

На правах рукописи



**ГАЛДИН Владимир Николаевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРНОГО УСТРОЙСТВА  
АКТИВНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ЭКСКАВАТОРА**

Специальность 05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-транспортные  
машины

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Омск –2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

**Научный руководитель:** **Щербаков Виталий Сергеевич,**  
Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» (г. Омск)

**Официальные оппоненты:** **Кутумов Алексей Анатольевич,**  
доктор технических наук, доцент, Рубцовский индустриальный институт (РИИ) (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), директор (г. Рубцовск)

**Чернявский Дмитрий Иванович,**  
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ), профессор кафедры «Машиноведение» (г. Омск)

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ИРНИТУ) (г. Иркутск)

Защита состоится « 20 » мая 2020 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета ВАК РФ Д 212.250.02 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, ауд. 3124. Тел. (3812) 65-03-23, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» и на сайте университета по адресу <https://sibadi.org/about/units/institut-magistratury-i-aspirantury/studies/dissertations/62932/>.

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах с подписью, заверенной гербовой печатью учреждения), просим высылать по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5. Тел. (3812) 65-03-23, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru.

Автореферат разослан « 30 » марта 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



Кузнецова  
Виктория Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

Для разрушения мерзлых, прочных, скальных грунтов, бетонных оснований и дорожных покрытий, в том числе в стесненных местах, в условиях городской застройки, а также при реконструкции различных производственных объектов широко применяются навесные гидравлические машины ударного действия к экскаваторам с гидроприводами.

Несмотря на многообразие гидроударных импульсных систем, по-прежнему остается острой необходимость создания новых гидроударных устройств, обеспечивающих надежную работу гидроимпульсных средств механизации, с высоким коэффициентом полезного действия (КПД) при различных специфических условиях работы.

Методика проектирования гидроимпульсных систем достаточно хорошо отработана, однако ее применение к машинам ударного действия для разработки различных грунтов требует уточнения и развития.

Процесс создания высокоэффективных гидравлических машин ударного действия предполагает установление закономерностей строения, развития гидравлических ударных устройств и влияния на их выходные показатели конструктивных параметров основных функциональных элементов гидроударников.

Используемые в проектировании гидроимпульсных средств механизации пакеты проектирования и методики не интегрируются между собой при организации полноценных проектов в рамках информационного взаимодействия различных предприятий, разрабатывающих гидроимпульсные средства механизации.

Проблема разработки эффективных рабочих органов, методов моделирования гидроударных устройств активных рабочих органов экскаваторов на основе современных компьютерных технологий для решения задач проектирования эффективных активных рабочих органов является весьма актуальной.

### **Степень разработанности темы исследования**

Общие вопросы теории и создания гидравлических машин ударного и вибрационного действия нашли отражение в работах О.Д.Алимова, Т.В.Алексеевой, А.М.Ашавского, С.А.Басова, Б.Н.Глотова, Л.В.Городилова, Ю.В.Дмитревича, Д.Н.Ешуткина, А.С.Кадырова, А.Ф.Кичигина, П.Я.Крауиньша, А.Б.Клока, А.Г.Лазуткина, И.Б.Матвеева, Г.Г.Пивень, Г.Л.Полонского, А.С.Сагинова, Ю.М.Смирнова, О.Г.Савчака, Л.С.Ушакова, А.И.Федулова, И.А.Янцена и др.

В СибАДИ вопросами создания беззолотниковых гидроударных устройств занимались Е.А.Бедрина, А.А.Гришакин, В.В.Исаенко, С.П.Лупинос, И.М.Мурсеев, В.П.Радищев, И.А.Семенова, И.А.Угрюмов, Э.Б.Шерман и др.

Диссертация соответствует специальности 05.05.04 – «Дорожные, строительные и подъёмно-транспортные машины», пункты: 2 – методы моделирования, прогнозирования, исследований, расчета технологических параметров, проектирования, испытаний машин, комплектов и систем, исходя из условий их применения; 3 – совершенствование технологических процессов на основе новых технических решений конструкций машин.

**Объект исследования:** гидроударные устройства активных рабочих органов экскаваторов.

**Предмет исследования:** закономерности формирования основных параметров гидроударных устройств активных рабочих органов экскаваторов.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности активных рабочих органов экскаваторов на основе гидравлических ударных устройств для разработки грунтов.

### **Задачи исследования:**

1. Обоснование критерия эффективности гидроударных устройств, используемых в качестве активных рабочих органов экскаваторов.

2. Разработка математической модели гидроударных устройств активных рабочих органов экскаваторов.

3. Выявление функциональных зависимостей, устанавливающих связи между основными конструктивными параметрами гидроударных устройств, используемых в качестве активных рабочих органов.

4. Разработка инженерной методики проектирования гидроударных устройств активных рабочих органов экскаваторов.

5. Разработка перспективных конструкций гидроударных устройств активных рабочих органов экскаваторов.

#### **Научная новизна диссертационной работы:**

1. Созданы математические модели активных рабочих органов экскаваторов на основе гидроударников, предназначенные для разработки различных видов грунтов. Математическая модель гидроударного устройства экскаватора составлена с учетом основных конструктивных параметров гидроударника, его элементов, параметров гидропривода базовой машины, описывает характерные фазы работы устройства.

2. Установлены характеристики и функциональные зависимости основных параметров гидроударных устройств, которые позволяют прогнозировать основные параметры гидроударников при проектировании активных рабочих органов экскаваторов.

3. Впервые получены функциональные зависимости в виде уравнений регрессии частоты ударов гидроударного устройства и его длины от энергии единичного удара. Впервые получены уравнения регрессии для скорости, энергии удара в зависимости от давления зарядки газа, массы бойка, величины хода бойка гидроударника.

4. Разработан пользовательский интерфейс (рабочие окна) для определения основных параметров гидроударного устройства (энергии единичного удара, диаметра хвостовика инструмента, массы гидроударного устройства, ударной мощности, максимальной частоты ударов и др.). Создан программно-имитационный комплекс моделирования активных рабочих органов экскаваторов на основе гидроударников.

5. Предложен обобщенный (комплексный) критерий эффективности гидроударного устройства – коэффициент технического уровня, включающий основные локальные показатели (энергию единичного удара, массу гидроударника, частоту ударов).

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов работы**

1. Созданный программно-имитационный комплекс моделирования активных рабочих органов на основе гидроударников позволяет формировать их основные параметры и проводить имитационное моделирование на ЭВМ их рабочих процессов, позволит значительно сократить трудовые и временные затраты конструкторских бюро, а также других предприятий, занимающихся разработкой гидроударников.

2. Разработки по технической реализации создания перспективных гидравлических ударных устройств подтверждены 4 патентами РФ на полезные модели, 2 свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ и 2 свидетельствами о регистрации электронных ресурсов (алгоритмов).

3. Разработана методика проектирования и расчета основных параметров активных рабочих органов экскаваторов на основе гидроударников.

4. Предложенные конструкции беззолотниковых гидроударных устройств могут быть использованы при создании активных рабочих органов не только экскаваторов, но и дорожно-строительных машин (ДСМ). Результаты диссертационных исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «СибАДИ».

**Методология и методы исследований.** В качестве общего методологического подхода работы принята методология системного анализа. В работе использовались методы математического и имитационного моделирования, регрессионного анализа, теории планирования эксперимента, гидромеханики, теоретические положения систем автоматизированного проектирования.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Обобщенный (комплексный) критерий эффективности гидроударного устройства – коэффициент технического уровня, включающий основные локальные показатели (энергию единичного удара, массу гидроударника, частоту ударов).

2. Математическая модель гидроударного устройства, учитывающая основные конструктивные параметры гидроударника, его элементов, параметры базовой машины, описывающая характерные фазы работы устройства (взвод, рабочий ход) и представляющая собой нелинейные системы дифференциальных и алгебраических уравнений с переменными коэффициентами.

3. Функциональные зависимости частоты ударов гидроударного устройства и его длины от энергии единичного удара в виде уравнений регрессии, которые позволяют прогнозировать основные параметры гидроударников при проектировании активных рабочих органов экскаваторов.

4. Результаты вычислительного эксперимента при исследовании гидроударного устройства, позволившие получить уравнения регрессии для скорости, энергии удара в зависимости от давления зарядки газа, массы бойка, величины хода бойка гидроударника.

5. Система автоматизированного моделирования гидравлических ударных систем, состоящая из математической модели, аппаратных средств, совмещенных с аппаратными средствами ЭВМ, набора алгоритмов и программ.

6. Инженерные разработки конструкций гидроударных устройств для активных рабочих органов экскаваторов

### **Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:**

Применением современных математических методов исследования; достаточной аргументированностью принятых допущений, сравнением теоретических результатов, полученных на основе используемых теорий, имитационного моделирования с экспериментальными данными, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

### **Апробация результатов работы.**

Отдельные этапы и основные результаты работы докладывались и получили одобрение на научных семинарах СибАДИ, научных, научно-практических, республиканских и международных конференциях: 63-ой, 64-ой, 65-ой научно-технических конференциях ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (г. Омск, 2009 – 2011 гг.); международных 66-ой, 67-ой научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (г. Омск, 2012 – 2013 гг.); международной научно-практической конференции «Развитие дорожно – транспортного и строительного комплексов и освоение стратегически важных территорий Сибири и Арктики: вклад науки» (г. Омск, СибАДИ, 2014 г.); международной научно-практической конференции «Архитектура, строительство, транспорт: к 85-летию ФГБОУ ВПО СибАДИ» (г. Омск, 2015 г.); международной научно-практической конференции «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплекс: проблемы, перспективы, новации» (г. Омск, СибАДИ, 2016 г.); XI-ой Всероссийской научно-инновационной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с элементами научной школы «Теоретические знания – в практические дела» (г. Омск, РосЗИТЛП, 2010 г.); V-ой, VI-ой, VII-ой Всероссийских научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования» (г. Омск, СибАДИ, 2010 – 2012 гг.); III-ей Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Россия молодая: передовые технологии – в промышленность» (г. Омск, ОмГТУ, 2010 г.); Региональной научно-технической конференции молодых ученых, студентов, аспирантов «Новые технологии на транспорте, в энергетике и строительстве» (г. Омск, Омский институт водного транспорта (филиал) ФГОУ ВПО НГАВТ, 2010 г.). I-ой, VI-ой, VII-ой, VIII-ой Всероссийских научно-технических конференциях «Современная техника и технологии: проблемы, состояние, перспективы» (г. Руб-

цовск, Рубцовский индустриальный институт, 2011, 2016, 2017, 2018 гг.); международной научно-практической конференции «Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства» (г. Красноярск, СФУ, 2016 г.); III-ей Международной научно-технической конференции (г. Омск, ОмГТУ, 2019 г.); III International scientific conference "MECHANICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY UPDATE" 23-24 April 2019. Omsk, Russia.

### **Реализация результатов работы**

Результаты исследований переданы для использования в АО «ОМСКТРАНСМАШ», г. Омск; ОАО «Мостовое ремонтно-строительное управление», г. Омск; ОАО «Конструкторское бюро транспортного машиностроения», г. Омск. Используются в учебном процессе при подготовке инженеров по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», бакалавров и магистров по направлениям 23.03.02 и 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы».

**Публикации.** По материалам диссертационных исследований опубликованы монография и 26 печатных работ, в том числе 8 работ в изданиях из перечня ВАК РФ и 1 статья в издании, включенном в базу SCOPUS. Получено 4 патента Российской Федерации на полезные модели, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 2 свидетельства о регистрации электронных ресурсов (алгоритмов).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Работа содержит 166 страниц, в том числе 12 таблиц, 92 рисунка, список литературы из 158 наименований и приложение на 16 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, изложены цель и основные задачи исследования, сформулированы научная новизна и практическая ценность работы и основные результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен анализ состояния вопроса по гидроударным устройствам: проанализированы активные рабочие органы экскаваторов, области применения гидроударных импульсных систем; дана классификация и проведен анализ конструкций гидроударных устройств; рассмотрены особенности структуры и схем беззолотниковых гидроударных устройств; приведена информация об основных параметрах гидроударных устройств; представлены сведения о системах автоматизированного моделирования оборудования активного действия на основе гидроударников и их программное обеспечение.

Особенностью развития экскаваторов является повышение рабочей эффективности, расширение универсальности их применения, в том числе благодаря применению широкой гаммы сменного навесного рабочего оборудования.

В качестве сменного навесного рабочего оборудования экскаваторов широко используются гидравлические ударные устройства – механизмы, в которых энергия жидкости генерируется в импульсы силы определенной частоты и амплитуды, воздействующие на разрушаемую среду.

Гидроударное устройство включает следующие основные элементы: энергетический блок, орган управления рабочим циклом и инструмент. Энергетический блок гидроударника преобразует непрерывно подводимую энергию от насоса экскаватора в дискретную энергию с большим значением ударной мощности. Орган управления предназначен для управления рабочим циклом гидроударника.

Наибольшее распространение получили гидropневматические ударные устройства, в которых взвод ударной части осуществляется рабочей жидкостью, а рабочий ход происходит за счет энергии сжатого газа пневмоаккумулятора.

К основным параметрам гидроударников относятся:

- энергия единичного удара  $T$ ;
- частота ударов  $f$ ;

- эффективная (ударная) мощность  $N_{уд}$ ;
- масса бойка  $m$ ;
- масса гидроударного устройства  $M$ ;
- диаметр хвостовика инструмента  $d$ ;
- длина гидроударного устройства  $L$ ;
- коэффициент полезного действия (КПД)  $\eta$ .

Базовая машина характеризуется массой  $m_0$ , мощностью насосной установки  $N_n$ , которая зависит от номинального давления и подачи насоса.

**Во второй главе** представлены: анализ схем гидроударных устройств; уравнения регрессии параметров гидроударных импульсных систем; расчетная схема и основные допущения для составления математической модели гидроударного устройства; математическая модель гидроударного устройства; энергетические характеристики гидроударного устройства.

Проектирование гидроударных устройств представляет процесс, включающий синтез структуры объекта, выбор параметров элементов, исследование математической модели, анализ результатов и принятие решения.

Многообразие существующих гидроударных импульсных систем (гидромолотов) вместе с накопленным опытом их применения позволяет выявить определенные закономерности и выработать объективные рекомендации для выбора конструктивных параметров гидроударных устройств.

На основе проведенного регрессионного анализа статистических данных технических характеристик существующих гидроударных устройств были впервые установлены:

1) зависимость частоты ударов гидроударного устройства от энергии единичного удара, которая выражается следующим уравнением регрессии (рисунок 1) (с коэффициентом детерминации  $R^2=0,8475$ ):

$$f = -3,778 \cdot \ln(T) + 40,348, \quad (1)$$

где  $f$  – частота ударов, Гц;  $T$  – энергия единичного удара, Дж,  $T \in (200, 5000)$ ;

2) зависимость длины гидроударного устройства от энергии единичного удара, которая выражается следующим уравнением регрессии (рисунок 2) ( $R^2=0,9165$ ):

$$L = 193,63 \cdot T^{0,3174}, \quad (2)$$

где  $L$  – длина гидроударного устройства, м;  $T$  – энергия единичного удара, Дж,  $T \in (200, 5000)$ ;

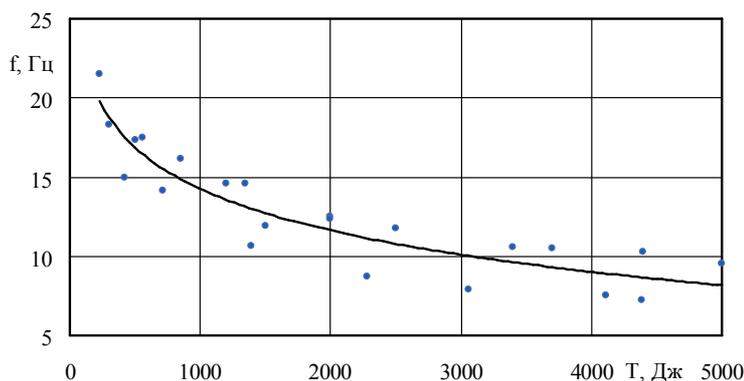


Рисунок 1 – Зависимость частоты ударов гидроударника  $f$  от энергии единичного удара  $T$

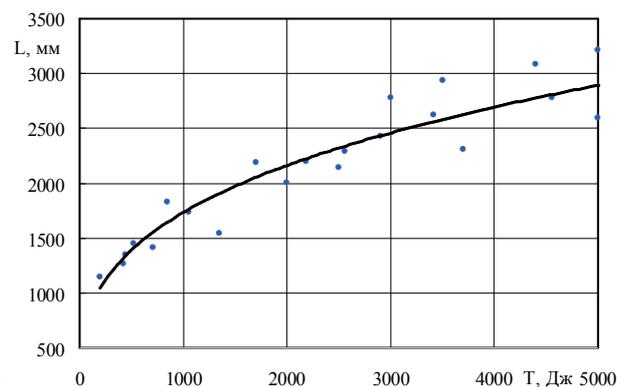


Рисунок 2 – Зависимость длины гидроударника  $L$  от энергии единичного удара  $T$

Полученные зависимости были дополнены известными функциональными зависимостями между следующими основными параметрами гидроударных устройств:

- Диаметром хвостовика инструмента гидроударного устройства  $d$  (мм) и энергией единичного удара  $T$ :

$$d = a_{10} + a_{11} \cdot T + a_{12} \cdot T^2, \quad (3)$$

где  $a_{10}$ ,  $a_{11}$ ,  $a_{12}$  – коэффициенты,  $a_{10} = 49,17$ ;  $a_{11} = 0,0354$ ;  $a_{12} = -2,8885 \cdot 10^{-6}$ ;  $T$  – энергия единичного удара, Дж,  $T \in (200, 6000)$ .

- Массой гидроударного устройства  $M$  (кг) и энергией единичного удара  $T$ :

$$M = a_{20} + a_{21} \cdot T + a_{22} \cdot T^2, \quad (4)$$

где  $a_{20}$ ,  $a_{21}$ ,  $a_{22}$  – коэффициенты,  $a_{20} = 3,20$ ;  $a_{21} = 0,5704$ ;  $a_{22} = -0,000035$ ;  $T$  – энергия единичного удара, Дж,  $T \in (200, 6000)$ .

- Массой гидроударного устройства  $M$  (кг) и массой экскаватора (базовой машины):

$$M = a_{30} + a_{31} \cdot m_3 + a_{32} \cdot m_3^2, \quad (5)$$

где  $a_{30}$ ,  $a_{31}$ ,  $a_{32}$  – коэффициенты,  $a_{30} = 157,36$ ;  $a_{31} = 27,90$ ;  $a_{32} = 1,028$ ;  $m_3$  – масса экскаватора, т,  $m_3 \in (4, 40)$ .

На рисунках 3, 4 представлены зависимости, полученные по уравнениям регрессии (3), (4) и (5) соответственно.

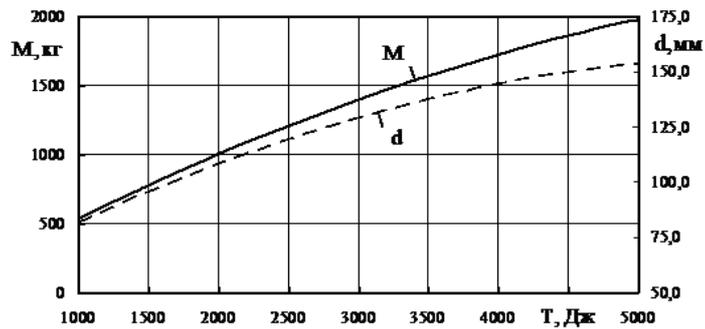


Рисунок 3 – Зависимость массы гидроударника  $M$  и диаметра хвостовика  $d$  инструмента от энергии единичного удара  $T$

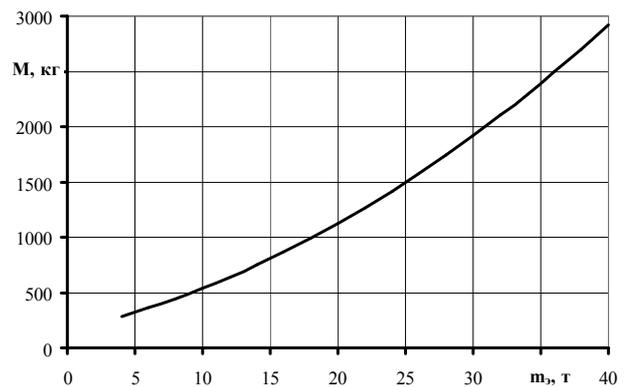


Рисунок 4 – Зависимость массы гидроударника  $M$  от массы экскаватора  $m_3$

Зависимость массы бойка гидроударника от энергии единичного удара и скорости бойка в момент удара представлена на рисунке 5. На рисунке 6. показано рабочее окно определения параметров гидроударного устройства. На рисунке 7 приведена расчетная схема гидроударного устройства.

При составлении математической модели гидроударного устройства принят ряд допущений, которые, сохраняя качественную сторону процесса, позволяют упростить математическую модель. На основании ряда теоретических и экспериментальных исследований представляется возможным принять следующие основные допущения: рабочая жидкость имеет постоянные параметры; объемное содержание нерастворенного газа в рабочей жидкости не изменяется; коэффициенты гидравлических сопротивлений постоянны; разрыва потока жидкости при работе гидроударника не происходит.

Математическая модель гидроударного устройства записывается в виде системы уравнений, включающей уравнения движения подвижных частей в виде основных уравнений динамики; уравнений расходов, учитывающих условия неразрывности потока рабочей жидкости; уравнений связи между параметрами потока.

В общем виде уравнение движения подвижных частей относительно корпуса запишется следующим образом:

$$m\ddot{x} = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (6)$$

где  $m$  – масса бойка;  $x$  – перемещение бойка;  $F_i$  – действующие силы.

Силы, действующие на подвижные части, включают силы давления жидкости в камерах взвода и слива, силы от вязкого и механического трения, силу сжатого газа в пневмоаккумуляторе.

Уравнение движения подвижных частей с учетом выбранного направления оси  $x$  (см. рисунок 7) и действующих сил:

$$m\ddot{x} = p_v \cdot S_v - p_c \cdot S_c - m \cdot g \cdot \sin(\beta) - F_g - F_{тр} \cdot \text{sign}(\dot{x}) - F_r, \quad (7)$$

где  $m$  – масса бойка;  $p_v$ ,  $p_c$  – давления во взводящей и сливной камерах;  $S_v$ ,  $S_c$  – активные площади взводящей и сливной камер, здесь  $S_v = \pi(D_B^2 - d_{шт}^2)/4$ ,  $S_c = \pi(D_C^2 - d_{шт}^2)/4$ ;  $F_g$  – сила, обусловленная вязким трением,  $F_g = h \cdot \dot{x}$ , здесь  $h$  – коэффициент вязкого трения;  $\beta$  – угол наклона устройства к горизонту;  $F_{тр}$  – сила механического (контактного) трения уплотнений поршней, штока;  $F_r$  – сила от действия давления газа пневмоаккумулятора;  $\text{sign}(\dot{x}) = \frac{\dot{x}}{|\dot{x}|}$  – функция Кронекера.

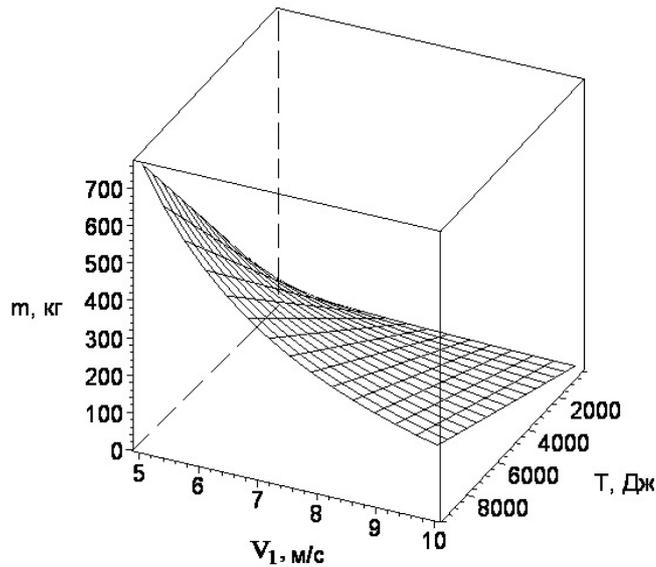


Рисунок 5 – Зависимость массы бойка  $m$  от энергии единичного удара  $T$  и скорости бойка в момент удара  $V_1$

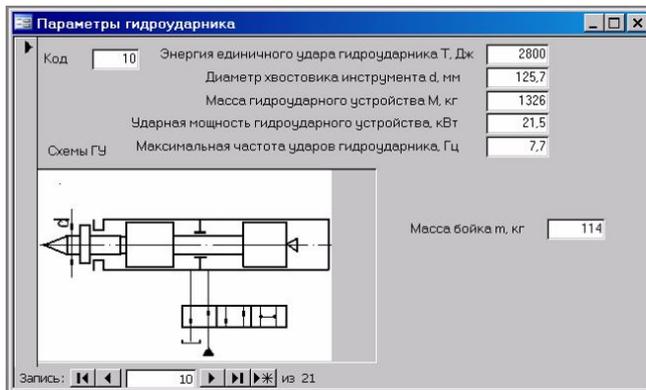


Рисунок 6 – Рабочее окно определения параметров гидроударного устройства (энергия единичного удара 2800 Дж)

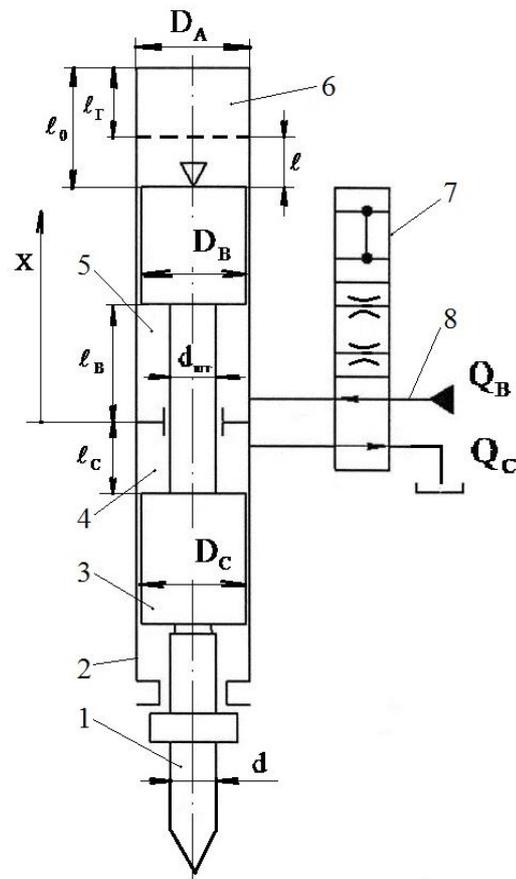


Рисунок 7 – Расчетная схема гидравлического ударного устройства: 1 – инструмент; 2 – корпус; 3 – боек; 4 – камера сливная; 5 – камера взводящая; 6 – пневмоаккумуляторная камера; 7 – блок управления рабочим циклом; 8 – напорная гидролиния

Сила механического трения  $F_{тр}$  определяется по формуле

$$F_{тр} = f_{тр} \cdot \pi \cdot (D_v b_{пн} n_{пн} + D_c b_{пн} n_{пн} + d_{шт} b_{шт} n_{шт}) \cdot p_k, \quad (8)$$

где  $D_v$ ,  $D_c$ ,  $d_{шт}$  – диаметры поршней во взводящей камере, сливной камере и диаметр штока соответственно;  $b_{пн}$ ,  $b_{шт}$  – ширина контактной поверхности уплотнений поршня и штока со-

ответственно;  $n_{п}$ ,  $n_{шт}$  – количество уплотнений поршня и штока;  $f$  – коэффициент трения,  $f \approx 0,1$ .

Сила от действия давления газа пневмоаккумулятора является функцией перемещения подвижных частей, зависит от давления зарядки газа и определяется по формуле

$$F_{г} = p_{г}(x)S_{A} \quad , \quad (9)$$

где  $p_{г}(x)$  – текущее значение давления газа;  $S_{A}$  – активная площадь пневмоаккумулятора, здесь  $S_{A} = \frac{\pi \cdot D_{A}^2}{4}$ .

Уравнения расходов с учетом сжимаемости рабочей жидкости записываются отдельно для взводящей и сливной гидравлических подсистем:

$$Q_{B} = S_{B} \cdot \dot{x} + \frac{V_{во} + S_{B} \cdot (\ell_{в} + x)}{E_{прв}} \cdot \dot{p}_{в} \quad ; \quad (10)$$

$$Q_{C} = S_{C} \cdot \dot{x} + \frac{V_{со} + S_{C} \cdot (\ell_{с} - x)}{E_{прс}} \cdot \dot{p}_{с} \quad , \quad (11)$$

$$V_{(во)} = \sum_{i=1}^n \frac{\pi \cdot d_{ти}^2}{4} \cdot \ell_{ти} \quad ,$$

где  $Q_{B}$ ,  $Q_{C}$  – объемные расходы во взводящей и сливной гидравлических подсистемах соответственно;  $V_{во}$ ,  $V_{со}$  – рабочие объемы жидкости во взводящей и сливной гидролиниях соответственно;  $d_{ти}$ ,  $\ell_{ти}$  – диаметр и длина гидролинии;  $E_{прв}$ ,  $E_{прс}$  – приведенные модули упругости взводящей и сливной гидролиний.

При расчете участков гидравлических цепей со сложным последовательно-параллельным соединением элементов при заданных гидравлических характеристиках ветвей цепи использованы уравнения неразрывности потока в узлах:

$$\sum_{i=1}^{m_i} Q_i = 0 \quad (12)$$

и уравнения перепадов давления в независимых контурах:

$$\sum_{j=1}^{n_j} \Delta p_j = 0 \quad , \quad (13)$$

где  $m_i$  – количество ветвей, подходящих к узлу;  $n_j$  – количество ветвей в  $j$ -м контуре цепи.

Основной задачей блока управления рабочим циклом гидроударного устройства является управление рабочим циклом гидроударника, т.е. периодическое сообщение и разобщение взводящей и сливной камер с напорной и сливной гидролиниями.

Во время рабочего цикла гидроударного устройства меняется структура гидравлической системы, в связи с чем возникает необходимость рассмотрения отдельных характерных фаз работы устройства.

Цикл работы гидроударного устройства представлен двумя характерными периодами: холостым ходом подвижных частей (взводом), включающим фазу торможения и рабочим ходом, заканчивающимся внедрением инструмента в обрабатываемую среду. Далее рабочий цикл повторяется.

Выражение для времени цикла  $t_{ц}$  гидроударника:

$$t_{ц} = t_{вз} + t_{т} + t_{рх} + t_{зад} \quad , \quad (14)$$

где  $t_{вз}$  – время взвода подвижных частей (бойка);  $t_{т}$  – время торможения;  $t_{рх}$  – время рабочего хода бойка;  $t_{зад}$  – время задержки взвода.

Отношение времени холостого хода к времени рабочего характеризует коэффициент асимметрии рабочего цикла, т.е.  $k_a = t_{хх}/t_{рх}$ , здесь  $t_{хх} = t_{вз} + t_{т}$ .

Описание характерных периодов функционирования гидроударного устройства ведется в той последовательности, в какой совершается рабочий процесс гидроударного устройства.

На рисунках 8, 9 в качестве примера представлены временные зависимости изменения перемещения, скорости бойка, давления во взводящей камере гидроударного устройства от времени, полученные в результате анализа математической модели гидроударного устройства на ЭВМ.

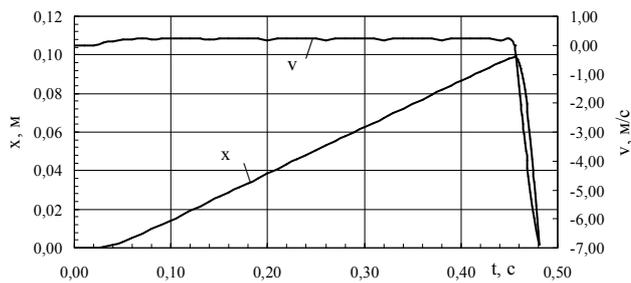


Рисунок 8 – Зависимость перемещения  $x$ , скорости бойка  $v$  от времени (масса бойка  $m=150$  кг, давление зарядки газа пневмоаккумулятора  $p_{г0} = 1,5$  МПа, ход бойка 0,1 м)

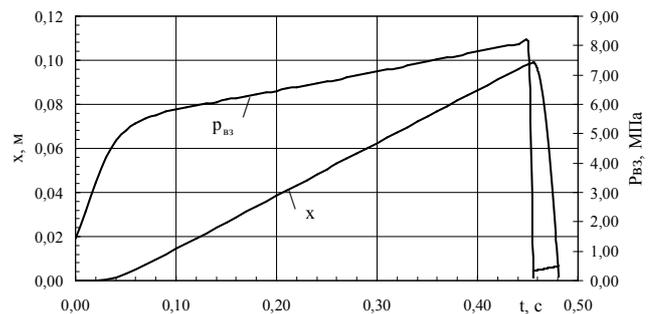


Рисунок 9 – Зависимость перемещения бойка  $x$ , давления во взводящей камере гидроударника  $P_{вз}$  от времени (масса бойка  $m=150$  кг, давление зарядки газа пневмоаккумулятора  $p_{г0} = 1,5$  МПа, ход бойка 0,1 м)

Явление удара подвижных частей по грунту описывается известным уравнением

$$\int_0^{\tau} F dt = \int_0^{\tau} \sigma S dt = m(V_1 - V_2), \quad (15)$$

где  $F$  – сила, возникающая в процессе удара;  $\sigma$  – контактные напряжения на поверхности грунта, возникающие при ударе;  $S$  – площадь контакта инструмента рабочего органа с грунтом;  $\tau$  – время удара;  $m$  – масса бойка;  $V_1$  – скорость удара;  $V_2$  – скорость в конце удара,  $V_2 = 0$ .

Явление удара сопровождается появлением контактных напряжений на поверхности грунта и явлениями деформации грунта при его разрушении.

Таким образом, составленная математическая модель гидроударного устройства включает нелинейную систему дифференциальных и алгебраических уравнений с переменными коэффициентами. Анализ математической модели проведен с использованием ЭВМ.

В составленной математической модели отражены как основные конструктивные параметры гидроударника ( $m, S_b, S_c, l, l_b, l_c, b, z$  и др.), пневмоаккумулятора ( $p_{г0}, S_A, n, l_o, l_r$ ), так и характеристики гидропривода базовой машины ( $p_1, Q_1, \alpha_r, \Delta p$  и др.).

Разработана математическая модель рабочего процесса гидроударного устройства, позволяющая проектировать многоцелевые гидроударные рабочие органы ДСМ. Математическая модель гидроударного устройства позволяет синтезировать конструкции основных функциональных элементов гидроударника (энергетический блок, блок управления рабочим циклом, гидравлическую систему связи гидроударника с гидроприводом базовой машины) и включать дополнительные конструктивные изменения гидроударника и параметры базовой машины. Разработаны с помощью пакета VBA рабочие окна для определения основных параметров гидроударного устройства.

**В третьей главе** представлены основные результаты теоретических исследований гидроударных устройств, порядок проведения вычислительного эксперимента, получены уравнения регрессии для скорости удара и энергии удара. Приведены экспериментальные данные по гидроударным устройствам.

Уравнение регрессии для скорости удара в натуральных значениях факторов, впервые полученное в результате планирования вычислительного эксперимента, имеет вид ( $R^2=0,865$ ):

$$V_1 = 2,412 - 0,0171 m + 1,102 p_{г0} + 0,0486 l + 0,0028 m p_{г0} + 0,000098 m l + 0,03034 p_{г0} l - 0,00027 m p_{г0} l. \quad (16)$$

где  $m$  – масса бойка,  $p_{го}$  – давление зарядки газа в пневмоаккумуляторе,  $\ell$  – ход бойка.

В качестве примера на рисунке 10 представлена зависимость для скорости удара.

Впервые получено выражение для энергии единичного удара, которая определяется по формуле ( $R^2=0,865$ ):

$$T = (2,412 - 0,0171 m + 1,102 p_{го} + 0,0486 \ell + 0,0028 m p_{го} + 0,000098 m \ell + 0,03034 p_{го} \ell - 0,00027 m p_{го} \ell)^2 m / 2. \quad (17)$$

В качестве примера графические зависимости энергии единичного удара и энергии, развиваемой пневмоаккумулятором, представлены на рисунках 11, 12.

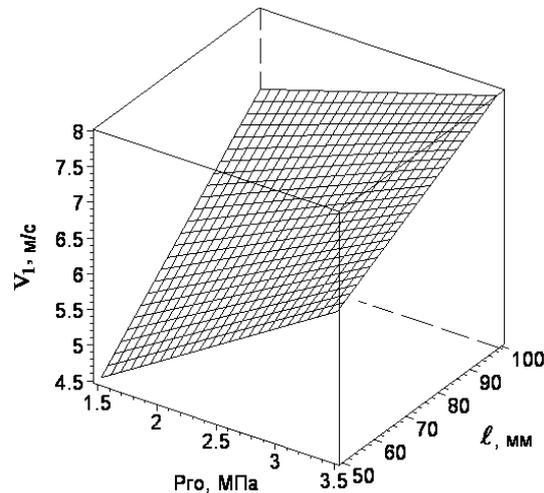


Рисунок 10 – Зависимость скорости удара  $V_1$  от давления зарядки газа пневмоаккумулятора  $p_{го}$  и величины хода бойка  $\ell$  (масса бойка  $m = 150$  кг)

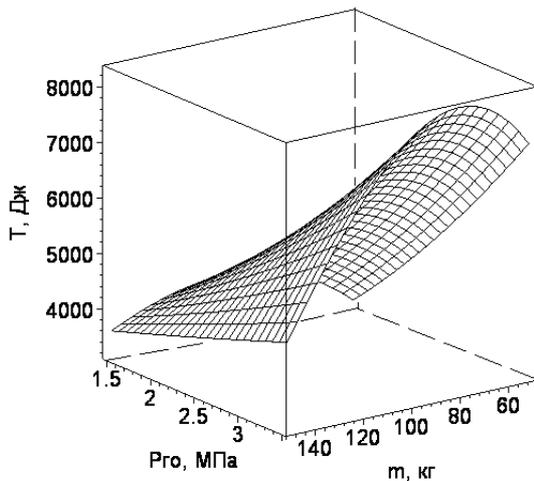


Рисунок 11 – Зависимость энергии единичного удара  $T$  от массы бойка  $m$  и давления зарядки газа пневмоаккумулятора  $p_{го}$  (ход бойка  $\ell = 100$  мм)

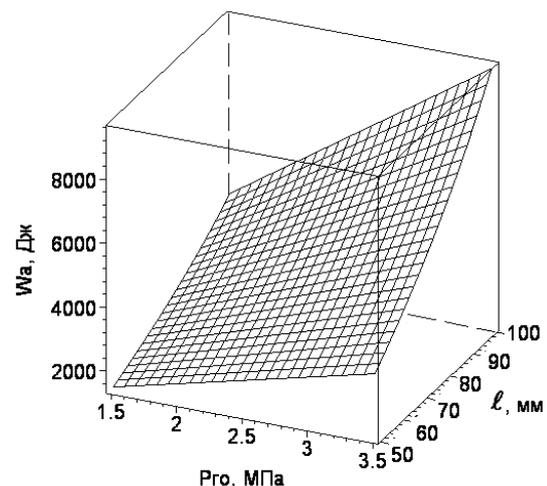


Рисунок 12 – Зависимость энергии  $W_a$ , развиваемой пневмоаккумулятором от давления зарядки газа пневмоаккумулятора  $p_{го}$  и величины хода бойка  $\ell$

В результате применения методов планирования вычислительного эксперимента впервые получены уравнения регрессии, связывающие скорость, энергию удара, с факторами, влияющими на работу гидроударного устройства.

Наибольшее влияние на скорость удара оказывают масса бойка, ход бойка и давление зарядки газа в пневмоаккумуляторе. При этом с увеличением массы бойка скорость удара уменьшается, а с увеличением хода и давления зарядки газа в пневмоаккумуляторе скорость удара увеличивается.

Результаты различных экспериментальных исследований гидроударников широко представлены в технической литературе. Экспериментальные исследования гидроударни-

ков проводились в СибАДИ (рисунки 13, 14), Карагандинском государственном техническом университете (рисунок 15) и других организациях.

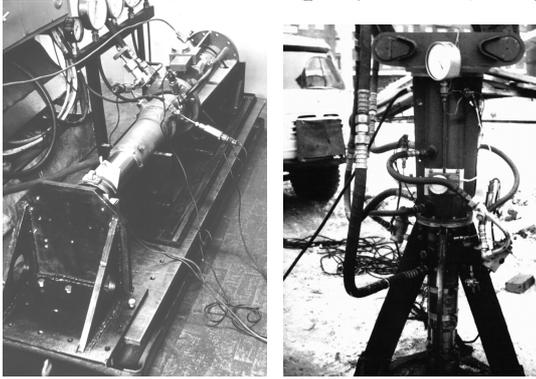


Рисунок 13 – Экспериментальные образцы гидроударников СибАДИ

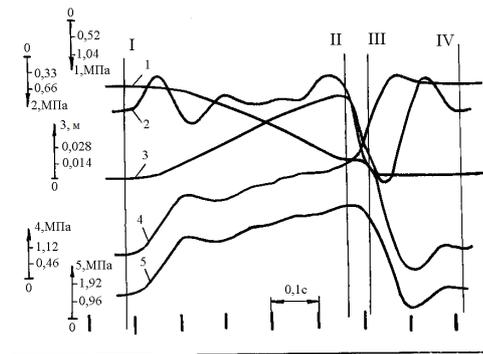


Рисунок 14 – Типовая осциллограмма рабочего процесса гидроударника (СибАДИ)

1 – давление газа в пневмоаккумуляторной камере, 2 – давление жидкости в сливной камере, 3 – перемещение бойка, 4 – давление жидкости во взводящей камере, 5 – давление жидкости в управляющей полости

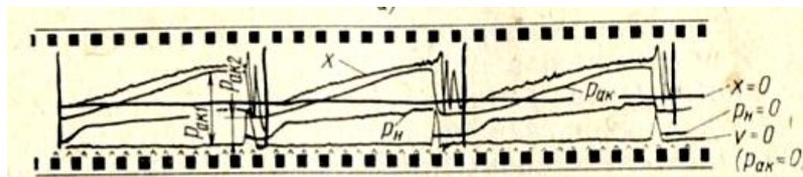


Рисунок 15 – Типовая осциллограмма рабочего цикла гидроударника (КарГТУ)

Сравнение теоретических и экспериментальных данных, полученных на экспериментальных стендах (см. рисунки 13, 14, 15), показывает качественное совпадение экспериментальных значений параметров с теоретическими (см. рисунки 8, 9).

**В четвертой главе** представлены: основные свойства грунтов, основные закономерности разрушения грунта при воздействии активного рабочего органа, дано аналитическое обоснование и определение параметров рабочего органа ударного действия при разрушении грунта, определение основных параметров рабочего органа ударного действия.

Известно, что ударное разрушение грунтов представляет собой сложный процесс, состоящий из нескольких стадий: упругой, пластической, трещинообразования и собственно разрушения.

Прочность грунтов характеризуется способностью сопротивляться внешним силовым воздействиям. Прочностные показатели грунтов могут быть определены с помощью временного сопротивления одноосному сжатию  $\sigma_0$  и разрыву  $\sigma_p$ , удельного сцепления  $C_0$  и с помощью числа  $C$  ударов плотномера ДорНИИ.

Профессором И.А.Недорезовым установлена достаточно тесная линейная связь между показаниями плотномера ДорНИИ (числом  $C$ ), который дает интегральную оценку прочности грунта, и временным сопротивлением грунта одноосному сжатию  $\sigma_0$ :

$$\sigma_0 \approx C/30. \quad (18)$$

Показано также, что грунты плохо сопротивляются разрыву и имеет место связь

$$\sigma_p \approx 0,2 \sigma_0. \quad (19)$$

Между числом ударов плотномера ДорНИИ  $C$  и удельным сцеплением  $C_0$  имеется корреляционная связь, также полученная И.А.Недорезовым:

$$C_0 = 0,008 \cdot C. \quad (20)$$

Условия разрушения мерзлых и прочных грунтов можно записать следующим образом:

$$\sigma \geq \sigma_0 > C_0 > \sigma_p, \quad (21)$$

где  $\sigma$  – напряжение, возникающее на поверхности грунта;  $\sigma_0$  – временное сопротивление одноосному сжатию;  $C_0$  – удельное сцепление;  $\sigma_p$  – временное сопротивление разрыву.

Блок-схема алгоритма расчета активного рабочего органа на основе гидроударников представлена на рисунке 16. Фрагменты результатов расчетов параметров активного рабочего органа показаны на рисунке 17.

Разработаны алгоритм и программы расчета активного рабочего органа на основе гидроударников для разрушения грунта. Разработан пользовательский интерфейс (рабочие окна) для определения параметров активного рабочего органа в интерактивном режиме.

**В пятой главе** рассмотрены особенности автоматизированного моделирования гидроударных устройств, в том числе:

- изложены общие сведения о проектировании гидроударных устройств;
- проанализированы исходные данные и пространство параметров гидроударной импульсной системы;
- представлены особенности моделирования гидроударных импульсных систем;
- составлена структурная схема и системная модель гидроударной импульсной системы;
- определены показатели для оценки эффективности гидроимпульсной системы;
- даны основные рекомендации и методика инженерного расчета гидроударных рабочих органов экскаваторов.

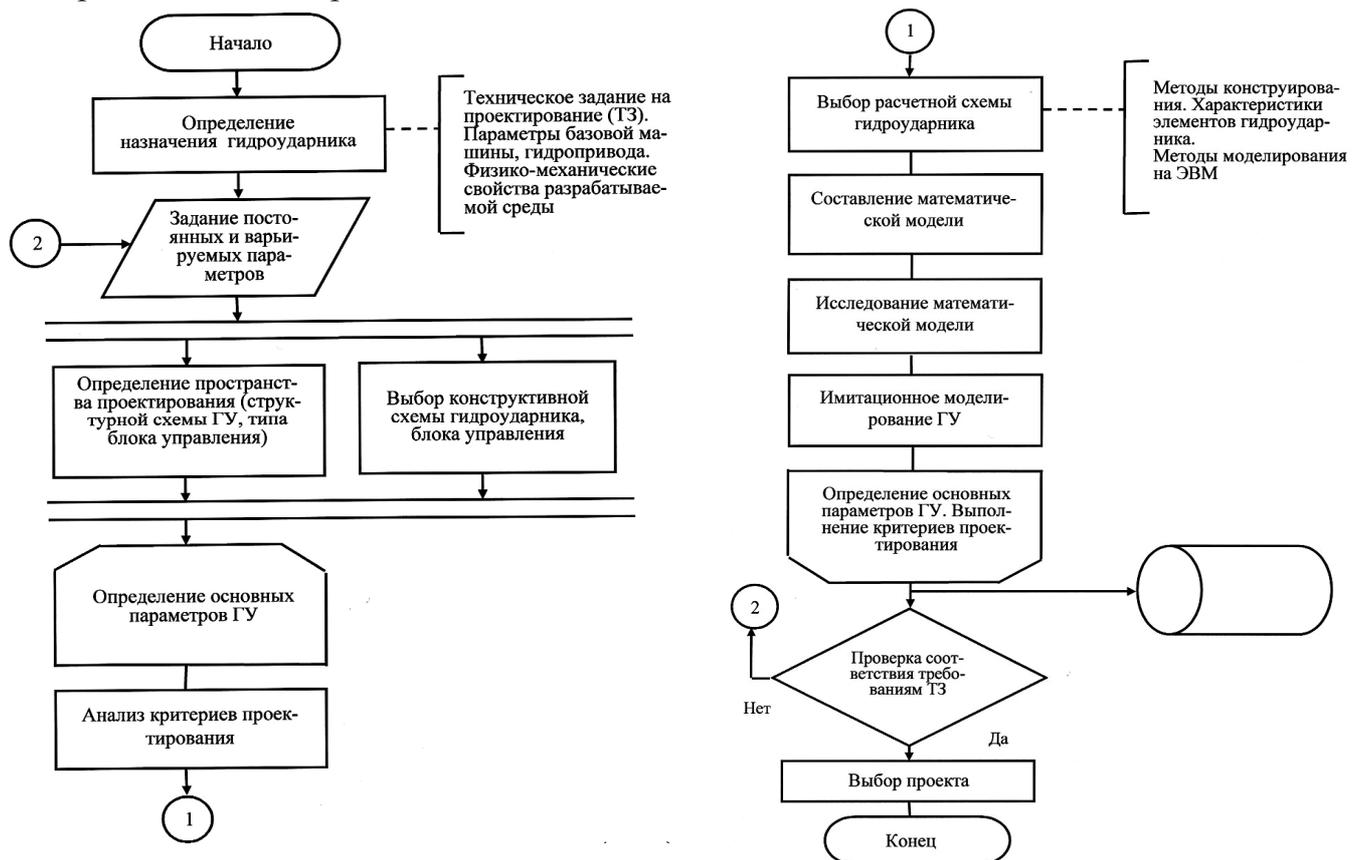


Рисунок 16 – Блок-схема алгоритма расчета активного рабочего органа

Показатели гидроимпульсной системы были разделены на структурные и параметрические, которые в свою очередь были разделены на три группы: фиксированные параметры, варьируемые параметры и параметры, носящие случайный характер.

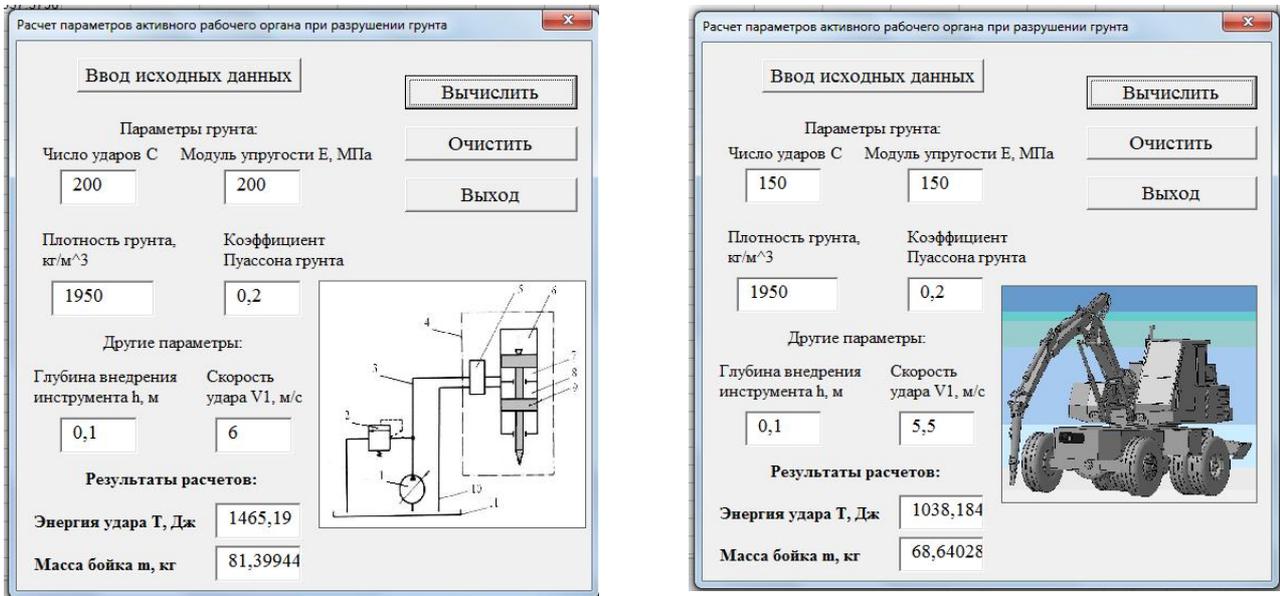


Рисунок 17 – Рабочие окна определения параметров активного рабочего органа

В качестве комплексного критерия эффективности гидравлического ударного устройства предложен коэффициент технического уровня, величина которого определяется по известной формуле:

$$K_{\text{ту}} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot K_{\text{pi}} \quad (22)$$

где  $\gamma_i$  – коэффициенты весомости  $i$ -го относительного локального показателя эффективности, здесь  $\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1,0$ ;  $K_{\text{pi}}$  – относительные  $i$ -е локальные показатели эффективности по вариантам новых решений.

Сформированный в работе обобщенный показатель – коэффициент технического уровня  $K_{\text{ту}}$  гидравлической импульсной системы – включает следующие локальные показатели: энергию единичного удара  $T$ , массу гидроударника  $M$ , частоту ударов  $f$  и определяется по формуле

$$K_{\text{тугу}} = \gamma_T \frac{T_{\text{HT}}}{T_{\text{БТ}}} + \gamma_M \frac{M_{\text{БТ}}}{M_{\text{HT}}} + \gamma_f \frac{f_{\text{HT}}}{f_{\text{БТ}}}, \quad (23)$$

где  $\gamma_T, \gamma_M, \gamma_f$  – соответственно коэффициенты весомости показателей энергии удара, массы гидроударника, частоты ударов;  $T_{\text{HT}}, M_{\text{HT}}, f_{\text{HT}}$  – соответственно энергия единичного удара, масса гидроударного устройства и частота ударов нового технического решения;  $T_{\text{БТ}}, M_{\text{БТ}}, f_{\text{БТ}}$  – соответственно энергия единичного удара, масса гидроударного устройства и частота ударов традиционного решения, принятого за эталон.

Целевая функция  $K_{\text{тугу}}$  и граничные условия:

$$\begin{cases} K_{\text{тугу}} = f(T, M, f) \rightarrow \max; \\ C_{\min} \leq C \leq C_{\max}; \\ m_{\min} \leq m \leq m_{\max}; \\ T_{\min} \leq T \leq T_{\max}; \\ M_{\min} \leq M \leq M_{\max}; \\ f_{\min} \leq f \leq f_{\max} \end{cases} \quad (26)$$

Задача выбора оптимальных параметров гидроударного механизма сводится к отысканию экстремума обобщенного показателя.

При использовании усовершенствованного гидроударного устройства, на примере экскаватора III размерной группы, среднегодовая производительность повышается на 17 % за

счет увеличения энергии единичного удара и частоты ударов. Экономический эффект в расчете на одну машину за год работы составляет 285310 руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования гидроударных рабочих органов экскаваторов позволили сформулировать следующие основные научные и практические выводы и предложения.

1. Рассмотренная классификация и произведенный анализ конструкций и принципиальных схем гидроударных устройств, используемых в качестве активных рабочих органов экскаваторов, выявили их преимущества при разработке мерзлых грунтов.

Сформированный обобщенный (комплексный) критерий эффективности гидравлической импульсной системы – коэффициент технического уровня, включающий основные локальные показатели (энергию единичного удара, массу гидроударника, частоту ударов) позволяет на стадии проектирования создавать более совершенные гидроударные устройства активных рабочих органов экскаваторов.

2. Разработанная математическая модель гидроударного устройства, отражающая основные конструктивные параметры гидроударника, его элементов, параметры экскаватора, описывающая характерные фазы работы устройства (взвод бойка, рабочий ход), состоящая из нелинейных систем обыкновенных дифференциальных и алгебраических уравнений с переменными коэффициентами, позволяет осуществлять анализ, синтез и прогнозирование основных параметров гидроударных устройств.

Разработанная математическая модель гидроударного устройства позволила выявить функциональные зависимости скорости и энергии единичного удара от давления зарядки газа пневмоаккумулятора, массы бойка и величины хода бойка гидроударного устройства.

3. Выявленные функциональные зависимости частоты ударов гидроударника и его длины от энергии единичного удара позволяют проектировать гидроударники с различной энергией единичного удара.

В результате исследований с применением методов планирования вычислительного эксперимента получены уравнения регрессии, связывающие скорость, энергию удара, с факторами (давление зарядки газа, масса бойка, величина хода бойка), определяющими эффективность гидроударных устройств. Широкий диапазон регулирования скорости удара (от 4,5 до 16 м/с), энергии единичного удара (от 1500 до 8000 Дж) позволяет использовать гидроударное устройство в качестве активных рабочих органов для экскаваторов различных типоразмерных групп.

4. Разработанная система автоматизированного моделирования гидравлических ударных систем, состоящая из математической модели, аппаратных средств, набора алгоритмов и программ, позволила создать инженерную методику проектирования гидроударных устройств активных рабочих органов экскаваторов.

Разработан пользовательский интерфейс (рабочие окна) для определения основных параметров гидроударного устройства (энергии единичного удара, диаметра хвостовика инструмента, массы гидроударного устройства, ударной мощности, максимальной частоты ударов и другие), а также основных параметров активного рабочего органа. Получены свидетельства РФ о государственной регистрации программ для ЭВМ и электронных ресурсов.

5. Методики проектирования гидроударных устройств активных рабочих органов экскаваторов переданы для использования в конструкторские бюро и производственные организации, используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «СиБАДИ» при подготовке инженеров, бакалавров и магистров. Предложены перспективные технические решения гидроударных устройств, новизна которых подтверждена четырьмя патентами на полезные модели РФ.

Направления и перспективы дальнейших разработок: перспективой дальнейших исследований является создание адаптивных многоцелевых гидроимпульсных средств механизации на основе гидроударников.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОТРАЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

#### **В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:**

1. Галдин, В.Н. Моделирование гидравлических импульсных систем / В.С. Щербаков, В.Н. Галдин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж: ВГТУ, 2010. – Том 6, № 5. – С. 121 – 124.
2. Галдин, В.Н. Трехмерные модели гидравлических ударных устройств / В.С. Щербаков, В.Н. Галдин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж: ВГТУ, 2010. – Том 6, № 9. – С. 151 – 153.
3. Галдин, В.Н. Моделирование активных рабочих органов для разрушения грунта / В.С. Щербаков, В.Н. Галдин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж: ВГТУ, 2011. – Том 7, № 3. – С. 132 – 134.
4. Галдин, В.Н. Алгоритм и некоторые результаты расчета основных параметров рабочего органа для разрушения грунта / В.Н. Галдин // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ, 2011. – № 1 (19). – С. 55 – 59.
5. Галдин, В.Н. Основные показатели гидравлических импульсных систем строительных машин / В.С. Щербаков, В.Н. Галдин // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ, 2013. – № 1 (29). – С. 47 – 51.
6. Галдин, В.Н. Оптимизационный синтез основных параметров гидравлических импульсных систем строительных машин / Н.С. Галдин, В.Н. Галдин, Н.Н. Егорова // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ, 2013. – № 6 (34). – С. 73 – 78.
7. Галдин, В.Н. Моделирование гидропневматического ударного устройства активного рабочего органа экскаватора / В.С. Щербаков, В.Н. Галдин // Строительные и дорожные машины. – М., 2019. – № 7. – С. 19 – 23.
8. Галдин, В.Н. Коэффициент полезного действия гидропневматического ударного устройства / В.С. Щербаков, Н.С. Галдин, И.А. Семенова, В.Н. Галдин // Строительные и дорожные машины. – М., 2019. – № 9. – С. 37 – 41.

#### **В изданиях, индексируемые в реферативных базах данных SCOPUS:**

9. Galdin V.N. Analysis of the Striker Stroke Impact on the Hydropneumatic Impact Devices Energy Performance / Galdin N.S., Semenova I.A., Galdin V.N. // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1260. pp 112010. DOI:10.1088/1742-6596/1260/11/112010

#### **Патенты и свидетельства:**

10. Пат. 93095 РФ, МПК E02F 9/22. Гидравлическое ударное устройство / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин ; заявитель и патентообладатель СибАДИ. – № 2009149530/22; заявл. 29.12.2009; опубл. 20.04.2010, Бюл. № 11.
11. Пат. 94584 РФ, МПК E02F 9/22, E01C 19/30. Гидравлическое ударное устройство / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин ; заявитель и патентообладатель СибАДИ. – № 2010103300/22; заявл. 01.02.2010; опубл. 27.05.2010, Бюл. № 15.
12. Пат. 97431 РФ, МПК E21B 1/26. Гидравлическое ударное устройство / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин ; заявитель и патентообладатель СибАДИ. – № 2010114480/03; заявл. 12.04.2010; опубл. 10.09.2010, Бюл. № 25.
13. Пат. 99527 РФ, МПК E21B 1/26. Гидроударное устройство / В.Н. Галдин, И.М. Мурсеев, Н.С. Галдин, К.И. Храмова ; заявитель и патентообладатель СибАДИ. – № 2010114490/03; заявл. 12.04.2010; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 32.
14. Информационный ресурс «Программа динамического расчета гидропневматического ударного устройства»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010614663 от 16.07.2010 г. / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин, правообладатель – ГОУ «СибАДИ».

15. Информационный ресурс «Расчет параметров активного рабочего органа для разрушения грунта»: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011612241 от 17.03.2011 г. / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин; правообладатель – ГОУ «СибАДИ».

16. Информационный ресурс «Алгоритм определения основных параметров гидравлического ударного устройства»: свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНиО № 16461 от 06.12.2010 / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин; организация-разработчик: ГОУ ВПО «СибАДИ».

17. Информационный ресурс «Алгоритм расчета активного рабочего органа для разрушения грунта»: свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНиО № 16721 от 10.02.2011 / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин; организация-разработчик: ГОУ ВПО «СибАДИ».

### **Монография**

18. Система моделирования гидравлического ударного устройства активного рабочего органа экскаватора [Электронный ресурс]: монография / В.С. Щербаков, В.Н. Галдин, Н.С. Галдин. – Омск: СибАДИ, 2017. – 172 с. № госрегистрации 0321702203.

### **Статьи в материалах конференций и других изданиях:**

19. Галдин, В.Н. Анализ влияния конструктивных параметров гидропневмоударников на энергетические показатели гидравлических импульсных систем строительных машин / Н.С. Галдин, В.Н. Галдин // Омский научный Вестник. Серия «Приборы, машины, технологии». – Омск: ОмГТУ, 2016. – № 5 (149). – С. 11 – 14.

20. Галдин, В.Н. Функциональные зависимости основных параметров гидроударных устройств / В.С. Щербаков, В.Н. Галдин // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ, 2010. – № 3 (17). – С. 53 – 58.

21. Галдин, В.Н. Основные положения проектирования гидроударных импульсных систем / В.Н. Галдин // Вестник СибАДИ: Научный рецензируемый журнал. – Омск: СибАДИ, 2010. – № 2 (16). – С. 54 – 58.

22. Галдин, В.Н. Гидравлическое ударное устройство как объект автоматизированного проектирования / В.Н. Галдин // Материалы 64 научно-технической конференции СибАДИ в рамках юбилейного международного конгресса «Креативные подходы в образовательной, научной и производственной деятельности». Книга 1. – Омск: СибАДИ, 2010. – С. 286 – 290.

23. Галдин, В.Н. Создание моделей гидроударных импульсных систем / В.Н. Галдин // XI Всероссийская научно-инновационная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых с элементами научной школы «Теоретические знания – в практические дела». Сборник материалов конференции. Часть 2. – Омск: Филиал ГОУ ВПО «РосЗИТЛП», 2010. – С. 142 – 144.

24. Галдин, В.Н. Особенности проектирования гидроударных устройств / В.Н. Галдин, Н.Н. Егорова // Материалы III Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Россия молодая: передовые технологии – в промышленность». Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. – С. 237 - 241

25. Галдин, В.Н. Некоторые аспекты создания САПР многоцелевого гидромолота для мобильных машин / В.Н. Галдин, К.И. Храмцова, Н.Н. Егорова // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Омск: СибАДИ, 2010. – Кн. 2. – С. 285 – 287.

26. Галдин, В.Н. Стенд для экспериментального исследования гидравлических машин ударного действия / И.М. Мурсеев, В.Н. Галдин В.Н., К.И. Храмцова // Юбилейный сборник, посвященный 75-летию со дня рождения первого заведующего кафедрой «Строительно-дорожные машины», д.т.н., профессора Янцена И.А. – Караганды: Болашак Баспа, 2010. – С. 149 – 152.

27. Галдин, В.Н. Математическая модель гидравлического ударного устройства / В.Н. Галдин // Материалы Всероссийской 65 –ой научно-технической конференции ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Книга 2. – Омск: СибАДИ, 2011. – С. 301 – 305.

28. Галдин, В.Н. Создание трехмерных моделей гидравлических ударных устройств / В.Н. Галдин // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы I всероссийской научно-технической конференции 23-25 ноября 2011 г./ Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2011. С. 572 – 575.

29. Галдин, В.Н. Анализ влияния конструктивных параметров гидроударника на скорость подвижных частей / В.Н. Галдин // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы VII Всероссийской на-

учно-практической конференции ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (с международным участием). – Омск: СибАДИ, 2012. – Кн. 2. – С. 28 – 32.

30. Галдин, В.Н. Исследование влияния конструктивных параметров гидропневмоударника на энергию единичного удара / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства. Межд. науч.-практ. конф. (Красноярск, 7–8 апреля 2016 г.): Сборник научных трудов. Под общей редакцией члена-корреспондента Российской инженерной академии, д.т.н. В.В. Минина. – Красноярск: СФУ, 2016. Часть 2. – С. 118 – 124.

31. Галдин, В.Н. Алгоритмы расчета основных параметров гидроударных импульсных систем экскаваторов / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплекс: проблемы, перспективы, новации: Материалы Международной научно-практической конференции 7 – 9 дек. 2016 г. – Омск: СибАДИ, 2016. – С. 429 – 435.

32. Галдин, В.Н. Определение энергетических показателей гидроимпульсных средств механизации / В.Н. Галдин, Н.С. Галдин // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы VI всероссийской научно-практической конференции 24-25 ноября 2016 г./ Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2016. С. 163 – 168.

33. Галдин, В.Н. Сравнение теоретических показателей гидроударных устройств с существующими экспериментальными данными / В.Н. Галдин // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы VII всероссийской научно-практической конференции 27-28 октября 2017 г./ Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2017. С. 372 – 380.

34. Галдин, В.Н. Техничко-экономическое обоснование проектирования гидроударника активного рабочего органа экскаватора // Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием 22-23 ноября 2018 г. Часть 2 / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2018. – С. 47 – 52.

35. Галдин, В.Н. Анализ влияния хода бойка на энергетические показатели гидропневматических ударных устройств / Н.С. Галдин, И.А. Семенова, В.Н. Галдин // Сборник ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ: Материалы III Международной научно-технической конференции / ОмГТУ. – Омск, 2019. С. 78-82.

Галдин Владимир Николаевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРНОГО УСТРОЙСТВА  
АКТИВНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ЭКСКАВАТОРА

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано к печати \_\_\_\_ .03.2020  
Формат 60x90 1/16. Бумага писчая.  
Оперативный способ печати.  
Усл. п. л. 1,2  
Тираж 150 экз. Заказ № \_\_\_\_

---

Отпечатано в типографии ООО «АН2»  
644080, г. Омск, ул. 4 Поселковая, 26