

На правах рукописи



Ананьев Кирилл Алексеевич

**СОЗДАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА ГЕОХОДА
ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД СРЕДНЕЙ КРЕПОСТИ**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Хорешок Алексей Алексеевич

Официальные оппоненты:

Хазанович Григорий Шнеерович доктор технических наук, профессор, Шахтинский институт (филиал) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, кафедра «Технология и комплексы горных, строительных и металлургических производств», профессор

Прокопенко Сергей Артурович доктор технических наук, профессор, ООО НПП "Сибирские горнопромышленники", директор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится «26» мая 2016 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. Факс (3842) 58-33-80, e-mail: siyu.eav@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте <http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2016/an/Dissertation.pdf>

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Семькина Ирина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Объем строительства подземных сооружений различного назначения с 2012 по 2014 гг. ежегодно возрастал и к концу 2015 г. подошел к отметке 1000 км. При этом подавляющий процент этих объемов приходится на импортную проходческую технику.

И в России, и за рубежом актуальными направлениями развития горнопроходческой техники и технологии являются снижение затрат и увеличение темпов проходки.

В согласии со сложившимся вектором развития, перспективным способом проведения горных выработок является геовинчестерная технология (ГВТ), базовым элементом которой является новый класс горнопроходческой техники – геоход (аппарат для механизированной проходки горных выработок, использующий геосреду для движения в подземном пространстве).

Исследования в области ГВТ и геоходов имеют существенные наработки. Возможность нового способа перемещения, являющегося особенностью геоходов, подтверждена испытаниями экспериментальных образцов геоходов серии «Эланг» на стенде и в реальных условиях шахты.

Процесс разрушения массива является основным в технологическом цикле проведения горных выработок и осуществляется исполнительным органом (ИО). Проведенные работы по исследованию и разработке ножевых ИО геоходов содержат достаточно полное обоснование параметров ИО данного типа. Однако область их применения ограничена крепостью пород $f < 1$ ед. по шкале М.М. Протоdjьяконова.

Исследования ИО, оснащенных режущим инструментом и имеющих эффективную область применения $f \leq 5-6$ ед. по шкале М.М. Протоdjьяконова, привели к появлению основ расчета ряда параметров ИО, в числе которых кинематические и отчасти силовые. Однако эти работы не включают определения рационального типа ИО и обоснования его параметров. В этой связи работа, направленная на разработку и выбор схемных решений ИО геоходов для разрушения пород средней крепости и обоснование их рациональных параметров, является актуальной.

Работа выполнена в рамках комплексного проекта «Создание и постановка на производство нового вида щитовых проходческих агрегатов многоцелевого назначения – геоходов» (договор №02.G25.31.0076 от 23.05.2013 г.) и базовой части государственного задания Минобрнауки России по проекту №632 «Исследование параметров технологии и техники для выбора и разработки инновационных технических решений по повышению эффективности эксплуатации выемочно-проходческих горных машин в Кузбассе».

Степень разработанности.

Исполнительными органами геоходов занимались А.Ф. Эллер, В.В. Аксенов, В.Ф. Горбунов, В.Д. Нагорный, В.Ю. Садовец, Н.Б. Пушкина, В.Ю. Бегляков и др. В результате проведенных этими учеными исследований определены параметры

ножевых ИО геоходов с областью применения до 1 ед. по шкале М.М. Протодяконова, определен ряд кинематических и силовых параметров ИО, оснащенных режущим инструментом, обоснована рациональная форма поверхности взаимодействия ИО геохода с породой. Однако эти работы не включают определения рационального типа ИО и обоснования его параметров.

Цель работы: разработка и обоснование параметров исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости.

Идея работы: выбор типа исполнительного органа, определение кинематических, конструктивных и силовых параметров осуществляется на основе анализа схемных решений исполнительных органов и особенностей работы геохода.

Задачи работы:

- определить схемные решения исполнительных органов геоходов для разрушения пород средней крепости, наиболее полно соответствующие предъявляемым к ним требованиям;
- выбрать рациональное схемное решение исполнительного органа геохода для разрушения пород средней крепости;
- обосновать параметры ИО геохода для разрушения пород средней крепости.

Методология и методы исследований. В работе использованы методы исследований, включающие методы синтеза технических решений; метод многокритериального анализа; 3D-моделирование с использованием программного комплекса SolidWorks; математическое моделирование с использованием программного комплекса MatLab/Simulink.

Научные положения, выносимые на защиту:

- для геоходов диаметром от 2,1 до 5,6 м при разрушении пород средней крепости комплексно по массовым, силовым и энергетическим параметрам барабанные исполнительные органы предпочтительнее корончатых с зафиксированными коронками и роторных;
- геометрические параметры, характеризующие барабанные исполнительные органы геоходов, такие, как длина и установочный угол барабанов, должны определяться с учетом перебора и обеспечивать его минимальное значение;
- силовые параметры, воспринимаемые головной секцией геохода от работы барабанных исполнительных органов при разрушении пород средней крепости, зависят от направления фрезерования – встречного или попутного, причем реактивный момент на головной секции при встречном фрезеровании совпадает по направлению с вращением головной секции и с точки зрения трансмиссии геохода встречное фрезерование является предпочтительным.

Научная новизна:

- впервые структурированы требования, предъявляемые к ИО геоходов; определены принципы оценки и сравнения ИО геоходов для разрушения пород средней крепости;
- получены аналитические выражения для определения геометрических и установочных параметров барабанных ИО геоходов;

– получены аналитические выражения для определения точки входа резцов, установленных на барабанном ИО геохода, в контакт с породой и углов охвата, учитывающие установочные и конструктивные параметры барабанов.

– впервые установлено, что при работе барабанного ИО в режиме встречного фрезерования при разрушении пород средней крепости вращающий момент, передаваемый на головную секцию геохода, совпадает по направлению с вращающим моментом внешнего движителя, снижая нагрузку на трансмиссию геохода.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, обеспечиваются корректностью принятых допущений при разработке условий задач, использованием апробированных методов и фундаментальных положений механики и математики.

Личный вклад автора заключается:

– в разработке двухуровневой структуры требований, предъявляемых к ИО геоходов, разработке схемных решений ИО геоходов с режущим инструментом и обосновании их оценки;

– в получении аналитических выражений для определения установочных и геометрических параметров барабанных ИО геоходов;

– в получении аналитических выражений для определения точки входа резцов, установленных на барабанном ИО геохода, в контакт с породой и углов охвата, учитывающих установочные и конструктивные параметры барабанов.

– в определении кинематических и силовых параметров схемы набора резцов на барабанном ИО геохода.

Практическая значимость работы.

Предложенный в работе подход к оценке и сравнению ИО геоходов для разрушения пород средней крепости может быть использован при создании новых образцов ИО геоходов в проектно-конструкторских и научно-технических организациях.

Реализация выводов и рекомендаций работы.

Полученные результаты работы использованы при разработке и изготовлении исполнительного органа опытного образца геохода на базе предприятия ОАО «КОРМЗ» (г. Кемерово).

Апробация работы.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (Сибресурс-2012, Сибресурс-2014) (Кемерово, 2012 г., 2014 г.), «Актуальные проблемы современного машиностроения» (Томск, 2014 г.), «Перспективы инновационного развития угольных регионов России» (Прокопьевск, 2014 г.); VI всероссийской, 59-й научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая» (Кемерово, 2014 г.); XVI Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности» (Кемерово, 2014 г.); X, XI, XII международных научно-технических конференциях «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности» (Екатеринбург, 2012 г., 2013 г., 2014 г.); международном научном симпозиуме «Неделя горняка»

2014» (Москва, 2014 г.); международной научно-практической конференции «Оценка эффективности использования механизмов государственного регулирования, направленных на комплексное развитие моногородов Казахстана, России и Белоруссии» (Казахстан, г. Рудный, 2015 г.).

Результаты диссертационного исследования прошли практическую апробацию в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» по теме: «Разработка экспериментальных конструкций комбинированного инструмента с применением сверхтвердых композиционных материалов для эффективного разрушения горных пород» (Соглашение № 14.607.21.0028 от 05.06.2014 г.).

Публикации.

Всего по теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 6 в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы.

Диссертация изложена на 144 страницах текста и состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованной литературы из 110 наименований. Диссертационная работа содержит 72 рисунка, 35 таблиц и 1 приложение.

Автор выражает благодарность за помощь и поддержку, оказанную при работе над диссертацией, д.т.н., проф. Аксенову В.В., Ермакову А.Н., к.т.н. Беглякову В.Ю., к.т.н. Казанцеву А.А., а также коллективам кафедр горных машин и комплексов КузГТУ и горно-шахтного оборудования ЮТИ ТПУ.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен обзор способов проходки горизонтальных и наклонных горных выработок, горнопроходческих машин и их исполнительных органов, включая исполнительные органы геологов ЭЛАНГ. Определены требования к исполнительным органам геологов. Проведен обзор исследований по определению параметров исполнительных органов горных машин, а также метода многокритериального анализа ELECTRE III.

Значительный вклад в горную науку в части исследования процессов механического разрушения горных пород режущими инструментами и разработки исполнительных органов внесли Л.И. Барон, А.И. Берон, Л.Б. Глатман, Е.З. Позин, Л.И. Кантович, В.И. Солод, В. Н. Гетопанов, В.А. Бреннер, Н.Г. Картавый, В.В. Тон, С.Л. Загорский, Е.К. Губенков, А.Н. Коршунов, М.М. Протодяконов, И.А. Свешников, М.Г. Крапивин, А.Б. Жабин, В.И. Крутилин, В.И. Нестеров, А.Г. Лаптев, Ю.Н. Линник, В.В. Габов, С.И. Мультанов, Н.И. Сысоев, Я.Л. Цыпин и др.

Разработке и совершенствованию геовинчестерной технологии и геологов посвящены работы В.В. Аксенова, А.Ф. Эллера, В.Ф. Горбунова, В. Д. Нагорного, А.А. Хорешка, Н.Б. Пушкиной, В.Ю. Садовца, В.Ю. Беглякова, М.Ю. Блащука, В.Ю. Тимофеева, Р.В. Чернухина и др.

В результате обзора установлено, что исполнительные органы горнопроходческих машин отличаются разнообразием типов, а в методиках вопросы, связанные

с выбором типа ИО, не рассматриваются. В качестве рабочего инструмента при разрушении пород средней крепости (до 5-6 ед. по шкале М.М. Протодяконова) используются резцы.

Во второй главе на основании анализа перечня требований к ИО геоходов проведена их структуризация с введением двухуровневой иерархии. Первый уровень – это обобщенные требования, достигающиеся выполнением требований второго уровня – единичных требований (таблица 1).

Таблица 1 – Структура требований к ИО геоходов

Обобщенные требования	Единичные требования
Обеспечение непрерывного перемещения геохода на забой с заданной скоростью при любом пространственном расположении геохода	Соответствие работы ИО характеру и параметрам подачи геохода на забой
	Обработка всей площади сформированной поверхности забоя за один оборот геохода
	Соответствие геометрических параметров ИО параметрам внешнего движителя
Обеспечение возможности маневрирования геохода по трассе	Возможность выдвижения ИО за контур выработки
Высокая надёжность как отдельных элементов, так и конструкции в целом	Равномерная загруженность ИО
	Минимальная динамичность работы
Предотвращение вывалов, перепусков породы из кровли, бортов выработки, а также из груди забоя	Возможность монтажа ограждающей оболочки (диафрагмы)
	Работа без ослабления приконтурного массива
Размещение и обслуживание привода и инструмента в условиях ограниченного пространства	Доступ к функциональным элементам ИО и возможность замены рабочего инструмента в «полевых» условиях
	Минимальные массово-габаритные характеристики ИО и приводов
	Минимальное число приводов и активных элементов (коронки, дисков и т. д.)
Низкая энергоёмкость разрушения горного массива	Формирование и разрушение уступа на забое выработки на свободную поверхность
	Ориентация разрушающих напряжений в горном массиве в сторону растяжения
	Минимальное пылеобразование при работе
	Высокий КПД

Предложены схемные решения ИО геоходов для разрушения пород средней крепости, включающие ИО барабанного, корончатого и роторного типов. В группе корончатых ИО рассмотрены корончатые с зафиксированными коронками, многокорончатые лучевые, корончатые стреловидные.

Оценка соответствия разработанных схемных решений ИО предъявляемым к ним требованиям проведена при помощи метода многокритериального анализа ELECTRE III. Критериями оценки выступали обобщенные требования.

Установлено, что схемными решениями ИО геоходов, наиболее полно удовлетворяющими предъявляемым к ним требованиям, являются (рисунок 1):

барабанные ИО с двумя барабанами; роторные ИО без собственного привода; корончатые ИО с зафиксированными коронками.

Схемные решения, наиболее полно удовлетворяющие предъявляемым к ним требованиям приняты к дальнейшему исследованию.

В третьей главе осуществлена сравнительная оценка схемных решений ИО барабанного, роторного и корончатого типов на основании определения обобщенных показателей степени соответствия ИО геогодов функциональному назначению.

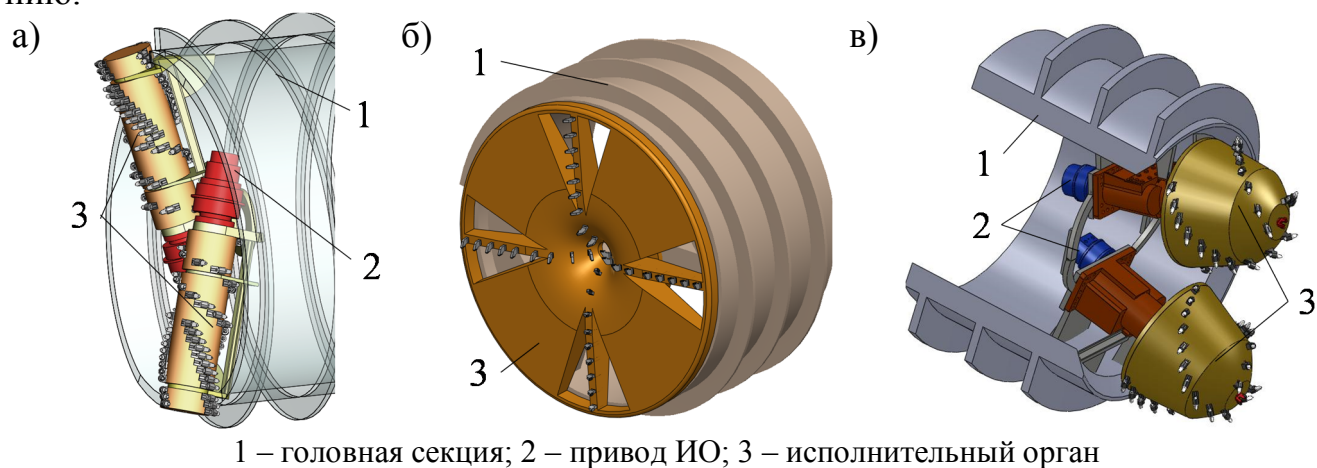


Рисунок 1 – Схемные решения ИО барабанного с двумя барабанами (а), роторного без собственного привода (б), корончатого с зафиксированными коронками

В результате анализа групп показателей качества и характеризующих их параметров для определения обобщенных показателей степени соответствия ИО геогодов приняты критерии:

- масса ИО с приводом, $m_{\text{ИО}}$;
- удельная энергоемкость разрушения забоя, H_w ;
- удельная мощность, реализуемая на одном резце, N_1 ;
- удельный расход инструмента, $Z_{\text{расх}}$;
- суммарная мощность на разрушение забоя, N .

В процессе определения указанных параметров для барабанных ИО получено аналитическое выражение для определения угла охвата барабана $\gamma_{\text{охв}}$.

$$\gamma_{\text{охв}} = \pi - \arccos \left(\frac{2,4r\sqrt{(\pi D_r)^2 + h_b^2}}{D_r\sqrt{(2\pi r)^2 + h_b^2}} - 1 \right), \quad (1)$$

где r – радиус положения центра вращения резца относительно оси геогода, м;

D_r – диаметр геогода, м;

h_b – шаг винтовой лопасти внешнего движителя, м.

Анализ выражения (1) показал, что угол охвата для барабанных ИО зависит от радиуса положения центра вращения резца относительно оси геогода и возрастает с увеличением последнего (рисунок 2) для любого диаметра геогода.

Установлено, что для геогодов диаметром от 2,1 до 5,6 м при разрушении пород средней крепости барабанные ИО имеют наибольшее значение обобщенного

показателя степени соответствия ИО геогодов функциональному назначению по принятым критериям (рисунок 3).

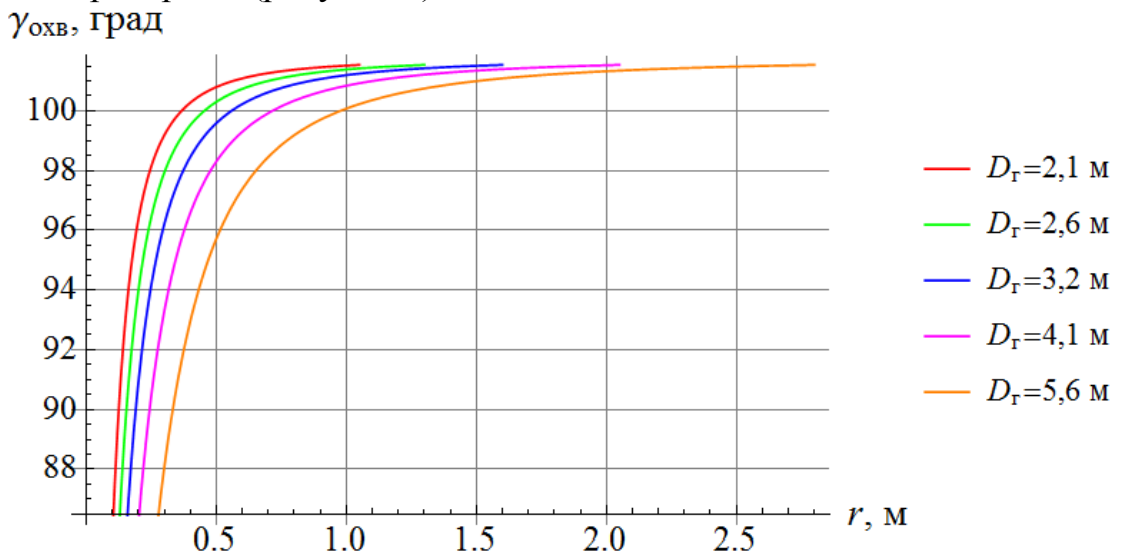


Рисунок 2 – График зависимости угла охвата барабанного ИО от радиуса положения центра вращения резца относительно оси геогода

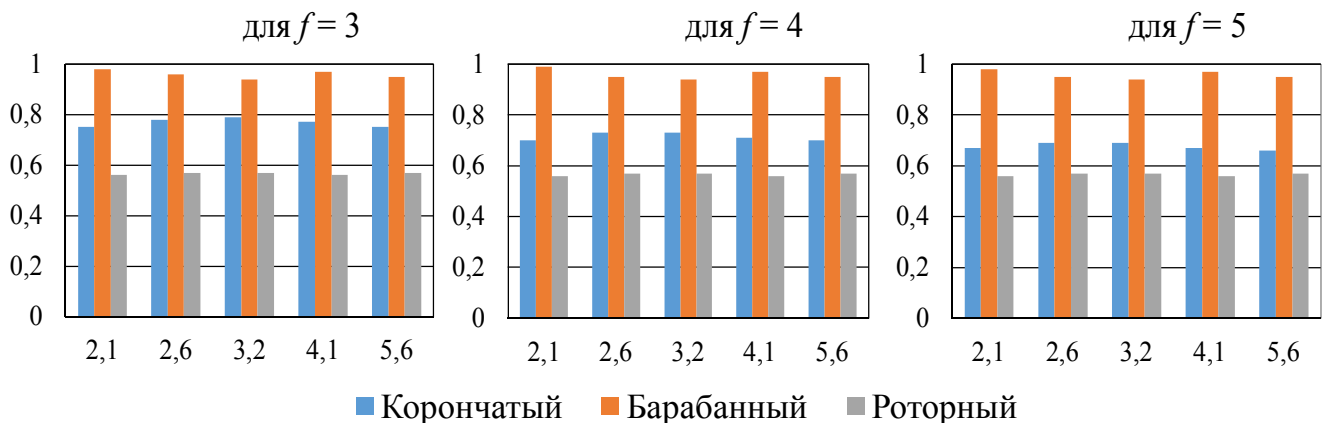


Рисунок 3 – Значения обобщенного показателя степени соответствия ИО геогодов выполняемым функциям

Средние значения обобщенного показателя степени соответствия составляют: для барабанного ИО – 0,95, для корончатого – 0,72, для роторного – 0,57.

Четвертая глава посвящена разработке барабанного ИО геогода (рисунок 4) диаметром 3,2 м для разрушения пород средней крепости, в том числе определению геометрических параметров барабанов, разработке рациональной схемы набора резцов на барабане и определению силовых параметров работы барабанного ИО.

Определены условия, при которых длина барабана на ИО будет рациональной. Рациональной длиной барабана l_b при произвольном угле его наклона является минимальная длина, необходимая и достаточная для полного разрушения всей площади забоя. При меньшей длине барабана остается неразрушенный целик T_n – недобор, препятствующий движению геогода, при большей длине возникает увеличенный перебор T_z (рисунок 5). Под перебором H понимается максимальный зазор между оболочкой геогода и контуром выработки, измеренный по нормали к оси геогода.

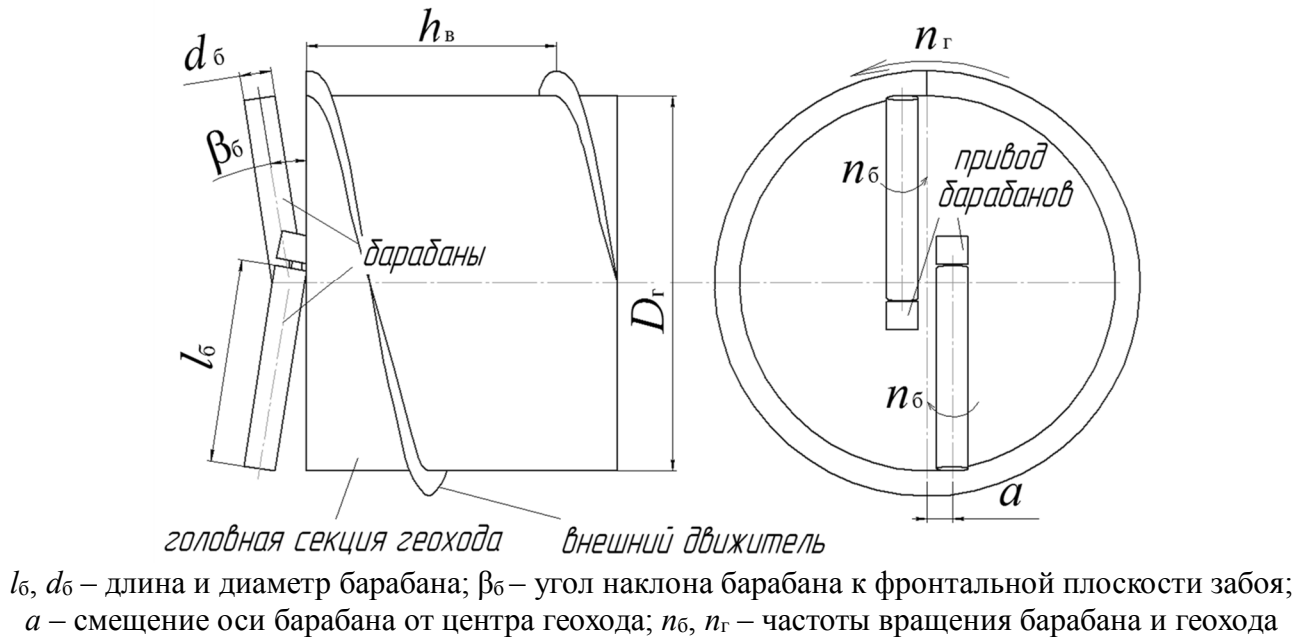
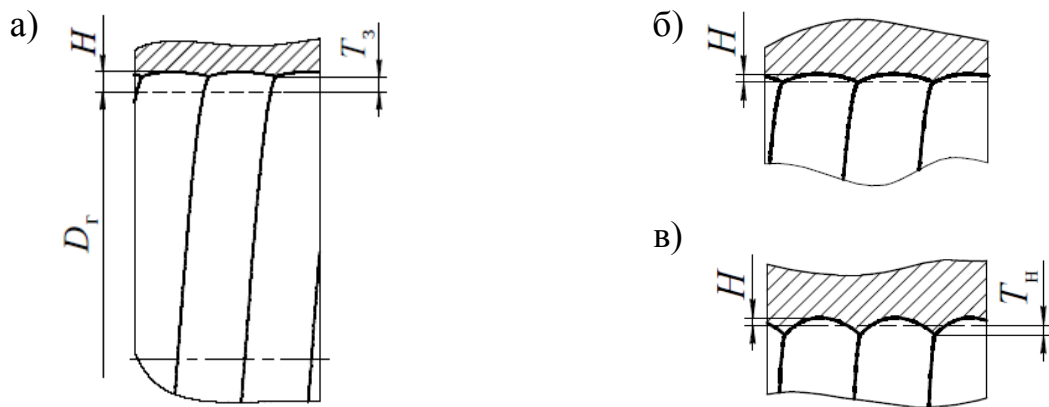


Рисунок 4 – Схема барабанного ИО геохода



H – величина перебора; T_n – величина недобора; T_z – увеличенный перебор

Рисунок 5 – Профиль выработки в продольном сечении, формируемый барабанным ИО: а) – при увеличенной длине барабанов; б) – при рациональной длине барабанов; в) – при недостающей длине барабанов

Моделированием работы барабанного ИО геохода диаметром 3,2 м в программном комплексе SolidWorks графически определены зависимости длины барабана l_b , мм, и величины перебора H , мм, от угла установки барабанов β_b (рисунок 6), в диапазоне значений углов от 0 до 22°, описываемые аппроксимирующими функциями с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,99$

$$l_b = \frac{1678}{\cos \beta_b} - 196; \quad (2)$$

$$H = \frac{763}{\cos \beta_b} - 738. \quad (3)$$

Минимальные величина перебора $H = 25$ мм и длина барабана $l_b = 1482$ мм соответствуют нулевому углу установки барабанов. Принят допустимый угол

наклона барабана – до 14-15°. При больших углах величина перебора значительно (более, чем на 100 %) возрастает по сравнению с минимальной.

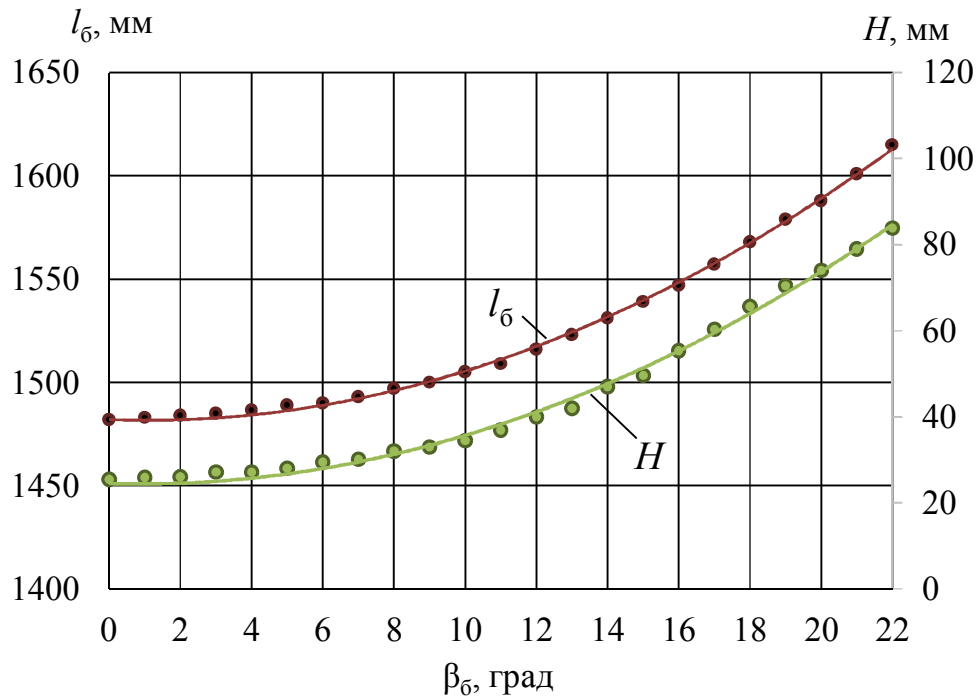


Рисунок 6 – Графики зависимости длины барабана и величины перебора от угла наклона барабана

Схема набора резцов должна обеспечивать наименьшую неравномерность нагрузки на барабане, оцениваемую коэффициентом вариации нагрузки v , который зависит от угловых расстояний между резцами.

Установлено наличие зон на барабане с различным числом резцов в линиях резания, характерных для барабанных ИО геологов, что приводит к необходимости включения в перечень параметров схемы набора резцов углового расстояния между крайними резцами, расположенными в соседних зонах θ_3 (рисунок 7).

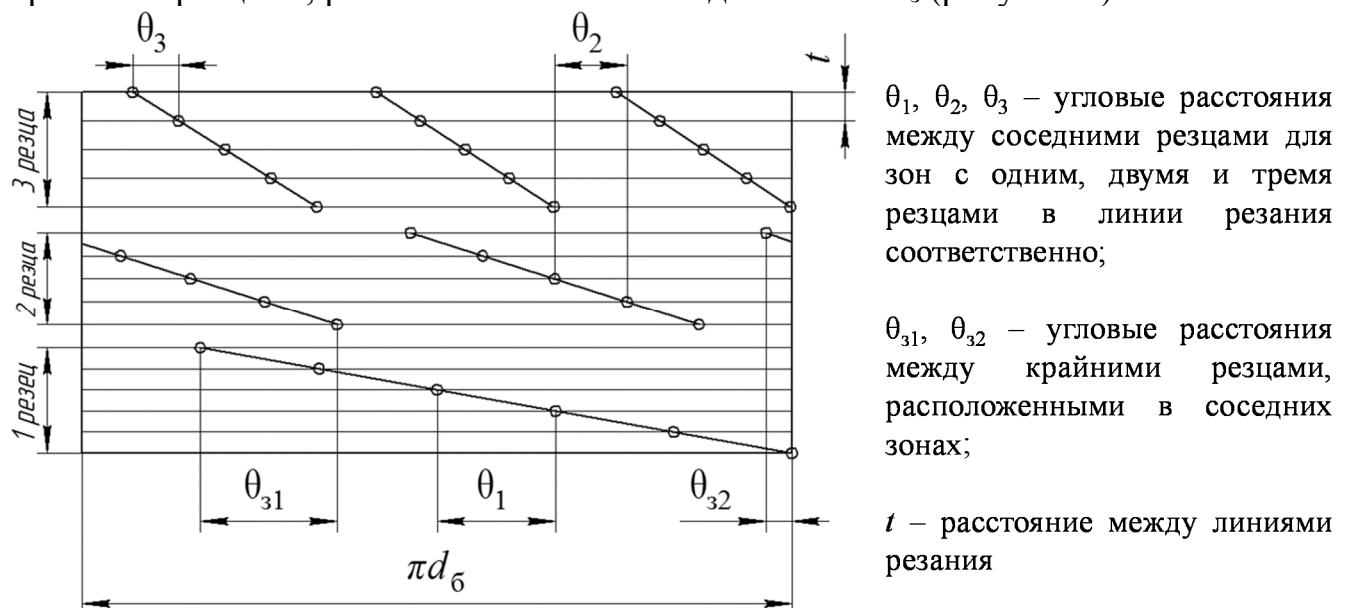


Рисунок 7 – Условная схема набора резцов

При определении коэффициента вариации необходимо учитывать, что точки входа резцов в контакт с забоем отличаются в различных линиях резания, а угол φ_A , при котором происходит начало резания, определяется из выражения

$$\varphi_A = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{h_b \cos \beta_6}{2\pi \sqrt{(a + 0,5d_6 \cos \varphi_A)^2 \sin^2 \beta_6 + (l_j \cos \beta_6 + 0,5d_6 \sin \beta_6 \sin \varphi_A)^2}}, \quad (4)$$

где l_j – расстояние от нижнего основания барабана до j -ой линии резания по оси барабана, м, лежащее в диапазоне $0 \leq l_j \leq l_6$.

В общем виде уравнение (4) относительно φ_A решения не имеет, однако оно решается для конкретных геометрических и установочных параметров барабана и определенной линии резания.

Для параметров: $D_r = 3,2$ м, $a = 0,34$ м, $d_6 = 0,667$ м, $\beta_6 = 10^\circ$, $h_b = 0,8$ м и ряда значений l_j определены частные значения углов входа резца в контакт с породой (таблица 2), по которым получена линия начала резания на барабане (рисунок 8).

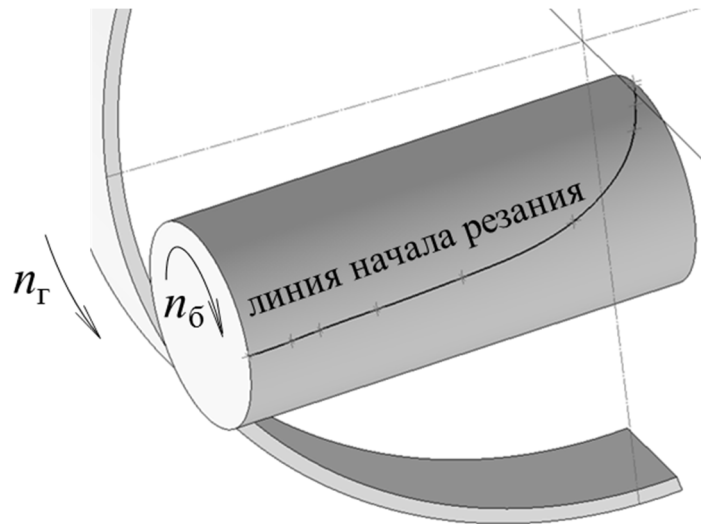


Рисунок 8 – Линия начала резания породы на барабане

Таблица 2 – Значения углов входа резца в контакт с породой при различных l_j

l_j , м	φ_A , град	l_j , м	φ_A , град	l_j , м	φ_A , град
0	0,18	0,1	33,82	1,1	83,24
0,01	3,72	0,4	71,25	1,3	84,3
0,05	18,15	0,8	80,66	1,4	84,7

Поиск рациональной схемы набора резцов осуществлялся с использованием математической модели работы барабанного ИО геолода, реализованной в программном комплексе MatLab/Simulink (рисунок 9).

Наименьший коэффициент вариации нагрузки составил $v = 0,061$ при параметрах: $\theta_1 = 45^\circ$, $\theta_2 = 30^\circ$, $\theta_3 = 16,5^\circ$, $\theta_{31} = 46^\circ$ и $\theta_{32} = 53^\circ$.

Согласно математической модели взаимодействия геолода с геосредой от работы барабанного ИО на геолоде возникают (рисунок 10) осевое усилие P_0 – проекция результирующей силы на ось вращения геолода от работы ИО и вращающий момент на головной секции геолода от работы ИО $M_{ИО}$.

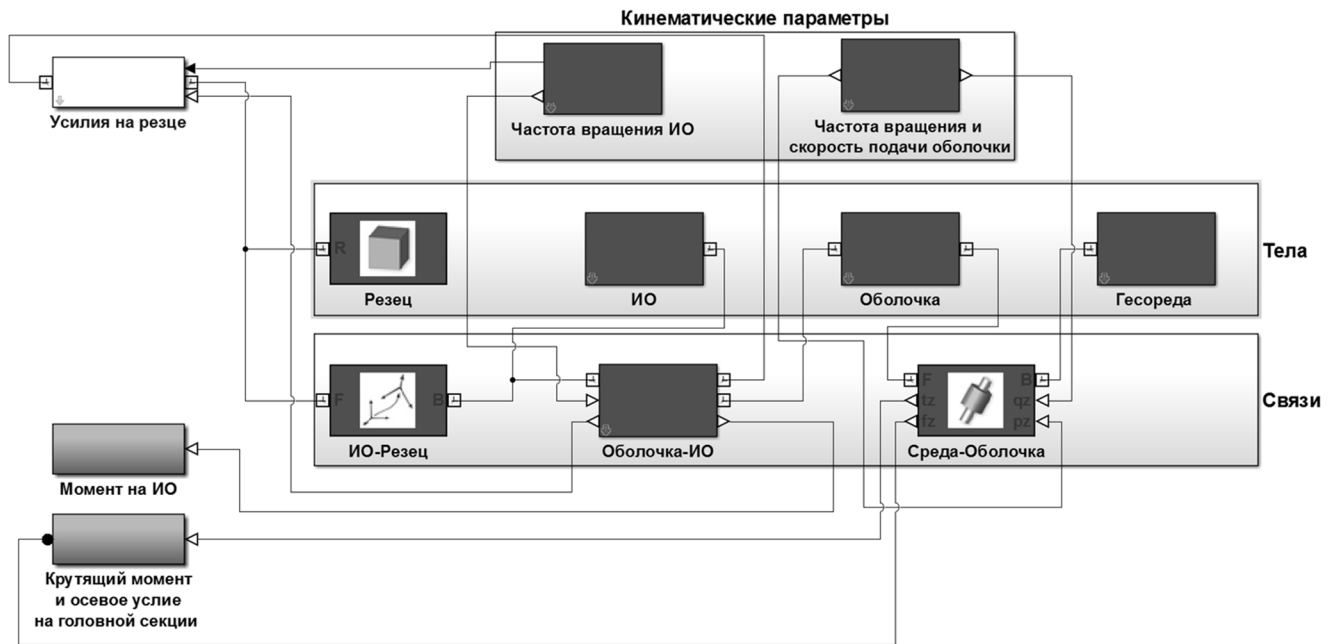


Рисунок 9 – Математическая модель работы ИО геохода в MatLab/Simulink

При помощи математической модели, разработанной в среде MatLab/Simulink, исследованы значения осевого усилия P_o и вращающего момента $M_{\text{ИО}}$ для различных направлений вращения барабанов (режимы встречного и попутного фрезерования) и для опережающей и отстающей схем установки барабанов (рисунок 11).

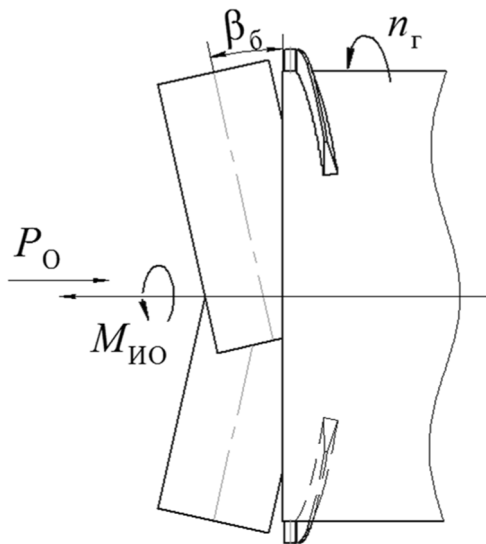


Рисунок 10 – Фрагмент схемы действующих на геоход от ИО сил

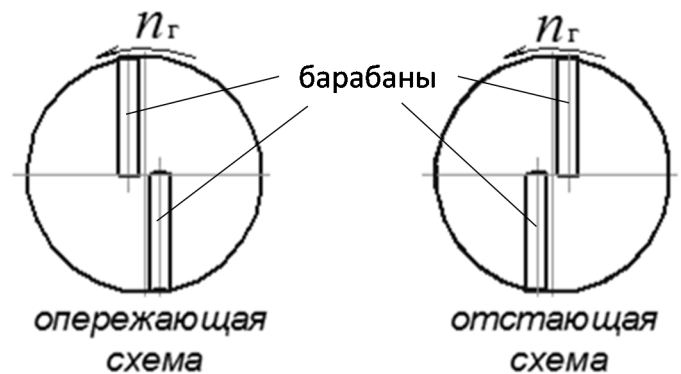


Рисунок 11 – Схемы расположения барабанов

Установлено качественное и количественное влияние работы барабанного ИО на силовые параметры, перекладываемые с барабанов на головную секцию (рисунок 12). Средние значения моментов и осевых усилий приведены в таблице 3.

При встречном фрезеровании вращающий момент на головной секции геохода от работы ИО $M_{\text{ИО}}$ совпадает по направлению с вращением головной секции,

при попутном – направлен в противоположную сторону. Осовое же усилие P_o , независимо от режима работы барабанов, действует против направления движения и ему препятствует.

Таблица 3 – Средние значения вращающих моментов и осевых усилий

Параметр	Встречное фрезерование		Попутное фрезерование	
	Опережающая схема	Отстающая схема	Опережающая схема	Отстающая схема
Момент $M_{ио}$, кН·м	-207	-221	265	273
Осовое усилие P_o , кН	-252	-252	-149	-149

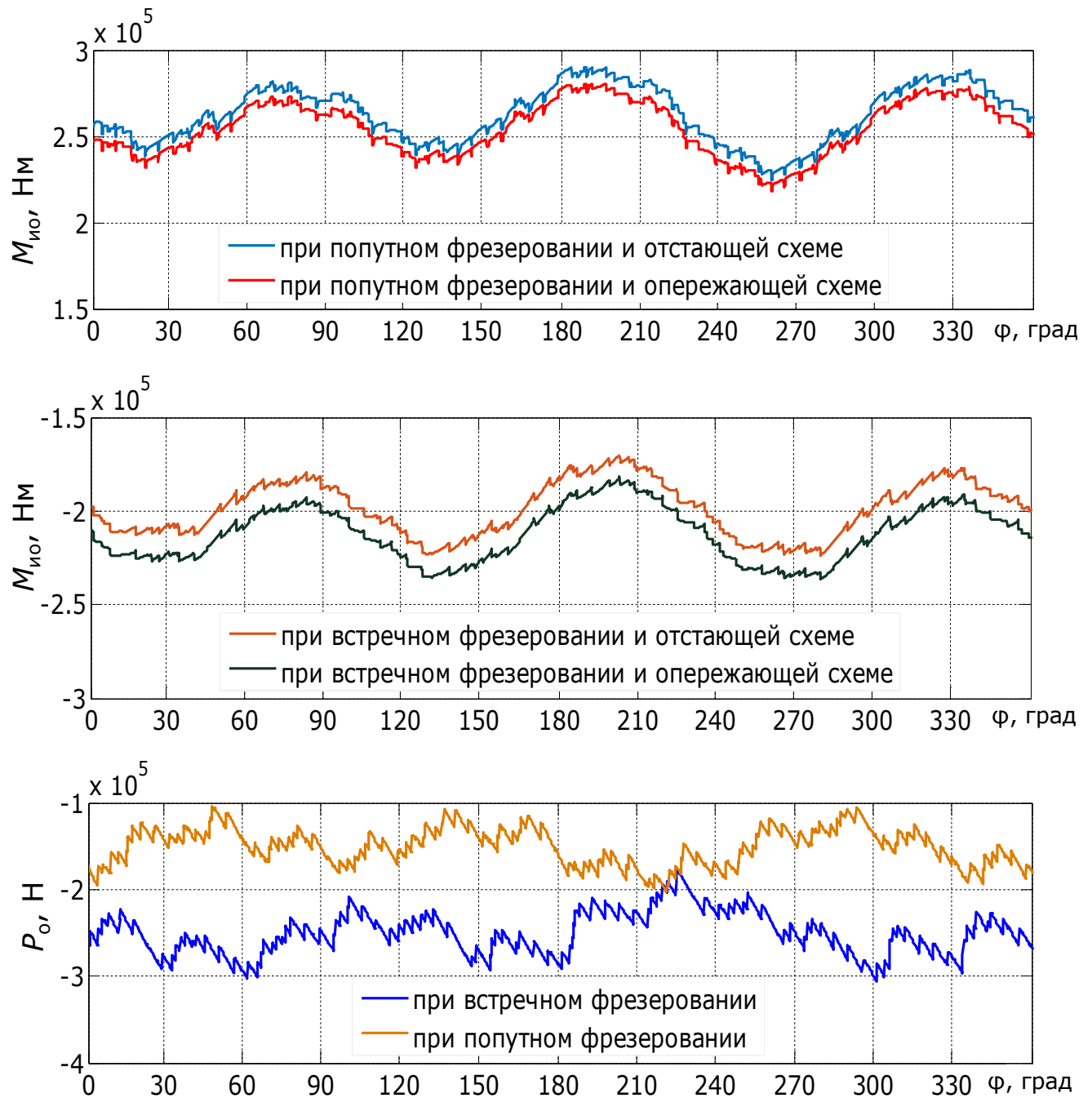


Рисунок 12 – Графики вращающих моментов и осевых усилий на геоходе

Среднее осевое усилие при встречном фрезеровании ($P_o = -252$ кН) превышает среднее осевое усилие при попутном фрезеровании ($P_o = -149$ кН) в 1,7 раза. Осевое усилие не зависит от схемы установки барабанов.

Опережающая и отстающая схемы не имеют принципиального отличия с точки зрения вращающего момента, передающегося на головную секцию геохода – при попутном фрезеровании момент при опережающей схеме меньше, чем при отстающей на 3% (8 кН·м); при встречном фрезеровании – на 6,5% (14 кН·м).

На основании результатов проведенных в диссертационной работе исследований в рамках выполнения комплексного проекта «Создание и постановка на производство нового вида щитовых проходческих агрегатов многоцелевого назначения – геоходов» (руководитель НИОКТР Аксенов В.В.) на заводе ОАО «КОРМЗ» создан барабанный ИО для опытного образца геохода диаметром 3,2 м (рисунок 13). Параметры барабанного ИО представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры барабанного ИО опытного образца геохода

Частота вращения барабанов	Шаг резания	Смещение оси барабана от оси геохода	Диаметр барабанов по резцам	Угол установки барабанов	Длина барабана
$n_6, \text{с}^{-1}$	$t, \text{мм}$	$a, \text{м}$	$d_6, \text{м}$	$\beta_6, \text{град}$	$l_6, \text{м}$
0,2-0,5	31	0,4	0,68	12	1,5



Рисунок 13 – Опытный образец геохода диаметром 3,2 м с барабанным ИО

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложены новые научно обоснованные технические решения исполнительного органа геохода для проведения выработок в породах крепостью $f \leq 5-6$ ед. по шкале М.М. Протоdjяконова с целью создания новых горных машин и их элементов, обладающих повышенной производительностью, имеющие существенное значение для горного машиностроения.

В рамках проведенных исследований получены следующие основные результаты:

1. Установлено, что наиболее полно комплексу обобщенных и единичных требований к исполнительным органам геоходов для разрушения пород средней крепости отвечают барабанные, зафиксировано-корончатые и роторные.

2. Обосновано, что из трех сравниваемых типов исполнительных органов геоходам диаметром от 2,1 до 5,6 м для разрушения пород средней крепости наиболее приоритетным является барабанный, так как характеризуется наибольшим значением обобщенного показателя степени соответствия функциональному назначению $K_{ту}$. При этом усредненное значение $K_{ту}$ для барабанных ИО составляет 0,95, для корончатых – 0,72, для роторных – 0,57.

3. Определено, что для достижения диапазона минимальных значений величины радиального перебора от 25 до 50 мм, угол наклона двух барабанов исполнительного органа к плоскости, проходящей через забойный торец головной секции геохода должен быть зафиксирован в диапазоне от 0 до 15°, обеспечивая вогнутую форму забоя.

4. Выявлено, что при работе барабанного ИО с тангенциальным поворотным резцовым инструментом (ПС2-16) в режиме встречного фрезерования момент сил, передающийся на головную секцию опытного образца геохода диаметром 3,2 м, составляет (по модулю) $M_{ио} = 253$ кНм и совпадает по направлению с вращением головной секции, при попутном фрезеровании момент $M_{ио} = 214$ кНм и направлен в противоположную сторону от направления вращения, а частота вращения барабанов достигает 15 мин⁻¹ при частоте вращения головной секции геохода 0,1 мин⁻¹.

5. Разработано два варианта компоновки приводов для двух барабанов исполнительного органа опытного образца геохода диаметром 3,2 м с редукторным и безредукторным исполнением и выявлено, что первый вариант характеризуется снижением массовых характеристик на 20-30% и габаритных в виде осевых вылетов в сторону центральной зоны головной секции геохода на 40-43 %, при этом осевая радиальная подвижность вращающихся барабанов обеспечивает выполнение маневровых операций геоходом.

6. Осуществлен первый предварительный этап приемо-сдаточных испытаний трех основных частей опытного образца геохода, включая головную секцию с двухбарабанным исполнительным органом на холостых режимах в сборочном цеху завода ОАО «КОРМЗ» (г. Кемерово).

Направления дальнейших исследований:

1. Разработка концептуально новых схемных решений ИО геогодов.
2. Расширение номенклатуры показателей и поиск новых подходов для оценки ИО геогодов.
3. Экспериментальные исследования работы барабанных ИО на опытном натурном образце геогода.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

Статьи в изданиях рекомендованных ВАК

1. Аксенов, В.В. Использование параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геогода с породой забоя для формирования исходных данных к проектированию разрушающего модуля / В.В. Аксенов, К.А. Ананьев, В.Ю. Бегляков // Горный информационно-аналитический бюллетень. Перспективы развития горно-транспортных машин и оборудования. – 2012. – № ОВ2. – С. 56–62.
2. Аксёнов, В.В. Разработка схемных решений исполнительных органов геогодов / В.В. Аксёнов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 3. – С. 73–76.
3. Ананьев, К.А. Выбор принципиальной компоновочной схемы барабанных исполнительных органов разрушения забоя для геогодов / К.А. Ананьев, В.В. Аксёнов, А.А. Хорешок, А.Н. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 11. – С. 141–143.
4. Ананьев, К.А. Определение зависимости геометрических параметров барабанов разрушения забоя от угла их установки на геогоде / К.А. Ананьев, В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.Н. Ермаков // Вестник кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 2. – С. 3–5.
5. Нестеров, В.И. Определение точки входа резца барабанного исполнительного органа геогода в контакт с породой / В.И. Нестеров, К.А. Ананьев // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 7. – С. 45–48.
6. Аксенов, В.В. Определение силовых и кинематических параметров исполнительных органов геогода методом имитационного моделирования / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Вестник кузбасского государственного технического университета. – 2016. – № 1. – С. 77–82.

Статьи в прочих изданиях

7. Ананьев, К.А. Требования к исполнительным органам геогодов / К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков, В.Ю. Садовец // VI Всероссийская, 59 научно-практическая конференция молодых учёных с международным участием «Россия молодая». – Кемерово: КузГТУ, 2014. – С. 8.
8. Ананьев, К.А. Определение зависимости между массовыми характеристиками приводов исполнительных органов геогодов и крутящим моментом на резание породы / К.А. Ананьев, И.А. Карепов // Оценка эффективности использования механизмов государственного регулирования, направленных на комплексное раз-

витие моногородов Казахстана, России и Белоруссии: сборник докладов международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов. – Рудный: Рудненский индустриальный институт, 2015. – С. 99–101.

9. Аксенов, В.В. Обзор и анализ методик определения параметров резцовых исполнительных органов / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности». – Кемерово, 2014. – С. 92–94.

10. Аксёнов, В.В. Исполнительные органы горнопроходческих машин / В.В. Аксёнов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев // Материалы XIV международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС 2012». 1-2 ноября, 2012. г. / КузГТУ. – Кемерово, 2012. С. 106-109.

11. Ананьев, К.А. Варианты создания уширений горной выработки барабанными исполнительными органами геологов / К.А. Ананьев, К.А. Жигулина, А.Н. Ермаков // Оценка эффективности использования механизмов государственного регулирования, направленных на комплексное развитие моногородов Казахстана, России и Белоруссии: сборник докладов международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов. – Рудный: Рудненский индустриальный институт, 2015. – С. 102–105.

12. Аксёнов, В.В. Уравнение движения рабочего инструмента исполнительного органа геолога / В.В. Аксёнов, А.А. Хорешок, А.Н. Ермаков, К.А. Ананьев // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 180–184.

13. Аксёнов, В.В. Схема и порядок определения параметров корончатых исполнительных органов геологов / В.В. Аксёнов, К.А. Ананьев, А.А. Хорешок, А.Н. Ермаков // Перспективы инновационного развития угольных регионов России: Сборник трудов IV Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2014. – С. 258–261.

Личный вклад автора в работах, выполненных в соавторстве, заключается в следующем:

[1], [7] – постановка задачи, проведение аналитического обзора, формулировка выводов;

[2–5], [11–13] – выполнение основного объема исследований, обработка полученных результатов, формулировка выводов;

[6] – постановка задачи, верификация модели;

[8] – обработка статистической информации, формулировка выводов;

[9], [10] – проведение аналитического обзора, формулировка выводов.