

**ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ, АВТОМАТИКИ И  
ГЕОМЕХАНИКИ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Диссертационный совет Д 05.24.703

На правах рукописи

УДК.: 004.031: 621.95.04

**ВАСИЛЬЕВ ВАЛЕНТИН БОРИСОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ОСНОВ ТЕОРИИ, МЕТОДОВ И УСТРОЙСТВ  
УНИВЕРСАЛЬНОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТ БУРИЛЬНОГО АГРЕГАТА**

**05.05.06 – Горные машины**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Бишкек – 2025

Работа выполнена в лаборатории «Бурильные машины» Института машиноведения, автоматике и геомеханики Национальной академии наук Кыргызской Республики.

**Научный консультант:** Заслуженный деятель науки КР,  
академик инженерной академии КР, доктор технических наук,  
профессор  
**Муслимов  
А.П.**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор **Тусупбеков М.Р.**

кандидат технических наук, доцент  
**Самсонов В.А.**

**Ведущая организация:** Казахстанско-  
Британский  
технический  
университет

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках КГТУ им. И.Раззакова и Кыргызско-Российского Славянского Университета им. Б.Н. Ельцина.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью, просим направлять по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, диссертационный совет Д 05.10.414.  
**Факс: 996 (312) 545162**

Автореферат разослан « 24 » октября 2011 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета Д 05.24.703

кандидат технических наук

**К.Т. Эликбаев**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы.

Одним из самых трудоёмких процессов добычи угля, руд и стройматериалов является процесс отделения горной породы от массива, который в современных условиях производится главным образом буровзрывным способом. Этот способ даёт большой эффект, но требует длительных подготовительных работ, основное место в которых занимают работы по бурению шпуров.

Несмотря на то, что за последнее время усовершенствование буровой техники и инструмента шагнуло далеко вперед, уровень производительности труда при бурении, а особенно темп его роста, не удовлетворяют современным требованиям к скоростям проходки.

В то же время исследования, которые нашли отражения в работах Гринько Д.А., Дворникова Л.Т., Волкова А. А и ряда других авторов, показали, что находящаяся на вооружении проходчиков буровая техника располагает значительными резервами роста производительности. Эти резервы реализуются опытными бурильщиками за счёт правильного и своевременного выбора параметров режима бурения для различных условий бурения. Однако человек, непосредственно управляющий процессом бурения, не в состоянии учитывать всё многообразие физических явлений, происходящих в забое шпура, и своевременно воздействовать на органы управления бурильной машины с целью установления оптимального режима её работы. Для обеспечения бурения требуемого качества и с высокой производительностью, необходимо автоматизировать управление режимами работ буровой машины.

В связи с этим, решение вопросов по автоматизации управления бурильных машин, в частности не только автоматической настройки на оптимальный режим их работы, но и автоматический переход буровой машины с одного вида бурения на другой, является актуальной научной задачей.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является снижение себестоимости процесса бурения шпуров, повышение его производительности и стойкости инструмента посредством автоматического управления режимами работы буровой машины.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд следующих задач:

1. Проведение анализа закономерностей технологического

процесса, а именно вращательного, вращательно-ударного и ударно-вращательного видов бурения;

2. Проведение анализа существующих систем управления, обеспечивающих регулирование режимов работ буровых станков. Определение их преимуществ и недостатков;

3. Разработка систем управления с функцией регулирования режимами работ гидравлических и электрических буровых станков;

4. Составление математических моделей элементов автоматики и всей системы в целом, расчёт их массо-геометрических и режимных параметров;

5. Разработка и изготовление оригинальных средств автоматизации для предлагаемых систем управления, а именно механизма подачи бурового инструмента, датчика крутящего момента, датчика осевой нагрузки, регулятора расхода жидкости, обоснование выбора преобразователя частоты тока;

6. Разработка и изготовление экспериментального стенда для исследования работоспособности и настройки как отдельных элементов автоматизации, так и систем управления в целом;

7. Разработка методик проведения экспериментальных работ;

8. Проведение экспериментов и обработка их результатов;

9. Разработка рекомендаций для практического применения предлагаемых систем управления.

**Научная новизна полученных результатов.** Предлагается новое научное направление в области горного машиностроения – создание многоконтурных автоматических систем управления режимами работ буровых машин, обеспечивающих автоматический переход с одного способа бурения к другому, что обеспечивает повышение производительности технологического процесса бурения и снижение его себестоимости, при этом были получены следующие научные результаты:

1. Разработан комплекс универсальных систем управления технологическим процессом бурения шпуров:

а) универсальные системы управления с обратными гидравлической и электрической связями для гидравлических буровых машин;

б) универсальная система управления режимами работ для электрифицированных буровых станков;

2. Разработана система дистанционного управления по радиоканалу, применимо к гидравлическим и электрифицированным буровым машинам;

3. Разработаны основы теории, методов построения и исследования систем управления технологическим процессом бурения с разработкой соответствующих математических моделей элементов и систем,

позволяющими произвести расчет массо-геометрических и режимных параметров, необходимых для их проектирования и изготовления.

4. Разработаны новые высокочувствительные информационные устройства, применяемые в системах управления: датчик крутящего момента, датчик осевой нагрузки и датчик скорости линейного перемещения бурового инструмента;

5. Разработана конструкция регулятора расхода жидкости с гидравлическим каналом обратной связи;

6. Разработана конструкция ленточно-поршневого подающего механизма бурового станка.

#### **Практическая значимость полученных результатов.**

1. Разработанные теоретические основы, методы построения автоматических систем управления технологическим процессом бурения шпуров, а также математические модели элементов применимы для проектирования нового высокопроизводительного оборудования, отвечающего современным требованиям горной промышленности, а также при модернизации существующего парка буровых машин.

2. Автоматическая система управления электрифицированными буровыми станками применена в малогабаритном буровом станке строчечного бурения БС-32, разработанным в ИМАГ НАН КР, кроме того, в ОСОО «Vertex» Gold Company, применена на kernорезном станке АКС-350-76, что подтверждается актами внедрения;

3. Система дистанционного управления буровыми машинами по радиоканалу апробирована и применена в электрифицированном буровом станке строчечного бурения БС-32.

4. Гидравлический универсальный стенд для исследования элементов автоматики и систем управления в целом, а также стенд для исследования датчиков крутящего момента, применяются в учебном процессе при проведении лабораторных и практических работ по соответствующим дисциплинам на кафедре АРиМ КГТУ им. И. Раззакова, что подтверждается актами внедрения.

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

1. Разработанные системы управления, основанные на применении в них гидравлических и электромагнитных устройств регулирования и конструктивно новых средств автоматизации: датчиков крутящего момента и осевой нагрузки, а также регуляторов расхода жидкости с электромагнитным и гидравлическим управлением.

2. Математические модели разработанных систем управления с алгоритмом расчёта, позволяющим определять их основные параметры.

3. Конструкция гидравлического, ленточно-поршневого механизма, подающего буровой инструмент.

4. Конструкция регулятора расхода жидкости с гидравлическим управлением.

5. Универсальная система управления режимами работ электродвигателя применимо к электрифицированным машинам горного производства.

**Личный вклад соискателя** заключается в:

1. Проведении обзора и анализа по существующим системам управления с функцией автоматического изменения режимов работы буровых машин и постановке задач исследования;

2. разработке основ теории, методов построения универсальных систем управления режимами работ различных буровых машин с разработкой математических моделей элементов и всей системы в целом;

3. разработке, изготовлении и испытании новых конструкций систем управления режимами работ гидравлических и электрифицированных буровых машин;

4. разработке системы дистанционного управления по радиоканалу, применимо к гидравлическим и электрифицированным буровым машинам;

5. разработке и изготовлении магнитоупругого датчика для измерения крутящего момента на буровом инструменте;

6. разработке и изготовлении тензометрического датчика для измерения осевой нагрузки на буровом инструменте;

7. разработке и изготовлении регулятора расхода жидкости с гидравлическим каналом обратной связи;

8. разработке и изготовлении стендов для исследования средств автоматизации и систем управления в целом;

9. разработке конструкции гидравлического, ленточно-поршневого механизма, подающего буровой инструмент.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 15-ти различных научно-технических конференциях и семинарах, в том числе: Международная научно-практическая конференция «Теория машин и рабочих процессов», посвящённая 90-летию со дня рождения академика О.Д. Алимова (Бишкек 2013); Республиканская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы механики машин», посвящённая 70-летию со дня рождения член-корреспондента НАН КР, первого президента ИА КР Абдраимова С. (Бишкек 2014); Международная научно-практическая конференция «Теория машин и рабочих процессов», посвящённая 80-летию со дня рождения академика НАН КР А.В. Фролова (Бишкек 2016); Республиканская летняя школа молодых учёных-механиков, посвящённая 75-летию заслуженного изобретателя КР, про-

фессора С. Абдраимова (ОШ 2019); Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы механики машин», посвящённая 75-летию со дня рождения член-корреспондента НАН КР, первого президента ИА КР С. Абдраимова; (Бишкек 2019).

#### **Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.**

Материалы диссертации изложены в 28 научных трудах, в том числе 2 патента Кыргызской Республики, 25 научных статей, из которых 4, входящих в базу данных SCOPUS и 1 классический учебник с грифом МО-иН КР.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы и приложения. Содержание диссертации изложено на 264 страницах, содержит 135 рисунков, 20 таблиц, библиографию из 148 наименований.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** дана общая характеристика диссертационной работы, включая актуальность темы и цель исследований, сформулированы основные положения диссертации.

**В первой главе** представлены результаты обзора и анализа научно-технической литературы по теме диссертационной работы. Обобщён анализ процесса бурения, где кратко рассмотрены способы бурения шпуров и скважин, общие сведения о режимах бурения, также физико-механические свойства горных пород. Проведён анализ оценки сопротивляемости разрушению горных пород, в зависимости от которой выбираются способ и режимы бурения. Рассмотрена классификация приводов бурильных машин. Проведён анализ существующих систем автоматического регулирования режимами работ бурильных машин и выявлен ряд их недостатков.

Учитывая выявленные недостатки, сформулирована постановка задач исследований, решение которых позволяет достичь поставленной цели – создание высокоэффективных автоматических систем управления режимами работ буровых машин, обеспечивающие автоматический переход с одного вида бурения на другой.

**Вторая глава** посвящена описанию методологии и методов, применяемых при проведении исследований в данной диссертационной работе. Определены объект и предмет исследования. Рассмотрены основные аспекты, входящие в методологию исследования. Перечислены основные методы исследования, применяемые в конкретной главе данной диссертационной работы. Кроме того, во второй главе приведено описание измерительных приборов, применяемых при проведении экспери-



связи характеризует величину осевой нагрузки на буровом инструменте. В связи с тем, что осевая нагрузка зависит от крепости разрушаемой породы, то при её изменении, давление в канале обратной связи также изменится, что повлечёт за собой изменение производительности насоса 4 и скорости перемещения бурового инструмента. При изменении скорости перемещения инструмента регулируются одновременно два параметра технологического процесса – крутящий момент и осевая нагрузка. Необходимо отметить, что процесс изменения производительности регулируемого насоса 4 будет продолжаться до тех пор, пока давление в канале обратной связи не примет заданное значение, отсюда можно утверждать, что предназначение представленной на рисунке 4.1 САУ, является стабилизация осевой нагрузки и крутящего момента при бурении перемежающихся по крепости пород.

Если канал обратной связи подключить от гидромотора 9, тогда величина давления в нём будет характеризовать крутящий момент на буровом инструменте.

На рисунке 4.3 представлена функциональная схема автоматической системы управления режимами работы буровой машины с объёмным регулированием гидравлической системы.

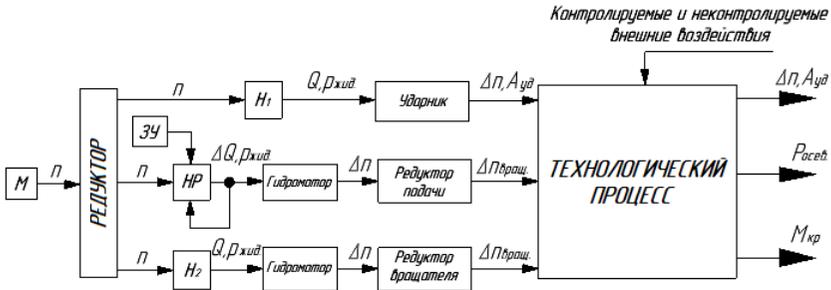


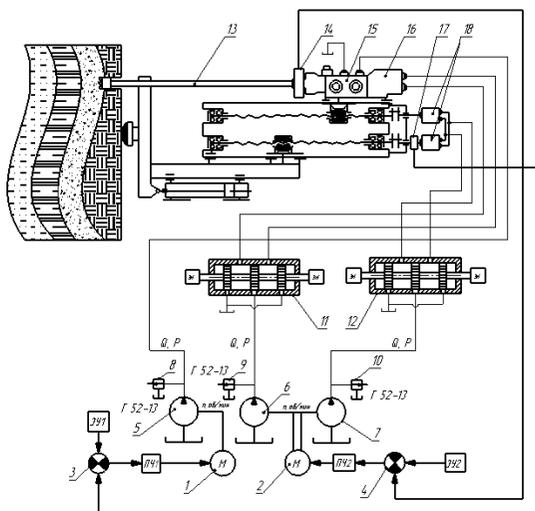
Рисунок 4.3 – Функциональная схема САУ буровой машины с регулируемым гидронасосом

Основными преимуществами таких САУ является значительное упрощение гидравлических систем, простота в переоборудовании машин и высокая надёжность, возможность проектирования САУ без применения электронных средств автоматизации.

К недостаткам таких систем САУ относится высокая стоимость регулирующих насосов, уменьшенный ресурс их работы по сравнению с нерегулируемыми насосами, кроме того, с точки зрения автоматизации САУ, работающие по такому принципу, обладают высокой инерционностью, что является причиной замедленного срабатывания, а значит уве-

личным временем переходного процесса с одного режима работы на другой.

Некоторые недостатки, указанные выше, исключаются в системе управления, принципиальная схема которой, представлена на рисунке 4.4.



1,2 – асинхронные электродвигатели; 3,4 – сравнивающие устройства; 5,6,7 – гидравлические насосы; 8,9,10 – предохранительные клапаны; 11,12 – распределители жидкости; 13 – буровой инструмент; 14,17 – датчики крутящего момента; 15 – выносной гидроударник; 16 – гидромотор вращателя; 18 – гидромоторы податчика; ЗУ1, ЗУ2 – задающие устройства; ПЧ1, ПЧ2 – преобразователи частоты тока

Рисунок 4.4 – Принципиальная схема САУ буровой машины с преобразователями частоты тока

Здесь вращение гидравлических насосов осуществляется посредством асинхронных электродвигателей 1 и 2. Производительность нерегулируемых гидронасосов 5, 6, 7 в этом случае изменяется за счёт автоматического изменения скорости вращения электродвигателей с помощью подключённых к ним преобразователей частоты тока ПЧ1 и ПЧ2. Каналы обратной связи в данной системе начинаются с магнитоупругих датчиков 14 и 17 крутящего момента. Датчик 14 установлен на шпинделе, в котором закрепляется буровой инструмент и генерирует

электрический сигнал, характеризующий величину крутящего момента на инструменте.

Датчик *17* установлен на ходовом винте подающего механизма винт-гайка и генерирует электрический сигнал, характеризующий через крутящий момент на этом механизме величину осевого усилия на буровом инструменте. Сигналы с датчиков *14* и *17* поступают в сравнивающие устройства *3* и *4*, где сравниваются с задающими сигналами, генерируемыми задающими устройствами *3У1* и *3У2*.

В случае разности сигналов, поступающих с датчика *14* и задающего устройства *3У2*, сравнивающее устройство *4* начнёт генерировать электрический сигнал рассогласования, поступающий на преобразователь частоты тока *ПЧ2*. Работа преобразователя *ПЧ2* заключается в формировании частоты питающего тока электродвигателя *2* в зависимости от входящего сигнала рассогласования. При изменении частоты тока, скорость вращения электродвигателя изменится, что повлечёт изменение производительности гидравлических насосов. Т.к. преобразователь частоты тока *ПЧ2* управляет электромотором *2*, вращающий насосы *6* и *7*, то при изменении крепости породы будут автоматически изменяться скорость подачи бурового инструмента и скорость его вращения.

Преобразователь частоты тока *ПЧ1* запрограммирован таким образом, что при отсутствии необходимости в нанесении ударов по буровому инструменту, он выключен. Этот режим сохраняется пока величина сигнала с датчика *14* совпадает с величиной заданного сигнала, поступающего с задающего устройства *3У1*. Работа преобразователя начнётся в том случае, когда сигнал с датчика превысит величину сигнала, поступающего с задающего устройства, при этом сравнивающее устройство *3* начнёт генерировать сигнал рассогласования и электромотор *1* начнёт вращать гидравлический насос ударника с возможностью регулирования его производительности в сторону увеличения.

Функциональная схема такой САУ представлена на рисунке 4.5.

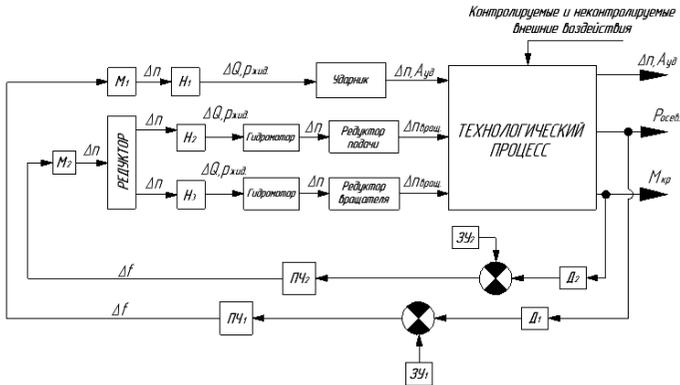


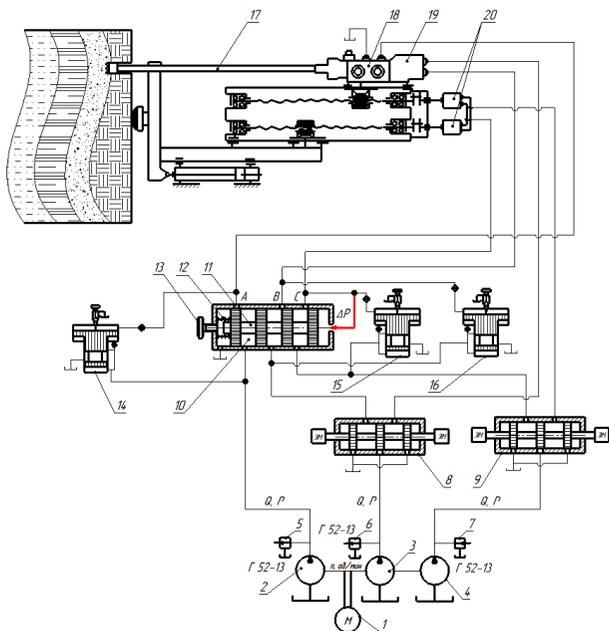
Рисунок 4.5 – Функциональная схема САУ буровой машины с преобразователями частоты тока

Преимуществом такой системы является исключение необходимости в применении регулируемых насосов.

Недостатком САУ является:

1. необходимость в применении двух и более электромоторов, что увеличивает габариты и массу буровой машины;
2. относительно высокая себестоимость буровой машины за счёт затрат на автоматизацию технологического процесса;
3. возможность применения САУ только в буровых машинах, где вращение гидравлических насосов осуществляется электрическими двигателями.

Третий вариант САУ представляет собой принцип дроссельного регулирования расхода жидкости в гидравлической системе бурового станка. Её конструкция, представленная на рисунке 4.4 позволяет сохранять процентные соотношения распределения общей мощности, выдаваемой буровой машиной между вращением инструмента, его подачей при регулировании расхода жидкости.



- 1 – электрический двигатель; 2, 3, 4 – нерегулируемые насосы;  
 5, 6, 7 – предохранительные клапаны; 8, 9 – распределители жидкости;  
 10 – регулятор расхода жидкости; 11 – регулирующий золотник;  
 12 – упругий элемент; 13 – установочный винт; 14, 15, 16 – редукционные клапаны; 17 – буровой инструмент; 18 – выносной гидроударник;  
 19 – гидромотор вращателя; 20 – гидромоторы подающего механизма

Рисунок 4.4 – Принципиальная схема САУ режимами работ буровой машины с сохранением пропорционального соотношения между скоростью вращения и подачи бурового инструмента при регулировании

разработке основных элементов систем автоматического управления:

- 1) Разработка датчика крутящего момента МД-60, работающего по принципу МДМ-дифдуктора принципиальная схема, которого представлена на рис.3.

Принцип работы, которого заключается в изменении магнитного поля, создаваемого катушками возбуждения в зависимости от нагрузки, приложенной на измеряемый вал, вследствие чего изменяется напряжение на измерительных катушках.

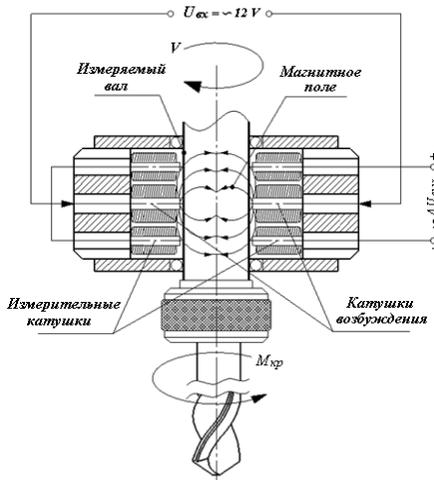


Рис. 3. Принципиальная схема датчика крутящего момента

Проведён расчёт основных параметров датчика, результаты которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры датчика

Наименование параметра	Значение
1	2
Число пар полюсов возбуждения	3
Внутренний диаметр расточки дифдуктора	60,5
Односторонний воздушный зазор $\delta$ , мм	0,25
Наружный диаметр магнитопровода $D_{я}$ , м	0,2
Внутренний диаметр магнитопровода $D_{я}$ , м	0,12
Поперечные размеры полюсов $a_B \times a_B; a_{II} \times a_{II}$ ; мм	7×7
Число витков измерительной катушки	500
Число витков катушки возбуждения	600

Продолжение табл. 1

1	2
Соединение катушек измерительной обмотки	Последовательное
Сопротивление измерительной схемы $r$ , Ом	$10^5$
Сопротивление нагрузки $r$ , Ом	$0,2 \cdot 10^5$

Разработана конструкция датчика, состоящая из корпуса 7 (рис. 4), двух подшипников 1, обеспечивающих точную concentricность датчика относительно измеряемого вала, которые устанавливаются в крышках 2 магнитопроводов, и поджимаются с обеих сторон крышками 3; двух измерительных магнитопроводов 5, на которых расположены катушки измерения; одного магнитопровода возбуждения 4, где располагаются катушки возбуждения; двух колец 6, отделяющих магнитопроводы друг от друга.

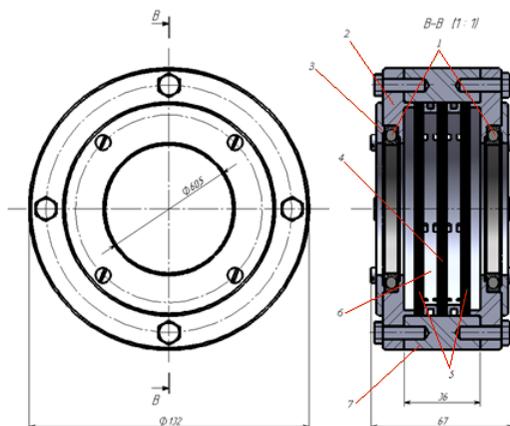


Рис. 4. Сборочный чертёж датчика ДМ – 60

1 – подшипники; 2 – крышка магнитопровода; 3 – крышка подшипника; 4 – магнитопровод возбуждения; 5 – измерительные магнитопроводы; 6 – кольца; 7 – корпус.

2) Разработка конструкции электромагнитного регулятора расхода жидкости ЭМР-8.

Принцип работы регулятора заключается в линейном изменении пропускной щели жидкости  $h$  (рис.5). Перемещение золотника, регулирующего величину щели, осуществляется силой электромагнита 1.

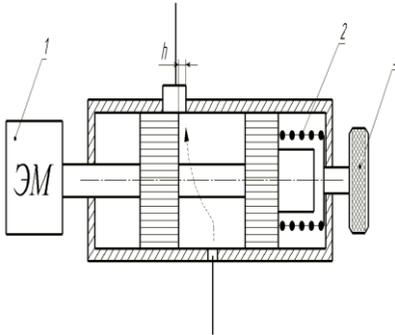


Рис. 5 Схема конструкции регулятора расхода жидкости ЭМР-8

За основу регулятора, принята конструкция авто-матического трёхпозиционного распределителя жидкости Г-73. При увеличении входного напряжения катушки электромагнита, золотник изменяет своё положение пропорционально этому изменению. Возврат золотника в сторону увеличения щели происходит под действием пружины 2. Для регулирования сжимаемой силы пружины, в регулятор вмонтирован регулировочный винт 3.

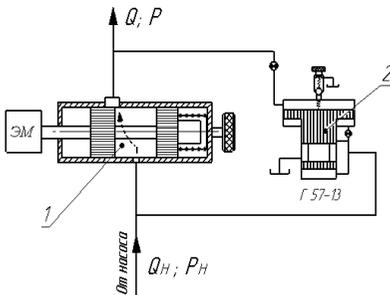


Рис. 6. Схема подключения редукционного клапана

С целью исключения высоких колебаний золотника, и получения прямолинейной выходной характеристики данного регулятора, а также для исключения перепада давления между его входной и выходной магистралями параллельно подключается редукционный клапан 2 Г-57 (рис.6). При этом обеспечивается:

$$P_H - P = const,$$

независимо от нагрузки, тогда расход  $Q$  жидкости будет равен:

$$Q = K_3 \cdot h,$$

$$\text{где } K_3 = \mu \pi d \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \cdot \Delta p} = const,$$

$$\Delta P = P_H - P,$$

где:  $P_H$  – давление от насоса;

$P$  – давление в выходной магистрали регулятора (рис.6).

Конструкция регулятора представлена на рис.7.

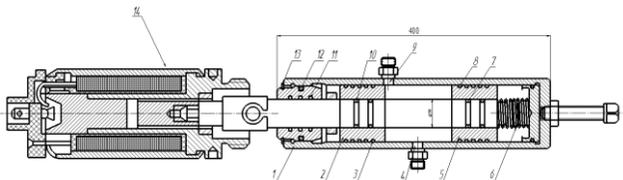


Рис. 7. Конструкция регулятора расхода жидкости



Рис.8. Преобразователь частоты тока VFD-V

Осуществлён выбор регулирующего устройства для системы управления скоростью подачи режущего инструмента асинхронным электродвигателем.

При проведении анализа различных преобразователей частоты тока, выявлено, что наиболее подходящим для управления электродвигателями металлорежущего оборудования является преобразователь фирмы DELTA модели VFD-V (рис.8). Исследован принцип его работы и экспериментально выведена зависимость скорости электрического двигателя от изменения частоты тока.

**Четвёртая глава** содержит описание экспериментальных стендов и методик проведения экспериментов.

Стенд для исследования силового гидроцилиндра и регулятора расхода жидкости состоит из следующих элементов гидравлики и автоматики:

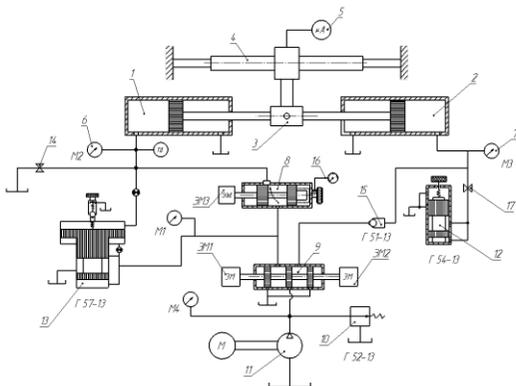


Рис. 9 Схема гидростенда

двух гидроцилиндров 1 и 2 (рис.9), расположенных друг против друга на одной оси, штоки которых жёстко соединены муфтой 3; датчика скорости 4, жёстко закреплённого к муфте; микроамперметра 5; манометров  $M1$ ,  $M2$ ,  $M3$  и  $M4$ , определяющих давление в рабочих полостях цилиндров, регулятора расхода жидкости 8; распределителя направления жидкости 9; предохранительного клапана 10; насосной установки типа 8АГЧ8-22 11; напорного золотника 12; редукционного клапана 13, клапана обратного действия 15. Общий вид гидростенда представлен на рис.10.



Рис. 10. Общий вид гидростенда

Стенд для исследования изменения силы резания в процессе сверления, и получения выходной характеристики преобразователя частоты тока состоит из следующих механизмов и узлов автоматики: сверлильного станка мод. 2Н135; датчика крутящего момента  $\mathcal{D}$  (рис. 11); усилителя сигналов 5;

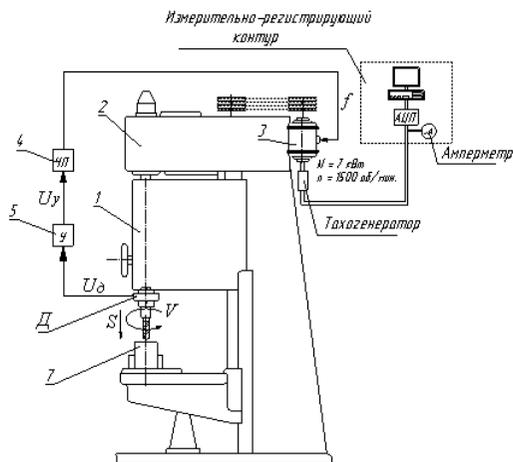


Рис.11 Схема стенда для исследования силы резания при сверлении преобразователя частоты тока 4; специальной, ступенчатой заготовки 7; тахометра и измерительно-регистрающего комплекса.

**В пятой главе** представлены результаты экспериментальных исследований. Приведены зависимости крутящего момента при сверлении от ширины срезаемого слоя и скорости подачи режущего инструмента.

При исследовании электродвигателя, работающего в холостом режиме, получена зависимость его угловой скорости от частоты тока рис. 12.

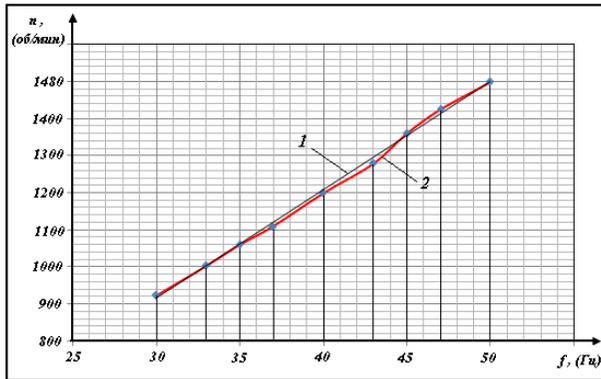


Рис. 12. Зависимость частоты оборотов двигателя от частоты тока  
1 – Расчётная характеристика; 2 – экспериментальная характеристика

Приведена осциллограмма (рис.13) автоматического изменения скорости электродвигателя подачи инструмента при обработке ступенчатой заготовки 1 (рис.14), где величина крутящего момента задавалась рассчитанная на обработку первой ступени диаметром 16 мм.

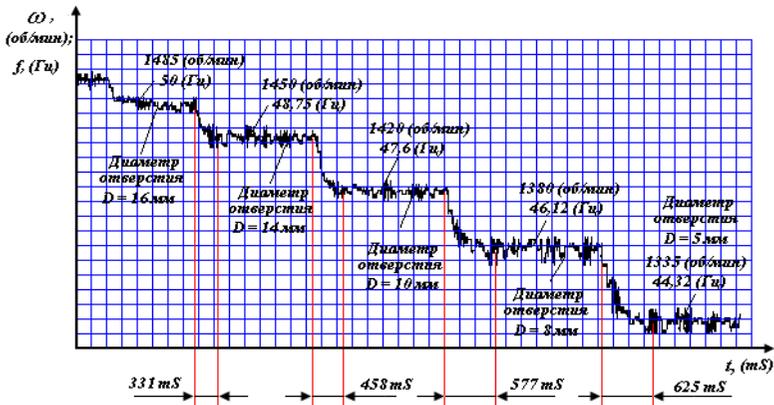


Рис. 13. Изменение скорости электродвигателя при обработке ступенчатой заготовки

Из представленной осциллограммы получены временные характеристики переходных процессов скорости электродвигателя.

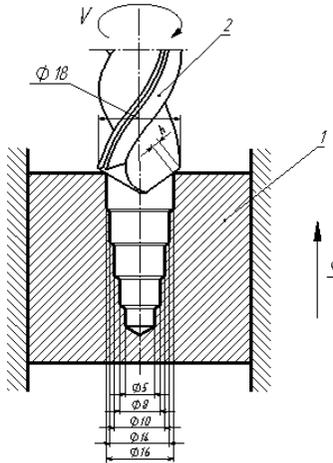


Рис. 14. Схема обработки отверстий при проведении эксперимента

При исследовании регулятора расхода жидкости получена зависимость скорости силового цилиндра от величины пропускной щели жидкости рис.15. При этом получены осциллограммы изменения скорости, по которым вычислены временные характеристики переходных процессов скорости. (Рис. 16).

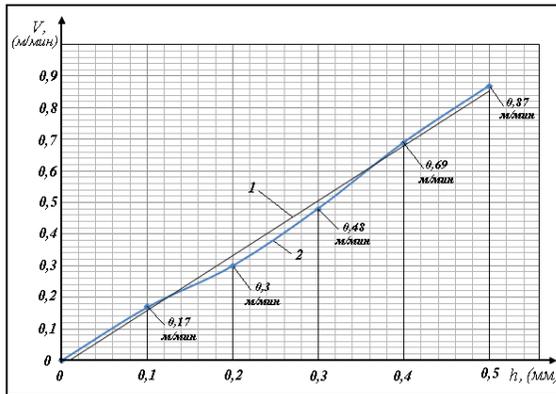


Рис. 15. Зависимость скорости штока цилиндра от величины пропускной щели  $h$  регулятора  
1 – теоретическая характеристика; 2 – экспериментальная характеристика.

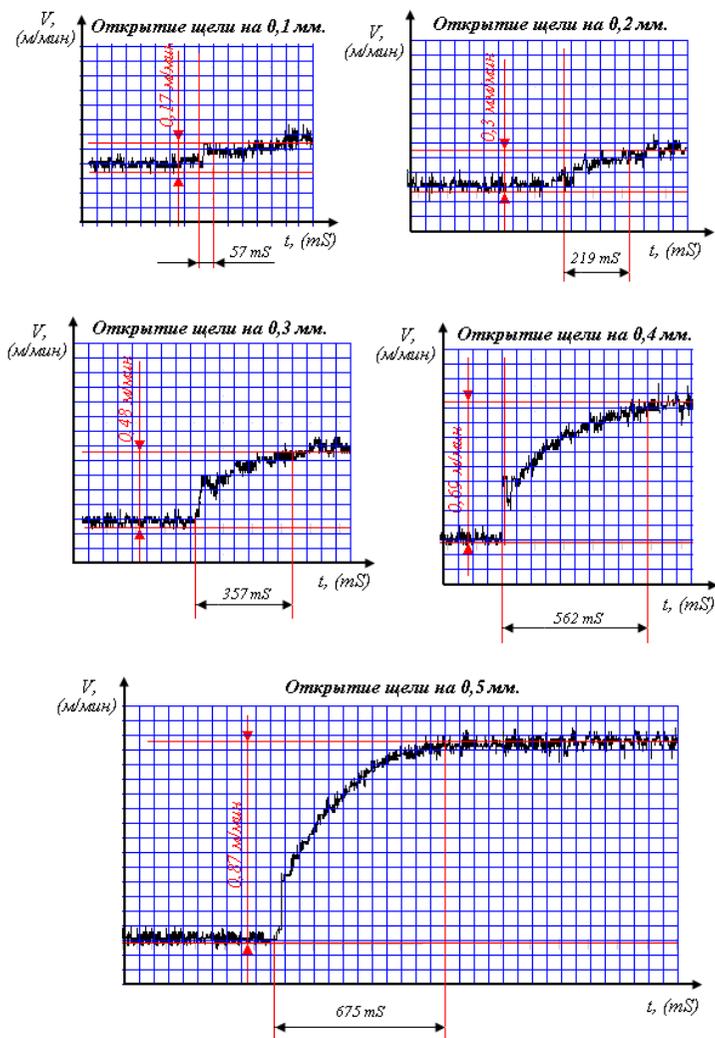


Рис. 16. Осциллограммы изменения скорости силового цилиндра

Проведён расчёт экономической эффективности от внедрения автоматических систем в производство, по результатам которого определено снижение трудоёмкости изготовления продукции на 24%, рост производительности труда на 30%, снижение себестоимости продукции на 25%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты исследований состоят в следующем:

1. Проведён обзор и анализ научно-технической и патентной литературы по автоматическому управлению крутящим моментом в станках при обработке отверстий. Выявлен ряд недостатков проанализированных систем автоматического управления режимами работ металлорежущего оборудования. Исследованы виды различных погрешностей, возникающих при обработке отверстий, а также рассмотрены причины их возникновения.

2. С учётом выявленных недостатков существующих систем разработаны новые схемы систем автоматического управления крутящего момента при обработке отверстий:

- схема, предназначенная для управления сверлильной гидравлической головкой;
- схема управления сверлильной головкой, перемещение которой осуществляется парой винт-гайка.

3. Разработаны математические модели и алгоритмы расчёта основных параметров автоматических систем, позволяющие провести их расчёт, что даёт возможность проектировать подобные системы применительно к любому оборудованию и любого назначения.

4. Разработана конструкция бесконтактного информационно-измерительного устройства – датчика крутящего момента и практически определены его основные характеристики.

5. Разработаны и изготовлены экспериментальные стенды для проведения испытаний новых систем управления, регулирующих элементов автоматики для контроля крутящего момента при обработке отверстий.

6. Полученные экспериментальные результаты удовлетворительно совпадают с теоретическими данными, что подтверждает эффективную работоспособность разработанных систем и даёт возможность применения их в технологии обработки металлов резанием и других отраслях машиностроительной промышленности.

7. Проведён расчёт экономической эффективности от внедрения автоматических систем в производство, результаты которого показывают, что использование их даёт следующий экономический эффект:

- повышение производительности оборудования на 30%;
- повышение стойкости инструмента на 70%;
- снижение трудоёмкости изготовления продукции на 24%;
- снижение себестоимости продукции на 25%.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Васильев, В.Б. Разработка индукционного датчика для контроля скорости подачи бурового инструмента при бурении скважин [Текст] / В.Б. Васильев, А.В. Анохин, Ж.У. Искендеров // Известия КГТУ им. И. Раззакова. № 28. – Бишкек: Текник, 2013 г. – С. 202-205. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36394434>.
2. Васильев, В.Б. Классификация и анализ способов регулирования скоростей движения гидравлических исполнительных механизмов бурового станка [Текст] / В.Б. Васильев, А.В. Анохин // Машиноведение, ИМАШ НАН КР № 1. – Бишкек 2015 г. – С. 49-54. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28213926>.
3. Васильев, В.Б. Принципы регулирования и управления режимами бурения [Текст] / А.В. Анохин, Т.Ю. Каплина, В.Б. Васильев // Машиноведение, ИМАШ НАН КР № 2. – Бишкек 2015 г. – С. 69-78. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28394506>.
4. Васильев, В.Б. Математическое описание регулятора расхода жидкости для автоматических систем управления гидравлическими буровыми станками [Текст] / В.Б. Васильев, А.В. Анохин, О.В. Неженко, // Машиноведение, ИМАШ НАН КР № 2. – Бишкек 2015 г. – С. 46-52. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28394503>.
5. Васильев, В.Б. Разработка универсального стенда для исследования автоматических систем управления режимами работы гидравлической буровой машины и гидроаппаратуры [Текст] / В.Б. Васильев, А.В. Анохин // Машиноведение ИМАШ НАН КР, № 1(3), 2016 г. – С. 103-107. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27175415>.
6. Васильев, В.Б. Выбор концепции технологии бурения высокоточных коммуникационных скважин и эскизные проработки основных узлов бурового комплекса [Текст] / А.В. Анохин, В.Б. Васильев // Машиноведение ИМАШ НАН КР, № 2(4), 2016 г. – С. 68-76. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28865406>.
7. Васильев, В.Б. Способы управления режимами работы гидравлических исполнительных органов бурового станка [Текст] / В.Б. Васильев, А.П. Муслимов // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2016, Т. 16, № 1. – С. 39-41. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25979333>.

8. Васильев, В.Б. Анализ автоматических систем управления гидравлическими исполнительными механизмами буровых машин для оптимизации режимов бурения [Текст] / В.Б. Васильев, // Машиноведение ИМАШ НАН КР, № 2(6), 2017 г. – С. 50-56. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32474619>.
9. Васильев, В.Б. Автоматическая система регулирования режимами работы гидравлической буровой машины [Текст] / В.Б. Васильев, А.П. Муслимов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук: том 5, №2, Новосибирск 2018 г. – С. 217-210. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36816837>.
10. Васильев, В.Б. Конструкция автоматического регулятора расхода жидкости для управления режимами работы гидравлической буровой машины [Текст] / В.Б. Васильев // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук: том 5, №2, Новосибирск 2018 г. – С. 213-216. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36816836>.
11. Васильев, В.Б. Выбор метода оценки устойчивости оползнеопасных склонов при детальном мониторинге [Текст] / В.Б. Васильев, С.Ф. Мурашова // Машиноведение ИМА НАН КР, № 1(9), 2019 г. – С. 59-72. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41802704>.
12. Vasilev, V.B. Design of automatic fluid flow regulator to control hydraulic drill operation modes [Text] / V.B. Vasilev, // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 012083. – Р 4 - doi:10.1088/1755-1315/262/1/012083. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41676844>.
13. Vasilev, V.B. Automatic system to control hydraulic drill operation [Text] / V.B. Vasilev, A.P. Muslimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 012082. – Р 3 – doi:10.1088/1755-1315/262/1/012082. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41681871>.
14. Васильев, В.Б. Разработка станка строчечного бурения БС-32 для добычи блоков природного камня [Текст] / В.Б. Васильев, А.В. Анохин, Н.Н. Фадеева // Машиноведение ИМА НАН КР, № 2(12), 2020 г. – С. 29-40. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45423724>.
15. Васильев, В.Б. Экспериментальное исследование автоматического регулятора расхода жидкости для гидравлической буровой машины

- [Текст] / В.Б. Васильев, А.П. Муслимов, В.А. Васильев // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук: том 7, №2, Новосибирск 2020 г. – С. 130-133. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46616983>.
16. Васильев, В.Б. Разработка универсального стенда для исследования автоматических систем управления режимами работ гидравлической буровой машины и гидроаппаратуры [Текст] / В.Б. Васильев, А.П. Муслимов, В.А. Васильев // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук: том 7, №1, Новосибирск 2020 г. – С. 261-266. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46580453>.
17. Васильев, В.Б. Разработка автоматических систем управления подачей инструмента гидросуппорта станка с амплитудно-импульсным и частотно-импульсным регулированием расхода жидкости [Текст] / В.Б. Васильев, А.П. Муслимов, С.И. Квитко, В.Б. Васильев // Машиноведение ИМА НАН КР, № 2(14), 2021 г. – С. 64-75. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48535131>.
18. Васильев, В.Б. Разработка систем управления бурильной машины с частотно-регулируемыми приводами [Текст] / В.Б. Васильев, А.В. Анохин // Машиноведение ИМА НАН КР, № 2(14), 2021 г. – С. 54-63. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48535130>.
19. Васильев, В.Б. Рекомендации по выбору и эксплуатации преобразователя частоты тока для станка строчечного бурения с автоматическим регулированием скорости подачи бурового инструмента [Текст] / В.Б. Васильев // Машиноведение ИМА НАН КР, № 1(13), 2021 г. – С. 82-90. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47155007>.
20. Васильев, В.Б. Автоматизация электрифицированных буровых машин на базе современных средств автоматики [Текст] / А.П. Муслимов, В.Б. Васильев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2022, Т. 22, № 8. – С. 106-113. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49558442>.
21. Vasilev, V.B. Automatic liquid flow controller for hydraulic drilling machine [Text] / V.B. Vasilev, A.P. Muslimov, V.A. Vasilev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Challenges and Solutions. Ser. "Mining Sciences and Mineral Field Development: Challenges and Solutions" 2022. С. 012025. – P 4 – doi:10.1088/1755-1315/991/1/012025. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48191136>.

22. Vasilev, V.B. Universal test bench for studying automatic systems to control operating modes of hydraulic drilling machines and hydraulic equipment [Text] / V.B. Vasilev, A.P. Muslimov, V.A. Vasilev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Challenges and Solutions. Ser. "Mining Sciences and Mineral Field Development: Challenges and Solutions" 2022. С. 012018. – Р 5 – doi:10.1088/1755-1315/991/1/012018. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48192194>.
23. Васильев, В.Б. Двойная буровая колонна как оптимальный объект для математического моделирования [Текст] / А.В. Анохин, С.Ф. Мурашова, В.Б. Васильев // Машиноведение ИМА НАН КР, № 1(17), 2023 г. – С. 92-101. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54401361>.
24. Васильев, В.Б. Математическая модель регулятора расхода жидкости с гидравлическим управлением [Текст] / В.Б. Васильев, А.П. Муслимов // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Новосибирск 2023, Т. 10, № 4. – С. 77-81. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59772504>.
25. Васильев, В.Б. Разработка электрических схем для управления электрифицированными буровыми машинами [Текст] / В.Б. Васильев, А.В. Анохин // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. Новосибирск 2024, Т. 11, № 1. – С. 62-67. – То же: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65614209>
26. Пат. № 371 Кыргызская Республика, 19 Март 2024 г. Васильев, В.Б. Автоматическая система управления режимами работ буровой машины [Электронный ресурс] / В.Б. Васильев, А.П. Муслимов; Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при правительстве Кырг. Респ. – Заяв. 19.03.2024; Оpubл. 31.10.2024. – 5 с. – Режим доступа: [https://base.patent.kg/pm.php?action=search\\_list&f100=371](https://base.patent.kg/pm.php?action=search_list&f100=371).
27. Пат. № 368 Кыргызская Республика, 19 Март 2024 г. Васильев, В.Б. Подающее устройство бурильных машин [Электронный ресурс] / В.Б. Васильев, А.В. Анохин; Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при правительстве Кырг. Респ. – Заяв. 19.03.2024; Оpubл. 30.09.2024 – 6 с. – Режим доступа: [https://base.patent.kg/pm.php?action=search\\_list&f100=368](https://base.patent.kg/pm.php?action=search_list&f100=368).
28. Васильев, В.Б. Автоматическое управление технологическими процессами в машиностроении [Текст] / А.П. Муслимов, В.Б. Васильев, // Б.: Изд-во КРСУ, 2018 г. Гриф МОиН КР – 258 с.

## РЕЗЮМЕ

**Васильев Валентин Борисович.**

**Тешиктерди жылмалоо (тазалоо, майлоо) учурунда станоктун ишинин режимин автоматтык жөнгө салуу тутумун иштеп чыгуу. 05.13.06 - адистиги, техникалык илимдердин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн жазылган “технологиялык процесстерди жана өндүрүштөрдү (тармактар боюнча) башкаруу жана автоматташтыруу” темасына жазылган диссертациясы.**

*Ачкыч сөздөр:* автоматташтыруу, металл кесүүчү станок, башкаруу, тазалоо тактыгы, көзөө, электр кыймылдаткычтын ылдамдыгы, тегеренүүчү маал, күч цилиндринин ылдамдыгы, кесүү күчү, кесүү режими, СЖАТ (станок – жабдуу- аспап - тетик) тутуму, суюктук чыгымы, токтун жыштыгы, жөнгө салуунун автоматтык тутуму.

Сунушталган иш - тешиктерди жылмалоо (тазалоо, майлоо) учурунда станоктун ишинин режимин автоматтык жөнгө салуу тутумун иштеп чыгууга жана сыноого арналган.

Иштин максаты – технологиялык процесстин жүрүшүндө кесүү режимин автоматтык жөнгө салуу жолу аркылуу тешиктерди жылмалоонун (тазалоо, майлоонун) сапатын жакшыртуу болуп саналат.

Иштин натыйжасы болуп: автоматтык башкаруу тутумун шаймандарды берүүдө электр жана гидравликалык кыймыл берүүчү көзөөчү жабдуулардын ишинин режимин иштеп чыгуу жана ишке ашыруу, автоматтык тутумдардын параметрлерин эсептөөсүн жүргүзүүгө мүмкүндүк берүүчү математикалык үлгүсүн иштеп чыгуу, бул тешиктерди жылмалоо (тазалоо, майлоо) үчүн багытталган ар кайсы станокторго колдонууга жарай турган тутумдарды долбоорлоого жардам берет.

Иштелип чыккан автоматтык тутумдар металлдарды иштетүүдө, кесүүдө жана машина куруунун бшка тармактарында кеңири колдонула алат, бул тетиктердт жасоо өндүрүмдүүлүгүн жакшыртууга, алардын чекене баасын арзандатууга мүмкүндүк берет.



## РЕЗЮМЕ

**диссертации Васильева Валентина Борисовича на тему «Разработка основ теории, методов и устройств универсальной автоматической системы управления режимами работ бурильного агрегата» на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.05.06 – «Горные машины»**

**Ключевые слова:** система управления, буровые машины, осевая нагрузка, буровой инструмент, скорость электродвигателя, крутящий момент, скорость силового цилиндра, скорость гидромотора, подающий механизм, вращатель, режимы бурения, расход жидкости, частота тока, автоматическая система регулирования.

**Методы исследования:** метод анализа литературных источников, методы анализа данных и сравнения, метод абстрагирования, экспериментальный метод, метод моделирования.

**Объектом исследования** настоящей работы является технологический процесс бурения шпуров.

**Предметом исследования** настоящей работы является системы управления режимами работы буровой машины при бурении шпуров.

**Целью исследования** является: снижение себестоимости процесса бурения шпуров, повышение его производительности и стойкости инструмента посредством автоматического управления режимами работы буровой машины.

**Полученные результаты и их новизна.** Результатами работы являются: разработка и реализация систем управления режимами работ гидравлических и электрифицированных буровых машин, разработка их математических моделей, позволяющих произвести расчёт параметров автоматических систем, что даёт возможность проектировать такие системы применительно к любым буровым машинам, предназначенным для бурения шпуров. Разработаны средства контроля и регулирования параметров процесса бурения. Разработан гидравлический, ленточно-поршневой механизм для подачи бурового инструмента, где в качестве звена, передающего усилие от двигателя к буровому инструменту, применяется металлическая лента.

Разработанные системы управления буровыми машинами могут быть использованы при разработке новых, и модернизации существующих буровых машин.

**Область применения.** Горное машиностроение.



**SUMMARY**  
**of Vasilev Valentin Borisovich**  
**Design of machine work modes automated operation systems for hole fining**  
**Dissertation thesis for obtaining the academic degree**  
**of candidate of technical sciences.**  
**05.13.06-“Automation and management of technological processes and**  
**production (in sectors)”**

*Key words: Automation, metal cutting machines, operation, fining accuracy, drilling, electric motor speed, torsion, actuating cylinder speed, cutting rate, cutting modes, MDTC system (machine-device-tool-component), liquid consumption, current rate, automated operation system.*

The present work is devoted to development and test of machine work modes automated regulation systems for hole fining.

The goal of the work is improving the quality of hole fining by cutting modes automated regulation in the course of technological process.

The results of the work: design and implementation of automated operation systems of electrical and hydraulic-drive drilling machines work modes, elaboration of their mathematical models enabling to calculate parameters of automated systems that enables to project such systems for any machines meant for hole fining.

The designed automated systems can be widely used in technologies of metal working and other sectors of machinery construction that enables to improve the quality and work capacity of manufacture of components and decrease their cost.



**Васильев Валентин Борисович**

**РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
РЕЖИМАМИ РАБОТ СТАНКА ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ**

Подписано к печати 20.10.2011г. Формат бумаги 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офс. Печать офс. Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 269  
г. Бишкек, ул. Сухомлинова 20. ИЦ “Текник” КГТУ, т.: 54-29-43  
E-mail: [beknur@mail.ru](mailto:beknur@mail.ru)