

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГОРНАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ

На правах рукописи

ХАМЗЕХ ХУСЕЙН

УДК 622.531

РАСЧЕТ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН  
СЛОЖНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ ПРИ ИХ НАГРУЖЕНИИ  
ПРОДОЛЬНЫМИ ВОЛНАМИ

Специальность 01.02.06 - Динамика, прочность машин,  
приборов и аппаратуры

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск - 1993

АВ 28.293

Работа выполнена на кафедре Технологии машиностроения  
Криворожского горнорудного института

ЛННБ України ім. В. Стефаника  
00810629 (Q)

- Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Багал А.И.
- Официальные оппоненты:
  - доктор технических наук, профессор Колосов Л.В.
  - кандидат технических наук, Надутый В.П.
- Ведущая организация - Криворожский завод по ремонту дизельных автомобилей

Защита состоится "14" ноября 1993 г. в 15<sup>00</sup> час.  
на заседании специализированного совета К 068.08.04 Государственной горной академии Украины по адресу: 320600, г.Днепропетровск, пр.К.Маркса, 19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан "13" октября 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
Государственной горной  
академии Украины, доктор  
технических наук, профессор

*Мишин* В.В.Мишин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность задачи. К технологиям, основанным на использовании волновых явлений в различных средах, относятся, прежде всего, ударное бурение, ударное дробление пород при добыче и обогащении в горной и строительной промышленности, ковка металлов и ударно-волновое резание при металлообработке, использование ударных волн при добыче нефти и др.

Оборудование для этих технологий работает в ударно-волновом режиме и требует постоянного усовершенствования. Для этих целей необходимо владеть достаточно точными методами расчета, позволяющими не только управлять процессами волнового нагружения ударом, но и обеспечивать условия полного использования энергии волн в волновых технологиях.

В настоящее время в этой области существует ряд задач, стоящих от исследователей своего прикладного решения, так как новые технологии и оборудование на основе волновых процессов не могут быть достаточно адекватно описаны уже исследованными методами. Одна из таких задач и решается в настоящей диссертации.

При расчете на прочность деталей машин и волноводов сложных геометрических форм, в условиях нагружения продольными волнами, конструкторы сталкиваются с проблемой отсутствия надежных методов расчета на прочность и методов обеспечения эффективной передачи и использования энергии волны в ударных машинах.

Существующие теории требуют оценки их применимости в переходных областях от одной теории к другой.

Цель диссертационной работы - разработка методов расчета на прочность волноводов сложных геометрических форм, условий передачи и эффективного использования энергии волны.

Идея работы. При расчете на прочность волноводов сложных геометрических форм основным критерием для оценки применимости существующих теорий и расчетных методов является отношение длины к диаметру волновода. При неправильно выбранной области применимости расчетных методов по названному критерию, количественно оцениваемая ошибка будет включать в себя искажение формы волны, величину амплитуды и длину волны, что в конечном счете определит условия передачи и эффективного использования энергии волны, так как форму волны необходимо проектировать под закон сопротивления обрабатываемой технологической среды волновому воздействию.

Методы исследования включают статистический и математический анализы результатов экспериментов, аналитические исследования несовершеннупругих систем и пружин методами математической физики, экспериментальные исследования быстропротекающих процессов (с помощью катодных осциллографов с памятью).

Основные научные положения, защищаемые в диссертации:

- установлена область адекватного применения существующих теорий удара. Для классической теории в области  $L/d < 4$ . Для волновой теории в области  $L/d > 4$ ;
- обоснована возможность управления вектором количества волнового движения путем использования сложных геометрических волноводов;
- доказано, что решение задач на прочность каната и пружины должно производиться с учетом как сдвиговых волн, затухающих на длине 10-15 диаметров, так и продольных волн, в совокупности обеспечивающих опасную суперпозицию в зоне приложения волновой нагрузки и увеличивающих суммарную длину волны;
- обосновано, что при излучении волн в технологические среды эффективность использования волновой энергии определяется степенью соответствия закона волнового нагружения закону сопротивления среды этому нагружению.

Научная новизна результатов исследований заключается в следующем:

1. Установлена количественная оценка отклонения теории Сен-Венана по критерию адекватности расчетных и экспериментальных результатов в переходных областях.
2. Разработаны расчетные методы на прочность волноводов сложных геометрических форм типа каната и пружины при ударных нагрузках.
3. Обосновано, что при расчете волнового деформирования технологических сред с критической скоростью необходимо учитывать то, что участки среды на длине волны приобретают текучесть.
4. Установлено, что при расчете параметров волнового взаимодействия инструмента с обрабатываемой средой в каждый момент времени количественно оценивается взаимодействие массы инструмента и массы технологической среды, охваченных к расчетному моменту волной.

5. Найдены расчетно-методические основы управления вектором количества волнового движения с использованием пространственных волноводов сложных форм, обеспечивающих создание механизмов, преобразующих продольное волновое движение во вращательное (волновых вращателей).

Обоснованность и достоверность научных предложений, выводов и рекомендаций подтверждается применением аналитических и расчетных методов теории удара, достаточной сходимостью теоретических исследований с практическими данными, с погрешностями не превышающими 20%, включая материалы внедрения результатов исследований на производстве, в частности волновых приводов горных машин, в дробного резания при металлообработке труднообрабатываемых материалов.

Научная ценность работы заключается в установлении количественного отклонения теории Сен-Венана в переходных областях для  $l/d \leq 4$ , а также в разработке расчетных методов на прочность волноводов сложной геометрии зернистых форм.

Практическая ценность работы:

- повышение надежности новых машин и технологий, работающих на волновых принципах, за счет применения методики расчета на прочность волноводов сложных геометрических форм;
- повышение эффективности новых машин и технологий за счет более полного использования энергии волн;
- разработаны и реализованы новые машины и технологии с использованием принципа управления вектором количества волнового движения в волноводах сложных геометрических форм (волновое резание, волновое вращение, волновое сжатие жидкостей и газов).

Реализация результатов работы. Результаты исследований реализованы в технологиях волнового резания на приспособлениях для станков на заводе "Восход" в г.Кривом Роге и технологиях волнового сжатия жидкости для повышения проницаемости нефтяных коллекторов в Иван-Франковске и Волгограде.

Апробация работы. Основные положения диссертации и результатов исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на научно-технических конференциях Криворожского горнорудного института (г.Кривой Рог, 1990-1992 г.г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в шести депонированных статьях и в трех изобретениях.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 57 наименований и приложений. Общий объем диссертации - 162 страницы. Из них 99 страниц основного текста, 30 страниц иллюстраций, 12 таблиц на 10 страницах, список использованной литературы на 5 страницах, приложения на 13 страницах.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние проблемы и направления исследований.

Определяющий вклад в развитие теории волн, разработку и внедрение в инженерную практику расчетных методов внесли Сен-Венан, Герц, Ф.К.Аридт, Е.В.Александров, Г.И.Савин, О.Р.Алимов, С.П.Тимошенко, А.Н.Гузь, М.Ф.Глушко, Л.В.Морозов и др. Однако, несмотря на большой объем фундаментальных исследований в области применения различных теорий удара, не представляется возможным достаточно четко выбрать расчетные методы для решения конкретных задач с целью использования расчетных задач для повышения надежности ударных машин на стадии проектирования.

При проектировании ударных систем возникают проблемы, связанные не только с надежностью и с эффективной передачей энергии, возбуждаемой при ударе по стержню, когда последний имеет сложную геометрическую форму, особенно это касается пружин и стержневых систем типа канатов.

Известно, что большинство расчетных методов на прочность волноводов сложных геометрических форм типа канатов и пружин при ударных нагрузках базируются на основе классической теории удара, которая исходит из того, что усилия, возникающие при динамическом ударе одновременно и равномерно действуют в любом поперечном сечении каната или пружины. Такие расчетные методы, называемые статическими решениями теории упругости, не соответствуют истинной картине формирования упругих волн при ударе, так как известно, что волна напряжения при

ударных нагрузках распространяется с ограниченной скоростью до конца волновода (каната или пружины). После этого она отражается от его конца и снова движется в сторону ударяемого торца с большой интенсивностью затухания.

В данной работе сделана попытка разработки более надежных методов расчета на прочность волноводов сложных геометрических форм на основе волновой теории удара, где динамические напряжения имеют локальный характер во времени и в пространстве (по длине волновода).

В ходе проведенных исследований и анализа различных теорий удара было доказано, что для волноводов, имеющих продольные размеры, превышающие поперечные в четыре раза, наиболее подходящей теорией является эсловая теория. Анализ осциллограмм формирования упругих волн в волноводах сложных геометрических форм позволило отметить, что суперпозиция прямых и отраженных волн, обеспечивающих максимальное напряжение, возникает именно на длине волновода, охваченного волной в непосредственной близости от ударяемого торца, так как доказано, что упругие волны, сформированные в таких типах волноводов, имеют тенденцию к интенсивному затуханию вследствие отражений и дисперсии.

Таким образом, для дальнейших экспериментальных исследований были использованы методы волновой теории удара и, на основе волновой теории, получена возможность создания наиболее надежных расчетных методов на прочность и методов оценки передачи энергии волны в конкретных задачах по волновому резанию и сверлению, а также оценены ошибки при применении различных теорий в переходных областях между существующими теориями.

Методика экспериментальных исследований  
и анализ параметров ударных импульсов,  
формируемых в волноводе.

Рассмотрено влияние конструкции ударников и волноводов на форму импульсов как в сплошных стержнях, так и в несовершеннупругих стержневых системах — канатах.

При исследовании волн в стержневых системах методика эксперимента была концептуально сориентирована на решение

прикладных задач оптимального конструирования стержневых деталей-волноводов бурильных машин ударного действия. Нами был изготовлен копровый стенд с осциллографической аппаратурой для регистрации ударных импульсов. Особенностью этого стенда является то, что граничные условия на противоположном от ударяемого торца конце стержня имитировали с помощью упругих элементов, условия с практически полным отражением начальной волны сжатия волной растяжения. Датчики располагались от нижнего торца на расстоянии, превышающем длину волны, что исключало наложение прямой и отраженной волн.

По результатам экспериментов получено обоснование области применения теории Сен-Венана по оценке параметров формы волны и величины отклонения экспериментальных значений амплитуды напряжения от расчетных значений по теории Сен-Венана в переходных областях. При соотношении длины ударника к диаметру больше четырех ( $l/d > 4$ ), отклонение расчетных значений от экспериментальных находилось в пределах 15%; для соотношения ( $2 < l/d < 4$ ) это отклонение находилось в пределах 15-40%; для условий ( $l/d < 2$ ) несоответствие экспериментальных и расчетных значений увеличивалось свыше 40%, что свидетельствовало о непригодности теории Сен-Венана для этих условий (рис.1).

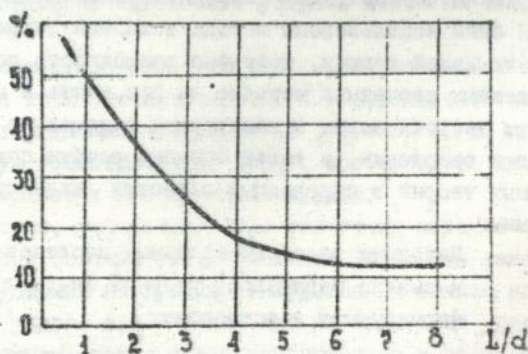


Рис.1. Характеристика отклонений экспериментальных и расчетных результатов при соударении ударников различных длин и равных сечений с волноводом.

Анализ параметров ударных импульсов, полученных в результате соударения ударников, имеющих различные конфигурации, позволили сделать вывод, что для получения оптимального ударного импульса (например, при бурении, волновом резании или сжатии жидкости и газов), который обеспечивает условия полного использования энергии ударника и обеспечивает прочность бурового инструмента или излучателя и всей машины, необходим выбор оптимальных параметров ударника.

Волновая картина нагружения несовершеннупругих стержней (типа канатов) определяется суперпозицией продольных и сдвиговых волн, распространяющихся вдоль оси стержня с различными скоростями. Вследствии суперпозиции продольного импульса возбуждаемыми этим импульсом сдвиговыми волнами в несколько раз увеличивается суммарная длина волнового возмущения, что может быть эффективно использовано при ударном бурении и в других волновых технологиях (эффективность разрушения породы при бурении возрастает пропорционально росту длины волны).

Установлено интенсивное затухание суперпозиции продольной и сдвиговых волн. Декремент затухания, вычисленный на основе экспериментов с помощью метода анализа прямых и отраженных импульсов, который позволяет определить все параметры ударного импульса, составил 21% для несовершеннупругих стержневых систем типа каната.

Теоретические исследования и разработка методов расчета на прочность волноводов сложных геометрических форм при ударных нагрузках.

Разработана методика расчетов на прочность стержневых деталей, а также несовершеннупругих (типа канатов) стержней и пружин при ударной нагрузке, где впервые учтены процессы формирования волн деформации на длине, охваченной волной, а не во всем стержне. При этом, влияние волнового напряжения рассматривается на длине, равной длине волны от плоскости контакта соударяющихся тел. Целесообразность такого подхода подтверждает анализ поломок пружин - ломаются первые от плоскости удара витки. После претраждения удара, охваченная волной часть детали распространяется с быстрозатухающим по амплитуде напряжением.

При расчете пружины и несовершеннупругих тальмоводов, принимаются следующие допущения:

а) учитывается волновое взаимодействие массы ударника с массой витков, охваченных волной;

б) расчет на прочность производится только тех первых витков, которые охвачены волной;

в) жесткость пружины или несовершеннупругого стержня зависит от длины участка, охваченного волной.

Таким образом, ударная жесткость пружины равна:

$$C_{уд} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot \pi^2 \cdot l_{охв}}; \quad (1)$$

где  $G$  — модуль сдвига материала пружины;  $d$  — диаметр проволоки;  $\bar{d}$  — средний диаметр пружины;  $l_{охв}$  — число витков пружины, охваченных волной.

Ударная жесткость каната определяется по формуле:

$$C_{уд} = EF / L_{охв}; \quad (2)$$

где  $E$  — модуль упругости материала каната;  $F$  — площадь поперечного сечения каната;  $L_{охв}$  — длина каната, охваченного волной.

Для определения числа витков пружины, охваченных волной, нами было принято допущение о том, что перемещение и, соответственно, волновая скорость в сечениях пружины изменяются по линейному закону. Тогда на расстоянии  $X$  от ударяемого торца будет иметь место соотношение  $V_0 \cdot X / L = V$ , а масса отрезка  $dx$ , охваченного волной, равна  $M_{лп} \cdot dx / L$ . Соответственно определяется и кинетическая энергия массы пружины:

$$K_{лп} = \frac{1}{2} \int_0^L \left( \frac{V_0 X}{L} \right)^2 \frac{M_{лп} \cdot dx}{L}; \quad (3)$$

откуда

$$K_{лп} = \frac{1}{2} M_{лп} V_0^2 \cdot \frac{1}{3}. \quad (4)$$

Таким образом, масса пружины, участвующая в ударе, в три раза меньше полной массы пружины. В результате — число витков, участвующих в ударе, будет в три раза меньше полного числа витков пружины.

Ударная жесткость пружины в этом случае будет равна:

$$C_{уд} = 3C_{ст}; \quad (5)$$

а длина каната, охваченного волной -

$$L_{\text{охв}} = T_{\text{соб}} \cdot r; \quad (6)$$

где  $T_{\text{соб}} = 2L_{\text{уд}}/c_1$  - длительность собственных колебаний продольных волн в ударнике;  $L_{\text{уд}}$  - длина ударника;  $c_1$  - скорость распространения ударных волн в ударнике;  $r = \frac{c_1}{c_2} = \frac{(\rho_1 \Gamma)_{\text{уд}}}{(\rho_1 \Gamma)_{\text{кан}}}$  - коэф-

фициент продолжительности главного импульса, содержащий основную энергию удара;  $(\rho_1 \Gamma)_{\text{уд}}$ ,  $(\rho_1 \Gamma)_{\text{кан}}$  - линейные плотности ударника и каната соответственно, скорости распространения продольных волн в ударнике и канате соответственно и площади поперечных сечений ударника и каната соответственно.

Разработан еще один подход к расчету на ударную прочность пружины и каната. В этом случае сделано допущение о том, что распределение напряжения по виткам пружины или каната не равномерно и эта неравномерность обусловлена процессом распространения волн деформации, возникающих в зоне контакта в первом витке. Волны быстро затухают при распространении в витках пружины или каната (рис.2).

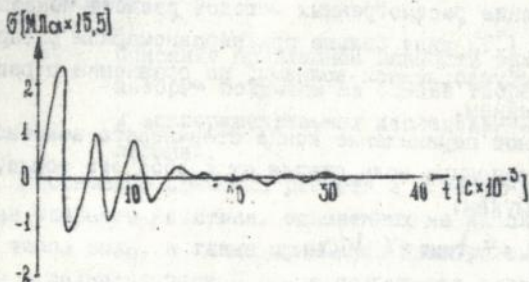


Рис.2. Иллюстрация интенсивного затухания волны, сформированной продольным ударом по свободному торцу ударником равного с волноводом сечения.

На основе эксперимента принимаем закон падения напряжения линейным (рис.3). Наибольшее значение напряжения соответствует ударяемому витку, где  $X = 0$ , а в последнем витке, где  $X = L$ , напряжение равно нулю. Тогда:

$$\sigma_x = \sigma_{\text{max}} (L - X) / L. \quad (7)$$

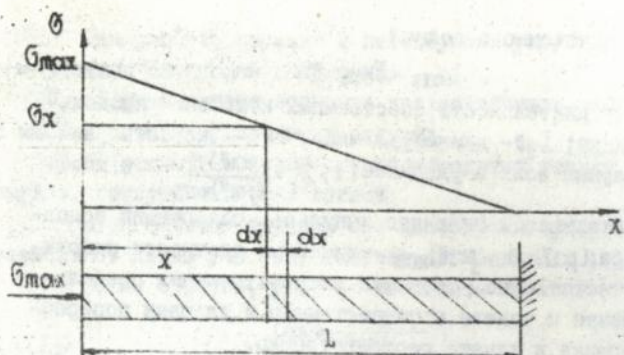


Рис.3. Расчетная схема прочности несовершеннупругих (канатов) и сверхупругих (пружин) волноводов при ударных нагрузках.

Сила, возникающая в контактном сечении, находится по формуле:

$$N_{\max} = v_0 \sqrt{5m \cdot c} = 1,73 v_0 \sqrt{m \cdot c} \quad (8)$$

Сопоставление рассмотренных методов расчета показывает, что усилие в 1,73 раза больше при неравномерном распределении нагрузки, обусловленной волнами, по сравнению с равномерным распределением.

Максимальное перемещение конца стержневого волновода под действием отраженных волн сжатия от свободного торца, находится по формулам:

$$\Delta L = v \cdot t_{\text{имп}} = v \cdot \lambda / a, \quad (9)$$

$$\Delta L = \xi \cdot \lambda = \frac{[\sigma]}{E} \cdot \lambda, \quad (10)$$

где  $v$  — скорость перемещения конца волновода при отражении ударного импульса;  $t_{\text{имп}}$  — длительность ударного импульса;  $\lambda$  — длина ударного импульса;  $a$  — скорость распространения продольного импульса в волноводе;  $[\sigma]$  — допустимая величина напряжения на участке волновода, охваченном волной.

Перемещение свободного конца стержневого волновода под действием отраженной волны может быть использовано для воздействия на различные технологические среды, в частности, для создания импульсов давления высокой амплитуды в твердых телах, жидкостях и газах.

Разработана методика параметров волнового сверления и резания, где рассмотрены общие принципы волнового энергообмена инструмента с обрабатываемой средой и волновое деформирование технологических сред с сверхкритической скоростью в технологических системах металлообработки. Эти же принципы пригодны и для ударного разрушения горных пород при бурении и обогащении. Критическая скорость волнового движения, при которой обрабатываемая среда приобретает текучесть, определяется из формулы:

$$V_{кр} = [\sigma] / E \cdot \alpha; \quad (II)$$

где  $[\sigma]$  — допускаемое напряжение;  $\alpha$  — скорость распространения продольных волн в материале;  $E$  — модуль упругости металла.

Установлено, что при волновом деформировании технологических сред с сверхкритической скоростью ускоряется процесс разрушения, повышается режущая стойкость инструмента, повышается качество обработанных поверхностей и снижается энергоемкость процесса.

Описание прикладной ценности тех видов, которые получены на основе теоретических и экспериментальных исследований волновых явлений.

Основные принципы расчета и конструирования горных машин ударного действия, основанных на использовании различных типов волн, а также принципов преобразования и излучения волн в технологической среде при сжатии жидкостей и газов, разработке приводов машин ударного действия.

С участием автора разработаны предложения по совершенствованию нового устройства для сжатия жидкостей и газов и их транспортирования.

Разработана принципиальная схема и осуществлено теоретическое обоснование и экспериментальная проверка нового привода вращения для горных машин ударного действия.

В основу этого привода положено импульсно-реактивное преобразование энергии в волноводах сложных геометрических форм (рис. 4). В этом приводе осуществляется преобразование продольных волн в крутильные волны (рис. 5). Таким образом создается крутящий момент большой величины, достаточный для

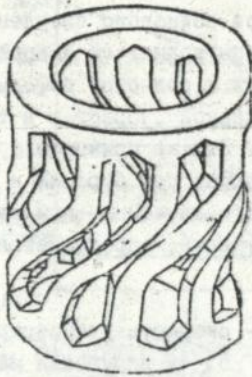


Рис. 4. Гильза-преобразователь траектории продольного волнового движения в крутильные.

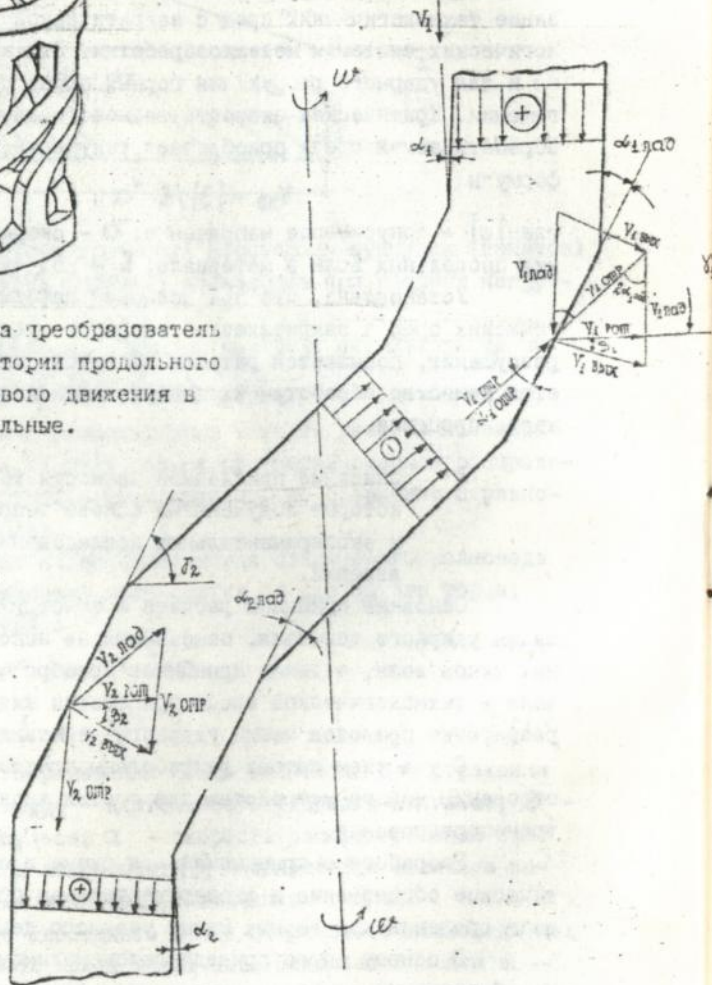


Рис. 5. Расчетная схема пространственного волновода по изменению вектора скорости при изменении направления движения волны.

эффективного вращения исполнительных органов и, в первую очередь, бурового инструмента при ударно-вращательном бурении.

Применение участков волноводов в виде несовершеннорупругой структуры стержней позволяет подать на инструмент кроме продольных волн также и крутильные. При этом решаются две задачи: увеличивается длительность волнового воздействия за счет сдвиговой волны, сопровождающей продольную, а также появляется эффект сдвигового разрушения, которое по своей природе менее энергоемко, чем процесс разрушения раздвиганием. Повышение длительности волны также почти пропорционально снижает энергоемкость разрушения при ударном бурении скальных пород.

#### Заключение и выводы.

В диссертации получено новое решение задачи расчета на прочность волноводов сложных геометрических форм при ударных нагрузках с учетом волновых процессов, происходящих на длине волноводов, охваченной волной и на основе экспериментальных исследований определена ошибка теории Сен-Венана в переходных областях.

В совокупности полученные результаты представляют теоретическую основу для повышения эффективности и надежности ударного оборудования.

1. Установлено, что отклонение расчетных от экспериментальных значений для условий  $L/d > 4$  находилось в пределах 15%. Для условий  $L/d < 4$  - отклонение расчетных от экспериментальных значений увеличивалось до величины 40%, что свидетельствовало о непригодности теории Сен-Венана для этих условий.

2. Для снижения амплитуды напряжений и повышения коэффициента передачи энергии, рекомендуется применять детали равного сечения или с минимальными перепадами сечения вдоль оси (не более 30%).

3. Установлено интенсивное нагружение суперпозицией продольной и сдвиговых волн волноводов сложной структуры. Декремент затухания, вычисленный на основе экспериментов, составил 21%.

Последнее обстоятельство может быть эффективно использовано в волновых технологиях, связанных со сжатием и перемещением технологических сред, где требуются условия полного использования энергии (без последствия).

4. При расчете на ударную прочность сверхупругих стержней (пружин) крутильная волна, продольная и изгибная образуют опасную суперпозицию на первых витках, охваченных начальной волной. Поэтому, на ударную прочность должны рассчитываться только первые витки.

5. Перемещение конца свободного волновода под действием продольных волн можно использовать как поршень, для получения высокого давления жидких и газообразных сред.

6. Полное использование энергии волны будет иметь место в том случае, когда силовая характеристика волны - форма волнового импульса в координатах сила - время полностью соответствует кривой изменения сопротивления среды на всей длине волны. Отсюда вытекает задача управления формой волны и обеспечение прочности излучателя (бурового инструмента) от суперпозиции, создавшейся в результате наложения отраженных волн на прямые.

7. При воздействии на технологические среды со скоростью частиц в волне, превышающей критическую скорость, при которой в твердых телах возникают пластические деформации, представляется возможным повысить эффективность таких волновых технологий как ударное бурение, дробление горных пород при обогащении, волновое резание и сверление, и др.

8. Выбор определенных параметров волновода позволяет преобразовать поступательные движения деталей машин во вращательные.

9. Использование волнового движения обрабатываемых сред, а также поршневого эффекта от волнового движения конца излучателя, позволило применить волны сжатия для накопления сжатых жидкостей и газов в замкнутых объемах под давлением, то есть обеспечить волновое компримирование жидкостей и газов.

Основное содержание диссертации опубликовано  
в следующих работах:

1. Основы волновой теории удара / Хусейн Хамзех; Криворож.горнорудн.ин-т. - Кривой Рог, 1991. - 46 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 09.09.91, № 1267-Ук 91.

2. Управление силовыми процессами в зоне волнового воздействия инструмента в обрабатываемой среде в системах с волновым деформированием и перемещением технологической среды / Бажал А.И., Хамзех Хусейн; Криворож.горнорудн.ин-т. - Кривой Рог, 1992. - Деп. в УкрИНТЭИ 26.02.92, № 230-Ук 92.

3. Некоторые общие принципы волнового энергообмена инструмента с обрабатываемой средой в системах с волновым деформированием и перемещением технологической среды / Бажал А.И., Хамзех Хусейн; Криворож.горнорудн.ин-т. - Кривой Рог, 1992. - Деп. в УкрИНТЭИ 26.02.92, № 231-Ук 92.

4. Волновое деформирование технологических сред с сверхзвуковой скоростью в технологических системах металлообработки / Бажал А.И., Хамзех Хусейн, Чубенко В.А.; Криворож.горнорудн.ин-т. - Кривой Рог, 1992. - Деп. в УкрИНТЭИ 26.02.92, № 232-Ук 92.

5. Динамический расчет подвижных сопряжений деталей машин при осевых импульсных нагрузках / Бажал А.И., Хусейн Хамзех; Криворож.горнорудн.ин-т. - Кривой Рог, 1992. - Деп. в УкрИНТЭИ 28.04.92, № 495-Ук 92.

6. Расчет динамики работы неподвижных сопряжений деталей машин в условиях осевых импульсных нагрузок / Бажал А.И., Хамзех Хусейн; Криворож.горнорудн.ин-т. - Кривой Рог, 1992. - Деп. в УкрИНТЭИ 28.04.92, № 233-Ук 92.

Соискатель

 Хамзех Хусейн

г.Кривой Рог, ул.ХХП партсъезда, 11  
РПН КГРМ зак. № 72 тир. 100 экз.  
объем 1 п.лист



463340

AB 28.293