрения его изготовления и встраивания в реальную конструкцию машины, т.к. не содержит поршневой ступени, способной обеспечить ему необходимый запас продольной устойчивости. Учитывая это обстоятельство, был предпринят поиск форм ударников, которые бы, обладая преимуществами катеноида, могли быть установлены в конструкции современных ударных систем.

На рисунке 7 показана возможная практическая реализация катеноидных бойков.

Представленный боек ударного механизма содержит цилиндрическую поршневую часть 1, обеспечивающую ему устойчивое положение в корпусе механизма, и цилиндрическую ударную часть 2. В основном материале бойка выполнена внутренняя полость 3, заполненная материалом с удельным весом, отличным от удельного веса основного материала бойка. Форма внутренней полости представляет собой тело вращения, радиус наружной окружности которой в поперечном сечении любого вырезанного элементарного слоя определяется по формуле:

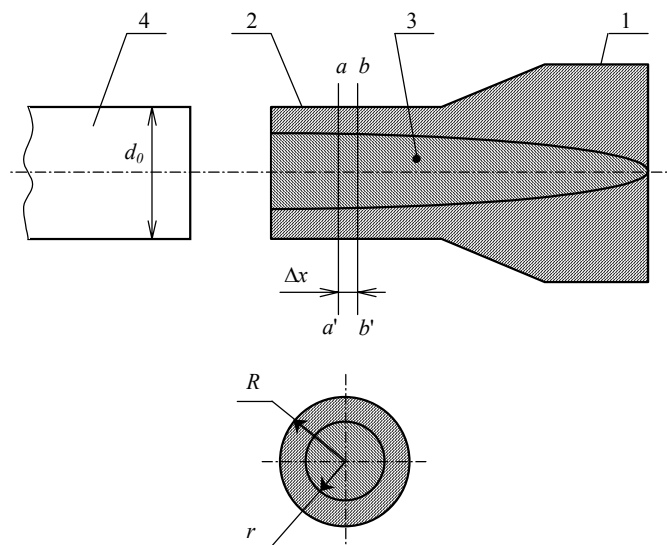


Рисунок 7 – Практическая реализация катеноидных бойков

$$r = \sqrt{\frac{(R^2 - \rho^2)\lambda}{\lambda - 1}}, \quad (24)$$

где R – внешний радиус поперечного сечения основного материала бойка,
 ρ – приведенный радиус поперечного сечения бойка,

λ – параметр, определяющий отношение удельных весов основного материала и материала внутренней полости бойка.

При таких условиях боек по приведенному удельному весу будет идентичен полукатеноидальному по генерируемому импульсу.

В третьей главе описывается алгоритм компьютерной программы для исследования формирования ударного импульса в стержнях бойками различных форм и проводится исследование генерирования упругих волн в полубесконечном стержне бойками полукатеноидальной формы с помощью составленной программы на ЭВМ.

Математические трудности, возникающие при аналитическом исследовании процесса формирования и продвижения ударного импульса по стержню при ударе по нему бойками, форма которых представляет собой поверхность вращения кривой линии вокруг геометрической оси, могут быть значительно уменьшены при решении задачи с помощью ЭВМ, а также с помощью графодинамического метода, который используется для решения задачи о формировании и распространении импульсов упругой деформации в ударных системах переменной формы.

Алгоритм программы заключается в следующем. Любой ударник, представляющий собой тело вращения, боковая поверхность которого может быть задана некоторой функцией (в явном виде или параметрически), представляется в виде цилиндрического ступенчатого. Исходными параметрами в программе являются: масса и материал бойка; функция, описывающая его боковую поверхность; количество ступеней, на которые будет разбит ударник; диаметр волновода, по которому наносится удар; модуль упругости материала соударяемых тел и скорость звука в нем; предупредная скорость бойка; количество расчетных шагов. Затем определяются силы, возникающие в соударяющихся телах. В результате всех вычислений получается приближенная форма ударного импульса в ступенчатом виде (рисунок 8).

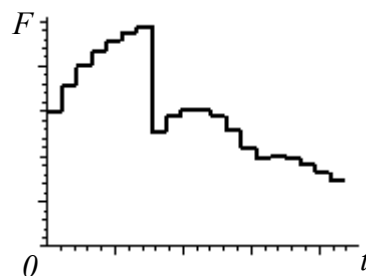


Рисунок 8 – Ударный импульс

Для подтверждения состоятельности используемой компьютерной программы и оценки точности изложенной методики были найдены формы ударных импульсов генерируемых бойками, для которых аналитические решения известны, а именно для цилиндрического бойка равного со штангой сечения; цилиндрического бойка с сечением, большим сечения штанги; конического и гиперболического бойков. Сравнительный анализ полученных результатов с аналитическими решениями позволил сделать вывод о том, что составленная компьютерная программа корректна, эффективна и может найти широкое применение при проведении инженерных расчетов различных ударных систем.

С использованием составленной компьютерной программы была найдена форма не только первой волны, но и всего импульса (рисунок 9), генерируемого полукатеноидальным бойком при ударе по полубесконечному стержню.

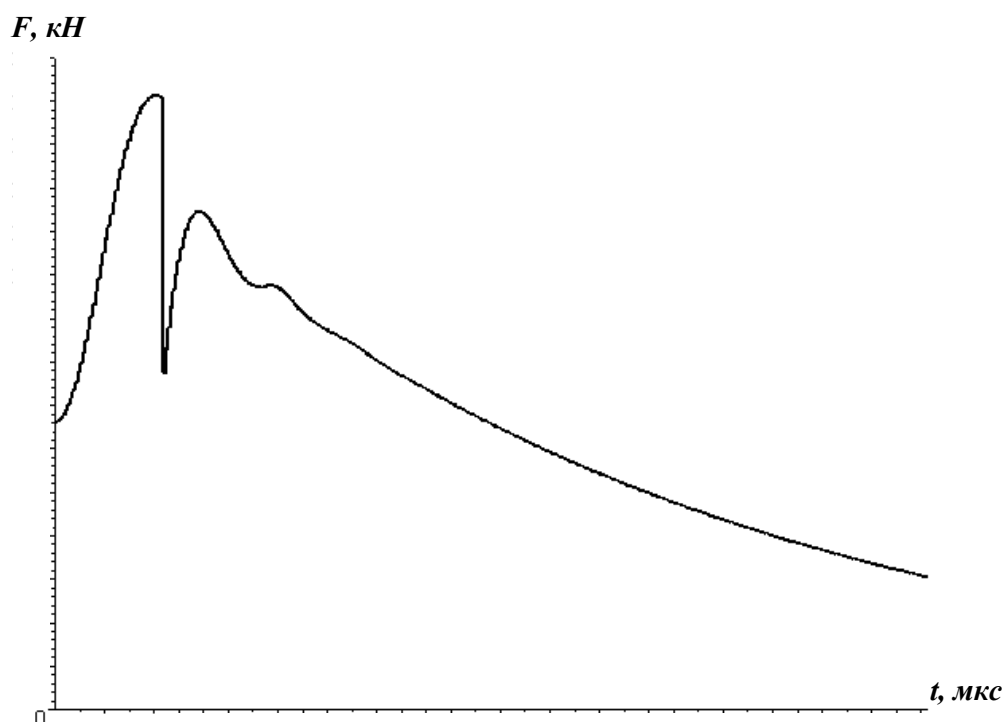


Рисунок 9 – Ударный импульс, генерируемый полукатеноидальным бойком

Сравнительный анализ оптимальной для разрушения обрабатываемой среды формы ударного импульса и формы импульса, генерируемого бойками полукатеноидальной формы, полученного численным методом, показывает, что

- подтверждается предположение о том, что ударный импульс, генерируемый катеноидальным бойком, нарастает на переднем фронте с интенсивностью повышающейся во времени, что соответствует требованию к форме импульса оптимальной формы;
- значение отношения максимальной амплитуды полученного импульса к амплитуде импульса, генерируемого бойком с сечением, равным сечению штанги, превышает последнее более чем вдвое.

По результатам исследований, проведенных численным методом, можно с уверенностью утверждать, что полукатеноидальный боек является близким к оптимальному для разрушения пород различной крепости.

В четвертой главе описан проведенный на модели ударной системы (рисунок 10) эксперимент по определению формы упругой волны, генерируемой в буровой штанге при ударе по нему полукатеноидальными бойками.

Экспериментальный стенд (рисунок 12) является горизонтальным и состоит из следующих основных узлов: боек (1), стержень (2), направляющая (3), каретка (4), люнеты (5), упор (6), основание (7).



Рисунок 10 – Модель ударной системы



Рисунок 11 – Опытные образцы

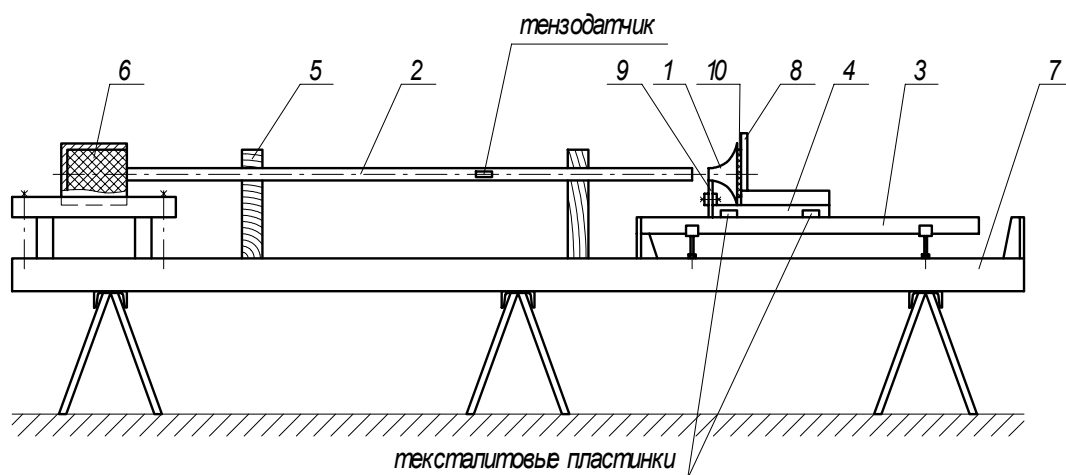


Рисунок 12 - Экспериментальный стенд

В качестве бойков 1 используются опытные образцы (рисунок 11), изготовленные в ОАО «Завод Универсал» г. Новокузнецка. Стержень 2 представляет собой буровую штангу длиной **3,1м** и диаметром **32мм**. Для предохранения стержня 2 от потери устойчивости служат люнеты 5. Соосность бойка 1 и стержня 2 обеспечивается направляющей 3, регулируемой установочными болтами. Упор 6 свободного конца штанги представляет собой цилиндр, внутренняя полость которого заполнена резиной. Каретка 4 для крепления бойка представляет собой уголок с прикрученными к нему при помощи винтов и болтов деревянного упора 8 и регулируемой по высоте пластины 9. Кроме того, имеется амортизатор 10 из мягкой резины. К уголку приклеены текстолитовые пластинки с целью изолировать боек от направляющей. Необходимость в этом обусловлена выбранной системой запуска осциллографа посредством контакта бойка и штанги. Каретка с бойком разгоняется по направляющей вручную. В связи с этим измерить предупредную скорость бойка не представляется возможным. В конце своего хода боек соударяется с хвостовиком волновода. При этом за счет амортизатора обеспечивается отсутствие влияния каретки на форму ударного импульса,

генерируемого бойком. При этом фиксируется форма падающего импульса, которая не зависит от предупредной скорости.

Эксперимент проводился в лаборатории кафедры стационарных и транспортных машин Кузбасского государственного технического университета г. Кемерово совместно с доцентом кафедры стационарных и транспортных машин, к.т.н. Рындиным Владимиром Прокопьевичем.

Для регистрации ударного импульса применялись тензодатчики типа ПКБ-10-100, которые наклеивались вдоль оси стержня с противоположных сторон на расстоянии **0,93м** от ударного торца буровой штанги и включались в потенциометрическую схему (рисунок 13). Питание осуществлялось от адаптера, включенного в сеть. Сигналы с тензопреобразователей усиливались усилителем УИ-1 и подавались на вход осциллографа типа TR-4602. С экрана осциллографа импульсы фиксировались на фотопленку фотоаппаратом «Зенит». Запуск осциллографа осуществляется в момент удара бойком по стержню.

На рисунке 14 показаны полученные в результате эксперимента осциллограммы.

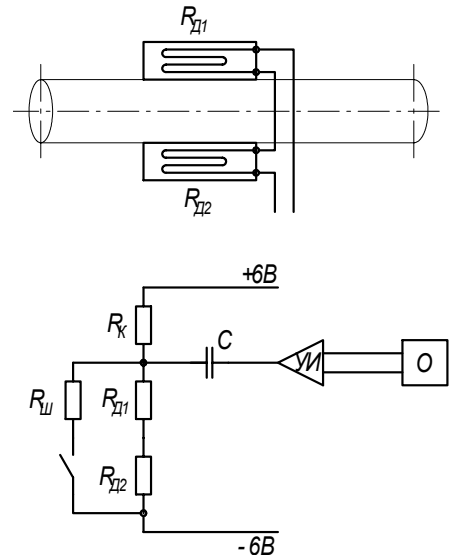
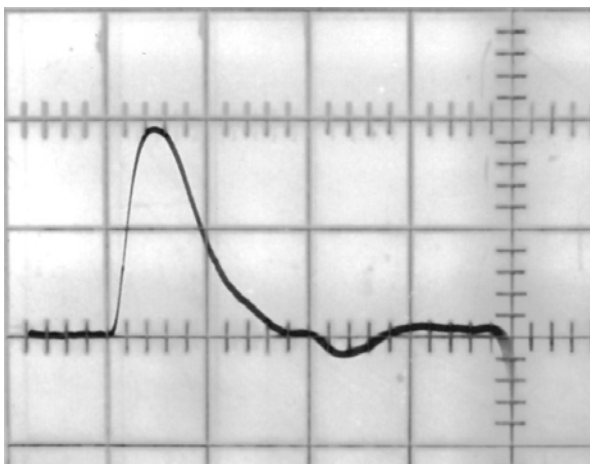


Рисунок 13 – Схема подключения приборов и тензодатчиков

а



б

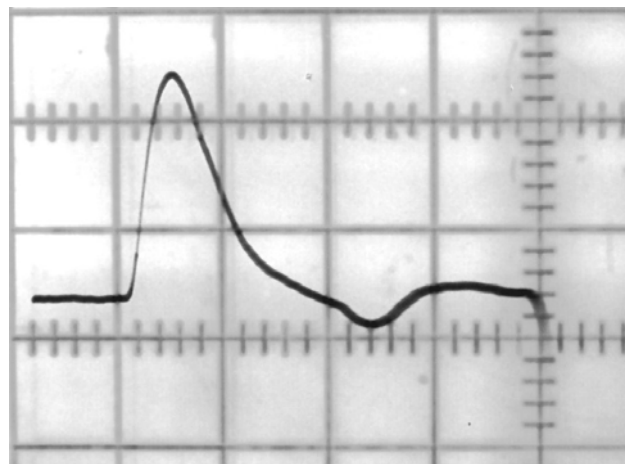


Рисунок 14 – Осциллограммы ударных импульсов, генерируемых полукатеноидальными бойками:

- горизонтальная развертка: 200мкс/см;
- вертикальная развертка: 0,2В/см.

В связи с тем, что датчики располагаются на расстоянии **0,93м** от ударного торца штанги, на осциллограммах заметен прямой участок, отражающий время прохождения упругой волны до датчиков. Длительность этого участка:

$$\ell_0 = \frac{0,93}{5000} = 186 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 186 \text{ мкс} . \quad (14)$$

Длительность падающего ударного импульса составляет **400мкс**.

Согласно теоретическим положениям, принятым в настоящем исследовании, форма ударного импульса, генерируемого полукатеноидальным бойком, такова, что его амплитуда начинается с определенного значения и возрастает с интенсивностью, повышающейся по времени, или почти линейно до максимального значения. Из полученных осциллограмм (рисунок 14) видно, что крутизна нарастания переднего фронта импульса до определенного значения соответствует погрешности, вносимой измерительной аппаратурой, затем амплитуда нарастает почти линейно до максимального значения, что полностью подтверждает принятые теоретические положения о форме ударного импульса, генерируемого в волноводе полукатеноидальными бойками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Операция бурения шпуров и скважин представляет собой весьма трудоемкий цикл горнопроходческих работ при добыче полезных ископаемых. Наибольший эффект разрушения достигается при ударном воздействии на горную породу. Именно на этом принципе строятся многие горные машины, в частности машины, используемые при проведении буровых работ. Вследствие этого, проблема совершенствования ударных систем технологического назначения, заключающаяся в увеличении производительности и уменьшении энергозатрат на бурение, весьма актуальна и имеет важное народнохозяйственное значение. В настоящем исследовании решалась проблема повышения эффективности разрушения горной породы ударными импульсами.

На основании выполненных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Увеличение производительности ударных систем технологического назначения возможно путем применения бойков рациональных форм без изменения других параметров машин.
2. Бойки полукатеноидальной формы генерируют в волноводе ударный импульс оптимальной для разрушения обрабатываемой среды формы.
3. Процесс формирования и распространения импульсов упругой деформации в стержневой системе может быть достаточно полно описан одномерной волновой теорией, сформулированной Сен-Венаном, согласно которой решение этой задачи достигается путем решения системы дифференциальных уравнений гиперболического типа в частных производных второго порядка, описывающих движение сечений бойка и стержня.
4. Разработанная компьютерная программа на основе численного метода позволяет решать задачу о генерировании волновых ударных импульсов в стержневой системе и оценивать результаты с высокой степенью точности.
5. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования формирования упругих волн в волноводах при ударе по ним полукатеноидальными бойками подтверждают принятое положение

о том, что полукатеноидальные бойки являются наиболее рациональными с точки зрения эффективности использования энергии удара.

6. Теоретические и экспериментальные результаты имеют удовлетворительную сходимость, что свидетельствует о пригодности разработанных автором аналитического и численного методов для расчета параметров ударных импульсов.
7. Разработанная конструкция бойков в биметаллическом исполнении свидетельствует о том, что данные бойки обладают эффектом катеноида и могут использоваться в современных ударных механизмах.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. Жуков И. А., Дворников Л. Т. Теоретические обоснования форм ударяющих тел для машин ударного действия. В кн.: Наука и молодежь: на рубеже тысячелетий: Труды региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией С.М. Кулакова / СибГИУ. – Новокузнецк, 2000.
2. Жуков И. А. К исследованию формирования ударного импульса в буровой штанге при ударе по ней катеноидальным бойком. В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией С. М. Кулакова / СибГИУ. – Новокузнецк, 2001.
3. Жуков И. А. Применение ЭВМ в исследовании формирования ударного импульса в стержнях при ударе по ним бойками различных форм. В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды региональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией С. М. Кулакова / СибГИУ. – Новокузнецк, 2002.
4. Дворников Л. Т., Жуков И. А. Анализ форм бойков ударных механизмов с точки зрения рациональности их применения. – В кн.: Наукоемкие технологии разработки и использование минеральных ресурсов: Материалы Международной научно-практической конференции. Сборник научных статей/. Под редакцией В. Н. Фрянова. Новокузнецк, 2003г.
5. Дворников Л. Т., Жуков И. А. Использование катеноидальных бойков в ударных системах технологического назначения. – В кн.: Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-9-2003): Доклады 9-й Международной научно-практической конференции. Улан-Удэ, 23, 24 сент. 2003 г./ Отв. ред. В. Н. Масленников. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003.
6. Жуков И. А. О преимуществах использования в ударных системах катеноидальных бойков и о возможности их встраивания в реальные конструкции. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски,

- решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией С. М. Кулакова; СибГИУ. – Новокузнецк, 2003. – Вып. 7. – Ч. II. Технические науки. – 507с.
7. Дворников Л. Т., Жуков И. А. Решение задачи о продольном соударении стержней на ЭВМ. – В кн.: X Юбилейная Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии», посвященная 400-летию г. Томска, 29 марта – 2 апреля 2004 г. Труды. В 2-х т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2004. – Т. 1. – 308 с.
 8. Дворников Л. Т., Жуков И. А. Биметаллический ударник. – В кн.: XXIV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 80-летию со дня рождения академика В. П. Макеева. Тезисы докладов. – Миасс: МСНТ, 2004. – 165 с.
 9. Жуков И. А. Изображение ударного импульса, генерируемого катеноидным бойком при ударе по полубесконечному стержню. – В кн.: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией С.М. Кулакова; СибГИУ. – Новокузнецк, 2004. – Вып. 8. – Ч. II. Технические науки. – 311 с.
 10. Дворников Л. Т., Жуков И. А. Боек ударного механизма. – В кн.: Инновации и изобретения года: материалы регионального конкурса. – Кемерово, 2005. – 80с.
 11. Патент №2182953 РФ, МПК E21B1/38, B25D17/02. Способ образования видов катеноидных бойков ударных механизмов / Дворников Л.Т., Жуков И.А., Стипанов А.Г. (РФ)–№2000132024/03; приоритет от 20.12.2000; опубл. 27.05.2002; Бюл. №15.
 12. Патент №2234583 РФ, МПК 7 E21B1/38, B25D17/02. Боек ударного механизма / Дворников Л.Т., Жуков И.А. (РФ) – № 2003109114/03; приоритет от 31.03.2003; опубл. 20.08.2004; Бюл. №23.

Жуков Иван Алексеевич

ФОРМИРОВАНИЕ УПРУГИХ ВОЛН В ВОЛНОВОДАХ
ПРИ УДАРЕ ПО НИМ ПОЛУКАТЕНОИДАЛЬНЫМИ БОЙКАМИ

Автореферат

ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42.