

На правах рукописи

ВОРОНОВА Элеонора Юрьевна

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ АГРЕГАТИРОВАННЫХ
ПРОХОДЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО СПОСОБА
ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор,
Хазанович Григорий Шнеерович

Официальные оппоненты: **Захаров Юрий Никитович**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ
ВО «Московский государственный
машиностроительный университет» (МАМИ),
кафедра «Техника и технологии
нефтегазового производства», профессор

Габов Виктор Васильевич
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО
Национальный минерально-сырьевой университет
«Горный», кафедра машиностроения, профессор

Жабин Александр Борисович
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Тульский государственный университет», кафедра
геотехнологий и строительства подземных
сооружений, профессор

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный
технический университет имени Т.Ф. Горбачева»,
г. Кемерово

Защита состоится «__» _____ 2016 г. в _____ часов в ауд. _____ на заседании диссертационного совета Д212.132.15 при ФГАОУ ВПО Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по адресу: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д.6 стр.2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» и на сайте <http://misis.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

ШЕШКО

диссертационного совета
канд. техн. наук, профессор

Евгения Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года предусматривает увеличение добычи угля до 470 млн. тонн в год и повышение его роли в топливно-энергетическом балансе страны.

Важнейшими принципами, на которых базируется в числе главных стратегических ориентиров достижение энергетической безопасности страны, являются, в частности, «... максимально возможное использование конкурентоспособного отечественного оборудования во всех технологических процессах...» и «...коренное техническое перевооружение угледобывающего производства (включая ... обеспечение развития технологии подземной угледобычи с преимущественным использованием ... проходческого оборудования нового технического уровня)».

В соответствии с «Концепцией развития очистного, проходческого, конвейерного и бурового оборудования на период до 2020 г.», разработанной ННЦ ГПИГД им. А.А. Скочинского, ОАО «ЦНИИподземмаш» и Управлением угольной промышленности Федерального агентства по энергетике, технический уровень оборудования для механизации основных технологических процессов при выемке угля и проведении горных выработок является «важнейшим фактором, определяющим повышение эффективности и рентабельности добычи угля». В Концепции... отмечается, что в системе горных работ шахт наименьшей эффективностью характеризуются горно-подготовительные работы, их технологическая база, в том числе отечественная проходческая, бурильная и погрузочная техника, морально и физически устарели. Создание новых машин долгое время было ориентировано лишь на дальнейшую модернизацию уже имеющихся конструкций без существенных качественных изменений. При их проектировании в недостаточной мере использовались принципы системного подхода. В итоге существующий уровень отечественной техники не обеспечивает требуемых темпов проходки, показателей производительности и надежности оборудования.

Основной причиной сложившейся ситуации является «отсутствие новых крупных технических и технологических решений, сопоставимых по своей эффективности с комплексной механизацией очистных работ на пластах пологого падения».

В настоящее время в России для проведения горных выработок применяют два способа – комбайновый и буровзрывной, при этом более 70 % подготовитель-

ных выработок составляют горизонтальные и слабонаклонные. Поэтому объектом исследования в данной работе являются горнопроходческие системы для проведения горизонтальных и слабонаклонных выработок буровзрывным и комбайновым способами.

Совокупность возможных способов улучшения показателей горнопроходческих работ (ГПР) для многооперационного процесса проведения выработок сводится к исключению, увеличению выхода и совмещению операций. Увеличение выхода операций основывается на совершенствовании рабочих процессов и параметров машин, однако это не всегда приводит к существенному увеличению показателей проходки в целом. Наибольший эффект оптимизации технических решений ГПР может быть получен при использовании принципов совмещения операций в различных формах, реализация которых ведет к созданию проходческих комплексов и агрегатов.

По оценкам специалистов, полученным на основе анализа мировой практики создания и развития очистного и проходческого оборудования, одним из наиболее перспективных путей развития проходческих работ является применение агрегатированных проходческих систем (комплексов), основанных на кинематическом и конструктивном объединении всего забойного оборудования, и механизмирующих комплекс работ по проведению горной выработки. Это позволяет частично или полностью совместить операции проходческого цикла, снизив или устранив цикличность процесса, и в итоге существенно повысить темпы проходки.

На протяжении почти полувекового периода было создано и успешно эксплуатировалось значительное количество различных проходческих систем с использованием метода агрегатирования как в странах СНГ (комплексы «Сибирь», «Кузбасс», «КПА» (Украина), «АПК-2» (Казахстан)), так и в Англии, Японии, США, Швеции и др., например, комбайны типа «Болтер Майнер», которые, по сути, являются полными агрегатированными комбайновыми комплексами. Многие технические решения существуют в виде авторских свидетельств, патентов или экспериментальных образцов.

Разработке и совершенствованию горнопроходческого оборудования посвящены работы Аксенова В.В., Бунина В. И., Водяника Г.М., Габова В.В., Горбунова В.Ф., Григоренко Ю.Д., Дмитрака Ю.А., Евневича А.В., Жабина А.Б., Кальницкого Я.Б., Кантовича Л.И., Крапивина М.Г., Линника Ю.Н., Ляшенко Ю.М., Малевича Н.А., Малиованова Д.И., Мерзлякова В.Г., Михайлова В.Г., Нильвы Э.Э., Носенко С.И., Носенко А.С., Першина В.В., Родионова Г.В., Ском-

рохова В.М., Солода В.И., Солода Г.И., Сысоева Н.И., Топчиева А.В., Хазановича Г.Ш., Хазановича В.Г., Хорешка А.А., Эллера А.Ф., и многих других.

Анализ работ в области создания буровзрывных и комбайновых агрегатированных проходческих систем (АПС) показал, что до настоящего времени они не рассматривались как единый класс оборудования, а также позволил выявить недостатки существующей научно-методической базы и сделать вывод о том, что для проектирования эффективных АПС, позволяющих поднять показатели проходки на новый качественный уровень, необходима разработка теоретически обоснованных процедур их синтеза, базирующихся на научной методологии исследования операций с использованием элементов системного анализа.

Таким образом, научно-техническая проблема создания конкурентоспособного горнопроходческого оборудования нового технического уровня обуславливает актуальность разработки принципов систематизации, функционирования, синтеза и оценки эффективности агрегатированных проходческих систем.

Степень научной разработанности темы исследования. Вопросами разработки агрегатированных проходческих систем занимались ученые КузНИИшахтострой, ННЦ ГП–ИГД им. А.А. Скочинского, Института угля и углехимии СО АН РФ, ЦНИИподземмаш, ЮРГПУ(НПИ) и др. В результате выполненных ими исследований были предложены отдельные методы синтеза технических решений АПС, классификационные системы, критерии оценки эффективности АПС, подходы к моделированию функционирования АПС.

Однако разработанные к настоящему времени элементы научно-методической базы по созданию АПС разрозненны и предназначены для решения локальных задач. Общие методы систематизации и разработки оборудования класса АПС в настоящее время отсутствуют; не разработаны критерии и методики оценки эффективности проходческих систем, учитывающие особенности агрегатированных структур и функционирования АПС в конкретных условиях эксплуатации при выполнении забойных и внезабойных операций, случайный характер внешних и внутренних воздействий; отсутствуют методики структурного и параметрического синтеза рациональных вариантов технических решений АПС для заданных условий.

В связи с этим исследования, направленные на формирование научных основ разработки АПС, остаются по-прежнему актуальными.

Диссертационная работа выполнена в рамках научного направления ФГБОУ ВО ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова «Теория и принципы создания робототехнических и мехатронных систем и комплексов», утвержденного Ученым советом

ФГБОУ ВО ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова 28.09.2011 г.; НИР ФГБОУ ВО ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова по теме П-3-889 «Технология и комплексная механизация процессов горного производства», а также в соответствии с соглашением с Минобрнауки РФ №14.В37.21.2103 от 14.11.2012 о предоставлении гранта в форме субсидии на проведение научных исследований в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг. по теме «Разработка высокоэффективного горнопроходческого оборудования нового технического уровня».

Цель работы. Формирование научных основ разработки агрегатированных проходческих систем, включающих принципы систематизации, описания функционирования, оценки эксплуатационных показателей, структурного и параметрического синтеза, обеспечивающих повышение эффективности проведения выработок за счет использования проходческого оборудования нового конструктивно-технологического исполнения.

Идея работы заключается в установлении и обобщении закономерностей функционирования буровзрывных и комбайновых АПС, которые позволят рассматривать их как единый класс структур, синтезировать системы, обеспечивающие получение требуемых показателей в заданных условиях эксплуатации, и оценивать эффективность их функционирования с учетом вероятностного характера влияющих факторов.

Научные задачи. Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо:

- сформировать структурно-функциональную систематизацию АПС путем уточнения совокупности классификационных признаков и построения обобщенной структуры агрегатированных проходческих систем на основе анализа агрегатированных конструкций;
- разработать адекватные реальному процессу модели функционирования проходческих систем, в том числе агрегатированных, с учетом вероятностного влияния внешних и внутренних воздействий;
- разработать критерий оценки эффективности проходческих систем, учитывающий особенности агрегатированного оборудования, для выбора вариантов, наиболее эффективных в конкретных условиях эксплуатации;
- выполнить моделирование и исследовать зависимость эффективности функционирования проходческих систем от влияющих факторов;
- разработать порядок формирования эффективных вариантов структур АПС (порядок структурного синтеза) с учетом сочетаемости структурных элемен-

тов, включающий оценку эффективности вариантов АПС в заданных условиях эксплуатации при выполнении требуемого объема работ и стохастическом характере внешних и внутренних воздействий и выбор вариантов АПС, имеющих наилучшие показатели и отвечающих требуемым критериям;

- разработать общие методические принципы и процедуры параметрического синтеза, учитывающие особенности АПС как многофункциональных систем и реализовать их на примере перспективного варианта агрегатированной системы с проведением необходимых исследований рабочих процессов.

Методы исследований. В работе использован комплексный метод исследований, включающий анализ научно-исследовательских работ и патентный поиск технических решений по рассматриваемой проблеме; основы методологии системного подхода при постановке проблемы, обосновании целей, критериев оценки, системы ограничений и поиске альтернативных вариантов решений; современные методы структурного и параметрического синтеза технических объектов; математическое и имитационно-статистическое моделирование рабочих процессов, формирования производительности и трудоемкости проходческих операций; вероятностные методы оценки эффективности технических решений; основные положения механики сыпучей среды при установлении закономерностей распределения напряжений в штабеле горной массы; статистические методы планирования и обработки результатов физических и вычислительных экспериментов; 3D-моделирование с использованием системы Autodesk Inventor.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Агрегатированные структуры буровзрывных и комбайновых проходческих систем имеют единые правила построения, описываемые структурно-функциональной систематизацией, отличающейся новой совокупностью классификационных признаков, достаточных для идентификации и формального описания существующих технических решений и синтеза новых вариантов АПС.

2. Процесс функционирования буровзрывных и комбайновых проходческих систем, в том числе агрегатированных, описывается имитационно-статистической моделью, которая учитывает вероятностный характер формирования производительности и трудоемкости забойных и внезабойных операций при проведении заданной совокупности горных выработок и позволяет устанавливать значения показателей эффективности АПС с различными структурами в конкретных условиях эксплуатации.

3. В качестве технико-технологической оценки эффективности конструкций проходческих систем целесообразно использовать коэффициент эффективности,

объединяющий основные показатели работы систем, определяемые в относительной форме с учетом вероятностного влияния внешних и внутренних факторов.

4. Влияние структурно-компоновочных и технико-технологических факторов на эффективность функционирования, в частности, повышение эксплуатационной производительности АПС и снижение удельной трудоемкости проходческих работ, обусловлено конструктивными особенностями, приобретаемыми проходческими системами при агрегатировании и приводящими к снижению степени цикличности технологии проходки и уменьшению количества однотипных элементов.

5. Для достижения высоких показателей эффективности проходческих систем их разработка должна осуществляться в соответствии с порядком процедур структурного синтеза конструктивных и схемных технических решений во взаимосвязи с горнотехническими условиями, основанным на принципах системного подхода и методе агрегатирования, включающим: выбор возможных вариантов технических решений, обеспечивающих требуемые показатели в заданных условиях эксплуатации; оценку эффективности выбранных вариантов на основе результатов имитационного моделирования их работы; выбор оптимального варианта.

6. Техническая производительность погрузочно-транспортного модуля с клиновым тягово-транспортирующим органом в составе проходческого взрывонавалочного комплекса определяется величиной объема груза на выходе ячеек по номерам циклов проталкивания в функции давления груза на опорную поверхность клинового тягово-транспортирующего органа.

7. Параметрическая оптимизация АПС с известной структурой реализуется как итерационный процесс с предварительной разработкой конструктивно-технологической схемы кинематического взаимодействия элементов, обоснованием целевой функции и системы ограничений для каждого элемента и АПС в целом, последовательным уточнением параметров функциональных элементов.

Новизна работы состоит в том, что:

- разработана обобщенная структурно-функциональная систематизация АПС для буровзрывного и комбайнового способов проведения выработок, базирующаяся на принципах системного подхода, отражающая единые правила построения структур АПС, отличающаяся новой совокупностью классификационных признаков, учитывающих особенности компоновки и функционирования агрегатированных структур буровзрывных и комбайновых проходческих систем, и являющаяся основой структурного синтеза новых технических решений;

- разработанная имитационно-статистическая модель функционирования буровзрывных и комбайновых проходческих систем, в том числе агрегатированных, учитывает чередование и продолжительность их структурных состояний в период проведения заданной совокупности горных выработок, включая выполнение забойных и внезабойных операций, вероятностный характер формирования трудоемкости забойных и внезабойных операций, характеристики проводимых выработок, позволяет моделировать функционирование проходческих систем как стохастический процесс и определять влияние внешних и внутренних факторов на показатели эффективности АПС;

- предложенный критерий эффективности проходческих систем позволяет производить сравнительную оценку эффективности их функционирования с учетом вероятностного характера влияющих факторов, степени достижения требуемых показателей и принимать решение о выборе наиболее рациональной системы для заданного объема горнопроходческих работ;

- установлены зависимости производительности АПС и удельной трудоемкости работ при проведении совокупности выработок от структурно-компонентных и технико-технологических факторов, позволившие наметить пути повышения эффективности и разработать рекомендации по синтезу новых АПС;

- разработанный порядок процедур структурного синтеза технических решений АПС, включающий выбор и оценку эффективности альтернативных вариантов агрегатированных структур буровзрывных и комбайновых проходческих систем, учитывающий условия сочетаемости структурных элементов в составе одного технического решения, позволяет по требованиям технического задания разрабатывать перспективные варианты, наиболее эффективные в конкретных условиях эксплуатации;

- разработана агрегатированная проходческая система, предназначенная для механизации основных операций при буровзрывном способе проведения выработок с применением взрывонавалки горной массы на погрузочно-транспортный модуль оригинального принципа действия, не имеющего аналогов в мировой практике, позволяющая осуществить погрузочно-транспортные операции при отсутствии людей в призабойной зоне;

- отличительная особенность процессов формирования грузопотока клинового тягово-транспортного органа проходческого взрывонавалочного комплекса, и описывающих их математических моделей, состоит в том, что при использовании системы наклонных бортов для обеспечения подачи горной массы к транспортирующему органу, объем груза на выходе из ячейки определяется дав-

лением груза на опорную поверхность клинового конвейера, которое в свою очередь зависит от физико-механических свойств транспортируемого материала и расположения груза в бункере и определяется с учетом статических закономерностей распределения напряжений сыпучей среды внутри бункера и на его границах;

- процедуры двухэтапной параметрической оптимизации агрегатированных проходческих комплексов отличаются тем, что на первом этапе итерационного процесса на основе разрабатываемой схемы кинематического взаимодействия элементов АПС определяются базовые конструктивные и технологические ограничения, энерговооруженность комплекса и его отдельных подсистем, на втором – обосновывается и формализуется целевая функция элементов АПС, совокупность геометрических, кинематических, силовых и энергетических ограничений, математические модели формирования производительности, нагрузок, энергозатрат и алгоритм поиска оптимальных параметров.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются применением современных апробированных методов исследования операций, структурного и параметрического синтеза новых технических решений; статистическим планированием и обработкой результатов вычислительных и физических экспериментов, выполненных с использованием современных компьютеров и программных продуктов; корректностью принятых допущений; исследованием рабочих процессов на действующей экспериментальной установке; оценкой адекватности результатов вычислительных и физических экспериментальных исследований реальным процессам. Расхождение между результатами имитационно-статистического моделирования и данными производственных наблюдений составляет не более 14%; расхождение между результатами расчетов и данными физических экспериментальных исследований составляет не более 15%, что удовлетворяет данному типу исследований; относительная ошибка в определении средних значений при проведении всех видов экспериментов не превышает 10% при доверительной вероятности 0,9, что является достаточным для инженерных расчетов.

Научное значение работы состоит в следующем:

- разработан общий подход к вопросу структурообразования агрегатированных буровзрывных и комбайновых проходческих систем, который позволил рассматривать их как отдельный класс горнопроходческого оборудования, развить и обобщить принципы их структурной и функциональной систематизации, сформировать новую совокупность классификационных признаков, правила по-

строения структур и основные положения теории функционирования, являющиеся базой при постановке задач, математическом и программном обеспечении процедур синтеза АПС;

- формирование значений производительности и удельной трудоемкости при функционировании проходческих систем описано как стохастический процесс с учетом структурных особенностей агрегатированного оборудования, возможных структурных состояний в период выполнения заданной совокупности объемов горнопроходческих работ, включая забойные и внезабойные операции;

- установлены зависимости показателей эффективности проходческих систем от классификационных признаков, характеристик элементов и условий эксплуатации;

- разработано математическое описание формирования грузопотока и производительности клинового тягово-транспортного органа погрузочно-транспортного модуля, входящего в состав проходческого взрывонавалочного комплекса;

- разработаны общие методологические принципы и подходы к выбору оптимальных параметров АПС, обеспечивающие создание таких систем с наивысшей конечной эффективностью – максимальной производительностью, минимальной энергоемкостью или стоимостью.

Научные положения, разработанные в диссертации, способствуют созданию и совершенствованию эффективных методов проектирования проходческих систем нового технического уровня с различными типами внутрисистемных связей.

Практическое значение работы заключается в том, что разработанная методическая база структурно-параметрического синтеза и программное обеспечение процедур моделирования и оценки эффективности функционирования АПС позволили разработать новые технические решения, защищенные патентами и, в частности, синтезировать структуру, разработать конструкцию и технологию применения оригинальной агрегатированной проходческой системы, совмещающей во времени ряд операций проходческого цикла и работающей с использованием взрывонавалочной технологии без постоянного присутствия в призабойной зоне. Разработанные принципы и методическое обеспечение выбора параметров АПС конкретизированы применительно к проходческому взрывонавалочному комплексу, в частности, в виде разработанного алгоритма и программного обеспечения моделирования рабочих процессов погрузочно-транспортной части и выбора ее оптимальных параметров в зависимости от расположения горной массы в бункере и давления на опорную поверхность клинового конвейера. Методическое

обеспечение использовано при проектировании действующей экспериментальной модели проходческого взрывонавалочного комплекса, обеспечивающего по прогнозным данным повышение производительности труда при проведении выработок по крепким породам буровзрывным способом в 2-2,5 раза по сравнению с традиционными комплектами горнопроходческого оборудования.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы – конструкция и технология применения проходческого взрывонавалочного комплекса ПКВН для проведения горизонтальных и слабонаклонных горных выработок по крепким породам, действующая экспериментальная модель базового погружно-транспортного модуля ПКВН с комплектом конструкторской документации, программа и методика экспериментальных исследований приняты к использованию ОАО «Ростовшахтострой» для предпроектной проработки конструкции, разработки технического задания на аванпроект и проведения дальнейших исследований по разработке опытного образца взрывонавалочного проходческого комплекса ПКВН, защищенного патентами РФ №2451791, №2451792, №2515759.

Методика оценки эффективности и выбора оптимального варианта проходческих систем на основе имитационно-статистического моделирования их работы с учетом вероятностного характера входных воздействий внедрена на предприятиях:

- ОАО «Копейский машиностроительный завод» – для использования метода агрегатирования при модернизации продукции завода, оснащении выпускаемой базовой техники навесным оборудованием и оценки эффективности ее функционирования;

- ООО «Шахтоуправление «Садкинское», ОАО «Шахтоуправление «Обуховская», шахта Алмазная ОАО «УК Алмазная» – для оценки эффективности функционирования проходческих систем в конкретных условиях эксплуатации при выборе средств механизации горнопроходческих работ.

Положения диссертации нашли отражение в исследованиях, проведенных по гранту Министерства образования РФ по теме: «Разработка высокоэффективного горнопроходческого оборудования нового технического уровня», государственный контракт №14.В37.21.2103 от 14.11.2012г. в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Результаты исследований рекомендуются к использованию конструкторским организациям и профильным заводам горного машиностроения при модернизации имеющихся и разработке новых образцов проходческой техники.

Результаты работы – принципы создания и систематизации АПС, имитационно-статистическая модель функционирования проходческих систем, методические аспекты оптимизации рабочих процессов и параметров АПС – использованы в учебном процессе в виде разделов учебных курсов «Буровзрывные и комбайновые проходческие системы», «Горные машины и оборудование», «Основы проектирования» и «Компьютерное моделирование технологических машин» для студентов специальности 130400 «Горное дело», и компьютерных программ, подтвержденных свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ и используемых в лабораторных практикумах, в курсовом и дипломном проектировании.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены и получили одобрение на симпозиумах «Неделя Горняка – 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015» (МГИ МИСиС (МГГУ), г. Москва); на международном научно-практическом семинаре «Перспективные технологии добычи и использования углей Донбасса» (г. Новочеркасск, 2009 г.); на III международном симпозиуме «Energy mining 2010» (Сербия, 2010 г.); на международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности» (г. Тамбов, 2013); на заседании научно-технического совета ОАО «Копейский машиностроительный завод» (г. Копейск, 2014 г.); на международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности» (УГГУ, г. Екатеринбург, 2014 г.); на 54 региональной научно-практической конференции «Механизация, автоматизация и электрификация горного и строительного производств, сервис технологических машин и оборудования» (ШИ(ф) ЮРГТУ(НПИ), г. Шахты, 2006 г.); на международной и всероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития Восточного Донбасса» (ШИ(ф) ЮРГТУ(НПИ), г. Шахты, 2007, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014 гг.).

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии во всех этапах процесса исследования: в разработке структурно-функциональной систематизации АПС; в обосновании и разработке математических моделей формирования производительности и трудоемкости проведения совокупности горных работ; в разработке имитационно-статистической модели функционирования буровзрывных и комбайновых проходческих систем и ее программного обеспечения; в разработке нового коэффициента эффективности проходческих систем; в проведении статистических испытаний, обработке результатов и установлении зависимости показателей эффективности АПС от влияющих факторов; в разра-

ботке порядка процедур структурного синтеза технических решений АПС; в разработке и модернизации конструкции проходческого взрывонавалочного комплекса и разработке технологии его применения; в разработке процедур параметрической оптимизации агрегатированных проходческих комплексов; в разработке проекта, осуществлении авторского контроля при изготовлении и испытании макета погрузочно-транспортного модуля проходческого взрывонавалочного комплекса и проведении на нем научных экспериментов; в обработке результатов экспериментальных исследований; научном обосновании и разработке математического описания формирования грузопотока клиновым тягово-транспортирующим органом при работе под завалом горной массы; в подготовке заявок на изобретения и публикаций по выполненной работе.

Публикации. По теме диссертации опубликована 41 печатная работа, в том числе 2 монографии в соавторстве, 5 патентов на изобретения, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. В изданиях, рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 15 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, и заключения, изложенных на 355 страницах машинописного текста, содержит 102 рисунков, 38 таблиц, список использованных источников из 169 наименований; приложения представлены на 113 страницах.

Автор выражает глубокую признательность научному консультанту, д-ру техн. наук, проф. Г.Ш. Хазановичу, а так же коллективу кафедры «Технология и комплексы горных, строительных и металлургических производств» ШИ(ф) ЮРГПУ(НПИ) им. М.И. Платова за оказанную поддержку и методические советы на различных этапах исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

При изучении состояния вопроса проанализированы: работы в области создания АПС; возможности использования существующих методов синтеза для АПС; возможности использования известных классификационных систем; работы по моделированию функционирования АПС; возможности использования существующих критериев оценки эффективности для АПС. Полученные выводы позволили сформулировать цель и задачи исследования (представлены в разделе «Общая характеристика работы»).

На основе сравнительного анализа технологии и средств механизации горнопроходческих и очистных работ выявлены существенные отличия, не позволя-

ющие применить опыт комплексной механизации очистных работ для создания проходческих комплексов, сопоставимых по своей эффективности с добычными. Основной проблемой является циклический характер проходки, обусловленный значительным количеством и разнородностью операций, выполняемых в стесненных условиях призабойной зоны. В итоге, структуры проходческих комплексов отличаются от структур очистных комплексов не только бóльшим количеством функциональных элементов и соответствующих им связей, но и наличием ходовых устройств (и их связей) для обеспечения технологически необходимых маневровых перемещений. Это усложняет решение задачи структурного синтеза, поскольку для его осуществления, как известно, необходима обобщенная структура синтезируемого объекта, являющаяся комбинаторным пространством, содержащим возможные структурные решения АПС. Для формирования обобщенной структуры необходимо провести классификацию рассматриваемых объектов, которая должна иметь такой набор классификационных признаков, задав все значения которых можно однозначно идентифицировать структуру системы.

С функциональной точки зрения агрегатированные и неагрегатированные проходческие системы (ПС) практически не отличаются. Поэтому построение иерархии по функциональному признаку не полностью отражает особенности агрегатированных структур. Более целесообразным представляется деление их на уровни иерархии по видам (или масштабу) пространственных перемещений, осуществляемых в процессе функционирования, поскольку с этой точки зрения АПС и ПС имеют существенные отличия. При работе АПС осуществляются перемещения следующих видов: глобальные - перемещения всей АПС относительно проводимой выработки – осуществляются базовым элементом (БЭ); региональные - перемещения функциональных элементов (ФЭ) относительно самой АПС, технологически необходимые, но не связанные с непосредственным выполнением ими своих функций (например, маневры по обмену машин) - осуществляются промежуточным элементом (ПЭ), под которым понимается конструкция, кинематически связанная с базовым элементом и перемещающая соединенные с ней функциональные элементы относительно базового (например, ходовая каретка с бурильными машинами, движущаяся по направляющим опорной рамы); локальные - перемещения ФЭ, необходимые для реализации ими своих функций по выполнению операций цикла (например, внедрение ковша в штабель горной массы, перемещение ее и выгрузка на конвейер и т.д.).

Таким образом, АПС состоит из трех подсистем: глобальных, региональных и локальных перемещений. Последняя состоит из элементов, выполняющих раз-

личные функции (бурение шпуров, погрузку горной массы, разрушение забоя и т.д.), поэтому разделяется на элементы по функциональному признаку. Связи между элементами подсистем могут быть кинематическими или конструктивными.

Как показали исследования, перемещения перечисленных видов характерны и для буровзрывных, и для комбайновых АПС. Поэтому разработанные ранее для буровзрывных комплексов принципы структурной систематизации были обобщены, развиты, дополнены новыми классификационными признаками, охватывающими, в том числе, комбайновые комплексы, и объединены в общую структурно-функциональную систематизацию (рисунок 1).

Составленная на ее основе обобщенная структура АПС представлена на рисунке 2 в виде структурных формул. Задавая значения классификационных признаков по каждому элементу обобщенной структуры можно получить массив возможных структур АПС. Каждую из существующих систем можно описать формулой, которая достаточно информативно характеризует ее состав и структуру.

Например, по структурной формуле №1 (рисунок 3, а), можно определить, что описываемая ею АПС разрушает массив механическим способом (имеется разрушающий ФЭ (Р)), имеет базовый элемент в виде призабойной крепи 1 ($K_{\text{ПР}}$) с нижним расположением и распорно-подающим механизмом перемещения ($БЭ_{\text{РП}}^H \rightarrow K_{\text{ПР}}$), две бурильные машины 2 (2Б) и крепеустановщик 3 (К), связанные с призабойной крепью, разрушающий исполнительный орган 4 (Р), погрузочный орган 5 (П) и перегружатель 6 (Т), скомпонованные на единой конструкции 7 (ПЭ), связанной с призабойной крепью.

Из структурной формулы №2 (рисунок 3, б) видно, что данная АПС разрушает массив буровзрывным способом, имеет базовый элемент в виде опорной рамы 1 (ОР) с нижним расположением и колесно-рельсовым типом движителя ($БЭ_{\text{КР}}^H \rightarrow ОР$), два погрузочных органа 2 (2П), перегружатель 3 (Т), 2 бурильные машины 4 (2Б) с ходовыми тележками 5 (2ПЭ) и крепеустановщик 6 (К) с ходовой тележкой 7 (ПЭ) для перемещения относительно БЭ.

Как известно, главная цель горнопроходческих работ – своевременное воспроизводство фронта очистных работ.

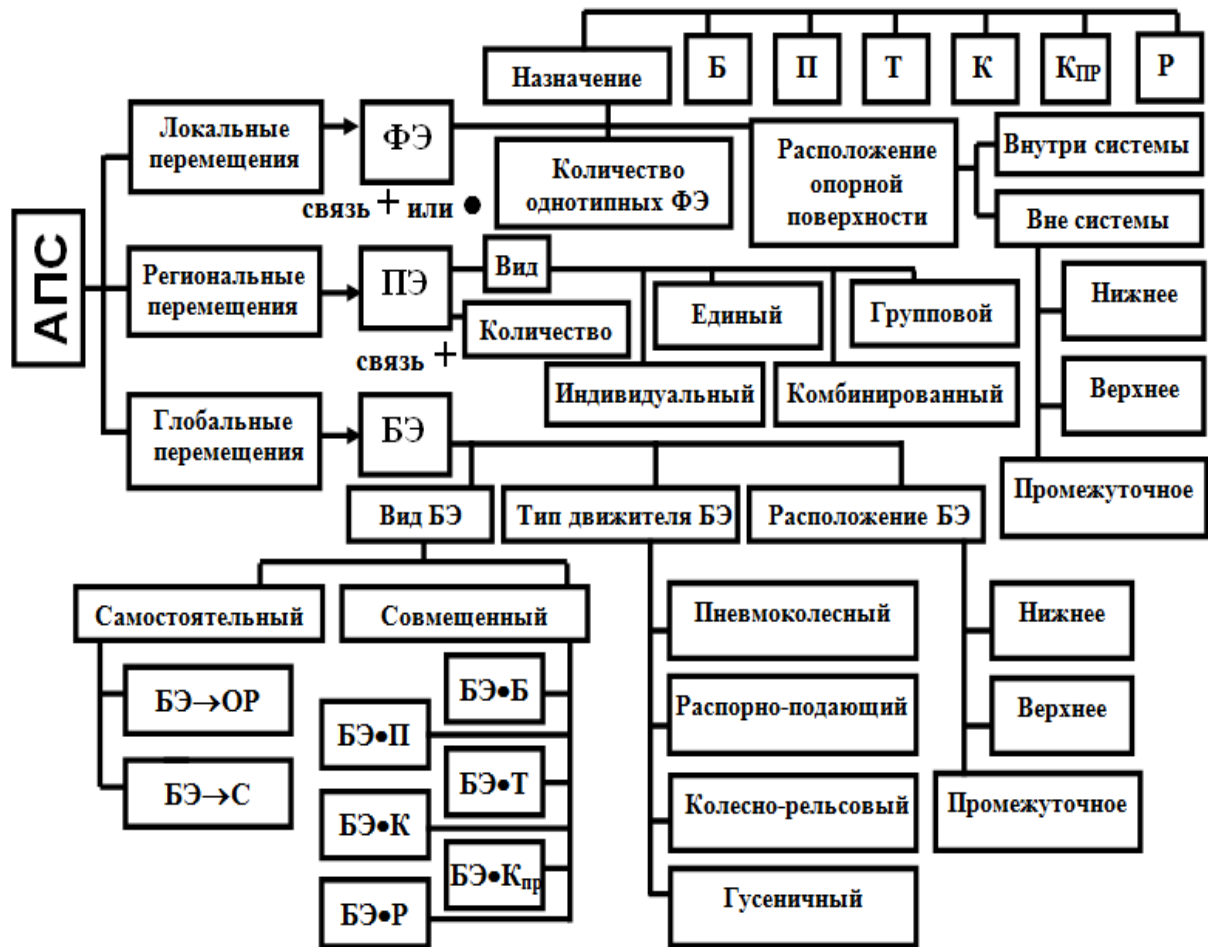


Рисунок 1 - Структурно-функциональная систематизация АПС: БЭ→ОР: БЭ в виде опорной рамы (ОР); БЭ→С: БЭ в виде стоек (С) распорно-подающего механизма; БЭ•Б: БЭ бурильная установка; БЭ•П: БЭ погрузочная машина; БЭ•Т: БЭ транспортирующая машина; БЭ•К: БЭ крепеустановочная машина; БЭ•К_{пр}: БЭ призабойная крепь; БЭ•Р: БЭ разрушающая машина (проходческий комбайн); «+» - кинематическая связь; «•» - конструктивная связь

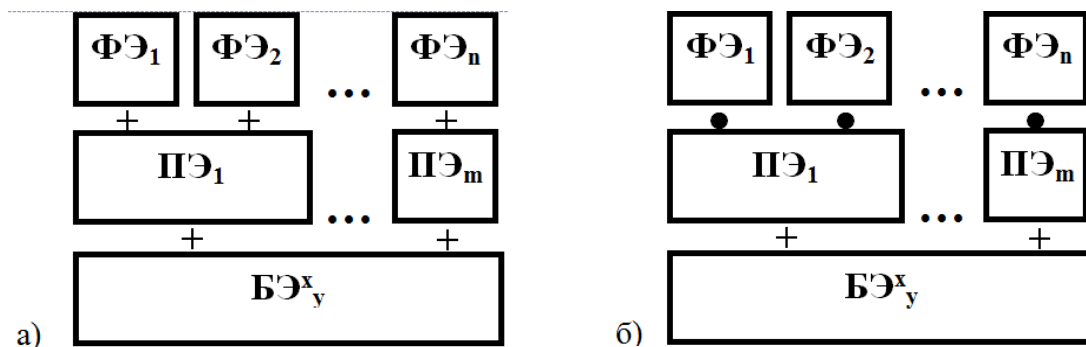


Рисунок 2 - Обобщенная структура АПС: а) при наличии кинематической связи; б) при наличии конструктивной и кинематической связи; n – число видов ФЭ; m – число ПЭ; x – расположение БЭ, y – тип движителя БЭ

Время проходческих работ складывается из времени монтажа оборудования, проведения горной выработки проектной длины, демонтажа, перебазирования обо-

рудования к забою следующей по плану выработки и т.д., т.е. из времени забойных и внезабойных операций, осуществляемых при выполнении определенной структуры объемов горнопроходческих работ (СОГПР) по шахте или участку шахтного поля (панели, горизонту и т.д.)

$$t^* = \sum_{k=1}^q t_{yk} + \sum_{k=1}^p t_{mdk} + \sum_{k=1}^{p-1} t_{n\delta k} + \sum_{k=1}^j t_{pnck},$$

где t^* – время выполнения СОГПР, час; t_{yk} – время k -го проходческого цикла, час; $q = \sum_{i=1}^r n_i$ – число проходческих циклов при проведении выработок, входящих в СОГПР; n_i – число проходческих циклов при проведении i -ой выработки; r – общее число выработок, входящих в СОГПР; t_{mdk} – время k -го ремонта (монтаж, наладка и демонтаж) ПС, час; p – число ремонтов ПС; $t_{n\delta k}$ – время k -го перебазирования (подготовка монтажного участка и транспортировка демонтированной ПС к месту монтажа) ПС, час; t_{pnck} – время k -ой ремонтно-подготовительной смены, час; j – количество ремонтно-подготовительных смен за период выполнения СОГПР.

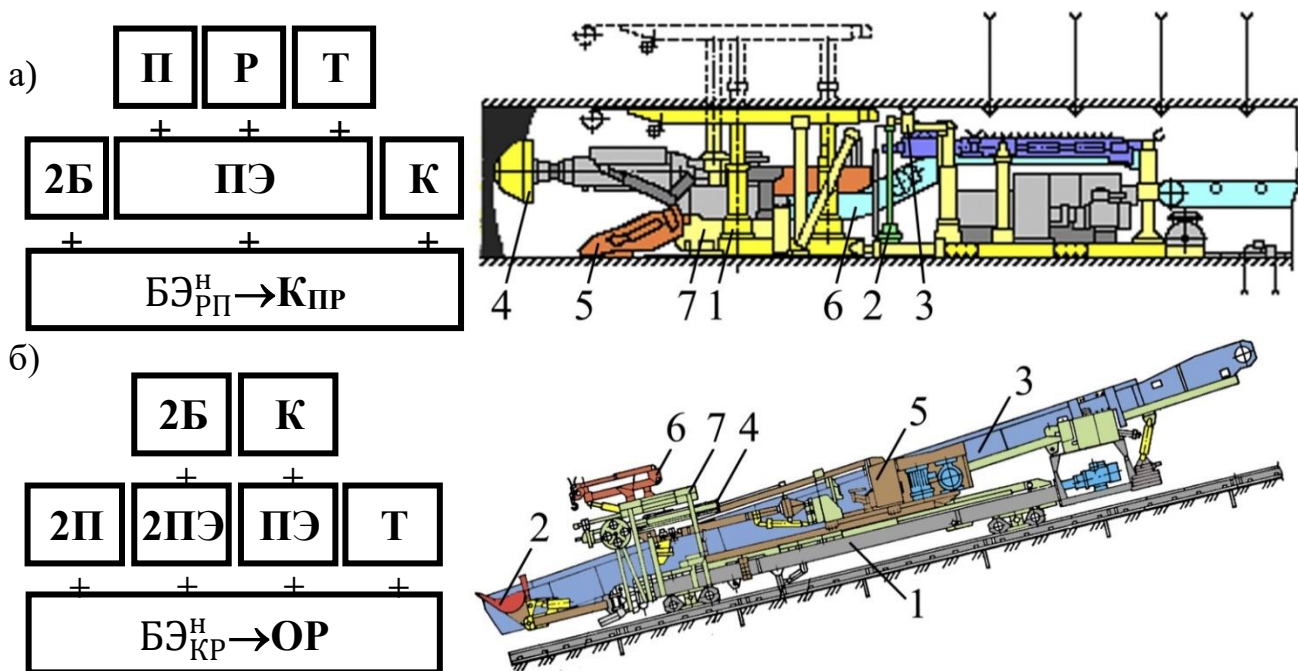


Рисунок 3 - Соответствие структурных формул и конструкций АПС:
а - комбайновый комплекс КН-5Н «Кузбасс»; б - буровзрывной комплекс «Сибирь-2М»

Таким образом, эффективность проходческой системы (ПС) должна оцениваться при выполнении СОГПР, т.е. с учетом забойных и внезабойных операций.

Эффективность ПС принято оценивать совокупностью трех основных составляющих – производительности системы, трудоемкости работ и стоимости, ко-

которые имеют тесную взаимосвязь. В соответствии с основными положениями системного подхода к процессу проектирования, экономическая оценка конструкции, являющаяся важным стимулом получения рациональных решений, может быть сделана не раньше, чем появятся варианты, отвечающие техническим требованиям функционирования. Поэтому для оценки эффективности ПС на этапе синтеза технического решения целесообразно использовать технические показатели – производительность и трудоемкость.

Используя модель формирования производительности ПС за цикл, учитывая совмещение операций в процессе цикла, время маневровых операций по обмену машин и показатели надежности оборудования получим производительность $\hat{Q}_c^*$ проходческой системы при выполнении СОГПР (величины, имеющие стохастический характер, обозначены знаком $\wedge$):

$$\hat{Q}_c^* = \frac{\sum_{i=1}^r \hat{S}_{npi} L_i}{\sum_{k=1}^q \left(\frac{\sum_{i=1}^m \left(\left(\hat{t}_i \cdot \hat{K}_{Gi} \cdot K_{mi}^{-1} + \hat{t}_{moi} \cdot \hat{K}_{\Gamma mni}^{-1} \right) \mu \right) - \left(K_{ci(i+1)} \left(\hat{t}_i \cdot \hat{K}_{Gi} \cdot K_{mi}^{-1} + \hat{t}_{moi} \cdot \hat{K}_{\Gamma mni}^{-1} \right) \mu \right)}{K} \right) + \sum_{k=1}^p \hat{t}_{m\partial k} + \sum_{k=1}^{p-1} \hat{t}_{n\partial k} + \sum_{k=1}^j \hat{t}_{pnck}},$$

где $\hat{S}_{npi}$ – сечение в проходке i -й выработки, m^2 ; L_i – протяженность i -й выработки, м; $\hat{t}_u$ – подвигание забоя за цикл, м; $\hat{t}_i = \hat{V}_u / \hat{Q}_i'$ – чистое время работы в i -м процессе, час (без маневров и $\hat{K}_{Gi}$); $\hat{V}_u$ – объем выработки, пройденный за цикл, m^3 ; $\hat{Q}_i'$ – производительность в i -м процессе за время $\hat{t}_i$, $m^3/\text{час}$; $\hat{K}_{Gi} = (\hat{T}_{oi} + \hat{T}_{vi}) / \hat{T}_{oi}$, $\hat{K}_{\Gamma mni} = (\hat{T}_{omni} + \hat{T}_{vmni}) / \hat{T}_{omni}$ – соответственно, коэффициент готовности i -й операционной машины и ее механизма перемещения; $\hat{T}_{oi}$, $\hat{T}_{omni}$, $\hat{T}_{vi}$, $\hat{T}_{vmni}$ – соответственно, наработка на отказ и время восстановления i -й операционной машины и ее механизма перемещения, час; K_{mi} – коэффициент влияния времени маневров в i -м процессе; $\hat{t}_{moi}$ – время маневров по обмену оборудованием в i -м процессе цикла; μ – коэффициент регламентированных перерывов; $K_{ci(i+1)}$ – коэффициент совмещения операций.

Скорость выполнения СОГПР, $m/\text{час}$, определяется из выражения: $\hat{v}^* = \hat{Q}_c^* / \hat{S}_{np}^*$, где $\hat{S}_{np}^*$ – средневзвешенное сечение в проходке выработок, входящих в СОГПР, m^2 .

Величина трудоемкости выполнения СОГПР $\hat{T}^*$ складывается из трудоемкости работ по выполнению операций цикла $\hat{T}_u$, трудоемкости монтажно-демонтажных работ $\hat{T}_{m\partial}$, работ по перебазированию $\hat{T}_{n\partial}$ ПС из одного забоя в

другой и работ по обслуживанию оборудования T_{pnc} , выполняемых в ремонтно-подготовительные смены:

$$\hat{T}^* = \sum_{k=1}^q \hat{T}_{yk} + \sum_{k=1}^p \hat{T}_{mdk} + \sum_{k=1}^{p-1} \hat{T}_{nbk} + \sum_{k=1}^j T_{pnck},$$

где $\hat{T}_{yk}$ – трудоемкость k -го проходческого цикла, час;

Преобразуя известную модель трудоемкости проходческого цикла с учетом выражения для $\hat{Q}_c^*$ и подставив ее в выражение для $\hat{T}^*$ можно получить полную модель трудоемкости выполнения СОГПР. Итоговые выражения имеют масштаб, превышающий формат автореферата, поэтому в тексте не приводятся.

В соответствии с поставленными задачами разработан оценочный критерий – коэффициент эффективности $K_{\varepsilon\Phi}$, который представляет собой отношение безразмерных величин производительности системы $\alpha_{Qi\delta}$ и трудоемкости $\alpha_{Ti\delta}$

$$K_{\varepsilon\Phi} = \frac{\alpha_{Qi\delta}}{\alpha_{Ti\delta}} P(\hat{v}_i \geq v_{mp}),$$

где $\alpha_{Qi\delta} = Q_i / Q_\delta$ – отношение производительностей ПС i -го варианта Q_i к базовому Q_δ ; $\alpha_{Ti\delta} = T_i / T_\delta$ – отношение трудоемкостей проведения выработки (или выполнения СОГПР) при использовании i -го и базового вариантов ПС; $P(\hat{v}_i \geq v_{mp})$ – вероятностная гарантия достижения требуемой скорости проходки – учитывает стохастический характер функционирования ПС при проведении выработки (или СОГПР); v_{mp} – требуемая скорость выполнения СОГПР (задается заказчиком).

Таким образом, $K_{\varepsilon\Phi}$ представляет собой безразмерный параметр, который определяет, как изменилась производительность на выходе рассматриваемой системы по сравнению с базовым вариантом по отношению к аналогичным изменениям показателя трудоемкости с учетом темпов проведения выработки (или выполнения СОГПР).

На основе разработанных выражений для определения производительности Q_c^* и трудоемкости T^* в диссертации разработана имитационно-статистическая модель (ИСМ) функционирования ПС (в т.ч. АПС) при выполнении СОГПР, представленного как стохастический процесс с учетом структурных состояний в период проходческого цикла (определяется на основе структурной формулы), возможности совмещения операций. Все параметры, имеющие стохастический характер, задаются с помощью генераторов случайных чисел. Обработка результатов моделирования проводится методами математической статистики при доверительной вероятности 0,95 и ошибке, не превышающей 10%, что является достаточным для инженерных расчетов. По результатам строится график распределе-

ния вероятности достижения системой требуемой скорости выполнения СОГПР (рисунок 4) и определяется величина вероятностной гарантии $P(\hat{v}_i \geq v_{mp})$ для рассматриваемой ПС и $K_{эф}$ ее использования в сравнении с базовым вариантом. Оценка адекватности ИСМ проводилась путем сравнения результатов статистических испытаний с данными, полученными в ходе наблюдений за работой реальной техники. Статистические испытания проводились для тех же ПС, условий эксплуатации и объемов работ, что и производственные наблюдения. Кроме вариантов агрегатированных комплексов и полуккомплексов (комплексы «Сибирь», буропогрузочные машины 2ПНБ-2Б и МПНБ, комбайны ГПКС, КСП, КПД), мо-

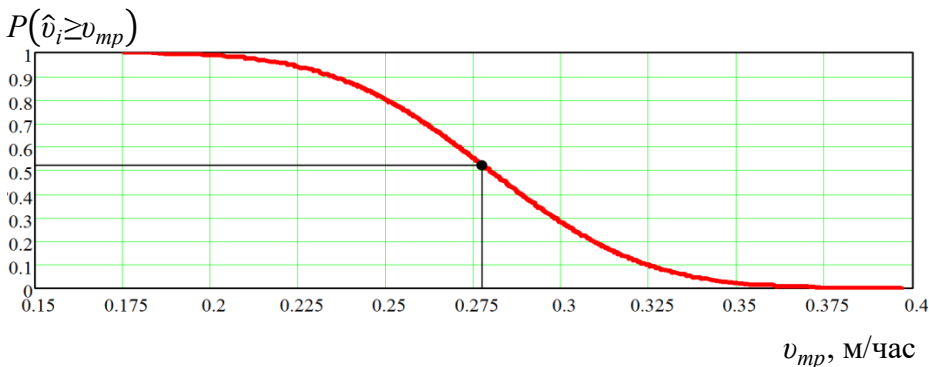


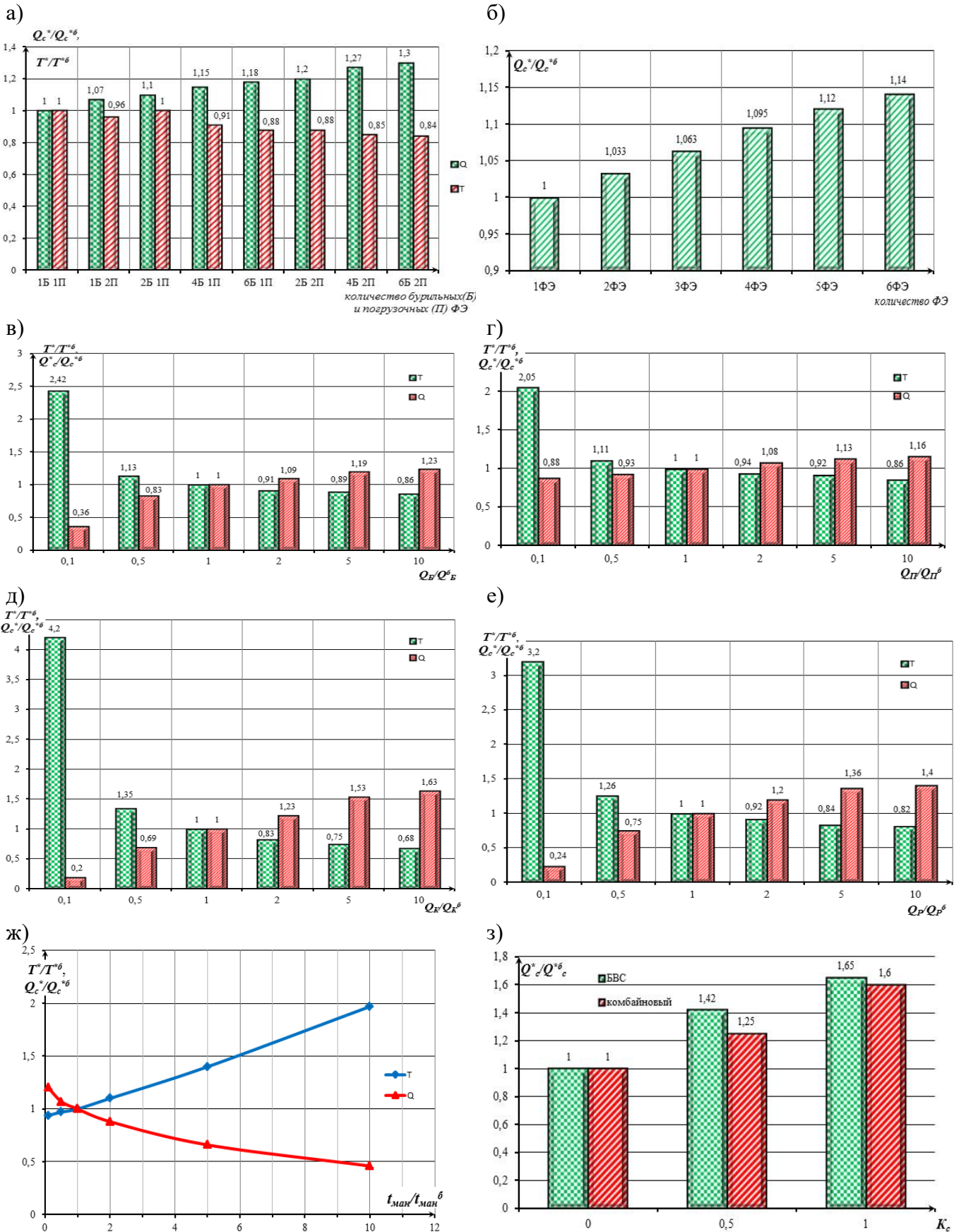
Рисунок 4 - График распределения вероятности достижения системой требуемой скорости v^* выполнения СОГПР (образец: при $v_{mp}=0,278$ м/час вероятностная гарантия $P(\hat{v}_i \geq v_{mp})=0,517$)

делировалась работа комплектов операционных машин (бурильных установок, погрузочных машин, конвейеров, анкероустановщиков и т.д.). Расхождение между результатами расчетов и данными наблюдений не превышает

14%, что удовлетворяет данному типу исследований и свидетельствует об адекватности ИСМ.

Имитационное моделирование и исследование зависимости показателей работы и эффективности АПС от влияющих факторов выполнено с целью установления закономерностей и выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на эффективность, для определения приоритетных направлений ее повышения и разработки рекомендаций по синтезу новых технических решений. К исследованию были приняты 20 факторов по трем группам – классификационные признаки, характеристики элементов, характеристики СОГПР. При проведении статистических испытаний для оценки влияния агрегатирования на эффективность ПС рассматривалось функционирование 12 АПС, отличающихся исследуемыми разновидностями классификационных признаков. В совокупности с ними рассматривались 12 комплектов индивидуальных машин, имеющих тот же набор ФЭ, что и соответствующие им АПС. По результатам статистических испытаний, основные из которых представлены на рисунке 5, установлено, что среди факторов, относящихся к группе «классификационные признаки», наибольшее влияние на

конечную эффективность АПС оказывают количество ФЭ, агрегатированных в системе, и количество однотипных ФЭ.



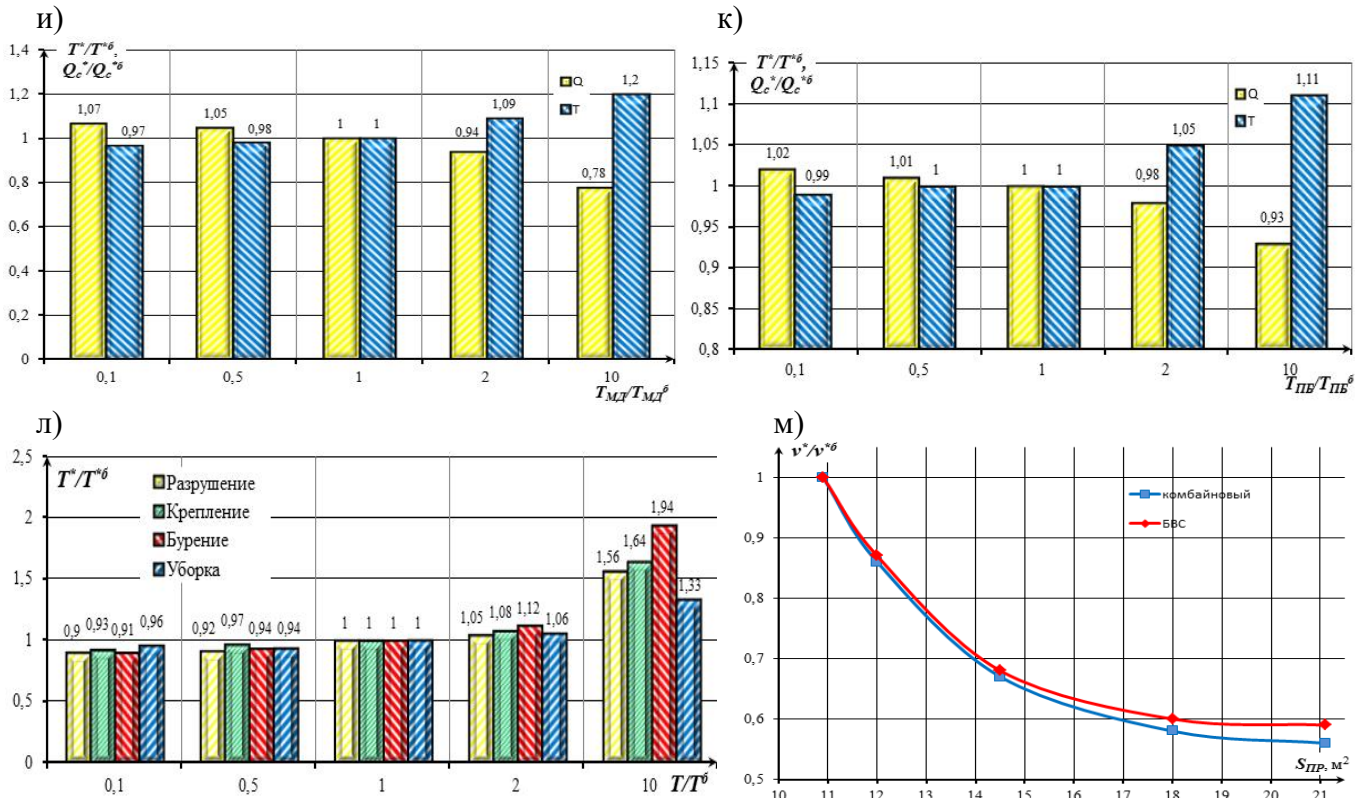


Рисунок 5 - Зависимость показателей работы АПС от влияющих факторов: а – зависимость Q_c^* и T^* от количества однотипных ФЭ; б – зависимость Q_c^* от количества ФЭ с разным назначением, агрегатированных в одной ПС; в – зависимость Q_c^* и T^* от производительности бурильного элемента Q_B ; г – зависимость Q_c^* и T^* от производительности погрузочного Q_P и транспортирующего Q_T элементов; д – зависимость Q_c^* и T^* от производительности крепеустановочного элемента Q_K ; е – зависимость Q_c^* и T^* от производительности разрушающего элемента Q_R ; ж – зависимость Q_c^* и T^* от времени маневровых операций по обмену ФЭ; з – зависимость Q_c^* от степени совмещения операций; и – зависимость Q_c^* и T^* от трудоемкости работ по ремонту оборудования из одного забоя в другой; к – зависимость Q_c^* и T^* от трудоемкости работ по перебазированию оборудования из одного забоя в другой; л – зависимость T^* от трудоемкости ручных операций; м – зависимость v^* от площади сечения выработок

Их увеличение приводит к повышению производительности выполнения СОГПР, вызванному сокращением продолжительности основных операций и времени маневров по обмену машин. Кроме этого, сокращается время простоев, связанных с устранением отказов, поскольку число ходовых частей и других однотипных механизмов уменьшается. Наряду с этим, наблюдается снижение трудозатрат на ликвидацию отказов, повышение производительности труда при выполнении механизированных операций, в то время как доля ручных трудозатрат остается неизменной.

Среди направлений, характеризующихся наибольшим позитивным влияни-

ем на эффективность АПС, следует отметить повышение степени совмещения операций, уменьшение трудоемкости ручных операций и монтажно-демонтажных работ, при этом применение АПС, отличающихся высокой долей трудозатрат на перемонтаж из одного забоя в другой (свыше 10% от T^*), целесообразно для проведения протяженных (от 1500-2000 м) выработок.

На рисунке 6 представлен порядок процедур структурного синтеза технических решений (ТР) АПС, базирующегося на их обобщенной структуре. Выбор ТР комплекса основывается на техническом задании (ТЗ) заказчика, для формирования которого разработан обобщенный список требований.

Заданные условия эксплуатации системы (требования заказчика)	
1 процедура	Определение состава системы: - синтез подсистемы локальных перемещений (вид и количество ФЭ); - синтез подсистемы региональных перемещений (вид и количество ПЭ); - синтез подсистемы глобальных перемещений (вид БЭ)
2 процедура	Определение условий совместимости элементов
3 процедура	Определение связей между элементами (подсистемами)
4 процедура	Синтез группы возможных структур АПС
5 процедура	Моделирование функционирования выбранных вариантов (решение полной или частной задачи моделирования)
6 процедура	Анализ результатов и выбор эффективной АПС (в зависимости от вида целевой функции и требований заказчика)

Рисунок 6 - Порядок процедур структурного синтеза вариантов АПС

Для решения задачи синтеза применен блочно-иерархический подход, при котором на каждом иерархическом уровне синтезируются определенные подсистемы в соответствии с принятым способом декомпозиции системы на подсистемы. Поэтому первой процедурой синтеза АПС является определение состава каждой из подсистем. Вторая процедура определяет совместимость выбранных элементов в составе одного ТР. Бинарные запреты на сочетания элементов предложено описывать при помощи аппарата многодольных графов с использованием графов-дополнений. В ходе третьей и четвертой процедур путем задания связей между элементами подсистем в соответствии с обобщенной структурой формируют группу вариантов АПС, возможных к применению в заданных условиях. В диссертации разработан алгоритм выполнения перечисленных процедур.

В ходе пятой процедуры определяются показатели работы выбранных вари-

антов путем моделирования их работы при помощи ИСМ. В зависимости от вида целевой функции, указанного в ТЗ, решается полная или частная задача моделирования. В шестой процедуре по результатам моделирования и в соответствии с ТЗ выбирается АПС, наиболее эффективная в заданных условиях. Разработана общая структура методики выбора эффективных АПС для реализации пятой и шестой процедур.

При помощи предложенного порядка процедур структурного синтеза АПС осуществлена разработка нового ТР для условий, характерных для шахт Восточного Донбасса (таблица 1), отличающихся самыми низкими темпами проходки в России (причина – тонкие пласты и крепкие породы). Поэтому разработка АПС для повышения эффективности горнопроходческих работ в этом регионе наиболее актуальна. В качестве требуемых показателей синтезируемых АПС заданы: скорость проходки – не менее 200 м/мес; целевая функция - максимальное значение $K_{эф}$ в сравнении с базовым вариантом, имеющим производительность 4 м³/час и трудоемкость 1,58 чел.-час/м³. По результатам синтеза получена группа структурных формул и их возможных компоновочных схем (не приведены по причине ограниченного объема автореферата). При помощи ИСМ выполнено моделирование их работы, по итогам которого выбран вариант, имеющий наивысший $K_{эф}=1,24$ и прогнозную скорость выполнения СОГПР $v^*=233$ м/мес., $Q_c^*=4,65$ м³/час, $T^*=1,32$ чел.-час/м³. Структурная формула приведена на рисунке 7. Выбранный вариант структуры АПС характеризуется отсутствием погрузочного органа и совмещением базового элемента с транспортирующим, выполненным в виде клинового перегружателя (вид ФЭ определяется в первой процедуре), что

предусматривает работу по взрывонавалочной технологии. Известен клиновой перегружатель, позволяющий работать под завалом горной массы. Из структурной формулы видно, что два комплекта бурильного оборудования и предохранительная крепь расположены на промежуточных элементах, т.е. имеют возможность перемещения относительно пе-

регружателя. Вопрос подачи взорванной горной массы на перегружатель решен путем применения бункера, имеющего поворотные борта, перекрывающие выработку на всю ширину. Такое ТР (пат. № 2451971 RU, 2451972 RU, 2515759 RU),

Таблица 1 – Условия эксплуатации для синтезируемых вариантов АПС

Наименование	Значение
Сечение в свету, м ²	14,4
Угол наклона, град	0÷3
Крепость породы, f (не менее)	12
Средний размер куска, мм	350
Длина шпура по забою, м	2,2
Тип крепи / затяжки	Анкер / мет. сетка + мет. подхват
Шаг крепи, м	1
Длина выработки, м	1500

получившее название «Проходческий комплекс взрыво-навалочный – ПКВН», представлено на рисунке 8. Результаты уточненного расчета прогнозных показателей с учетом совмещения операций и особенностей разработанной технологии применения представлены в таблице 2. Время цикла составляет 4 часа. При режиме работы в 3 смены по 8 часов каждая и проведении ремонтно-подготовительных работ в первую половину первой смены можно выполнять 5 циклов в сутки.

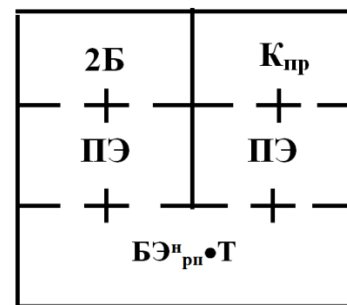


Рисунок 7 - Структурная формула ПКВН

Таким образом, суточное подвигание забоя составит 10 метров. Существенно повышены технико-экономические показатели, и в наибольшей степени по производительности труда рабочих. Для сравнения, при использовании погрузочных машин 2ПНБ-2 или МПК-1000Т в комплекте с бурильными установками УБШ-313 и конвейером СП-202 максимальная производительность труда на выходе не превышает 2,5 м³, а темпы проходки – 150-200 м/мес. Основным достоинством комплекса ПКВН является совмещение во времени операций погрузки, призабойного транспорта и проветривания при практически безлюдном выполнении этих операций.

Таблица 2 – Условия и результаты прогнозной оценки ПКВН

Наименование показателей	Значение
Форма поперечного сечения	прямоуг.
Площадь поперечного сечения в проходке, м ²	14,72
Угол наклона, град	0
Крепость породы по шкале М.М. Протодяконова	10
Коэффициент разрыхления	2,0
Средняя глубина шпуров, м	2,2
Количество шпуров на цикл, шп	60
Количество анкеров на цикл	10
Подвигание за цикл, м	2
Количество рабочих дней в месяце	30
Производительность комплекса за цикл, м ³ /час	7,36
Производительность при выполнении СОГПР, м ³ /час	5,96
Скорость проведения выработки, м/мес	300
Скорость выполнения СОГПР, м/мес	291
Удельная трудоемкость проходки, чел.-мин/м ³	50
Производительность труда рабочих, м ³ /чел.-смену	5,9
Численность рабочих в звене, чел	5

Разработаны математические модели формирования грузопотока тягово-транспортирующим органом (ТТО) клинового перегружателя (изобретен совместно ШИ(ф) ЮРГПУ(НПИ) и ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского) при работе под завалом горной массы внутри бункера для взрывонавалки в составе ПКВН. Обобщены результаты исследований рабочих процес-

сов клинового ТТО при работе в транспортном режиме и под завалом без бортов.

Существенный вклад в создание теории работы клиновых ТТО внесли

В.Г. Сильня, Г.Ш. Хазанович, Ю.М. Ляшенко, И.В. Ляшенко, А.А. Остановский, Е.В. Никитин, В.Н. Чирков, А.В. Отроков, А.С. Носенко, Р.В. Каргин, Г.В. Лукьянова.

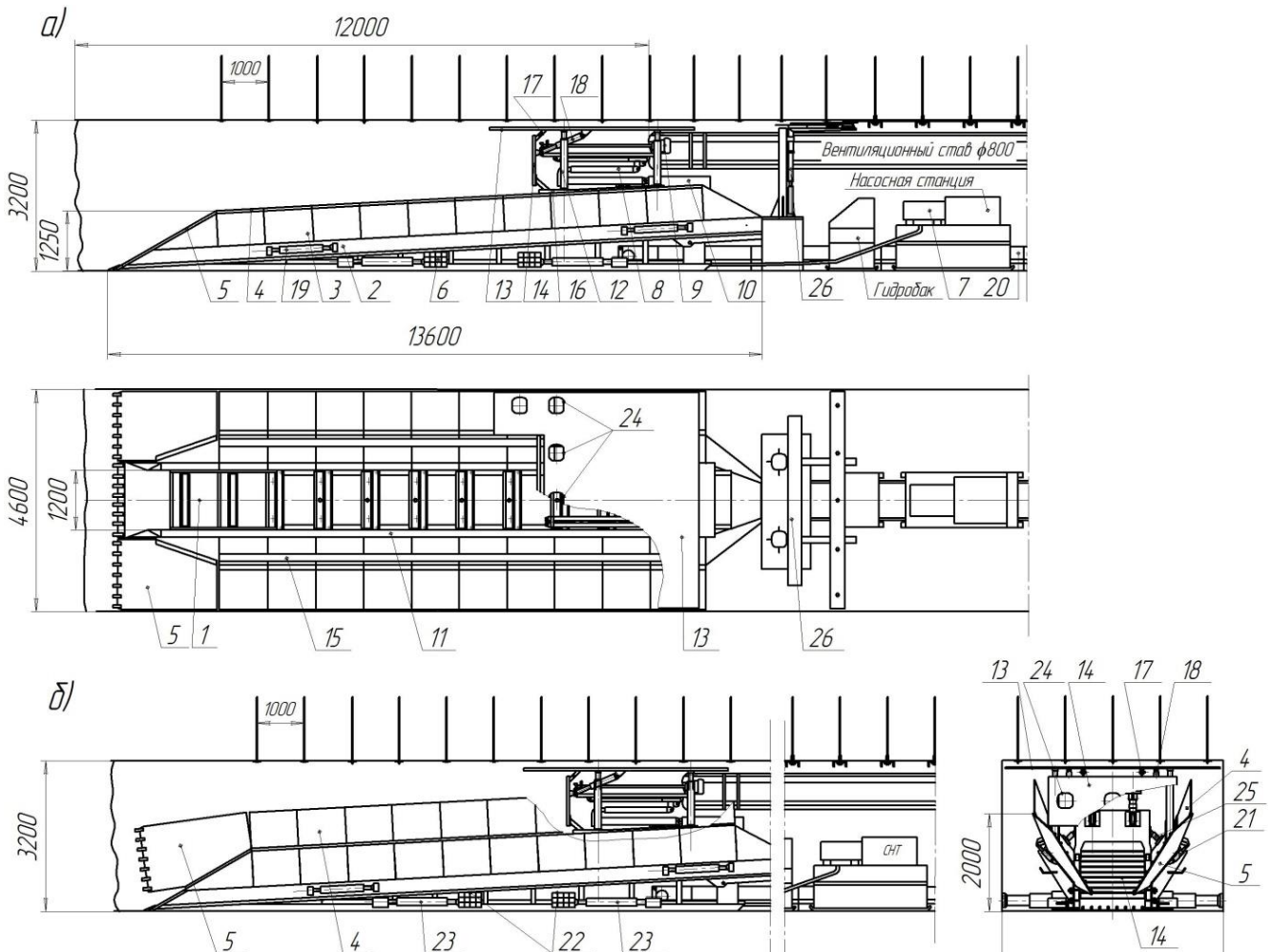


Рисунок 8 - Расположение комплекса ПКВН в выработке: а – перед взрывными работами (борта опущены); б – после выгрузки горной массы (борта подняты); 1 – клиновой перегружатель; 2 – прямой борт; 3 – наклонный борт; 4 – поворотный борт; 5 – передний поворотный борт; 6 – механизм самопередвижки; 7 – пульт управления; 8 – манипулятор; 9 – бурильная машина; 10 – порталная тележка; 11 – направляющая; 12 – стойка предохранительной крепи; 13 – предохранительный щит; 14 – поворотная секция; 15 – направляющая; 16 – ходовая каретка; 17 – шарнирное соединение; 18 – гидроцилиндр подъема поворотной секции; 19 – гидроцилиндр привода перегружателя; 20 – скребковый конвейер; 21 – гидроцилиндр подъема поворотного борта; 22 – распорный гидроцилиндр; 23 – подающий гидроцилиндр; 24 – отверстие; 25 – аутригеры; 26 – крепеустановщик

Однако существующие зависимости не учитывают особенностей процесса работы ТТО в комплексе с бункером и неточно отражают зависимость объема на выходе ТТО $V_{вых}$ от среднего размера куса транспортируемого материала $d_{ср}$.

Уточненная зависимость $V_{вых}$ имеет следующий вид:

$$V_{вых} = 0,5h_n \left(1 + K_{dh} + \frac{0,1}{K_{dh}}\right) \cdot \Delta \cdot B_k \cdot \left(1 - 0,1 \left(\frac{tg\beta_n}{tg\alpha_\mu}\right)\right) \cdot \left(1 - 0,187 \left(\frac{tg\beta_n}{tg\alpha_\mu}\right)\right) \times \\ \times (1 - 0,33\beta_k) \cdot A_1 \left[1 - e^{-\left[\frac{a_1 X_p}{(2,5K_{dh})^{0,85} + 1}\right]^2}\right] \cdot e^{-\left[\frac{1,2 X_p}{(2,92(K_{dh})^{0,85} + 1)}\right]^2} \cdot K_{dh},$$

где $K_{dh} = d_{cp}/h_n$, h_n – высота подвижного клина, м; Δ – ход ТТО, м; B_k – ширина ТТО, м; β_n, β_k – углы заострения подвижного и неподвижного клина, град.; α_μ – угол трения материала по стали, град.; β_k – угол наклона перегружателя, град.; A_1, a_1 – коэффициенты; $X_p = P_{факт}/P_0$, $P_{факт}$ – фактическое давление груза на плоскость днища ТТО, Н; P_0 – давление груза в объеме эталонной ячейки, Н.

Эта зависимость получена на основе выдвинутой гипотезы: количество груза, выталкиваемого подвижным клином каждой j -й ячейки в произвольном i -м цикле $V_{вых.i,j}$, зависит не напрямую от высоты слоя груза, как в транспортном режиме, а определяется, наряду с геометрическими параметрами ячейки ($h_n, h_n, \Delta, \beta_n, \beta_k$), фактическим давлением груза $P_{факт.i,j}$ на плоскость днища. Зависимость $V_{вых.i,j} = f(P_{факт.i,j})$ имеет вид возрастающей функции до некоторого уровня, определяемого предельным (критическим) давлением $P_{кр}$ на опорную плоскость, и далее стабилизируется. В диссертации с учетом предложенной гипотезы на основе теории сыпучей среды разработана методика определения фактических давлений на днище ТТО в зависимости от высоты слоя и геометрических параметров бункера и математическое описание формирования грузопотока клиновым ТТО при работе под завалом. Основные зависимости представлены в таблице 3 и проиллюстрированы на схемах рисунка 9. Разработанное математическое описание получило реализацию в виде компьютерной программы «ГРУЗОПОТОК». В результате работы программы получаем матрицу дискретных профилей материала в бункере, профилограмму изменения штабеля горной массы (рисунок 10) и объем грузопотока по номерам циклов (рисунок 11) за период выгрузки всего штабеля.

С целью оценки адекватности выдвинутой гипотезы и разработанного математического и программного обеспечения на основе теории подобия создана действующая экспериментальная модель погрузочно-транспортного модуля (ПТМ) ПКВН (масштаб 1:4), работающая в комплекте с макетом выработки (рисунок 12). В соответствии с планом эксперимента выполнены серии опытов с различными высотами штабеля (рисунок 13). Оценка результатов модельных исследований показала соответствие расчетных и опытных данных.

На рисунке 14 для примера представлена усредненная профилограмма из-

менения штабеля, полученная по результатам проведения серии опытов при $K_{dh}=1$ и полной загрузке бункера, а на рисунке 15 – грузопоток на выходе из последней ячейки.

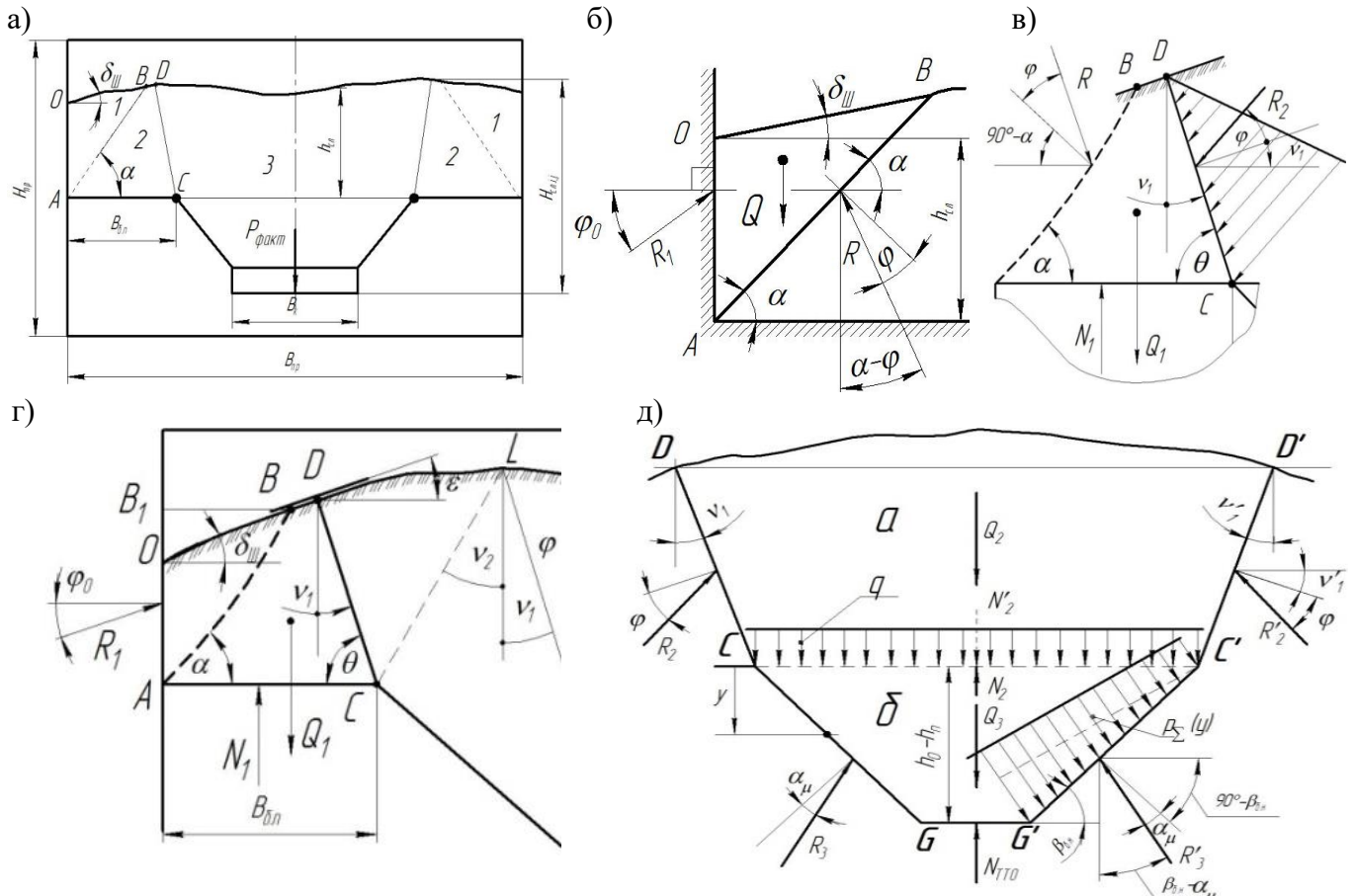


Рисунок 9 - Схемы к расчету давлений на днище клиновидного ТТО: а – общий порядок расчета давлений на днище клиновидного ТТО; б – схема к расчету усилий в зоне 1 методом Кулона; в – схема к расчету усилий в зоне 2; г – схема к построению линий скольжения, отделяющих зону 2 от зоны 3 методом проф. Соколовского; д – схема к расчету давлений в зоне 3 методом расчета бункеров

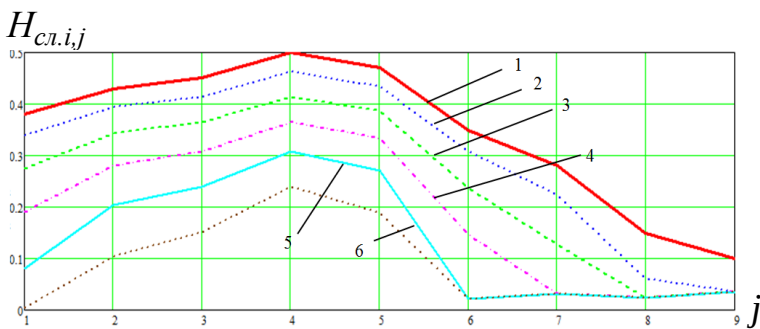


Рисунок 10 - Профилограмма изменения штабеля: 1 – при $i = 0$; 2 – при $i = 5$; 3 – при $i = 15$; 4 – при $i = 30$; 5 – при $i = 50$; 6 – при $i = 80$

об адекватности математических моделей и работы программы «ГРУЗОПОТОК» реальному процессу.

Расхождение между результатами расчетов и экспериментальными данными не превышает 15% (относительная ошибка в определении средних значений не выше 10% при доверительной вероятности 0,9, что удовлетворяет данному типу исследований) и свидетельствует

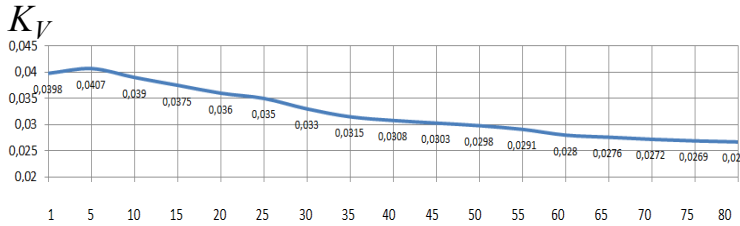


Рисунок 11 - Объем грузопотока по номерам циклов

В соответствии с поставленными задачами целью параметрического синтеза является обоснование, разработка общих методических подходов к выбору оптимальных параметров АПС

и их реализация на примере одного из перспективных вариантов.

Таблица 3 – Расчет давлений на днище клинового ТТО

Основные этапы расчета	Условные обозначения
$N_2 = Q_2 - 2R_2 \cdot \sin(\varphi + \nu_1)$ $\nu_{1,2} = \pm \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$ $Q_2 = \gamma_m \cdot g \cdot l_{я} \cdot h_{cl} \left[(B_{np} - 2B_{\bar{o}.n}) + h_{cl} \cdot \operatorname{tg} \nu_1 \right]$ $h_{cl} = 1,2(B_{\bar{o}.n} \operatorname{tg} \varphi) \quad R_2 = R \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos(\varphi + \nu_1)}$ $R_{omh} = \frac{R}{0,5 \gamma_m h_{cl}^2 l_{я} g} = \frac{\cos \delta \cdot \cos \alpha \cdot \cos \varphi_0}{\sin(\alpha - \delta_{ш}) \cdot \cos(\alpha - \varphi - \varphi_0)}$ $\alpha = 0,85\varphi + 25,5$ $Q_3 = 0,5 \gamma_m \cdot g \cdot l_{я} \cdot (B_{np} - 2B_{\bar{o}.n} + B_{\kappa}) \cdot (h_0 - h_n)$ $R_3 = \sqrt{R_{3N}^2 + R_{3\tau}^2}$ $R_{3N} = \int_0^{h_0 - h_n} p_{\Sigma}(y) dy = \frac{N_2 (h_0 - h_n) \cdot l_{я}}{(B_{np} - 2B_{\bar{o}.n}) \cdot l_{я} \cdot \cos \beta_{\bar{o}.n}} +$ $+ \gamma_m \cdot g \cdot (\cos^2 \beta_{\bar{o}.n} + m \cdot \sin^2 \beta_{\bar{o}.n}) \frac{(h_0 - h_n)^2}{2} \cdot l_{я}$ $m = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \quad R_{3\tau} = R_{3N} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{\mu}$ $P_{факт} = Q_3 + N_2 - 2R_3 \cdot \cos(\beta_{\bar{o}.n} - \alpha_{\mu})$	α_{μ} – угол трения материала по стали; $\beta_{\bar{o}.n}$ – угол наклона бортов к почве выработки; γ_m – плотность разрыхленной горной массы; φ_0 – угол трения груза о стенки выработки; $\delta_{ш}$ – угол наклона участка штабеля, примыкающего к стенке выработки; ε – угол касательной к поверхности штабеля; θ – угол плоскости скольжения CD к горизонту; $\nu_{1,2}$ – углы наклона линий скольжения, измеренные от вертикали; $\tau_{i,j}$ – касательная составляющая давления в плоскости днища; φ – угол внутреннего трения; $B_{\bar{o}.n}$ – ширина поворотных бортов; B_{κ} – ширина клинового ТТО; $l_{я}$ – длина ячейки; m – коэффициент сыпучести горной массы; h_0 – глубина бункера от днища до верхней кромки неподвижных бортов; h_n – высота подвижного клина

Применение принципов системного подхода и математического аппарата исследования операций для решения задачи оптимизации параметров АПС требует учета их особенностей:

- АПС проектируются для использования в некоторой области применения и без ее конкретизации выбор оптимальных параметров невозможен. Т.е., для отыскания оптимальных параметров необходимо знать область применения комплекса, а она, в свою очередь, зависит от параметров машины. Решение такой задачи возможно методом последовательных приближений (итераций);

- в общем случае АПС, несмотря на единую конечную цель функциониро-



Рисунок 12 - Действующая экспериментальная модель ПТМ

вания, имеют различные конструктивные исполнения и варианты взаимодействия подсистем.

Общее состоит только в том, что АПС имеет не одну, а несколько взаимосвязанных частей, каждая из которых предназначена для выполнения одной или нескольких функций.



Рисунок 13 - Модель ПТМ при работе под завалом

В отличие от методов выбора оптимальных параметров отдельных машин, оптимизация параметров АПС должна выполняться как для системы в целом, так и для отдельных

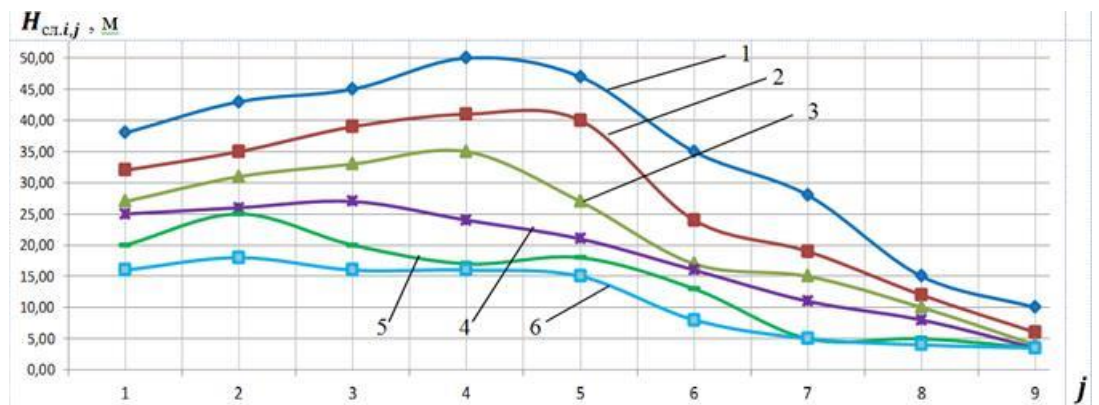


Рисунок 14 - Усредненная профилограмма изменения штабеля горной массы: 1 – при $i = 0$; 2 – при $i = 5$; 3 – при $i = 15$; 4 – при $i = 30$; 5 – при $i = 50$; 6 – при $i = 80$

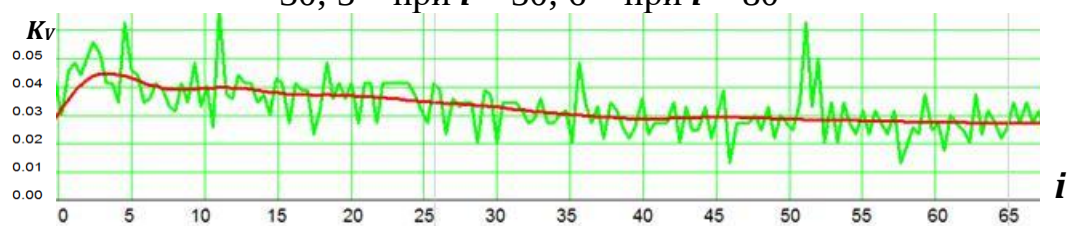


Рисунок 15 - Объем грузопотока по номерам циклов

элементов – базового, промежуточных и функциональных.

Учитывая перечисленные особенности, общая постановка задачи выбора оптимальных параметров АПС (рисунок 16) сводится к следующему:

1) на основе отобранной структурной формулы составляется схема кинематического взаимодействия структурных элементов (рисунок 17), представленных в виде конструктивно-технологических модулей (КТМ) с указанием выполняемых ими функций (подфункций), исполнительных органов или механизмов, выполняющих эти функции (подфункции), и источников энергии их рабочих перемещений; выделяются модули, использующие индивидуальный или групповой привод;

2) составляется условный временной график выполнения работ проходческого цикла, отражающий последовательность и возможное совмещение операций для определения режима работы приводов;

3) независимо от выбранной структуры АПС решение задачи параметрической оптимизации должно выполняться итеративным путем, на начальном этапе которого производится:

- уточнение габаритных ограничений КТМ;

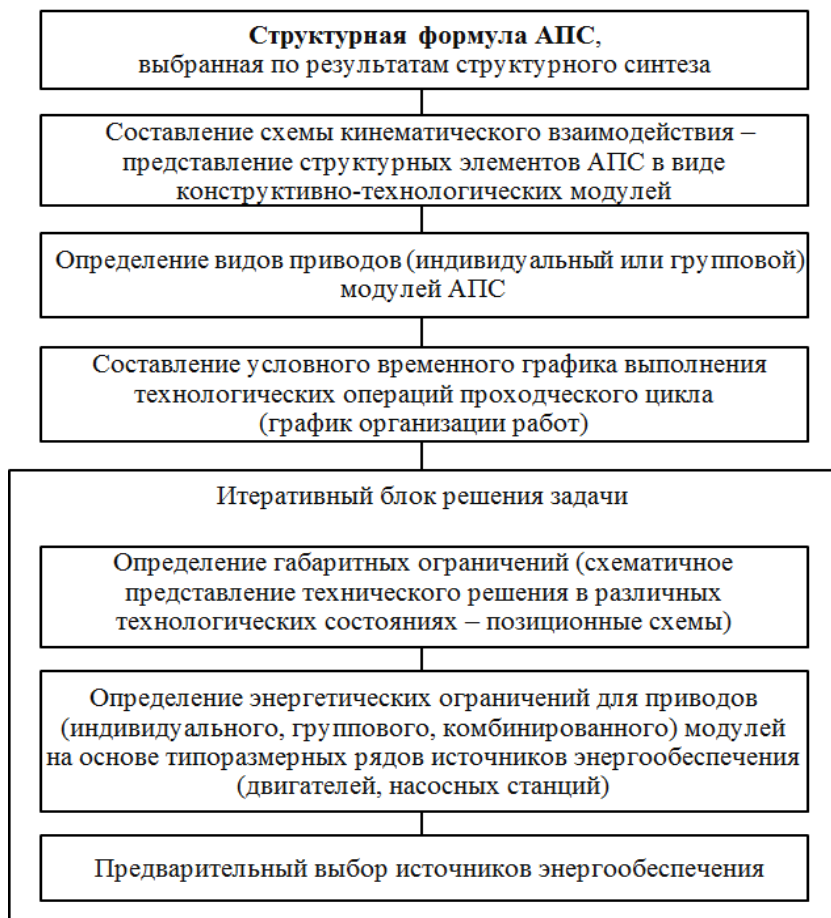


Рисунок 16 - Структура общей постановки задачи выбора оптимальных параметров АПС

- определение энергетических ограничений (предельной энерговооруженности отдельных КТМ или АПС в целом);

- предварительный выбор конкретного типоразмера источника энергообеспечения.

Выбор оптимальных параметров АПС выполняется с учетом методических особенностей науки исследования операций в следующей последовательности: обоснование и выбор целевой функции каждого модуля, которая должна быть непротиворечива целевой функции системы; установление

номенклатуры оптимизируемых параметров АПС; формирование совокупности ограничений; построение математических моделей рабочих процессов для формализации целевой функции и функций-ограничений; формирование полного математического описания работы системы как многофакторной задачи для поиска экстремума целевой функции при известной совокупности ограничений; выбор метода математического программирования; поиск оптимальных параметров; оценка соответствия оптимальных параметров заданным условиям проведения выработок и принятие решения о необходимости дополнительного итеративного цикла решения задачи; анализ результатов оптимизации, оценка устойчивости полученных решений при изменении условий проходки; экспертная оценка возможности практической реализации варианта АПС с оптимальными параметрами.

Этап постановки задачи выбора оптимальных параметров конкретизирован на примере комплекса ПКВН.



Рисунок 17 - Схема кинематического взаимодействия модулей

В схеме кинематического взаимодействия структурных элементов (рисунок 17), составленной на основе его структурной формулы (см. рисунок 7), определены виды приводов модулей. Составлен график выполнения работ проходческого цикла. Предварительные размеры должны выбираться из условий:

а) угол наклона перегружателя $\beta_k \leq 3^\circ$;

б) расстояние от нижней кромки клинового ТТО (хвостовой части) до почвы выработки должно обеспечивать такое расположение приемного

скребкового конвейера, чтобы длина размещенной части была не менее подвигания забоя за цикл в сумме со средним размером куска погружаемой горной массы;

в) объем пространства, ограниченного клиновым ТТО, бортами конвейера, стенками и кровлей выработки, в положении перед взрыванием шпуров должен быть достаточным для размещения взорванной горной массы.

По результатам расчета допустимая длина ТТО по условиям: максимального угла наклона – 8,58 м; размещения скребкового конвейера – 7,0 м; вместимости рабочего пространства – 7,38 м. В диссертации разработан порядок выбора типоразмера источников энергообеспечения, определена необходимая мощность двигателя основной насосной станции, которая составила $N_{\text{дв.нас}} = 54$ кВт. В качестве целевой функции ПКВН и его подсистем принята техническая производительность. Определены системы ограничений основных модулей – погрузочно-транспортного и бурильного, разработана структура процесса их параметрической оптимизации.

В соответствии с целевой функцией и ограничениями составлен алгоритм поиска оптимальных параметров ПТМ ПКВН (не приведены по причине ограниченного объема автореферата).

С целью проверки вписываемости оборудования в контуры выработки, расположения и взаимодействия подсистем комплекса в системе Autodesk Inventor разработан 3D-прототип ПКВН. Виртуальная визуализация его работы при выполнении операций цикла (рисунок 18) подтвердила соблюдение геометрических ограничений.

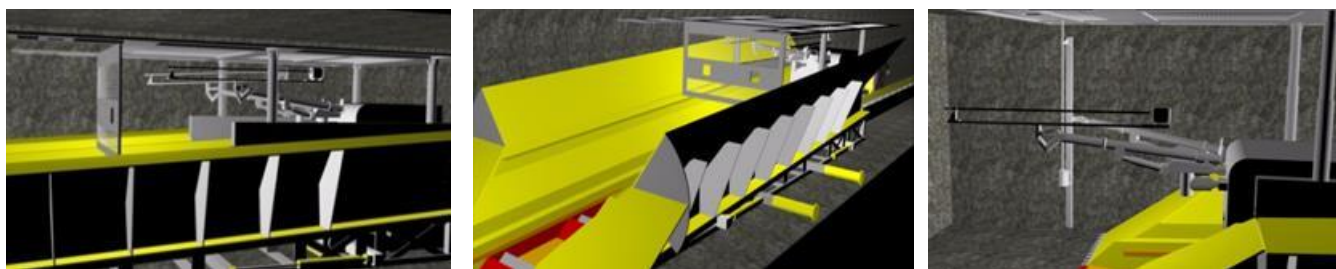


Рисунок 18 - 3D-анимация функционирования ПКВН

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научная проблема в области создания конкурентоспособного горнопроходческого оборудования нового технического уровня, заключающаяся в формировании научных основ разработки агрегированных проходческих систем для подземного способа добычи полезных ископаемых, включающих структурно-функциональную систематизацию АПС, ма-

тематическую и имитационно-статистическую модели функционирования с программным продуктом и комплексный критерий оценки эффективности проходческих систем, закономерности и зависимости показателей их производительности и трудоемкости от горно-технических, технологических и конструктивных факторов, основные методические положения структурного и параметрического синтеза АПС, что имеет важное хозяйственное значение для отраслей горной промышленности.

Основные научные выводы и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа агрегатированных структур горнопроходческого оборудования установлено, что агрегатированные буровзрывные и комбайновые проходческие системы имеют общие правила построения, описываемые единой обобщенной структурой. В результате обобщения и развития имеющихся классификаций, дополнения их новыми классификационными признаками, разработана общая структурно-функциональная систематизация буровзрывных и комбайновых АПС, являющаяся основой процедур синтеза и оценки эффективности новых технических решений.

2. Разработаны математические модели производительности и трудоемкости работы проходческих систем, отличающиеся от существующих тем, что помимо учета совмещения операций в процессе цикла, времени маневровых операций по обмену машин, показателей надежности и старения оборудования при выполнении забойных операций, они учитывают и внезабойные операции, такие как монтаж-демонтаж оборудования и перебазирование его из одного забоя в другой, что позволяет дать более полную оценку их эффективности в общем процессе своевременного воспроизводства фронта очистных работ.

3. Предложен комплексный оценочный критерий – коэффициент эффективности проходческих систем, объединяющий основные показатели их работы (производительность и трудоемкость проходки), позволяющий характеризовать технический уровень систем в сравнении с базовым вариантом с учетом вероятности обеспечения требуемой заказчиком скорости выполнения структуры объемов горнопроходческих работ.

4. Разработанная имитационно-статистическая модель функционирования буровзрывных и комбайновых проходческих систем, адекватность которой подтверждена производственными данными, учитывает смену структурных состояний в период проходческого цикла, вероятностный характер процесса и позволяет получать как итоговые показатели работы систем за период выполнения заданной

структуры объемов горнопроходческих работ, так и промежуточные результаты в каждом проходческом цикле в конкретных условиях эксплуатации.

6. Установлены закономерности и зависимости эффективности работы АПС от характеристик структурных элементов, условий эксплуатации, классификационных признаков, отражающих особенности агрегатированных структур. В частности, приобретаемые ими при агрегатировании конструктивные особенности, снижающие степень цикличности технологии проходки, позволяют повысить производительность АПС до 60%, и снизить удельную трудоемкость проходческих работ до 25% в сравнении с аналогичными комплектами оборудования. Кроме того, удельная трудоемкость снижается также за счет того, что при агрегатировании функциональных элементов в составе одной АПС уменьшается количество однотипных элементов, что приводит к снижению количества отказов и продолжительности простоев, связанных с их устранением.

6. Разработанный порядок процедур структурного синтеза АПС, основанный на принципах системного подхода, позволяет последовательно осуществлять разработку принципиально новых схмотехнических решений АПС, эффективных в конкретных условиях эксплуатации. На основе использования процедур синтеза разработан один из перспективных вариантов новой конструкции проходческого взрывонавалочного комплекса, не имеющего аналогов в мировой практике, позволяющего совмещать операции проходческого цикла, реализовать поточно-циклическую технологию проходки, в 1,5 раза повысить скорость проведения выработки и в 2,3 раза – производительность труда ($K_{эф}=1,32$) по сравнению с результатами, достигнутыми при использовании лучших традиционных комплектов отечественного горнопроходческого оборудования ($K_{эф}=0,5$).

7. Впервые разработана общая методология и последовательность процедур постановки и решения задачи параметрического синтеза АПС, учитывающая их многофункциональную структуру. Представление АПС в виде совокупности конструктивно-технологических модулей позволяет на первом этапе итеративного процесса определить базовые габаритные и энергетические ограничения системы, на втором – обосновывать и формализовать целевые функции элементов АПС, совокупность их геометрических, кинематических, силовых и энергетических ограничений, математические модели формирования производительности, нагрузок, энергозатрат и алгоритм поиска оптимальных параметров.

8. Осуществлена постановка задачи и первый этап параметрической оптимизации проходческого комплекса ПКВН: разработана конструктивно-технологическая схема взаимодействия его модулей, конкретизированы источники

энергоснабжения, выведены аналитические условия для расчета его минимальной длины. Разработан укрупненный алгоритм определения оптимальных параметров ПТМ, обоснована система ограничений погрузочно-транспортного и бурильного модулей. Виртуальная визуализация функционирования разработанного 3D-прототипа ПКВН подтвердила соблюдение геометрических ограничений.

9. Разработаны адекватные математические модели и программное обеспечение процессов формирования грузопотока и нагрузок клиновым ТТО, входящим в состав проходческого комплекса ПКВН, отличающиеся тем, что при использовании наклонных бортов для обеспечения подачи горной массы к транспортирующему органу, объем груза на выходе из ячейки и нагрузки тягового органа определяются давлением груза на опорную поверхность клинового ТТО, которое в свою очередь, зависит от расположения груза внутри бункера. Для реализации этого процесса, на основе теорий сыпучей среды и распределения давлений на стенки бункеров, разработана методика определения фактического давления на опорную поверхность ТТО и изменения профиля штабеля в ячейках по мере выгрузки горной массы из бункера.

10. Разработана действующая экспериментальная модель базовой погрузочно-транспортной части ПКВН (масштаб 1:4), позволяющая выполнять полный цикл исследований для уточнения параметров и создания натурного образца комплекса.

11. Результаты диссертационной работы используются ОАО «Копейский машиностроительный завод», ООО «Шахтоуправление «Садкинское», ОАО «Шахтоуправление «Обуховская», шахтой Алмазная ОАО «УК Алмазная», ОАО «Ростовшахтострой».

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы, опубликованные в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Хазанович, Г.Ш. Систематизация агрегатированных буровзрывных проходческих систем / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2000. - №4. - С. 56-59.

2. Хазанович, Г.Ш. Методические основы компьютерной технологии выбора технических решений проходческих модулей / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова, Ю.М. Ляшенко, А.В. Отроков // Известия вузов. Горный журнал. – 2002. – №5. – С. 24-27.

3. Хазанович, Г.Ш. Об имитационном моделировании буровзрывных проходческих систем / Хазанович Г.Ш., Г.В. Лукьянова, Э.Ю. Воронова // Горные

машины и автоматика. – 2004. – №6. – С. 42-45.

4. Хазанович, Г.Ш. Системы горнопроходческих машин на основе клиновых гидрофицированных исполнительных органов / Г.Ш. Хазанович, Ю.М. Ляшенко, Е.В. Никитин, А.С. Корниченко, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2007. - №10. - С.21-29.

5. Хазанович, Г.Ш. Усовершенствование проходческого комплекса для проведения горных выработок по крепким породам с использованием взрывонавалочных технологий / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2009. - №7. - С. 2-4.

6. Хазанович, Г.Ш. Развитие научных основ моделирования работы буровзрывных проходческих систем / Г.Ш. Хазанович, Ю.М. Ляшенко, В.Г. Черных, Э.Ю. Воронова, А.В. Отроков // Горное оборудование и электромеханика. - 2010. - №4. - С. 37-48.

7. Хазанович, Г.Ш. К вопросу об оценке эффективности горнопроходческих систем / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2011. - №7. - С.15-22.

8. Воронова, Э.Ю. Структурный синтез агрегатированных проходческих систем / Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2013. - №1. - С. 32-39.

9. Хазанович, Г.Ш. Конструктивные особенности и основные параметры агрегатированного взрывонавалочного проходческого комплекса / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Горное оборудование и электромеханика. - 2013. - №4. - С. 9-16.

10. Хазанович, Г.Ш. О некоторых направлениях разработки эффективного горнопроходческого оборудования / Г.Ш. Хазанович, В.Г. Черных, Э.Ю. Воронова, А.В. Отроков // Горное оборудование и электромеханика. - 2013. - №4. - С. 20-24.

11. Воронова, Э.Ю. Опыт создания и развитие агрегатированных проходческих систем для проведения горизонтальных и наклонных горных выработок / Э.Ю. Воронова, Ю.В. Антипов // Горное оборудование и электромеханика. - 2013. - №6. - С. 30-37.

12. Воронова, Э.Ю. Перспективы развития агрегатированных проходческих систем / Э.Ю. Воронова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - №3. - С. 56-64.

13. Воронова, Э.Ю. Системные аспекты формирования производительности проходческих систем / Э.Ю. Воронова // Горный информационно-аналитический

бюллетень. - 2014. - №4. - С.259-265.

14. Воронова, Э.Ю. Разработка математической модели формирования производительности проходческих систем / Э.Ю. Воронова // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2014. - №5. - С. 162-171.

15. Воронова, Э.Ю. Показатели эффективности горнопроходческого оборудования / Э.Ю. Воронова, В.Г. Хазанович // Горное оборудование и электромеханика. - 2015. - №2. - С. 36-42.

Патенты, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

16. Пат. 2144139 Рос. Федерация, МКИ 7 E 21 D 13/04, 9/10, 9/12, E 21 F 13/00. Система горнопроходческих машин / Г.Ш. Хазанович, Ю.М. Ляшенко, Э.Ю. Воронова, И.В. Ляшенко, В.Н. Чирков, А.Ф. Агафонов. -№ 97112667/03; заявл.14.07.97; опубл.10.01.00, Бюл. № 1.

17. Пат. 2148715 Рос. Федерация, МКИ 7 E 21 D 9/10, 13/04, 19/04. Система горнопроходческих машин / Г.Ш. Хазанович, Ю.М. Ляшенко, Е.В. Никитин, Э.Ю. Воронова, А.В. Отроков, А.Ф. Агафонов. – №98107951/03; заявл. 21.04.98; опубл. 10.05.00, Бюл. № 13.

18. Пат. 2451791 Рос. Федерация, МПК E 21 D 9/10, E 21 C 27/20, E 21 D 9/12, E 21 D 13/04. Проходческий взрывонавалочный комплекс / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова, В.Г. Черных, М.Ю. Захаров. –№2010150794/03; заявл. 10.12.10; опубл. 27.05.12, Бюл. № 15.

19. Пат. 2451792 Рос. Федерация, МПК E 21 D 9/10, E 21 C 27/20, E 21 D 9/12, E 21 D 13/04. Проходческий взрывонавалочный комплекс / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова, М.Ю. Захаров. –№2010151016/03; заявл. 13.12.10; опубл. 27.05.12, Бюл. № 15.

20. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2013616973 РФ. Определение вероятной производительности агрегатированной проходческой системы /Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова, А.В. Отроков; Роспатент. -№2013613155; заявл. 18.04.2013; зарег. 30.07.2013.

21. Пат. 2515759 Рос. Федерация, МПК E 21 D 9/10, E 21 D 9/12. Проходческий взрывонавалочный комплекс/ Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова, В.Г. Черных, Ю.В. Антипов. – №2012154022/03; заявл. 13.12.12; опубл. 20.05.14, Бюл. № 14.

22. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ 2014662628 РФ. Определение показателей и эффективности агрегатированной проходческой системы с учетом вероятностного характера функционирования / Ю.В. Антипов, Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова, А.В. Отроков; Роспатент. -№2014660471; заявл.

15.10.2014; зарег. 04.12.2014.

Монографии:

23. Воронова, Э.Ю. Проходческие агрегатированные комплексы на базе погрузочно-транспортных модулей с клиновыми исполнительными органами / Э.Ю. Воронова, Г.Ш. Хазанович, И.В. Ляшенко // Проходческие погрузочно-транспортные модули и подсистемы угольных шахт на основе клиновых гидрофицированных исполнительных органов: монография / Под общ. ред. проф. Г.Ш. Хазановича; Шахтинский ин-т ЮРГТУ. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. – С. 171-180.

24. Хазанович, Г.Ш. Разработка схем и выбор параметров агрегатированных буровзрывных проходческих систем: монография / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова; Шахтинский ин-т ЮРГТУ(НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2005. – 144 с.

Статьи в других изданиях:

25. Воронова, Э.Ю. Оценка эффективности агрегатированных буровзрывных проходческих систем / Э.Ю. Воронова, С.И. Носенко // Научно-технические и социально-экономические проблемы Российского Донбасса: сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2003. – С.126-129.

26. Воронова, Э.Ю. Анализ технико-экономической эффективности проходческого комплекса с использованием взрывонавалочных технологий /Э.Ю. Воронова, А.С. Корниченко // Механизация, автоматизация и электрификация горного и строительного производств, сервис технологических машин и оборудования: сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ(НПИ). - Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2006. – С. 20-24.

27. Прогрессивные системы горнопроходческих машин на основе клиновых гидрофицированных исполнительных органов для проведения выработок по крепким породам/ Г.Ш. Хазанович [и др.]// Научно-педагогические школы ЮРГТУ (НПИ): История. Достижения. Вклад в отечественную науку: сб. науч. ст. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. –Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2007. – Т.2 – С.81-96.

28. Хазанович, Г.Ш. Повышение эффективности агрегатированного проходческого комплекса с использованием взрывонавалочных технологий /Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова, А.С. Корниченко // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ(НПИ). - Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2007. – С. 29-37.

29. Хазанович, Г.Ш. Повышение эффективности проведения подготовительных выработок буровзрывным способом/ Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова// Перспективные технологии добычи и использования углей Донбасса : мат. меж-

дунар. научно-практ. семинара (Новочеркасск, 1-2 окт. 2009 г.)/ Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). -Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2009. – С.78-82.

30. Воронова, Э.Ю. Повышение эффективности агрегатированных проходческих систем / Э.Ю. Воронова // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т (филиал) ГОУ ВПО ЮРГТУ (НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2010. - Ч.1.– С. 250-254.

31. Хазанович, Г.Ш. Повышение эффективности горнопроходческих систем путем агрегатирования технологического оборудования / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // III International Symposium ENERGY MINING, 8-11 Sept. 2010, Apatin, Serbia; Energy mining, new technologies, sustainable development: proceedings. – Apatin: Banja Junakovic, 2010. – С. 353-360.

32. Воронова, Э.Ю. Проблемы структурообразования средств механизации горнопроходческих работ / Э.Ю. Воронова // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. по материалам 60-й Всероссийской науч.-практ. конф. / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ(НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. - Ч.2. – С. 82-87.

33. Воронова, Э.Ю. Модернизация конструкции горнопроходческого комплекса для взрывонавалочных технологий / Э.Ю. Воронова, М.Ю. Захаров // Перспективы развития Восточного Донбасса: сб. науч. тр. по мат. 60-й Всероссийской науч.-практ. конф. / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ(НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. –Ч.2.– С. 80-82.

34. Тенденции развития конструкций и эксплуатации современного горнопроходческого оборудования / Э.Ю. Воронова [и др.] // Горная техника: каталог-справ. -2012. – Вып. 2 (10). – С.8-11.

35. Направления и результаты исследований по созданию проходческого оборудования нового технического уровня / Г.Ш. Хазанович [др.] //Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности (Тамбов, 31 января 2013 г.): сб. науч. тр. по мат. Междунар. науч.-практ. конф; в 13 ч.- Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013.- Ч.7. – С. 148-152.

36. Воронова, Э.Ю. Постановка задач исследований работы клинового тягово-транспортирующего органа под завалом горной массы / Э.Ю. Воронова, Ю.В. Антипов // Перспективы развития Восточного Донбасса (Шахты, апрель 2013 г.): мат. IV-й Междунар. и 62-й Всерос. науч.-практ. конф. / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ(НПИ). - Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2013. – С. 72-76.

37. К вопросу об определении показателей эффективности горнопроходческого оборудования / Г.Ш. Хазанович [и др.] // Технологическое оборудование

для горной и нефтегазовой промышленности: сб. тр. XII междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В.Р. Кубачека», (Екатеринбург, 24-25 апреля 2014 г.) / Оргком.: Ю.А. Лагунова, Н.М. Суслов. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2014. – С. 134-138.

38. Воронова, Э.Ю. Разработка экспериментальной модельной установки проходческого взрывонавалочного комплекса / Э.Ю. Воронова, Ю.В. Антипов, П.Р. Воронов // Научные и практические результаты в технических, общественных, естественных и гуманитарных науках. Перспективы их развития (Санкт-Петербург, 22-23 января 2015 г.): сб. науч. стат. по мат. Всерос. науч.-практ. конф. –СПб: Изд-во «КультИнформПресс», 2015. – С. 34-38.

39. Воронова, Э.Ю. Имитационное моделирование функционирования агрегированных проходческих систем / Э.Ю. Воронова // Научные и практические результаты в технических, общественных, естественных и гуманитарных науках. Перспективы их развития (Санкт-Петербург, 22-23 января 2015 г.): сб. науч. стат. по мат. Всерос. науч.-практ. конф. –СПб: Изд-во «КультИнформПресс», 2015. – С. 38-42.

40. Хазанович, Г.Ш. Параметрическая оптимизация агрегированных проходческих систем: общие методические подходы / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Наука. Технологии. Производство. - 2015. № 1(5). – С. 88-93.

41. Хазанович, Г.Ш. Математические модели производительности клиново-тягово-транспортирующего органа в составе взрывонавалочного проходческого комплекса / Г.Ш. Хазанович, Э.Ю. Воронова // Пути применения научных достижений: тенденции, перспективы и технологии развития в экономике, управлении проектами, педагогике, праве, истории, культурологии, искусствоведении, языкознании, природопользовании, растениеводстве, биологии, зоологии, химии, политологии, психологии, медицине, филологии, философии, социологии, математике, технике, физике, информатике, градостроительстве (Санкт-Петербург, 13-14 февраля 2015 г.): сб. науч. стат. по мат. Междунар. науч.-практ. конф. – СПб: Изд-во «КультИнформПресс», 2015. – С. 191-198.

Личный вклад автора в опубликованных в соавторстве работах. В изданиях, рекомендованных ВАК: [1, 2, 10] – систематизация АПС; [3, 4, 6] – разработка имитационно-статистической модели; [4] – разработка конструкций многомашинных и агрегированных проходческих систем; [5, 9] – усовершенствование конструкции проходческого взрывонавалочного комплекса; [7] – структура методики выбора эффективных АПС; [9] – алгоритм оптимизации параметров агрегированной проходческой системы, определение оптимальных параметров взры-

вонавалочного комплекса; [11] – анализ опыта создания, современного состояния и направлений развития АПС; [15] – коэффициент эффективности проходческих систем. В патентах и свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ: [16, 17] – структуры технических решений систем горнопроходческих машин; [18, 19, 21] – усовершенствование конструкции и порядка работы проходческого взрывонавалочного комплекса; [20, 22] – разработка алгоритмов, математических моделей, тестирование программ. В монографиях: [23] – разработка компоновки и порядка работы систем горнопроходческих машин; [24] – систематизация АБВПС, имитационно-статистическая модель, результаты моделирования, алгоритм синтеза АБВПС. Научные публикации в других изданиях: [27, 31] – разработка компоновки систем горнопроходческих машин; [31, 35] – систематизация АПС; [35] – разработка порядка процедур синтеза АПС; [25] – разработка схемы структурных состояний; [26, 27] – оценка эффективности АПС; [28, 29, 33, 35] – усовершенствование конструкции проходческого взрывонавалочного комплекса; [34] – тенденции развития АПС; [36] – анализ состояния вопроса и постановка задач исследования работы клинового тягово-транспортирующего органа под завалом; [37] – разработка коэффициента эффективности проходческих систем; [38] – разработка конструкции и выбор параметров экспериментальной модельной установки проходческого взрывонавалочного комплекса; [40] – разработка общих методических подходов к выбору оптимальных параметров АПС; [41] – разработка математических моделей производительности клинового тягово-транспортирующего органа в составе взрывонавалочного проходческого комплекса.

Подписано в печать г. Печать ризография. Бумага офсетная.
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 2. Тираж 100 экз. Заказ № от г.
Отпечатано в типографии ИП Бурыхин Б.М.
Адрес типографии: 346500 Ростовская обл., г. Шахты, ул.Шевченко, 143