

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

СКЛЯРОВА Анастасия Алексеевна

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА МАШИНЫ
ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ
С РАБОЧЕЙ СРЕДОЙ**

Специальность 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства
и комплексы

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
д.т.н., профессор
Пушкарев Александр Евгеньевич

Санкт-Петербург – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ.....	13
1.1 Анализ существующих техники и технологий работ с подземными коммуникациями.....	13
1.2 Результаты научных исследований в области развития технологий бестраншейной разработки грунтового массива.....	32
1.3 Способы повышения энергоэффективности работы машины горизонтально направленного бурения.....	36
1.4 Цель и задачи исследования.....	42
1.5 Выводы к главе 1.....	43
2. ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ МАШИН ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМЫХ ПАРАМЕТРОВ ОЦЕНИВАНИЯ.....	44
2.1 Оценка технического уровня машин горизонтально направленного бурения методом экспертных оценок.....	44
2.2 Оценка технического уровня машин горизонтально направленного бурения посредством метода сравнительного анализа.....	51
2.2.1 Аналитическая модель оценки технического уровня машин горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений...	51
2.2.2 Результаты оценки технического уровня машин горизонтально направленного бурения посредством применения аналитической модели.....	58
2.3 Исследование влияния различных факторов и конструктивных параметров генератора вибрационных колебаний на область рационального использования машины горизонтально направленного бурения.....	62
2.3.1 Анализ влияния изменения исследуемого параметра оценки	

технического уровня на общую структуру распределения техники.....	62
2.3.2 Расчет показателя результативности модернизации машины за счет изменения исследуемого параметра оценки технического уровня.....	73
2.4 Выводы к главе 2.....	77
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГЕНЕРАТОРА ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА МАШИНЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ.....	79
3.1 Построение модели гидродинамического процесса работы генератора вибрационных колебаний машины горизонтально направленного бурения.....	79
3.2 Определение влияния конструктивных параметров генератора вибрационных колебаний и характеристик рабочей среды на показатели работы машины горизонтально направленного бурения.....	86
3.3 Установление влияния генератора вибрационных колебаний на выбор машины горизонтально направленного бурения.....	95
3.4 Выводы к главе 3.....	98
4. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ МАШИНЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ.....	100
4.1 Обоснование повышения энергоэффективности машины горизонтально направленного бурения при оснащении технологического инструмента генератором вибрационных колебаний.....	100
4.2 Экономическая эффективность изменения конструкции технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения посредством устройства генератора вибрационных колебаний....	110
4.3 Выводы к главе 4.....	114
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	116

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	118
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	120
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	133
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	135
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	142
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. На сегодняшний день в России, и в Санкт-Петербурге в частности, отмечена тенденция к системному обустройству различных по назначению подземных протяженных сооружений бестраншейным способом ведения работ, к которым относится технология горизонтально направленного бурения (ГНБ). Применение указанной технологии позволяет нивелировать вводимые в процессе проведения работ ограничение и (или) прекращение движения автомобильного (железнодорожного) транспорта, а также минимизировать отрицательное техногенное воздействие на ландшафт и окружающую среду.

Проведение работ в технологии ГНБ осуществляется путем эксплуатации машин (МГНБ), оснащенных специальным технологическим инструментом. Конструктивные и режимные характеристики работы такого инструмента определяют область рационального применения МГНБ. На сегодняшний день расширение области рационального применения МГНБ и, соответственно, диапазона условий производства работ на объектах за счет повышения ее энергоэффективности, является актуальной научной задачей.

Наиболее перспективным из общеизвестных путей совершенствования МГНБ является оснащение технологического инструмента машины генератором вибрационных колебаний (ГВК), создающим усилия динамического характера за счет производимой энергии работы промывочной жидкости (воды, водного, бентонитового растворов). Рассматриваемый способ повышения энергоэффективности работы МГНБ исключает потребность в увеличении габаритов машины и применении внешних источников, вырабатывающих энергию для увеличения производительности установки.

При этом отсутствие на текущий момент научно обоснованных рекомендаций по эксплуатации МГНБ со встроенным в конструкцию технологического инструмента ГВК, сформированных на базе оценки технического уровня (ТУ) машиностроительной продукции и учитывающих

также характеристики рабочей среды, определяет актуальность настоящего исследования.

Степень разработанности проблемы. Специфика проведения комплекса земляных работ с трубопроводами и кабельными линиями, пролегающими под землей, в стесненных городских условиях или условиях повышенной сложности обуславливает применение МГНБ различных категорий («мини», «миди», «макси», «мега»). Производство подобных установок активно развернуто как в зарубежных странах (Китай (Hanlyma, XCMG, FDP), США (Vermeer, Ditch Witch), Германия (Herrenknecht), и др.), так и функционирует на территории Российской Федерации (Скуратовский машиностроительный завод, группа компаний «Экопром» и др.)

Исследованиями в области динамического воздействия на грунт, развития и совершенствования техники и технологии ГНБ успешно занимались научные школы ФГБОУ ВО «СПбГАСУ», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», ФГБОУ ВО «ТулГУ», ФГБОУ ВО «СГТУ им. Гагарина Ю.А.», ФГАОУ ВО «СПбПУ» и др. Весомый вклад внесли такие ученые как Н.В. Васильев, Н.В. Краснолудский, А.Е. Пушкарев, Д.А. Юнгмейстер, В.М. Земсков, В.В. Колесников, Я.С. Ватулин, И.Г. Мартюченко, Н.Я. Кершенбаум, Г.С. Назаров, А.Б. Рогов, Е.А. Кобелев, В.Д. Сачивка, Б.Б. Данилов, В.В. Червов, А.А. Рогачев и др. Исследования вышеперечисленных научных школ и их отдельных представителей позволили сформировать научную базу в области развития техники и технологии ГНБ и создания и эксплуатации технологического инструмента со встроенным внутри ГВК, а также обосновать возможности увеличения энерговооруженности рабочего органа МГНБ посредством возбуждения вибрационных колебаний. Теоретические исследования применения ГВК различных конфигураций и конструктивных исполнений запатентованы ФИПС.

При этом в вышеуказанных исследованиях не установлены зависимости между конструктивным исполнением ГВК и оказываемым им воздействием на рабочую среду, обосновывающим область рационального применения МГНБ,

что подтверждает актуальность диссертационной работы и обуславливает цель исследования.

Цель исследования. Определить параметры взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения, оснащенного генератором вибрационных колебаний, с рабочей средой, способствующие повышению энергоэффективности машины горизонтально направленного бурения.

Задачи исследования.

1. Разработать метод определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой для формирования рекомендаций по ее эксплуатации.

2. Установить зависимость между конструктивными и режимными параметрами встроенного в технологический инструмент ГВК посредством применения имитационного моделирования.

3. Экспериментально подтвердить закономерности, характеризующие работу встроенного в технологический инструмент МГНБ ГВК.

4. Определить энергоэффективность работы МГНБ, в конструкцию технологического инструмента которой встроен ГВК, в зависимости от характеристик рабочей среды.

Объект исследования. Взаимодействие технологического инструмента МГНБ со встроенным в конструкцию ГВК с рабочей средой.

Предмет исследования. Параметры взаимодействия технологического инструмента МГНБ со встроенным в конструкцию ГВК с рабочей средой.

Рабочая гипотеза. Максимальная эффективность работы машины горизонтально направленного бурения обеспечивается посредством подбора оптимальных параметров технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения в зависимости от характеристик рабочей среды.

Научная новизна:

1. Разработан метод определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой, основанный на использовании аналитической модели оценки ТУ, позволяющей объективно выполнить сравнительный анализ представленного ряда техники ГНБ, и предложен показатель результативности модернизации МГНБ в рамках применения разработанного метода.

2. Выявлены параметры взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой, и установлены зависимости между конструктивным исполнением встроенным внутри технологического инструмента ГВК и оказываемым им воздействием на рабочую среду. Определены области параметров, обеспечивающие максимальную энергоэффективность.

Теоретическая значимость работы состоит в создании метода, позволяющего выявить ключевой параметр взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой и определить направление совершенствования техники ГНБ на основе установленных зависимостей.

Практическая значимость работы заключается в использовании разработанного метода определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой, имеющего в составе аналитическую модель оценки ТУ МГНБ, реализованную в прикладном программном обеспечении, для обоснования значимых параметров взаимодействия технологического инструмента с рабочей средой и применения при производстве работ профильными организациями разработанных рекомендаций по подбору МГНБ на основе выявленных параметров.

Область исследования отвечает требованиям паспорта научной специальности ВАК 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы:

пункт 1 «Теория рабочих процессов транспортно-технологических средств и их комплексов отраслевого назначения, взаимодействующих с рабочими средами (объектами) посредством навесного, прицепного и другого технологического оборудования»;

пункт 2 «Методы расчета и проектирования, направленные на создание новых и совершенствование существующих транспортно-технологических средств и их комплексов, обладающих высоким качеством, в том числе повышенными показателями экономичности, надежности, производительности, экологичности и эргономичности, обеспечивающих энергоэффективность и безопасность эксплуатации».

Методология и методы исследования базируются на применении комплексного подхода, включающего общенаучные методы синтеза и анализа и экспериментальную проверку выявленных посредством теоретических исследований зависимостей параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой. Метод определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой основан на положениях элементарной теории вероятности и многокритериальной оптимизации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Комплекс параметров, позволяющих обеспечить работу МГНБ в режиме максимальной энергоэффективности, устанавливается посредством метода определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой, основанного на использовании аналитической модели оценки ТУ представленного ряда исследуемой техники ГНБ.

2. Повышение энергоэффективности работы МГНБ, имеющей в конструкции технологического инструмента ГВК, достигается за счет роста производительности работы МГНБ, выраженного в увеличении скорости проходки пилотной скважины.

Личный вклад в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в анализе существующих методов и способов проведения работ технологии ГНБ посредством эксплуатации МГНБ, оснащенных специальным технологическим инструментом, и синтезе полученных результатов, лежащих в основе настоящей диссертационной работы, в разработке метода определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей

средой, основанного на использовании аналитической модели оценки ТУ, получившей свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, в проведении экспериментальных исследований, направленных на определение ключевого параметра взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой и установление зависимостей между отдельными характеристиками инструмента и рабочей среды.

Степень достоверности результатов исследования обоснована применением комплексного подхода, включающего общенаучные методы синтеза и анализа; подтверждена результатами исследований, отраженными в научных работах, опубликованных в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, путем сопоставления натуральных и расчетных данных с высоким уровнем сходимости значений; обеспечена экспериментальными исследованиями, проведенными с применением сертифицированных средств измерения (стендов).

Практическая ценность и реализация результатов исследования заключается в применении отдельных положений и полученных в рамках диссертационной работы результатов исследования в учебном процессе выпускающей кафедры наземных транспортно-технологических машин автомобильно-дорожного факультета ФГБОУ ВО «СПбГАСУ» при изучении дисциплин (модулей) «Строительные машины» и «Технология машиностроения» по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», специализация «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование».

Результаты научных исследований, полученные в рамках выполнения диссертационной работы, используются профильными организациями (ООО «СЗ Эс Пи Райтерс», ООО «ВелИС», ООО «АКРОСС»), специализирующихся в различных областях профессиональной деятельности.

Апробация работы. Основные положения диссертационного исследования докладывались на 1-й и 2-й Международных научно-практических конференциях «Транспортная доступность Арктики: сети и

системы» (2021, 2022, Санкт-Петербург), 3-м Всероссийском научном семинаре «Техническое обеспечение доступности арктических регионов» (2023, Санкт-Петербург), 76-й Научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета (2022, Санкт-Петербург), 75-й и 76-й Научных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства (2022, 2023, Санкт-Петербург), 19-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики (2023, Тула).

Публикации. Основные положения и научные результаты диссертационной работы опубликованы в 9 печатных работах (две из них – в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК), одно свидетельство на программу для ЭВМ.

Структура и объем диссертационного исследования. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Материалы диссертационной работы содержат 148 страниц, 66 рисунков, 29 таблиц. Библиографический список литературы включает 108 наименований.

Во введении выполнен анализ разработанности проблемы, обуславливающий актуальность и цель настоящего диссертационного исследования, для достижения которой установлен комплекс задач. Представлены пункты научной новизны и выносимые на защиту положения, а также указана степень достоверности результатов проведенных исследований.

Первая глава посвящена анализу существующих техники и технологии ГНБ, используемых при работе с инженерными коммуникациями различного назначения, научных исследований, проводимых учеными в данной предметной области и способам повышения энергоэффективности работы МГНБ.

Вторая глава содержит комплекс методов, применяемых для оценки ТУ исследуемой техники ГНБ. Основу комплекса составляют метод экспертных оценок, базисом которого является совокупность оценок представленного ряда

оцениваемых параметров высококвалифицированными экспертами из теоретической и практической областей деятельности, и метод определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой, в основе которого лежит аналитическая модель оценки ТУ, базирующаяся на положениях классической теории вероятности и позволяющая объективно выполнить сравнительный анализ представленного ряда техники ГНБ.

Третья глава включает результаты имитационного моделирования с использованием вычислительных модулей гидродинамики и механики твердого тела стандартных прикладных комплексов, экспериментальных исследований работы опытного образца ГВК, встроенного в технологический инструмент МГНБ, установление зависимостей, отражающих взаимосвязь между параметрами работы технологического инструмента МГНБ и характеристиками рабочей среды, обоснование повышения ТУ МГНБ и возможности расширения области рационального применения МГНБ при оснащении технологического инструмента ГВК, реализующим эквивалентное силовое воздействие.

Четвертая глава посвящена обоснованию повышения энергоэффективности работы МГНБ путем увеличения производительности МГНБ за счет применения ГВК, способствующего увеличению скорости проходки скважины заданного диаметра, а также экономическому обоснованию предлагаемой к реализации модернизации конструкции МГНБ.

В заключении сформулированы ключевые выводы проведенной диссертационной работы.

1. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

1.1 Анализ существующих техники и технологий работ с подземными коммуникациями

Организация комплекса работ с подземными инженерными коммуникациями (ПИК) может выполняться по двум сценариям – открытым и закрытым способами. Технология открытого способа (ТОС-ВТ) подразумевает следующую этапность проведения работ: вскапывание траншеи требуемой глубины в зависимости от технического задания, вывоз и хранение излишек грунта, укрепление данной траншеи для предотвращения обрушений грунта, особенно в обводненной местности, укладку цепи трубопровода, закрытие траншеи и восстановление разрушенной инфраструктуры и ландшафта. Технология закрытого способа (ТЗС-БП) позволяет работать с ПИК без необходимости вскрытия грунта и вскапывания траншеи, что влечет сокращение площади, времени и затрат на производство работ. Выбор технологии зависит от множества оказывающих влияние на эффективность проводимого комплекса работ факторов, включающих физико-химический состав грунта, уровень прохождения грунтовых вод, диаметр и материал прокладываемой трубы, а также характеристики окружающей среды (населенный пункт, автомобильная дорога, водоем и т.д.).

Сравнительный анализ особенностей разработки грунта посредством методов ТОС-ВТ и ТЗС-БП показан в таблице 1.1. Блок-схема комплексного анализа особенностей разработки грунта посредством ТОС-ВТ и ТЗС-БП приведена на рисунке 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнительный анализ особенностей разработки грунта посредством ТОС-ВТ и ТЗС-БП

Технология	ТОС-ВТ	ТЗС-БП
Преимущество [2]	Традиционность (рис. 1.1, 1) [2]	Проведение работы в стесненных условиях (рис. 1.1, 1) [2]

Окончание таблицы 1.1

Преимущество [2]		Максимально возможное сохранение окружающего ландшафта, высокий уровень экологической безопасности (рис. 1.1, 2) [2]
	Повсеместность использования (рис. 1.1, 2) [2]	Снижение стоимости работ посредством сокращения машин в комплекте и рабочих (рис. 1.1, 3) [2]
		Сокращение сроков производства работ (рис. 1.1, 4) [2]
	Отсутствие необходимости применения специальной (узкопрофильной) техники (рис. 1.1, 3) [2]	Широкий климатический диапазон для проведения работ (рис. 1.1, 5) [2]
Обеспечение непрерывного движения автомобильного, железнодорожного транспорта (рис. 1.1, 6) [2]		
Недостаток [2]	Разрушение существующей транспортной инфраструктуры (рис. 1.1, 1) [2]	Необходимость использования специальной техники (рис. 1.1, 1) [2]
	Существенный вред для экологии и ландшафта (рис. 1.1, 2) [2]	
	Ограничение (прекращение) движения автомобильного, железнодорожного сообщения (рис. 1.1, 3) [2]	
	Использование большого числа машин в комплекте (рис. 1.1, 4) [2]	
	Большая площадь проводимых работ (рис. 1.1, 5) [2]	Более сложная процедура согласования проведения работ (рис. 1.1, 2) [2]
	Высокий процент использования ручного труда (рис. 1.1, 6) [2]	
	Большие сроки производства работ (рис. 1.1, 7) [2]	
	Высокая стоимость работ (рис. 1.1, 8) [2]	

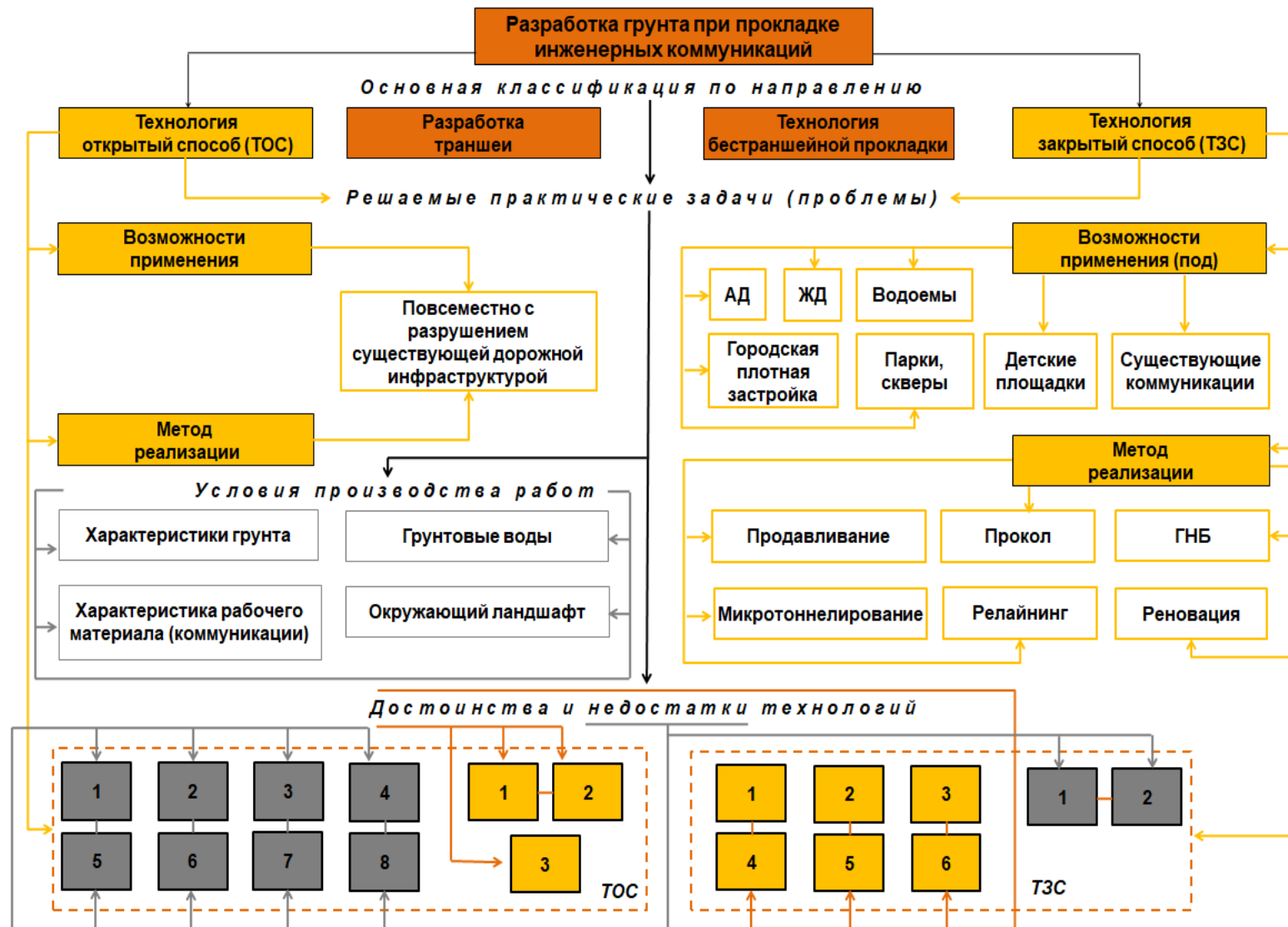


Рисунок 1.1. Блок-схема комплексного анализа особенностей разработки грунта посредством ТОС-ВТ и ТЗС-БП [2, 57]

По результатам проведенного анализа технологий работы с ПИК сделаны следующие выводы:

1. Очевидное преимущество ТЗС-БП над ТОС-ВТ в части минимизации рисков для окружающей среды и поддержания уровня экологической безопасности.

2. Возможность сохранения при применении ТЗС-БП непрерывного движения транспортных потоков, что представляет собой положительный эффект как с экономической точки зрения (отсутствие сбоев в движении городского и пригородного пассажирского транспорта и поставок в логистической цепи перевозки грузов), так и в социальном аспекте (сохранение минимального времени прибытия специальных служб, и возможности планирования времени в пути пользователями дорог).

Так, ежедневно в Санкт-Петербурге проводится более ста различных аварийных и плановых видов работ, связанных с ПИК, в том числе на улично-дорожной сети (УДС). Часть работ проводится посредством ТОС-ВТ, что влечет за собой ограничение (прекращение) движения транспортных средств по автомобильным дорогам Санкт-Петербурга и вызывает указанные ранее негативные последствия [1, 60, 70, 106]. Графическое отображение количества и плотности распределения ограничений движения транспорта на УДС Санкт-Петербурга по данным официального сайта Государственной административно-технической инспекции в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» показано на рисунке 1.2.

3. Снижение затрат на производство работ при ТЗС-БП за счет сокращения числа машин в комплекте и сопутствующих затрат.

Важно упомянуть факт признания малоэффективности использования ТОС-ВТ в области строительства и коммунального хозяйства зарубежными специалистами еще в конце XX-го века по причине наличия ограничений в организационно-технологических работах и затратах.

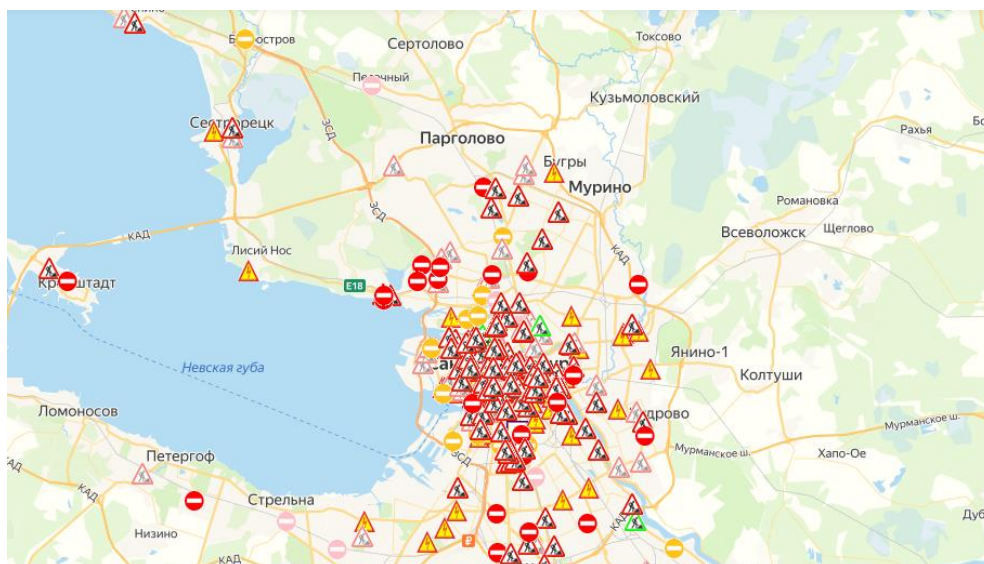


Рисунок 1.2. Плотность проведения аварийных и плановых работ на УДС Санкт-Петербурга

Производство работ с ПИК регламентировано действующим законодательством, предусматривающим различные требования, как к технологиям, так и к мобильным буровым установкам и операторам [3-4, 75-78].

Согласно СП [3-4], являющимися нормативными документами в области проведения работ с ПИК, бестраншейные технологии можно классифицировать по признаку управляемого воздействия. Блок-схема классификации производства работ с ПИК при ТЗС-БП в зависимости от управляемого воздействия показана на рисунке 1.3.

Наиболее распространенной и актуальной в применении на сегодняшний день является технология ГНБ (ТГНБ).

В соответствии с СП [3-4] прокладывание сети инженерно-технического обеспечения ТГНБ организовано последовательной реализацией трех этапов:

1. создание (бурение) пилотной скважины (ПИЛС) с учетом указанных в техническом задании условий (рисунок 1.4) [3-4, 6, 48, 67];

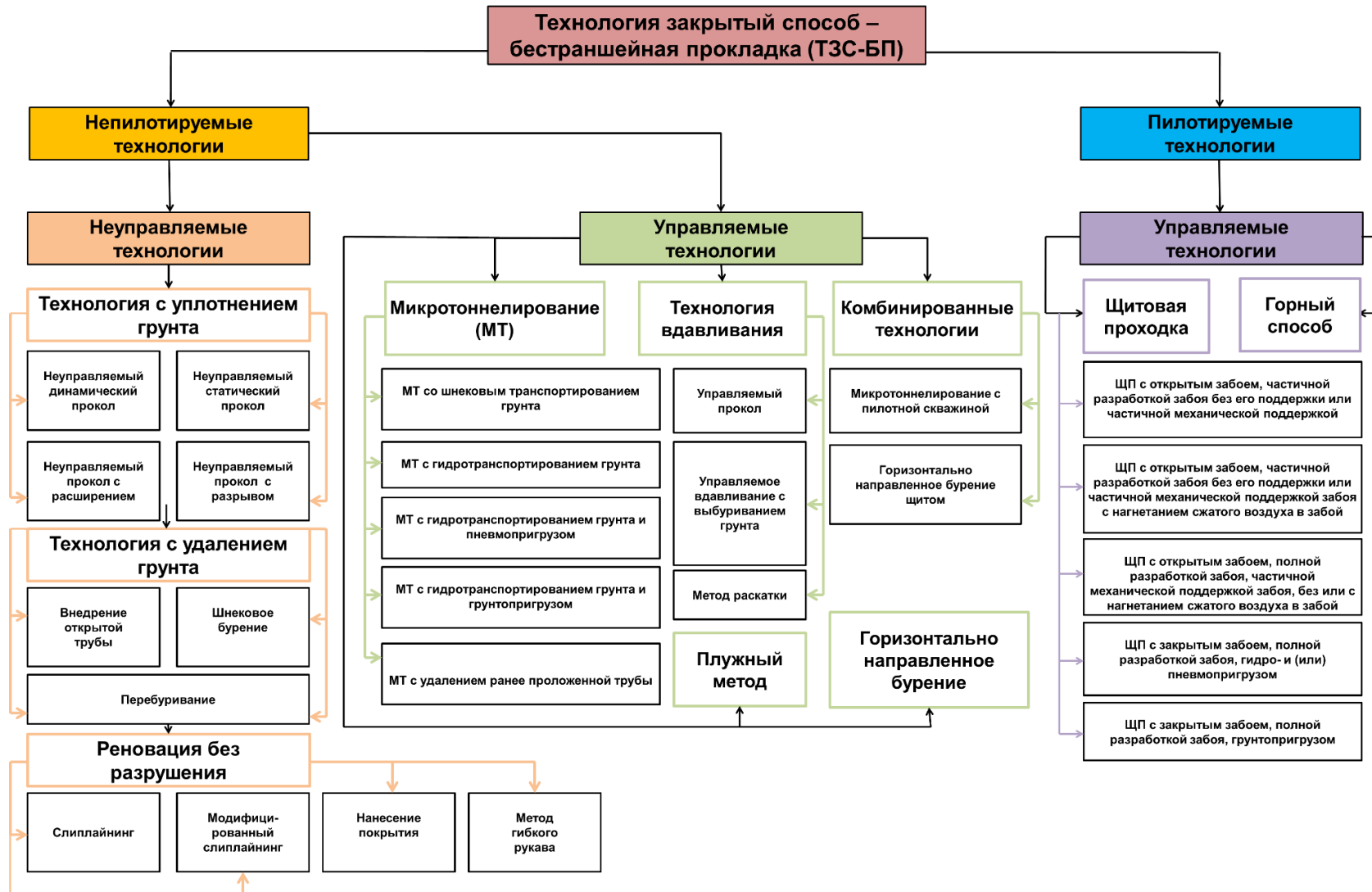


Рисунок 1.3. Блок-схема классификации работ при ТЗС-БП в зависимости от управляемого воздействия

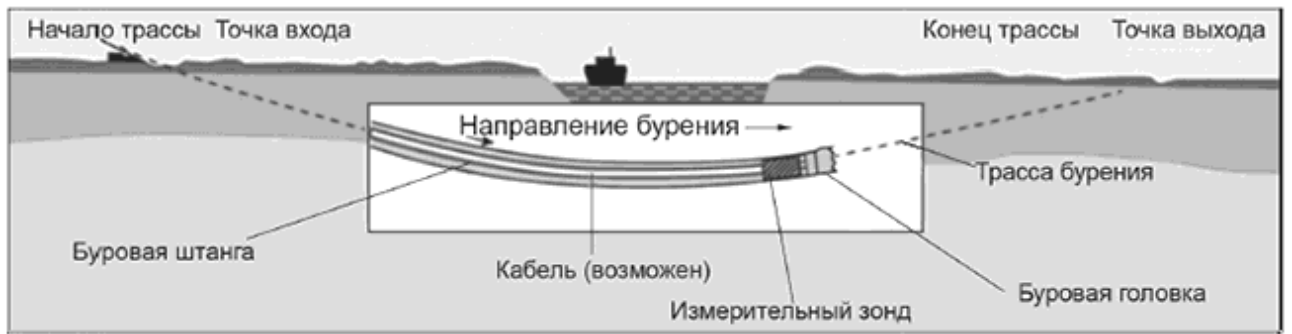


Рисунок 1.4. Направленное бурение ПИЛС [3-4]

2. однократное (последовательно многократное) расширение ПИЛС до образования бурового канала (БКАН), при необходимости, калибровка БКАН (рисунок 1.5) [3-4, 6];

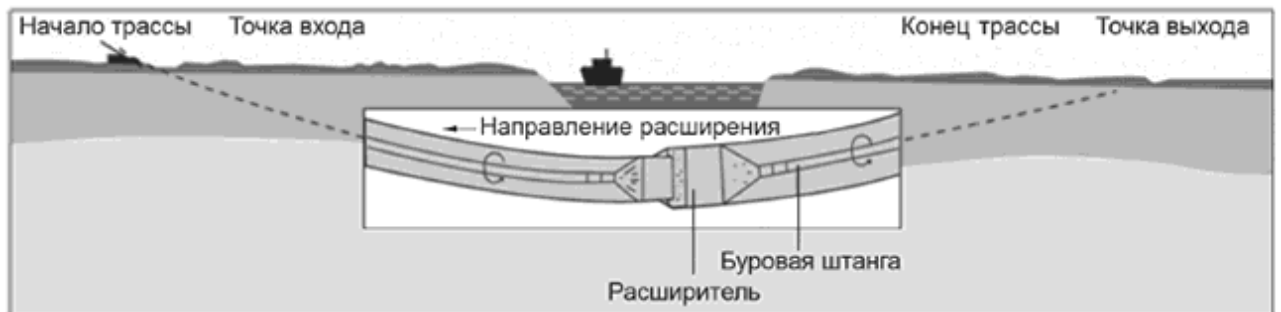


Рисунок 1.5. Расширение ПИЛС [3-4]

3. протягивание трубопровода по направлению от точки выхода бура на поверхность к МГНБ (рисунок 1.6) [3-4,6].

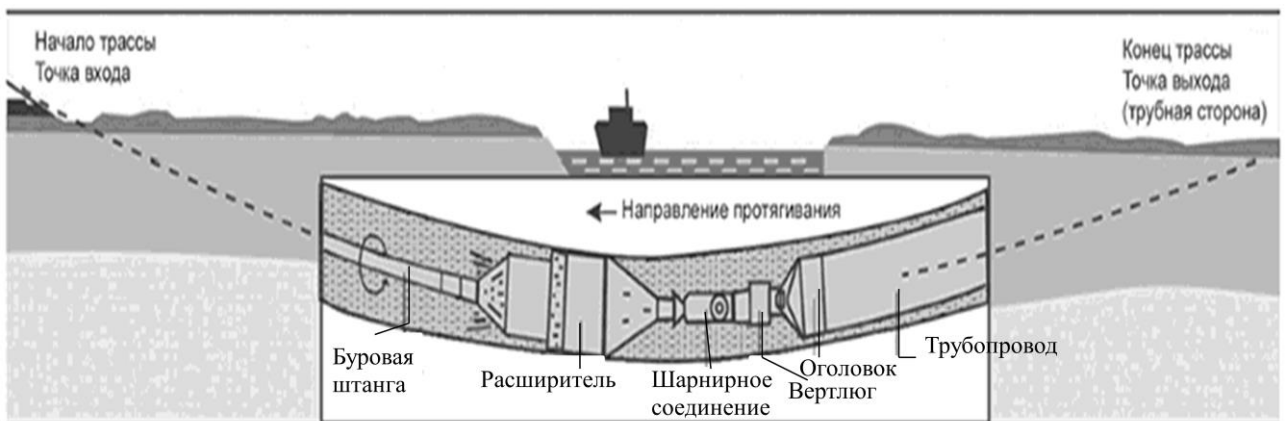


Рисунок 1.6. БКОЛ для протягивания трубопровода через БКАН на МГНБ [3-4]

Область применения ТГНБ в отношении вида прокладываемых ПИК достаточно широка – от кабельных линий электроснабжения и связи до нефтепродуктопроводов [3-4, 102-104].

При ТГНБ реализуется минимальный объем земляных работ в границах рабочей зоны (небольшие котлованы, шурфы, приемки для сбора бурового раствора (БРАСТ)) [3-4, 22].

Устойчивость стенок ПИЛС при бурении обеспечивается путем применения тиксотропного БРАСТ. Непосредственно ТГНБ применяется в дисперсных несвязных (пески) и связных (супеси, суглинки, глины) грунтах, в пластичномерзлых и твердомерзлых грунтах [3-4].

К области рационального применения (ОРП) МГНБ, реализующих ТГНБ, имеются ограничения – условия рабочей среды, при которых ТГНБ выполняется со значительным сопротивлением (затруднением) или не выполняется. К таким условиям относятся отдельные виды рабочих сред (грунтовых массивов), например, наличие подземных вод с большим напором, глинистые грунты текучей консистенции [3-4].

Согласно СП [3-4] МГНБ представляет собой совокупность взаимосвязанных механизмов и устройств, обеспечивающих под управлением оператора рабочий процесс прокладки ПИК посредством ТГНБ (рисунок 1.7).

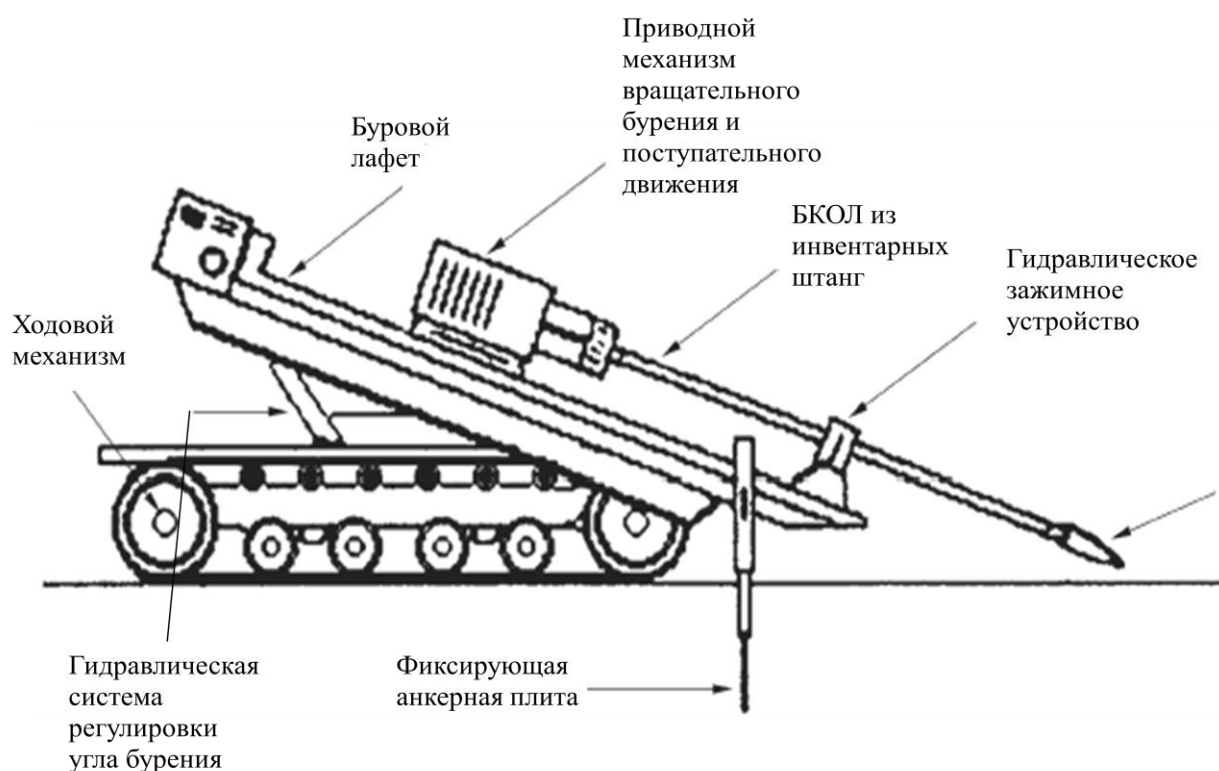


Рисунок 1.7. Принципиальная схема устройства самоходной МГНБ

Согласно ГОСТ [5] МГНБ относятся к землеройным машинам, основными эксплуатационными показателями которых являются как широко известные показатели – полезная мощность двигателя и максимальный крутящий момент, так и частные – скорость передвижения на грунте, скорость перемещения каретки, проталкивающее усилие, мощность подачи жидкости при бурении и др. [5].

Классифицируются МГНБ в зависимости от присущей им максимальной тяговой силы на установки классов «мини», «миди», «макси» и «мега» (рисунок 1.8) [3-4]. При этом МГНБ классов «мини» и «миди» являются самоходными и оборудованы гусеничным ходовым механизмом. МГНБ категории «мега» статичны, размещаются на спланированной рабочей поверхности при закреплении их на опорной раме анкерными устройствами. МГНБ класса «макси» могут иметь различную конфигурацию. В отдельных случаях МГНБ «мега» также могут быть снабжены приводом и ходовым механизмом [3-4].

Класс МГНБ определяет ее ОРП. Диапазон применения МГНБ классов «мега» и «макси» значительно выше «мини» и «миди», их выбор варьируется в зависимости от внешних условий и планировочного решения местности и отличаются исключительно техническими характеристиками (длина бурения, диаметр ПИЛС и расширения).

Наиболее распространенными по общей совокупности применения являются МГНБ классов «мини» и «миди», характеристики которых приведены в таблицах 1.2 и 1.3 соответственно.

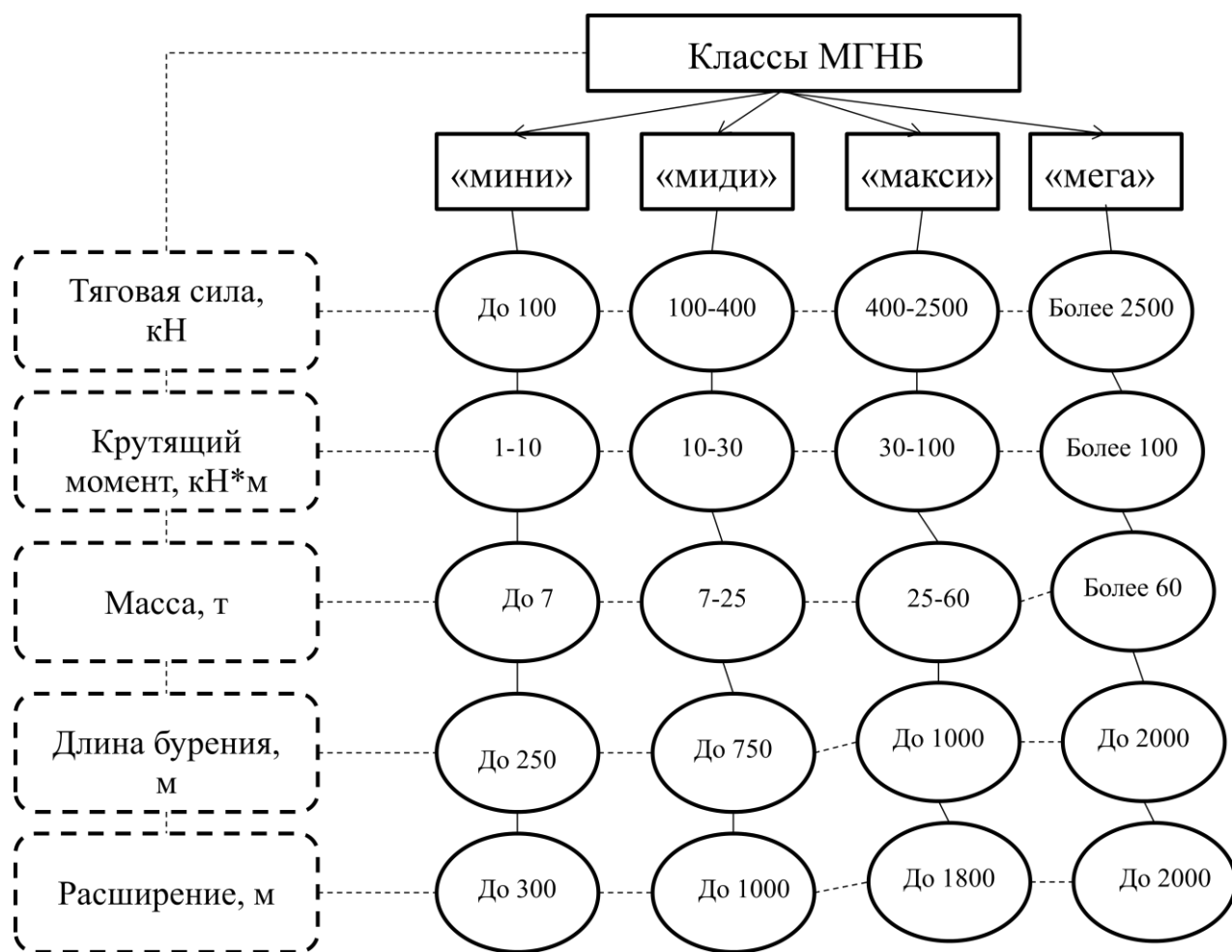


Рисунок 1.8. Категории МГНБ по различным классификационным признакам

Таблица 1.2 – Технические характеристики МГНБ класса «мини»

Компания-производитель МГНБ	Tracto-Technik	Vermeer	Ditch Witch
Модель МГНБ	Grundodrill 7X plus	D10x15	JTI 220 Mach 1
Длина МГНБ, м	5,6-5,7	4,7	4,8
Ширина МГНБ, м	1,5	0,9-1,2	1,3
Высота МГНБ, м	2,1	2,2	2,0
Масса МГНБ, т	5,1	3,9	4,4

Окончание таблицы 1.2.

Крутящий момент, кН*м	1,9	2,0	1,9
Скорость вращения шпинделя (max), об/мин	200	180	180
Усилие продавливания	95 кН + удар	4,54 т	4,44 т
Усилие протягивания	95 кН	4,54 т	5,30 т
Длина штанги, м	3	3	3
Диаметр штанги, мм	98	42	46
Радиус изгиба (min), м	33	30	32
Подача БРАСТ (max), л/мин	90	51	57

Таблица 1.3 – Технические характеристики МГНБ класса «миди»

Компания-производитель МГНБ	Tracto-Technik	Vermeer	Ditch Witch
Модель МГНБ	Grundodrill 13X/15X	D33x44	JT2720 Mach1
Длина МГНБ, м	6,2	6,9	6,1
Ширина МГНБ, м	1,7	2,1	2,0
Высота МГНБ, м	2,2	2,1	2,3
Масса МГНБ, т	7,2	9,3	9,2
Крутящий момент, кН*м	20,3	29,7	26,6

Окончание таблицы 1.3.

Скорость вращения шпинделя (max), об/мин	130	260	225
Усилие продавливания	125/147 кг + удар	14,97 т	110 кН
Усилие протягивания	125/147 кН	14,97 т	120 кН
Длина штанги, м	3	4,6/3	3
Диаметр штанги, мм	54	60	60
Радиус изгиба (min), м	42	33	54
Подача БРАСТ (max), л/мин	160	189	178

Также для сравнения приведены технические характеристики МГНБ категории «макси» (таблица 1.4, рисунок 1.9).

Таблица 1.4 – Технические характеристики МГНБ класса «макси»

Технические характеристики	Значения
Крутящий момент (кНм)	55
Тяговое усилие (кН)	1000
Расширение (max) (м)	1,5
Масса МГНБ (кг)	32000
Мощность двигателя (л.с.)	392
Угол забуривания (°)	10-18
Длина буровых штанг (м)	9,6

Окончание таблицы 1.4.

Диаметр буровых штанг (мм)	127
Давление насоса подачи БРАСТ (max) (бар)	200
Производительность насоса для БРАСТ (max) (л/мин)	1200
Габариты (высота/ширина/длина (м))	3,4/3,2/14,5



Рисунок 1.9. Внешний вид МГНБ класса «макси» SK DRILLING SK1000

Для всестороннего анализа представлен внешний вид МГНБ «миди» модели Grundodrill различных комплектаций (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10. Внешний вид МГНБ класса «миди» Grundodrill 10X/13X/15X

Номенклатура МГНБ по ГОСТ [5] имеет следующий вид:

1. МГНБ без рабочего места оператора (рисунок 1.11):
 - 1.1 с прямым управлением;
 - 1.2 с управлением, использующим контрольный привод;
 - 1.3 с дистанционным контролем.
2. МГНБ с рабочим местом оператора (рисунок 1.12).
3. Колодезная МГНБ (рисунок 1.13).
4. МГНБ поузлового монтажа (рисунок 1.14).

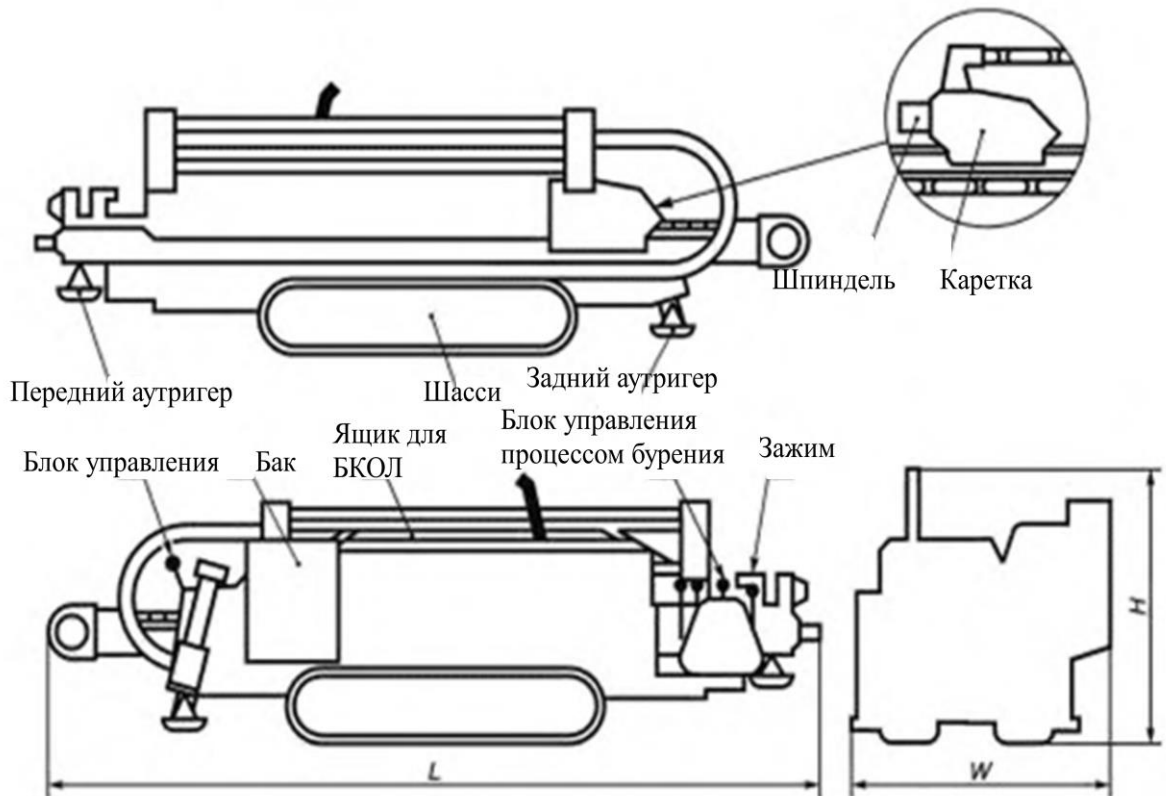


Рисунок 1.11. Принципиальная схема МГНБ с рабочим местом оператора
(H, L, W – высота, длина и ширина соответственно)

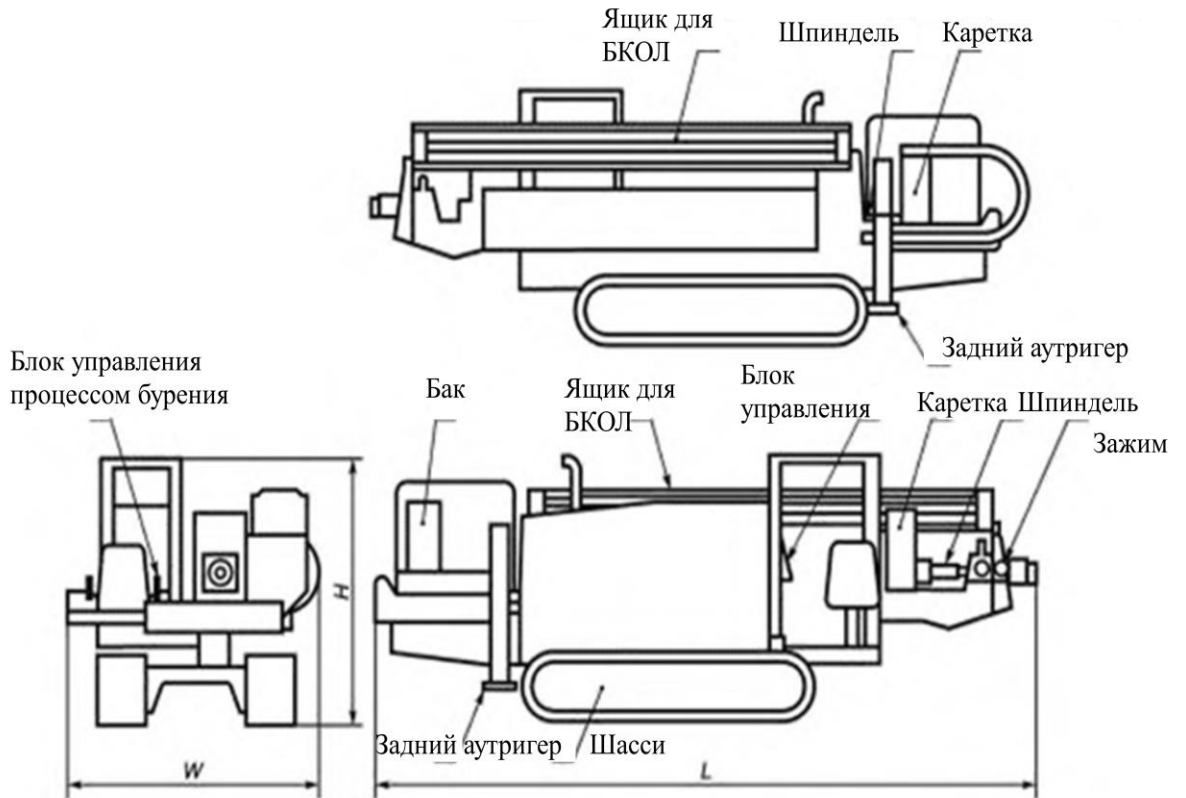


Рисунок 1.12. Принципиальная схема МГНБ без рабочего места оператора
(H, L, W – высота, длина и ширина соответственно)

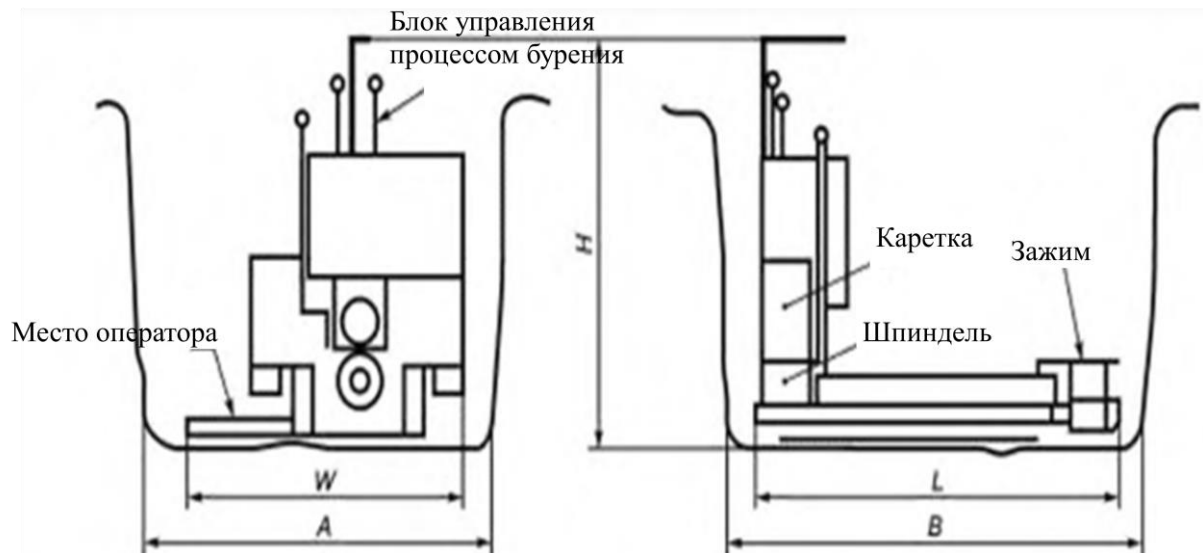


Рисунок 1.13. Принципиальная схема колодезной МГНБ
(A, B – ширина и длина колодца соответственно, H, L, W – высота, длина и ширина МГНБ соответственно)

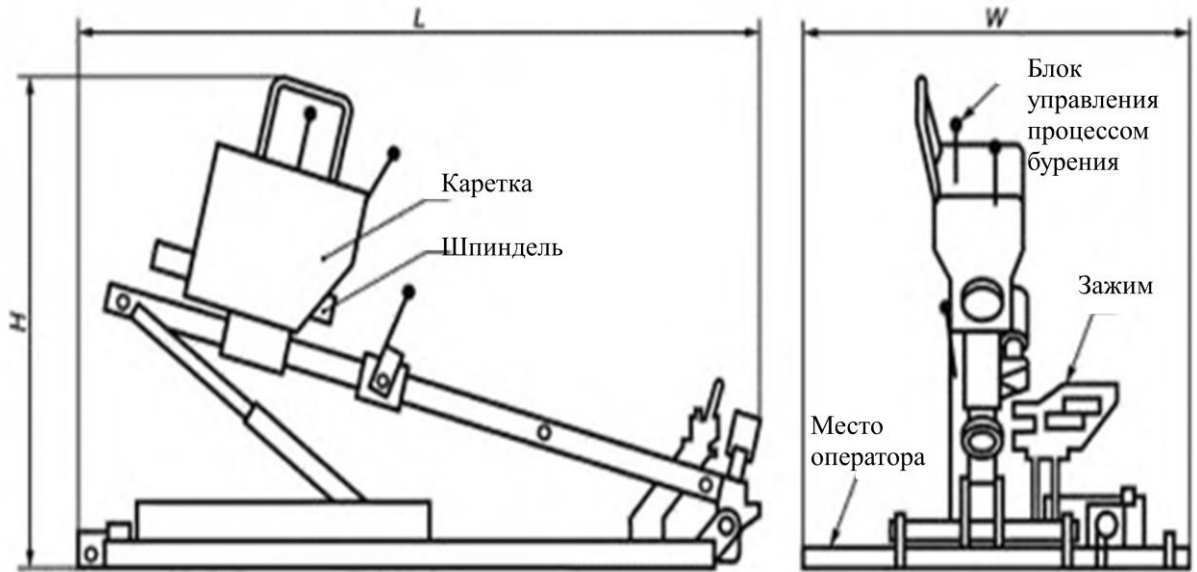


Рисунок 1.14. Принципиальная схема МГНБ поузлового монтажа
(H, L, W – высота, длина и ширина МГНБ соответственно)

Наиболее широко используемыми на практике являются МГНБ, конструкция которых связана с наличием (отсутствием) рабочего места оператора. Внешний вид подобных машин показан на рисунках 1.9 и 1.10 соответственно.

Говоря о конструкции МГНБ, первостепенным будет являться буровой (породоразрушающий, технологический) инструмент (далее по тексту ТИ, ПРИН), состав которого отражает рисунок 1.15.



Рисунок 1.15. Составные элементы ТИ МГНБ

Рациональное применение ТИ в зависимости от категории грунта представлено в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – ОРП ПРИН в зависимости от категории грунта

Категория грунта по крепости	Тип ПРИН	Примечание
I-IV (мягкие)	Долото гидромониторное (ГМ)	Кол-во и размеры промывочных насадок (5 и менее, диаметром от 1 до 10 мм)
IV-VII (средние)	Долото шарошечное с ГМ насадками	Рекомендовано использование забойных двигателей
VIII и выше (твердые)	Твердосплавный буровой	—

ТИ МГНБ подвергаются всевозможным нагрузкам и воздействию высоких температур, склонны к коррозии и истиранию. Кроме того, контроль состояния ПРИН в процессе проведения работ достаточно сложен, что также негативно сказывается на его состоянии [3-4,6,10,68].

Далее рассмотрены некоторые виды долот, являющихся составными частями ПРИН.

Долота PDC (зарезные) выполняются из особо прочной стали, что обеспечивает их высокую износостойкость и в 5-7 раз больший срок эксплуатации, чем у шарошечных долот. Передние лопасти таких долот армированы поликристаллическими алмазно-твердосплавными пластинами, боковые — резцами из сплава ВК-8. Внешний вид зарезных долот показан на рисунке 1.16.

Двухлопастные долота армированы твердым сплавом (ВК-8). Зубцы таких долот заправляются на передней грани лопастей в специально профрезерованные пазы. Двухлопастные долота применяются при бурении пород мягкой и средней крепости. Внешний вид двухлопастных долот показан на рисунке 1.17.



Рисунок 1.16. Внешний вид долот PDC (зарезных)



Рисунок 1.17. Внешний вид двухлопастных долот

Когтевые долота оснащены траншейными резцами, корпус выполнен из высокопрочной стали. Такие долота предназначены для проходки особо сложных типов пород. Внешний вид когтевых долот показан на рисунке 1.18.



Рисунок 1.18. Внешний вид когтевых долот

Помимо ТИ важная роль в устройстве МГНБ отводится БРАСТ. Функциями БРАСТ при проведении комплекса земляных работ являются:

1. уменьшение трения и сопутствующего износа бурового оборудования;
2. охлаждение ПРИН и встроенного навигационного датчика;
3. укрепление стенок ПИЛС;
4. удаление отходов бурения (шлама);
5. повышение эффективности проведения работ (в случае определенной конструкции ТИ).

В качестве БРАСТ применяют воду, растворы на основе бентонита (БЕНТР) с различными добавками (полимеры, присадки), повышающими значимые показатели состава и применения БРАСТ. На практике наиболее часто используемый БРАСТ следующего состава: SiO_2 , ($\approx 57\%$); Al_2O_3 ($\approx 21\%$); Fe_2O_3 ($\approx 5\%$); TiO_2 ($\approx 1\%$); K_2O ($\approx 1\%$); Na_2O ($\approx 3\%$); CaO ($\approx 4\%$); H_2O ($\approx 8\%$). Удельный вес сухого бентонита составляет 2,3 кг/л [7, 93].

Выбор БРАСТ и величины давления, с которым подается БРАСТ, зависит от характеристики рабочей среды (грунта). В среднем давление подачи БЕНТР составляет от 50 до 100 бар. Для работы в крупнокомковых грунтах в основном используют БЕНТР, для мелкозема – БРАСТ на основе бентонита с полимерами [7-9,50].

Техническое задание на проведение работ по определенному проекту определяет состав и характеристики БРАСТ, которые, в случае необходимости, могут быть скорректированы. Точный контроль технологических параметров БРАСТ (вязкости и насыщенности буровой мелочью) осуществляется на всех на всех этапах комплекса земляных работ. Приготовление БРАСТ осуществляется в отдельных, специально для того предназначенных, смесительных устройствах. Очистка отработанного БРАСТ проходит в фильтровальных установках и состоит в последовательной фильтрации и выборки фракций буровой мелочи. Насыщенность БРАСТ буровой мелочью не должна превышать 30%. По мере необходимости в БРАСТ добавляется бентонит, ввиду чего он снова может быть использован в процессе бурения. Данная конфигурация действий представляет замкнутый цикл.

1.2 Результаты научных исследований в области развития технологий бестраншейной разработки грунтового массива

Исследования в области развития технологий бестраншейной разработки грунта имеют различную направленность и подразумевают как совершенствование непосредственного процесса проведения работ, так и модернизацию техники ГНБ и отдельных ее узлов и агрегатов.

В первом случае следует отметить научные труды Кобелева Е.А., Юдиной А.Ф. и Сачивки В.Д, в которых освещены перспективы повсеместного внедрения ТЗС-БП. как для прокладки новых трубопроводов, так и для ремонта существующих коммуникаций и определена значимость и эффективность ТЗС-БП в современных условиях жизни. [11-13]. Авторами получены научные результаты, позволяющие выбирать оптимальный способ работы при ПИК с учетом множества факторов среды [11-13]. Структуру методики составляют математические модели (ММ) и алгоритмы, позволяющие обрабатывать большие объемы данных, формировать систему значимых технологических, экономических и организационных факторов и устанавливать между ними устойчивые связи и зависимости [40, 45]. Авторами разработана концепция, в основу которой положен метод построения дерева решений, базирующийся на аппарате нечетких множеств [11, 39-47]. Данная концепция позволяет произвести целенаправленный выбор оптимального способа разработки грунта при работе с ПИК.

Целая плеяда исследователей занималась совершенствованием конструкции МГНБ, в том числе отдельных ее узлов и инструментов.

Так, по результатам научных исследований Данилова Б.Б. обоснована принципиальная схема МГНБ, конструкция которой направлена на повышение устойчивости ПИЛС путем удаления части грунта, как фактора, влияющего на последующую просадку [14-16]. Данный эффект достигается посредством одновременного воздействия на ТИ статической и импульсной нагрузок. В процессе прохождения ПИЛС часть излишек грунта выводится с помощью

сжатого воздуха по горизонтальному вращающемуся трубопроводу, имеющему постоянное сечение, другая часть – уплотняется в стенки ПИЛС [14].

Исследование Данилова Б.Б. позволило выявить и установить, что увеличение частоты импульсных колебаний рабочего органа не приводит к снижению скорости. [16].

Даниловым Б.Б. определены интервальные значения диаметра трубы для ГНБ и определены взаимосвязи динамических параметров ударников и их конструктивных характеристик [15-16], при которых при воздействии отработанного пневмоударным механизмом воздуха обеспечивается транспортирование излишней разрушенной грунтовой массы.

Неисчерпаемый вклад в развитие ТЗС-БП внес Земсков В.М., научные труды которого стали базисом развития ТИ для технологии «прокол», использующих вибрацию (ВТИ). В частности, Земсков В.М. отдельное внимание уделял определению рациональных параметров вибробурильной установки (ВБУ) для ТЗС-БП. При этом в своих работах ученый делал уклон на взаимодействие рабочего органа ВБУ с рабочей средой (грунтовым массивом) в рамках проведения работ методом «прокола» [18-19,49].

Разработанная Земсковым В.М. ММ взаимодействия ВТИ с рабочей средой основана на созданной автором модели, отражающая влияние свойств грунта на скорость продвижения рабочего инструмента [18-19]. Земсков В.М. рассмотрел механизм снижения прочности грунтов под действием вибрации из-за рассеивания прочности связи между частицами [18-19]. Применение ВТИ определенного конструктива посредством разработанной методики инженерного расчета позволяет обосновать минимизацию энергетических и материальных затрат на создание ПИЛС.

Теоретические и экспериментальные данные, полученные в ходе исследования, подтверждают эффективность предлагаемого процесса образования ПИЛС посредством ВБУ, создающей колебания, перпендикулярные оси ПИЛС. Также результаты эксперимента позволили

установить рациональные частоты вращения дебаланса ВТИ и их взаимосвязь с усилием прокола и скорости проходки [18-19].

Важно отметить, что научные положения, выдвигаемые Земсковым В.М., подтверждены пятью патентами.

В области смежной с ТГНБ – выполнении работ методом прокола, исследованием конструктивных параметров и режимов работы ТИ управляемой прокалывающей установки занимался Рогачев А.А.

В своей работе ученый, применяя метод начальных параметров, разработал ММ описания напряжений, возникающих в ВТИ при взаимодействии с массивом [97]. Основным режимным параметром было выбрано усилие прокола, задаваемое на основании выявленных в ходе экспериментальных исследований закономерностей. Также в ходе исследований было установлено, что для обеспечения нужного профиля прокладываемой выработки необходимым условием будет являться конструкция исполнительного органа, имеющего головную секцию, геометрические параметры которой выбираются с учетом характеристик грунтового массива [97].

Технологические решения в области проведения работ с твердыми и крепкими породами упомянуты в работе Рогова А.Б. Так, ученый рассмотрел в качестве пути повышения эффективности производства работ оснащение ПРИН ГВК [69]. Оценивая результаты экспериментальных расчетов, Рогов А.Б. пришел к выводам относительно расчета собственных частот и форм колебаний пластины и снижения вибрационных напряжений за счет увеличения радиуса округления в сечении пластины. Рогов А.Б. провел исследования и сформулировал закономерности колебательных процессов, опираясь на «метод суперпозиции форм колебаний» [69] и описал преимущества данных действий.

Особое внимание хотелось бы уделить научным трудам Колесникова В.В., направленным на изучение и совершенствование конструкции ГВК [7, 46, 71].

Колесников В.В. разработал ММ рабочего процесса ГВК, встроенного в ТИ МГНБ, в основе работы которого лежит решение уравнения Навье-Стокса, учитывающее «полуэмпирическую модель турбулентности с особенностями формирования потока струи рабочей жидкости» [7]. Колесниковым В.В. экспериментально определены характеристики воздействия струи на пластину ВТИ [7]. В данном случае разрушение массы грунта протекает с максимальным снижением нагрузки на ТИ [7, 46, 71].

Таким образом, в диссертационной работе Колесниковым В.В. была установлена и доказана эффективность использования ГВК, встроенного в конструкцию ТИ МГНБ, выразившаяся в снижении нагрузок на ТИ.

Можно сделать вывод о многогранности направлений исследований в области бестраншейных технологий, в частности ГНБ и смежном с ним способе – проколе. Ученые в разных предметных областях рассматривают аспекты оптимизации подбора технологии проведения работ и снижения сопутствующих рисков, рассматривают способы совершенствования ТГНБ, как со стороны рабочей среды, так и путем внесения изменений в конструкцию МГНБ.

Подытожив анализ научных трудов в рассматриваемой предметной области, можно говорить о сформированных учеными Васильевым Н.В., Роговым А.Б., Назаровым Г.С., Земсковым В.М., Краснолудским Н.В., Кершенбаумом Н.Я., Пушкаревым А.Е., Колесниковым В.В. и др., занимающимися совершенствованием ТЗС-БП в различных аспектах, основах применения ВТИ МГНБ [11-20,69,74, 95-101].

Экспериментальными исследованиями определено повышение энерговооруженности ТИ посредством возбуждения в нем вибрационных колебаний за счет работы промывочной (рабочей) жидкости, без необходимости использования внешнего энергоресурса (иных источников энергии), отрицательным аспектом которого является повышение энергоемкости МГНБ за счет увеличения габаритов установки.

Так, коллегами из мира науки ранее доказана эффективность применения встроенного в ТИ ГВК, обеспечивающего до 30 % снижения нагрузки на ТИ, и установлен диапазон резонансных частот. Однако, на сегодняшний день отсутствуют рекомендации по соотношению оптимальных геометрических параметров ГВК, его конструктивного исполнения и режимов работы с учетом характеристик рабочей среды, позволяющих как определить текущую ОРП МГНБ, так и доказать возможности ее расширения. Поэтому проведение исследований, направленных на выявление зависимости между конструктивным исполнением ГВК и оказываемым им воздействием на рабочую среду, обосновывающей ОРП МГНБ, является важной научно-технической задачей.

1.3 Способы повышения энергоэффективности работы машины горизонтально направленного бурения

Повысить энергоэффективность (ЭЭф) применения наземных транспортно-технологических машин (НТТМ), в том числе МГНБ, возможно за счет совершенствования конструкции машины путем [2,107] определения и повышения ключевых эксплуатационных показателей работы техники, а также разработке и усовершенствовании теоретических основ (методик, расчетных методов и т.п.) определения производительности и энергоэффективности. Повышение ЭЭф техники и ее отдельных деталей и узлов позволяет расширить ОРП и увеличить диапазон условий производства работ на объектах.

Система показателей МГНБ, характеризующих эффективное выполнение работы, полученная посредством методологии проведения системного анализа, показана на рисунке 1.19.

Проведенный в подразделе 1.1 настоящей работы анализ техники ГНБ позволил определить следующие направления развития данных машин:

1. увеличение тягового усилия гидроцилиндров, ведущее к увеличению габаритов и массы техники;
2. использование вибрации и удара для уменьшения нагрузок на ПРИН;
3. корректировка и совершенствование состава БРАСТ для снижения трения и нагрева, увеличения скорости проходки и укрепления ПИЛС;
4. усиление рабочего органа МГНБ встраиваемым ГВК, придающим на грунт усилия динамического характера, возникающие за счет производимой энергии работы промывочной жидкости, без использования внешних энергоисточников.

Наиболее перспективным из предложенных путей совершенствования техники является четвертый вариант за счет отсутствия необходимости в увеличении геометрии МГНБ и использования сторонних устройств, вырабатывающих энергию для увеличения производительности машины.

Роль подобного специального устройства может играть ГВК, встраиваемый в ТИ МГНБ.

Принцип работы ГВК известен – преобразование энергии набегания рабочей жидкости на специально установленное препятствие (резонирующую пластину (РП) определенной конфигурации). Тогда основа данного процесса – вибрации, возбуждаемые при взаимодействии потока рабочей жидкости с РП.

Таким образом, возникает вихреобразование, переходящее в кавитацию [16–20].

Принципиальная схема ГВК показана на рисунке 1.20.

Максимальное давление фиксируется на торце РП и снижается по мере удаления от колеблющейся поверхности.

Основную роль в рабочем процессе, производимом ГВК, играет кавитация, позволяющая в том числе сохранять амплитуду колебаний, способных в нормальных условиях впоследствии затихнуть под воздействием сил трения [19,21,51-59].



Рисунок 1.19. Блок-схема оценки эксплуатационных показателей МГНБ, оказывающих влияние на эффективность производства работ

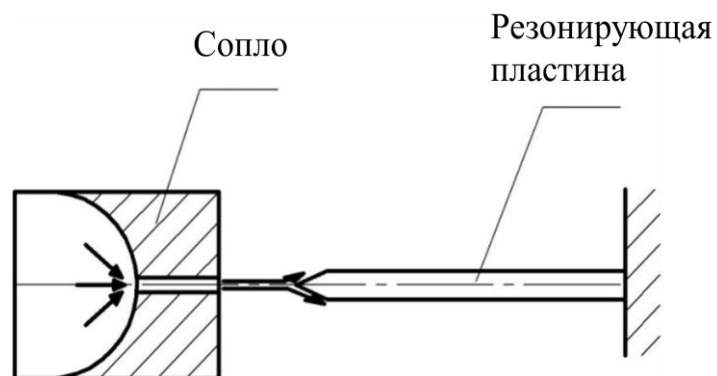


Рисунок 1.20. Принципиальная схема конструкции ГВК

В случае применения в ТИ МГНБ ГВК процесс создания ПИЛС представляет собой внедрение в рабочую среду под действием усилия продавливания ТИ со скосом, основными параметрами работы которого будут являться расход БРАСТ, давление и вязкость (рисунок 1.21).

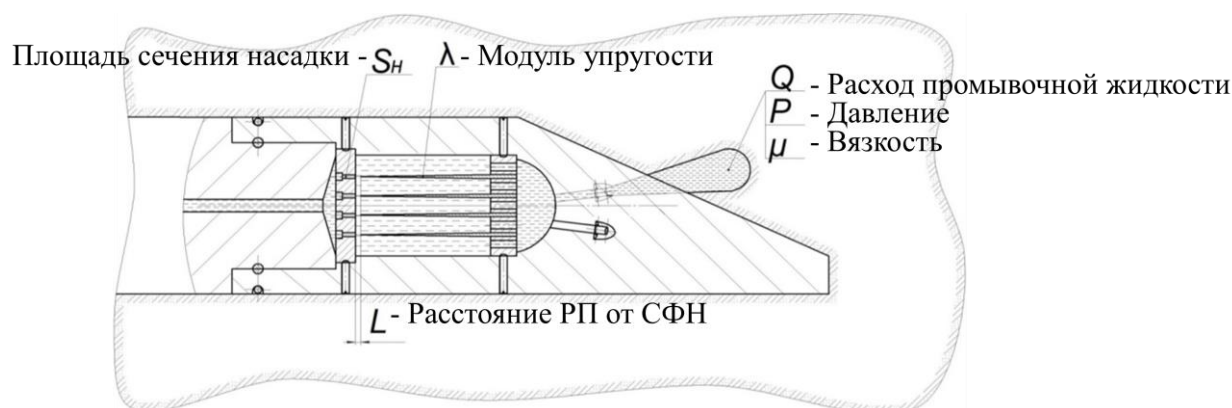


Рисунок 1.21. Основные показатели рабочего процесса (бурения) с применением встроенного в ТИ ГВК (СФН – струеформирующая насадка)

Исходя из основополагающих принципов работы ГВК, учеными в разные периоды времени были разработаны различные модификации ГВК и непосредственно бурильной головки.

Так, например, Ермолиным Д.А. и Зайнашевым М.М. была предложена конструкция гидромониторной бурильной головки (ГБГ) МГНБ (рисунок 1.22) [66].

Данная вариация ГБГ позволяет осуществлять управляющие воздействия на рабочий орган для изменения траектории движения и обхода препятствий, что положительно сказывается на его надежности [66].

Преподавателями ФГБОУ ВО «ТулГУ» разработана и экспериментально апробирована ГБГ со встроенным внутрь ГВК, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1.23 [46–49].

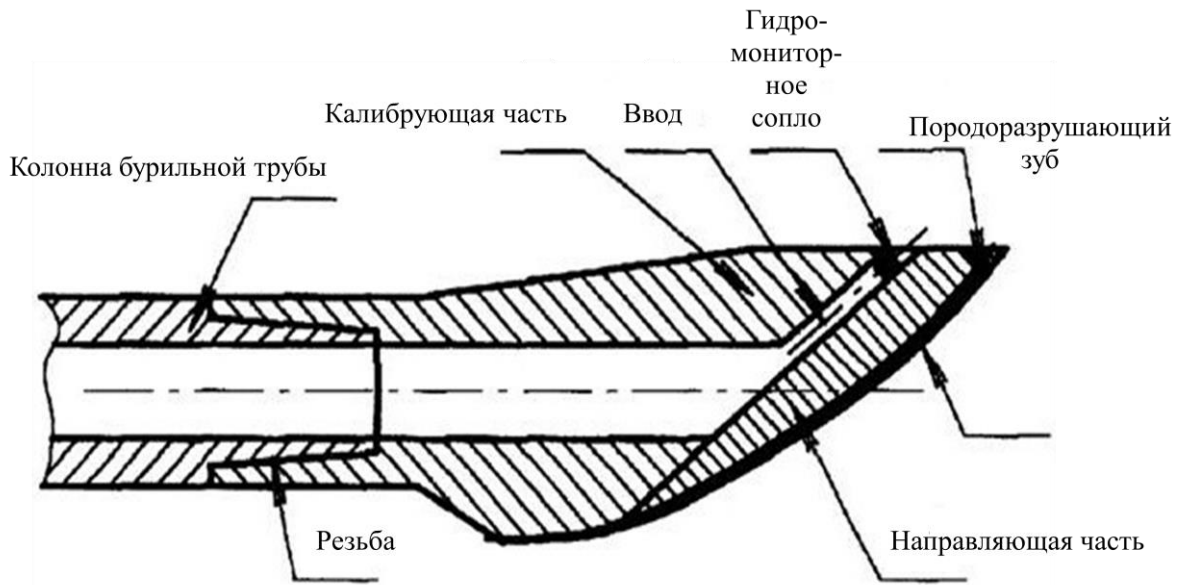
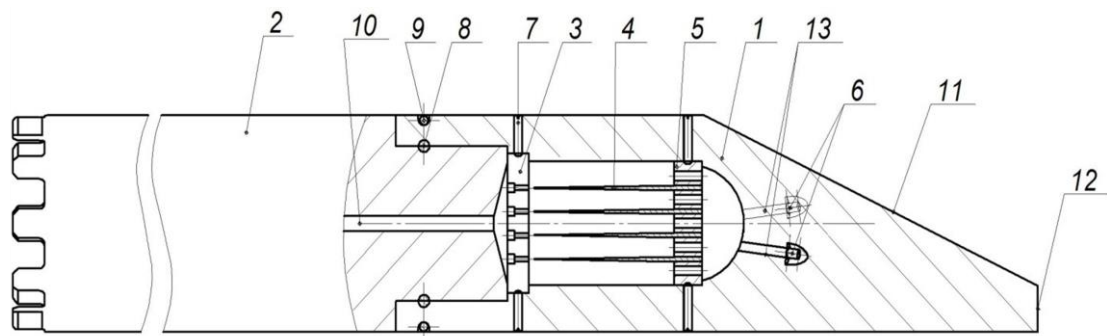


Рисунок 1.22. Принципиальная схема ГБГ МГНБ

(Ермолин Д.А., Зайнашев М.М.)



- | | |
|---|-----------------------------|
| 1. Корпус | 7. Фиксирующие винты |
| 2. Хвостовая часть | 8. Штифт |
| 3. Диск с входными струеформирующими каналами | 9. Обжимное кольцо |
| 4. РП | 10. Внутренний канал |
| 5. Диск с выходными отверстиями | 11. Управляющая поверхность |
| 6. Сопла | 12. Передняя поверхность |
| | 13. Каналы |

Рисунок 1.23. ГБГ со встроенным ГВК (кафедра ГиСПС ФГБОУ ВО «ТулГУ»)

Данная ГБГ в условиях проведения работ с ПИК обеспечивает ТГНБ в твердых породах и минимизирует негативное антропогенное воздействие на среду и экологию, позволяя в том числе проводить ПИК под железными и автомобильными дорогами и (или) огибать иные препятствия.

Петровым А.А., Пушкаревым А.Е., Михайловым А.М. разработано устройство ГБГ для ГНБ (базовая ГБГ), принципиальная схема которого показана на рисунке 1.24.

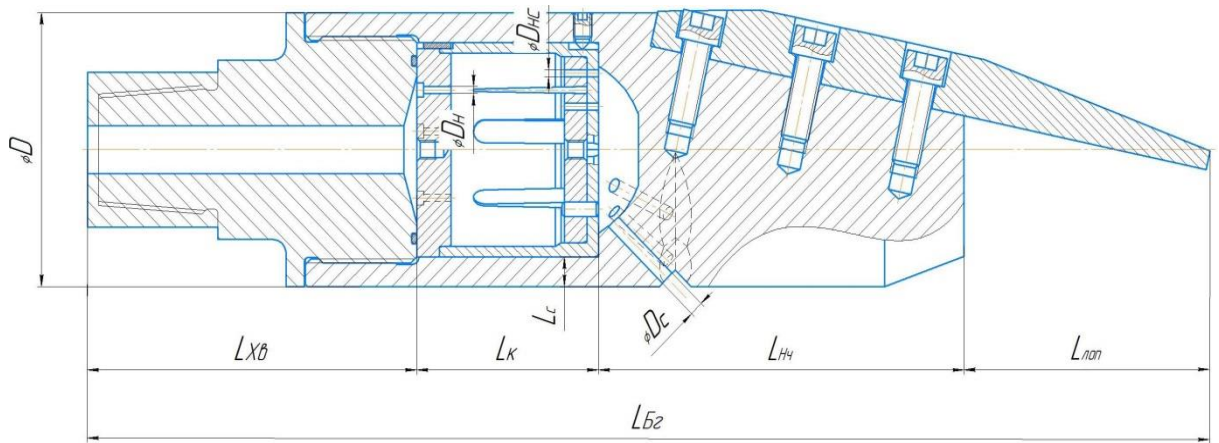


Рисунок 1.24. Принципиальная схема базовой ГБГ

Конструкция базовой ГБГ включает в себя корпус ТИ со струеформирующими каналами и соплами, центральный канал, управляющую поверхность, диск с СФН, диск с РП, штифт, сменный элемент и средство соединения.

Разработанные ранее ГБГ (патенты RU 2330928, RU 64254, RU 2081988, US 6209660, US 5148880, US 4993503, RU 137300) [61-66] имеют определенные недостатки, выраженные в исключительно статическом воздействии на рабочую среду, что снижает эффективность работы с крепкими породами, либо имеют сложности с управлением смещения ТИ по заданной траектории ПИЛС, особенно при наличии в рабочей среде достаточно весомых включений, либо не позволяет осуществлять регулирование взаиморасположения СФН и РП, меняя тем самым параметры динамического воздействия, исходя из свойств буримых пород.

Применение базовой ГБГ позволяет расширить технические характеристики ТИ, исключить недостатки имеющихся ГБГ, и повысить ЭЭФ работы МГНБ, в устройстве которой применяется данная модель ГБГ.

Таким образом, учеными и исследователями доказано, что эффективность бурения грунтовых масс, в том числе повышенной твердости, увеличивается путем придания виброускорения ПРИН. Разрушение рабочей среды протекает под воздействием динамической (вибрации) и статической (вращения буровой коронки) сил. Установлено, что применение данного способа бурения, как одного из вариантов реализации ТГНБ, положительно влияет на рост скорости проходки ПИЛС, снижение энергоемкости (ЭЕм) и увеличение срока службы ТИ.

1.4 Цель и задачи исследования

Проанализировав существующие технологии работы с ПИК, технику, посредством которой реализуются ТЗС-БП, исследования ученых в рассматриваемой предметной области науки и выявленные способы повышения ЭЭф МГНБ при производстве земляных работ определена цель настоящего исследования, заключающаяся в определении параметров взаимодействия ТИ МГНБ, оснащенного ГВК, с рабочей средой, способствующие повышению ЭЭф МГНБ.

Поставленная цель достигается решением необходимого и обязательного комплекса задач, включающего:

1. Разработку метод определения параметров взаимодействия ТИ МГНБ с рабочей средой для формирования рекомендаций по ее эксплуатации.
2. Установление зависимости между конструктивными и режимными параметрами встроенного в ТИ ГВК посредством применения имитационного моделирования.
3. Экспериментальное подтверждение закономерностей, характеризующих работу встроенного в ТИ МГНБ ГВК.
4. Определение ЭЭф работы МГНБ, в конструкцию ТИ которой встроен ГВК, в зависимости от характеристик рабочей среды.

1.5 Выводы к главе 1

1. Анализ существующего комплекса земляных работ с ПИК показал существенное превосходство ТЗС-БП, в частности ГНБ, над ТОС-ВТ, ввиду минимизации рисков для окружающей среды, поддержания уровня экологической безопасности и пропускной способности магистралей, а также снижения экономических затрат.

2. МГНБ представлены в широком спектре моделей, классифицируются в зависимости от присущей им максимальной тяговой силы на машины классов «мини», «миди», «макси» и «мега», а также по конструктивному исполнению на МГНБ с и без рабочего места оператора, МГНБ колодезного типа и МГНБ поузлового монтажа. Наиболее широко распространены МГНБ «мини» и «миди» вне зависимости от отсутствия (наличия) рабочего места оператора.

3. Выявлена и изучена многогранность направлений исследований в области бестраншейных технологий, в частности ГНБ. Ученые в разных предметных областях рассматривают аспекты рационализации подбора технологии проведения работ и снижения сопутствующих рисков, рассматривают способы совершенствования технологии, как со стороны рабочей среды, так и путем внесения изменений в конструкцию МГНБ.

4. Наиболее перспективным из предложенных путей совершенствования техники ГНБ является усиление ТИ МГНБ встраиваемым ГВК, придающим на грунт усилия динамического характера, возникающие за счет производимой энергии работы промывочной жидкости, без использования внешних источников энергии. Базовой ГБГ, на основе которой будут проведены дальнейшие исследования, за счет совершенной конструкции по сравнению с ранее разработанными моделями, является ГБГ, созданная коллегией авторов в составе Петрова А.А., Пушкарева А.Е., Михайлова А.М.

2 ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ МАШИН ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМЫХ ПАРАМЕТРОВ ОЦЕНИВАНИЯ

2.1 Оценка технического уровня машин горизонтально направленного бурения методом экспертных оценок

ТУ НТТМ является такая характеристика, в основе которой лежит сравнение имеющихся образцов (базовых вариаций) с эталонной машиной по выбранной совокупности исследуемых параметров. Под «эталонном» понимается такой образец, который обладает наиболее важными и приоритетными параметрами, характеризующими достигнутый ТУ машины.

Первостепенно для оценки ТУ (ОТУ) реализован метод экспертных оценок (МЭО) [23,28-33,87]. Положительным аспектом МЭО, способствующим его применению, является простота построения исходных параметров оценивания, полученная путем анализа и систематизации информации о машиностроительной продукции (МП) с определением существенных (значимых) параметров оценивания. Недостатком является субъективизм и простота расчетов, снижающая точность проводимых расчетов.

По результатам анализа рынка МП в области ТГНБ и технической документации выбраны 13 параметров, характеризующих МГНБ и являющихся наиболее существенными для ОТУ и важными для производителей и исследователей.

Оценивание результата производится с учетом значимого показателя. Присвоение показателя значимости X_i конкретному i -му параметру определяется экспертами [24,38,87]. МЭО, как метод групповой оценки, позволяет снизить субъективизм и возможность получить различные мнения на исследуемый ряд техники.

Выбор комплекса значимых параметров оценивания для дальнейшего их обоснования и выделения ключевого параметра, оказывающего влияние на ЭЭф работы МГНБ, показан на рисунке 2.1.

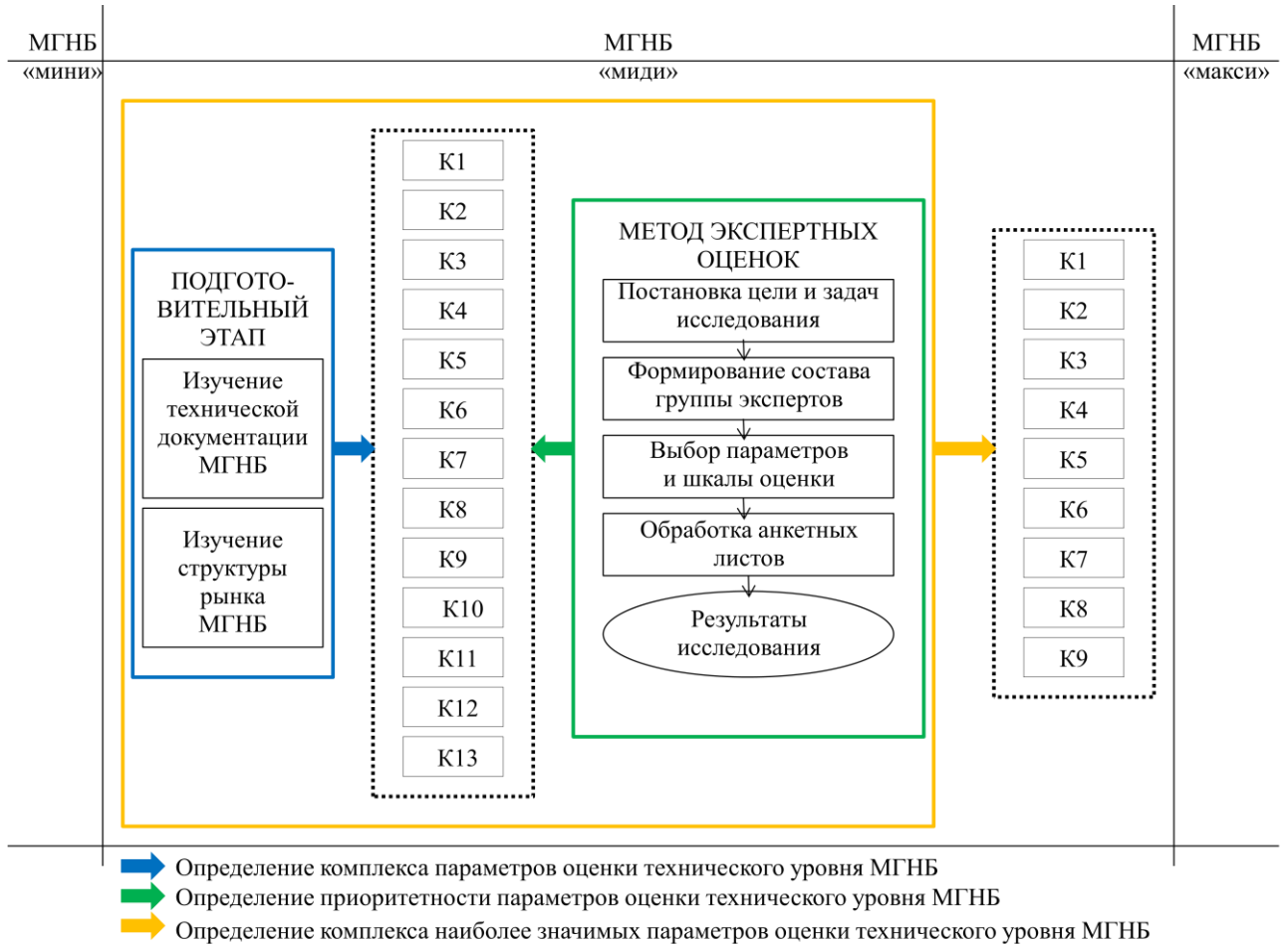


Рисунок 2.1. Определение комплекса значимых параметров взаимодействия ТИ МГНБ с рабочей средой

Группа экспертов в составе 22 человек (представители теоретической области деятельности (в том числе преподаватели) и производственной сферы (конструкторы, операторы установок ГНБ) распределила предложенные исходные показатели от наиболее значимого до менее приоритетного [87] (примеры анкетных листов представлены в Приложении А). Результаты ОТУ, выполненной посредством МЭО, представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – «Результаты экспертной оценки МГНБ по заданным параметрам» [87]

№ п/п	Наименование параметра оборудования	Показатель значимости						
		Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	...	Эксперт 22	Среднее значение	
1	Габариты, см	6	3	1	...	2	5,500	3
2	Масса установки, т	5	4	2	...	3	4,136	2
3	Диаметр штанги, мм	2	7	10	...	4	6,636	5
4	Мощность двигателя, кВт	7	13	11	...	9	10,000	13
5	Максимальный крутящий момент, Нм	8	12	8	...	7	8,273	10
6	Максимальное тяговое усилие, кН	11	11	9	...	6	8,591	11
7	Максимальная скорость вращения, об/мин	10	2	3	...	5	6,682	6
8	Усилие продавливания, кг	3	5	7	...	8	7,227	8
9	Максимальное расширение, мм	13	8	12	...	13	8,091	9
10	Максимальная длина бурения, м	12	10	13	...	12	8,818	12
11	Объем подачи буровой смеси, л/мин	4	1	6	...	10	6,136	4
12	Давление рабочей смеси, Мпа	9	6	5	...	11	7,045	7
13	Ширина типоразменного ряда по мощности, ед	1	9	4	...	1	3,773	1

Анкетирование группы экспертов позволяет определить средний показатель значимости (X_{cp}) [26-27, 34-36] (2.1):

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.1)$$

где x_i – значение показателя значимости по мнению i -го эксперта,

n – количество экспертов.

Таким образом, посредством анализа, расчета и синтеза результатов определен «параметр МГНБ, имеющий наибольший вес, – мощность двигателя. Наименее значимым признана ширина типоразмерного ряда по мощности» [87].

Для оценки отобран ряд образцов МГНБ к сравнению (в настоящей диссертационной работе 8 образцов в категории «миди») (таблица 2.2) [87].

Затем проведен расчет относительных показателей значимости параметров (ОПЗП) (b) для каждой МГНБ. Сумма таких показателей представляет собой средневзвешенный арифметический показатель (K), являющийся основной характеристикой ТУ выбранного образца МГНБ (2.2) [87]:

$$K = \sum_{i=1}^m b_i \cdot x_i, \quad (2.2)$$

где b – ОПЗП;

x – показатель, характеризующий значимость параметра.

Таблица 2.3 содержит выполненный по формуле (2.2) расчет. Гистограммы (рисунки 2.2 – 2.5) являются графическим изображением выполненных расчетов.

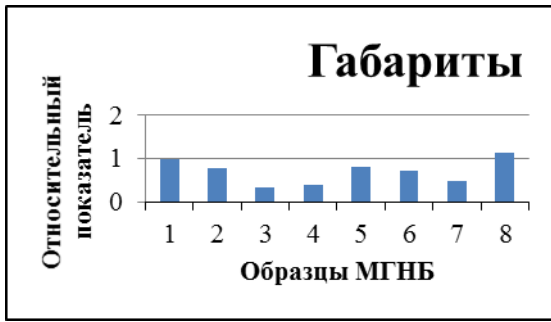
Таблица 2.2 – Технические характеристики исследуемых МГНБ

№ п/п	Обозначение	Габариты (Длина*Ширина*Высота), см	Масса установки, кг	Диаметр штанги, мм	Мощность двигателя, кВт	Максимальный крутящий момент, Нм	Максимальное тяговое усилие, кН	Максимальная скорость вращения, об/мин	Усилие продавливания, кН	Максимальное расширение, мм	Максимальная длина бурения, м	Объем подачи буровой смеси, л/мин	Давление рабочей смеси, бар	Ширина типоразменного ряда по мощности
1	А	792,5 * 228,6 * 264,2	16 100	89	138	8 680	260	200	85	800	600	265	85	8
2	Б	690*240*230	12 000	76	153	12 000	300	150	87	940	500	250	85	2
3	В	526*131*239	5 394	67	55	2 980	120	150	75	800	500	40	40	6
4	Г	500*218*170	5 000	60	88	5 400	130	120	76	600	250	76	44	1
5	Д	710*225*245	11 500	73	160	12 000	320	200	85	900	600	320	90	3
6	Е	700*250*200	10 500	60	132	8 000	250	150	80	800	600	260	87	2
7	Ж	566*197*211	8 000	60	132	4 500	250	150	80	800	500	250	87	3
8	З	830*190*342	11 830	100	100	4 500	130	120	76	500	300	190	85	4

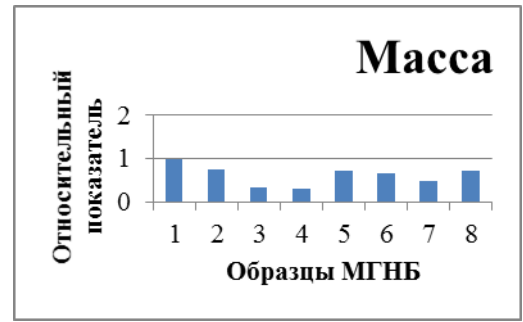
Таблица 2.3 – Результаты расчетов средневзвешенного арифметического показателя К

№ п/п	Обозначение	Габариты	Масса установки	Диаметр штанги	Мощность двигателя	Максимальный крутящий момент	Максимальное тяговое усилие	Максимальная скорость вращения	Усилие продавливания	Максимальное расширение	Максимальная длина бурения	Объем подачи буровой смеси	Давление рабочей смеси	Ширина типоразменного ряда по мощности	К
1	А*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	91
2	Б	0,79	0,74	0,85	1,11	1,38	1,15	0,75	1,02	1,18	0,83	0,94	1	0,25	93,23
3	В	0,34	0,34	0,75	0,4	0,34	0,46	0,75	0,88	1	0,83	0,15	0,47	0,75	54,25
4	Г	0,38	0,31	0,67	0,64	0,62	0,5	0,6	0,89	0,75	0,42	0,29	0,52	0,13	52,57
5	Д	0,82	0,71	0,82	1,16	1,38	1,23	1	1	1,13	1	1,21	1,06	0,38	99,2
6	Е	0,73	0,65	0,67	0,96	0,92	0,96	0,75	0,94	1	1	0,98	1,02	0,25	83,41
7	Ж	0,49	0,49	0,67	0,96	0,52	0,96	0,75	0,94	1	0,83	0,94	1,02	0,38	76,3
8	З	1,13	0,73	1,01	0,72	0,52	0,5	0,6	0,89	0,63	0,5	0,72	1	0,5	62,73

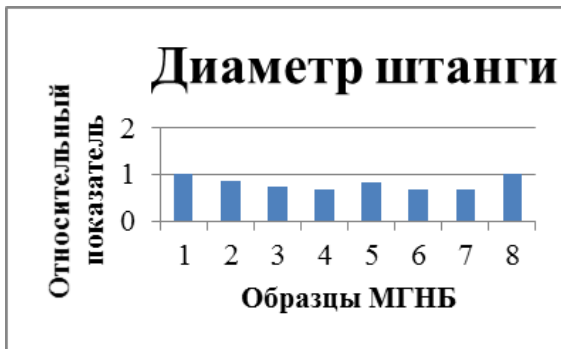
А* - эталонный образец



а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.2. Распределение относительных показателей МГНБ: «а – габариты, б – масса, в – диаметр штанги, г – мощность двигателя» [87]



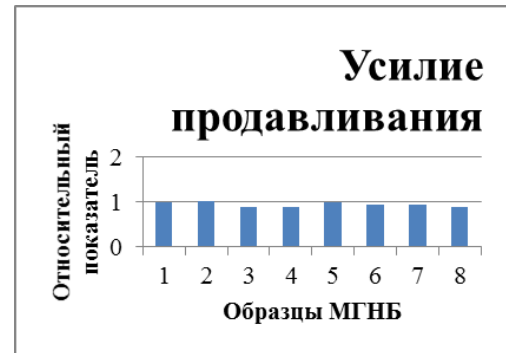
а)



б)



в)

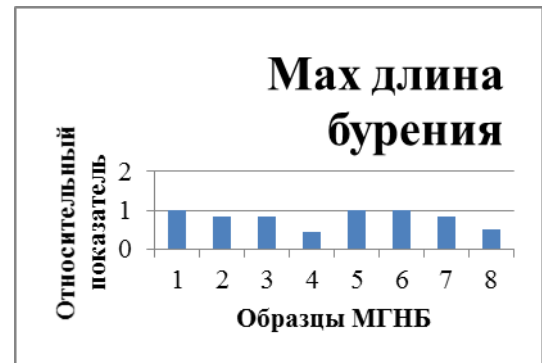


г)

Рисунок 2.3. Распределение относительных показателей МГНБ: «а – макс крутящий момент, б – макс тяговое усилие, в – макс скорость вращения, г – усилие продавливания» [87]



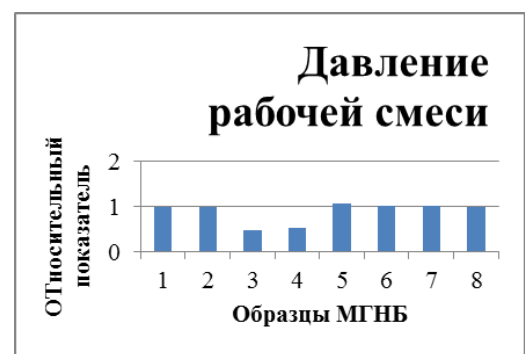
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.4 Распределение относительных показателей МГНБ: «а – макс расширение, б – макс длина бурения, в – объем подачи буровой смеси, г – давление рабочей смеси» [87]

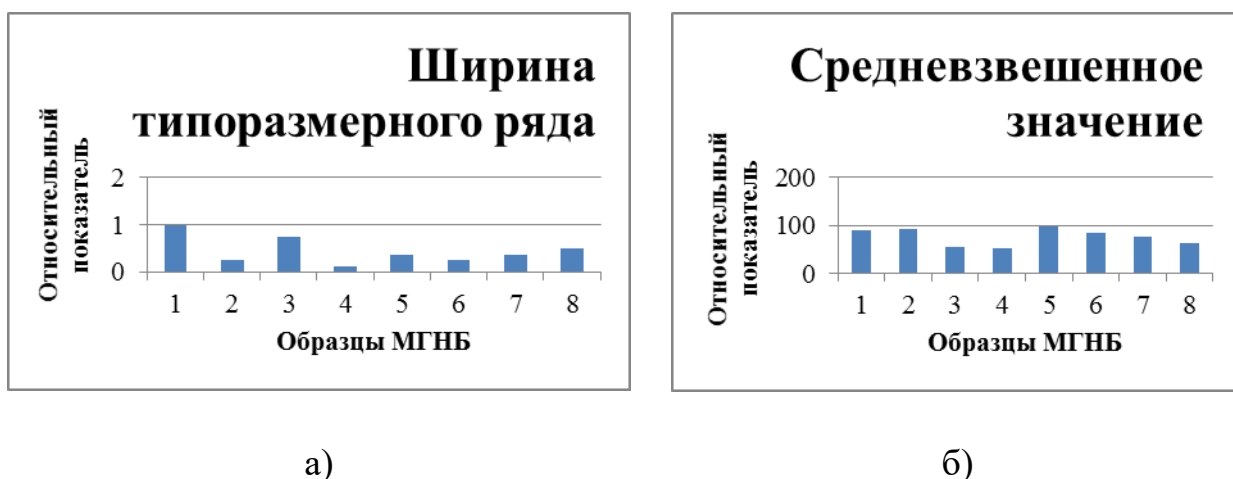


Рисунок 2.5. Распределение относительных показателей МГНБ: «а – ширина типоразмерного ряда по мощности, б – средневзвешенный арифметический показатель» [87]

Проведя анализ ОТУ МГНБ посредством МЭО и изучив графические материалы, можно сделать вывод о высоком ТУ исследуемой техники ГНБ и конкуренции МГНБ, об определенной тенденции распределении параметров по ОТУ, обусловленной территориальными особенностями и особенностями проведения ТГНБ, о перспективах применения ГВК как одной из возможностей повышения ТУ и ЭЭф работы МГНБ.

2.2 Оценка технического уровня машин горизонтально направленного бурения посредством метода сравнительного анализа

2.2.1 Аналитическая модель оценки технического уровня машин горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений

Ранее наглядно отмечено, что даже машины одного класса имеют существенные отличия по мощности двигателя, максимальному диаметру расширения ПИЛС, давлению рабочей смеси и иным параметрам, оказывающим влияние на эффективность работы и, соответственно,

конкурентоспособность той или иной МГНБ [31]. В связи с изложенным разработка нового подхода к ОТУ техники ГНБ в заданной системе ограничений в целях определения возможных путей повышения ЭЭф работы МГНБ представляется весьма актуальным.

Целью создания нового подхода к ОТУ – метода определения параметров взаимодействия ТИ МГНБ с рабочей средой (метод сравнительного анализа (МСА), безэкспертный метод), является определение эталонного образца из представленного множества техники ГНБ в заданной системе ограничений и установление закономерности влияния изменения отдельного (значимого, ключевого) показателя ОТУ на ЭЭф работы МГНБ в целом, а также изменение ее положения в рейтинге распределения техники по заданному приоритетному критерию.

По результатам проведенных МЭО расчетов установлено, что образцы «Б» и «Д» МГНБ превосходят эталонный образец по средневзвешенному арифметическому показателю, а МГНБ «Г» имеет самый низкий ТУ из представленной к анализу линейки МП.

Для проведения объективного анализа исследуемых данных об образцах МГНБ, повышения достоверности результатов расчетов, возможности установления последовательности изменения рабочих параметров МГНБ и выявления закономерности между данными параметрами и общим показателем ЭЭф МГНБ, а также принимая во внимание сопутствующий большой объем вычислений, разработана аналитическая модель проведения ОТУ МГНБ, представленная на рисунке 2.6. Модель представляет собой прикладной программный продукт [44].

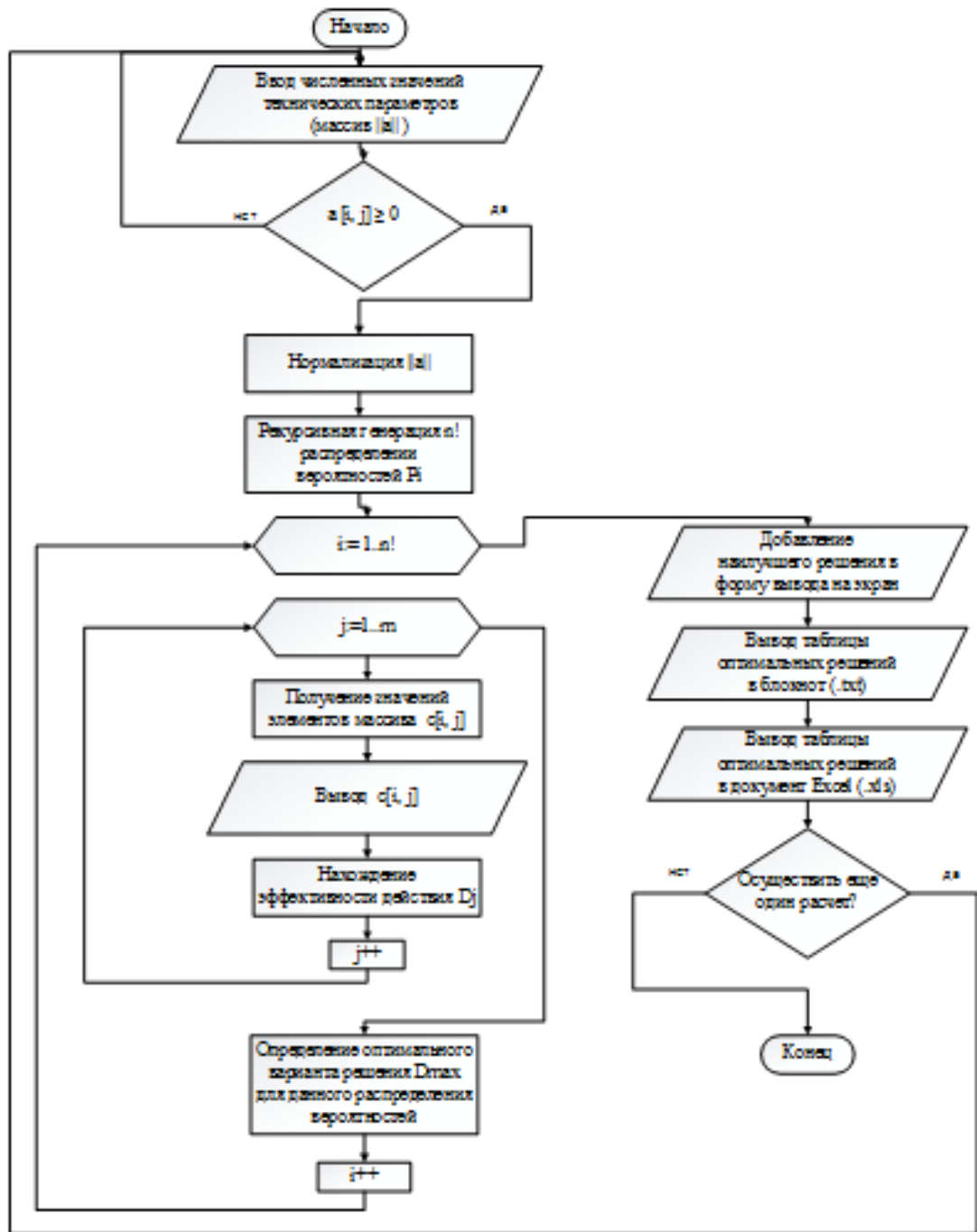


Рисунок 2.6. Аналитическая модель ОТУ МГНБ в заданной системе ограничений [44]

Оценка эффективности отдельно взятой МГНБ проводится по девяти наиболее значимым параметрам из тринадцати ранее выявленных к оценке [8] (исключены – габаритные размеры, максимальное тяговое усилие, максимальное расширение скважины, ширина типоразмерного ряда по мощности, оказывающие наименьшее влияние на ТУ МГНБ и, заменяемые к сравнению оставшимися), существенно влияющими на ТУ. Данными

показателями являются «масса установки (K1), диаметр штанги (K2), мощность двигателя (K3), максимальный крутящий момент (K4), максимальная скорость вращения (K5), усилие продавливания (K6), максимальная длина бурения (K7), объем подачи буровой смеси (K8) и давление рабочей смеси (K9)» [87].

Математический аппарат аналитической модели ОТУ МГНБ, лежащей в основе метода определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой (МСА, безэкспертный метод), базируется на решении задачи стохастически неопределенного характера [24, 29-38, 40]. Разработанная аналитическая модель позволяет учесть взаимосвязь между совокупностью принятых к исследованию параметров и вероятностями их распределения относительно принимаемого уровня приоритетности. Такое распределение параметров (K) относительно их приоритетности для конкретного образца МГНБ лежит в рамках ограничения (2.3):

$$0 \leq K_j \leq 1; j = \overline{1,9} \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^9 K_j = 1$$

Следовательно, определяется как (n-1) независимых вероятностных величин. Последовательное расположение параметров K1 – K9 подчинятся условию (2.4):

$$K_1 \geq K_2 \geq K_3 \geq \dots \geq K_j \geq K_{9-1} \geq K_9 \quad (2.4)$$

Количество возможных случаев в такой системе равно n! и для исследуемой системы составляет 9! = 362 880.

На рисунке 2.7 показано одно из подмножества решений задачи определения эталонного образца МГНБ посредством реализации аналитической модели ОТУ МГНБ.

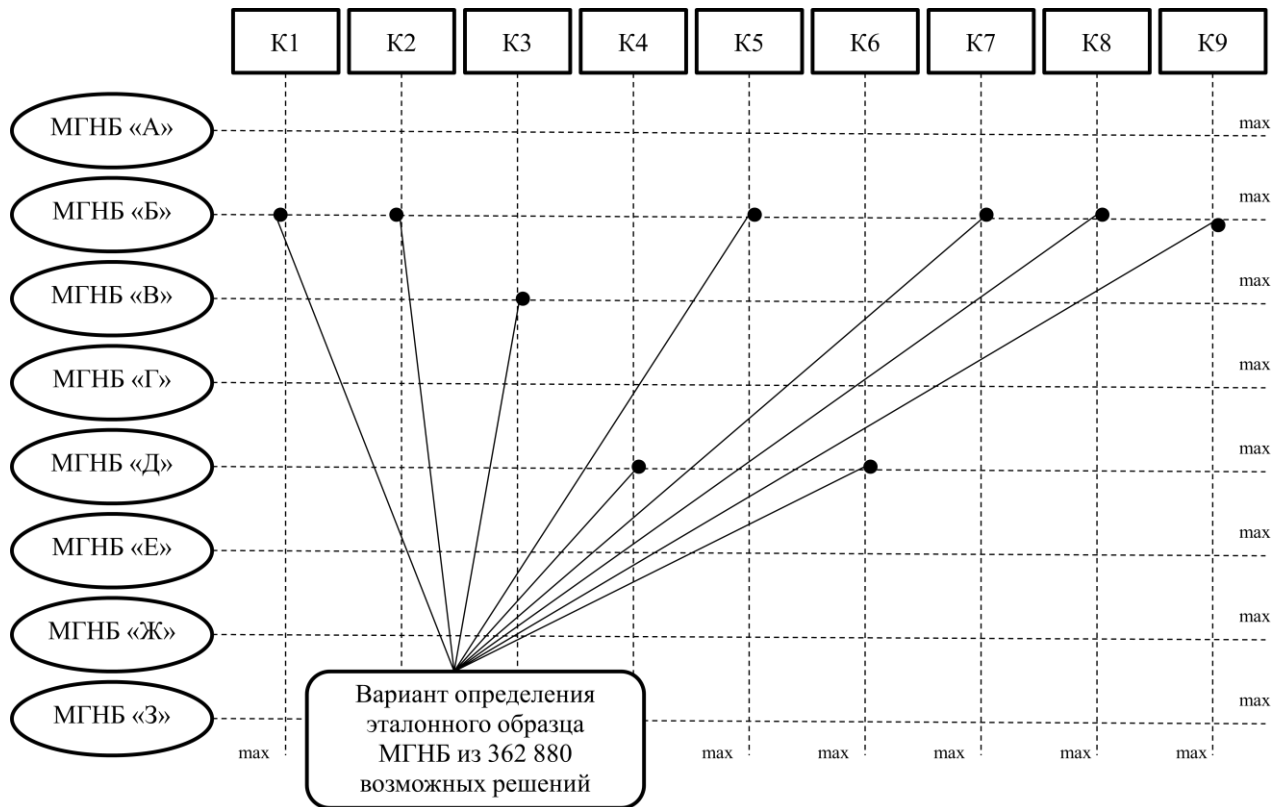


Рисунок 2.7. Вариант решения задачи определения эталонного образца МГНБ посредством реализации аналитической модели ОТУ МГНБ

Математический аппарат аналитической модели оценки ТУ МГНБ представлен в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Описание аналитической модели оценки ТУ образцов МГНБ

№ П/п	Описание этапа	Содержание этапа	Математический вид
1	Определение стратегической цели как результата достижения	Упорядочивание значений параметров K_j с учетом риска математического ожидания эффективности \bar{a}_i	$\bar{a}_{i*} = \max_i \bar{a}_i = \max_i \sum_{j=1}^n K_j a_{ij}$
2	Получение относительного значения для каждого исследуемого параметра МГНБ	Приведение значений отдельного параметра в каждом оценочном кластере q_{ij} к безразмерному виду Q_{ij} с последующим нормированием	$q_{ijH} = \frac{Q_{ij}}{\sum_1^m Q_{ij}}$

Окончание таблицы 2.4.

3	Определение вариантов приоритетности образцов МГНБ	Решение задачи векторной оптимизации	$D_i = \sum_{j=1}^9 q_{ijH} K_j \rightarrow \max$ $\sum_{j=1}^9 K_j = 1, 0 \leq K_j \leq 1, K_j \geq K_9, j = \overline{1,9}$
4	Поиск значений параметров (K) с учетом распределения их важности для конкретного образца техники	Поиск и установление параметров K_j	$K_j = \begin{cases} \frac{1}{d}, & \text{если } j \leq d \\ 0, & \text{если } j > d \end{cases}$ $d = \max_j q_{ij}$
5	Оформление матрицы параметров (K) с учетом присвоенной важности и выбор образца МГНБ с максимальным (минимальным) значением	Определение сочетания возможных вариантов (min/max)	$D_i = \begin{pmatrix} K_{11} \cdot q_{11H} & K_{12} \cdot q_{12H} & \dots & K_{1j} \cdot q_{1jH} & \dots & K_{1n} \cdot q_{1nH} \\ K_{21} \cdot q_{21H} & K_{22} \cdot q_{22H} & \dots & K_{2j} \cdot q_{2jH} & \dots & K_{2n} \cdot q_{2nH} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ K_{m1} \cdot q_{m1H} & K_{m2} \cdot q_{m2H} & \dots & K_{ij} \cdot q_{ijH} & \dots & K_{mn} \cdot q_{mnH} \end{pmatrix}$ <p>m – число сравниваемых образцов МГНБ; n – число критериев ОТУ; K_{ij} – эффективность j-го показателя для i-го образца для $i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$.</p>

В рамках решения поставленной задачи по выбору эталонного образца МГНБ из всех предложенных вариантов, а также возможности изучения влияния изменения исследуемого (ключевого) параметра на изменение распределения образцов МГНБ в общей совокупности, предлагается использовать разработанную программу для ЭВМ [44].

Шаг 1. Запуск программы, открытие стартового окна. Нажатие кнопки «Начало работы» (рисунок 2.8).

Шаг 2. В программу занесены исследуемые в рамках диссертационной работы МГНБ и их характеристики. В случае необходимости имеется возможность задать иные параметры оценки для сравнения иных МГНБ. Задание целеполагания (min/max).

Шаг 3. Запуск процесса нормализации посредством кнопки «Нормализовать» (рисунок 2.9).

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

НАЧАЛО РАБОТЫ
ОБНУЛИТЬ

№ п/п	Обозначение	Компания производитель	Масса установки, кг (K1)	Диаметр штанги, мм (K2)	Мощность двигателя, кВт (K3)	Максимальный крутящий момент, Нм (K4)	Максимальная скорость вращения, об/мин (K5)	Сила подачи, кН (K6)	Максимальная длина бурения, м (K7)	Объем подачи буровой смеси, л/мин (K8)	Давление рабочей смеси, бар (K9)
▶ 1	A	Vermeer Navigator D60x90	16100	89	138	8680	200	85	600	265	85
2	Б	DDW 350	1200	76	153	12000	150	87	500	250	85
3	B	JT20 DITCH WITCH	5394	67	55	2980	150	75	500	40	40
4	Г	SID ENGINEERING GNB 13*5	5000	60	88	5400	120	76	250	76	44
5	Д	XCMG XZ 320D	11500	73	160	12000	200	85	600	320	90
6	E	Машиностроительный холдинг PRIDE установка ГНБ M&18	10500	60	132	8000	150	80	600	260	87
7	Ж	Hanlyma HL 525 B	8000	60	132	4500	150	80	500	250	87
8	З	Grundodril JCS 130	11830	100	100	4500	120	76	300	190	85
min-max			min	max	max	max	max	max	max	max	max

НОРМАЛИЗОВАТЬ
ВЫВЕСТИ РЕЗУЛЬТАТ В EXCEL

ВЫВЕСТИ РЕЗУЛЬТАТ В БЛОКНОТ

Рисунок 2.8. Начало работы в программе

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

НАЧАЛО РАБОТЫ
ОБНУЛИТЬ

№ п/п	Обозначение	Компания производитель	Масса установки, кг (K1)	Диаметр штанги, мм (K2)	Мощность двигателя, кВт (K3)	Максимальный крутящий момент, Нм (K4)	Максимальная скорость вращения, об/мин (K5)	Сила подачи, кН (K6)	Максимальная длина бурения, м (K7)	Объем подачи буровой смеси, л/мин (K8)	Давление рабочей смеси, бар (K9)
1	A	Vermeer Navigator D60x90	0,037	0,152	0,144	0,149	0,161	0,132	0,156	0,160	0,141
2	Б	DDW 350	0,498	0,130	0,160	0,207	0,121	0,135	0,130	0,151	0,141
3	B	JT20 DITCH WITCH	0,111	0,115	0,057	0,051	0,121	0,116	0,130	0,024	0,066
4	Г	SID ENGINEERING GNB 13*5	0,120	0,103	0,092	0,093	0,097	0,118	0,065	0,046	0,073
5	Д	XCMG XZ 320D	0,052	0,125	0,167	0,207	0,161	0,132	0,156	0,194	0,149
6	E	Машиностроительный холдинг PRIDE установка ГНБ M&18	0,057	0,103	0,138	0,138	0,121	0,124	0,156	0,158	0,144
7	Ж	Hanlyma HL 525 B	0,075	0,103	0,138	0,078	0,121	0,124	0,130	0,151	0,144
8	З	Grundodril JCS 130	0,050	0,171	0,104	0,078	0,097	0,118	0,078	0,115	0,141
▶ min-max			min	max	max	max	max	max	max	max	max

НОРМАЛИЗОВАТЬ
ВЫВЕСТИ РЕЗУЛЬТАТ В EXCEL

ВЫВЕСТИ РЕЗУЛЬТАТ В БЛОКНОТ

Рисунок 2.9. Нормализация данных

Шаг 4. В зависимости от дальнейших задач по работе с полученными данными результат может быть выведен как в текстовом формате в «Блокнот» (отдельным документом), так и в формате «Excel» (отдельным файлом). При этом экспресс-результат, отражающий число эффективных вариантов из всех возможных, в которых образец признается эталонным, отображается в отдельном диалоговом окне (рисунок 2.10).

Книга1 - Microsoft Excel некоммерческое использование

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Разработчик

Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число

Общий Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили Вставить Удалить Формат Ячейки

Сортировка и фильтр Найти и выделить Редактирование

Количество областей, принадлежащих решениям:

	A	B	V	Г	Д	Е	Ж	З
	0	343872	0	0	19008	0	0	0

Наилучшие решения при следующих распределениях технических характеристик:

	A	B	V	Г	Д	Е	Ж	З
K1>K2>K3>K4>K5>K6>K7>K8>K9	0,1286	0,498	0,100143	0,12	0,13775	0,124375	0,115	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K6>K7>K9>K8	0,1286	0,498	0,100143	0,12	0,13775	0,126556	0,118222	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K6>K8>K7>K9	0,1286	0,498	0,090625	0,12	0,13775	0,119857	0,112857	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K6>K8>K9>K7	0,1286	0,498	0,087889	0,12	0,13775	0,119857	0,112857	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K6>K9>K8>K7	0,1286	0,498	0,087889	0,12	0,13775	0,122875	0,11675	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K6>K9>K7>K8	0,1286	0,498	0,095875	0,12	0,13775	0,126556	0,118222	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K7>K6>K8>K9	0,1286	0,498	0,0975	0,12	0,13775	0,124375	0,115	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K7>K6>K9>K8	0,1286	0,498	0,0975	0,12	0,13775	0,126556	0,118222	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K7>K8>K6>K9	0,1286	0,498	0,0975	0,12	0,13775	0,124429	0,113714	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K7>K8>K9>K6	0,1286	0,498	0,0975	0,12	0,13775	0,124429	0,113714	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K7>K9>K8>K6	0,1286	0,498	0,0975	0,12	0,13775	0,126875	0,1175	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K7>K9>K6>K8	0,1286	0,498	0,0975	0,12	0,13775	0,126556	0,118222	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K8>K7>K6>K9	0,1286	0,498	0,087	0,12	0,13775	0,119167	0,111	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K8>K7>K9>K6	0,1286	0,498	0,087	0,12	0,13775	0,119167	0,111	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K8>K6>K7>K9	0,1286	0,498	0,090625	0,12	0,13775	0,119167	0,111	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K8>K6>K9>K7	0,1286	0,498	0,087889	0,12	0,13775	0,119167	0,111	0,1105
K1>K2>K3>K4>K5>K8>K9>K6>K7	0,1286	0,498	0,087889	0,12	0,13775	0,119167	0,111	0,1105

РЕШЕНИЕ

Количество областей, принадлежащих решениям:
A = 0 B = 343872 V = 0 Г = 0 Д = 19008 Е = 0
Ж = 0 З = 0
Компания производитель: DDW 350

Рисунок 2.10. Вывод результатов расчетов ОТУ МГНБ

Преимуществом программы является отображение количества областей решений, в которых образец признается эталонным [24,82]. В данном случае эталонным признается образец «Б» = 343 872.

2.2.2 Результаты оценки технического уровня машин горизонтально направленного бурения посредством применения аналитической модели

Проведено исследование по двум взаимосвязанным направлениям:

1. доказательство работоспособности и достоверности предлагаемого МСА, базирующегося на аналитической модели ОТУ МГНБ в заданной системе ограничений.

2. проведение ОТУ совокупности МГНБ класса «миди» и определение направления их совершенствования и повышения ЭЭф производства работ.

МЭО является базовым методом ОТУ МП. На основе данного метода был определен единый (общий) порядок приоритетности параметров ОТУ МГНБ, имеющий вид «K3>K7>K4>K6>K9>K5>K2>K8>K1», где наиболее важным, по мнению экспертов, является мощность двигателя, а наименее важным – масса

МГНБ. Согласно указанной структуре приоритетности параметров был составлен рейтинг МГНБ, определен лидер и аутсайдер выявленной иерархии.

Предлагаемый подход к ОТУ линейки МП в области ТГНБ позволяет оценить технические параметры отдельно взятой машины при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9», сравнить МГНБ в исследуемой совокупности техники и определить эталонный образец с указанием количества эффективных исходов, в которых конкретный образец МГНБ был признан эталонным. Помимо этого, аналитическая модель МСА (безэкспертного метода) позволяет вносить изменения в один или несколько параметров МГНБ и проанализировать динамику изменения положения машины в общем рейтинге и повышение ЭЭф ее работы.

Принимая во внимание результаты ОТУ МГНБ посредством МЭО и предварительные результаты ОТУ МГНБ путем применения МСА (безэкспертного метода), учитывающих распределение критериев приоритетности и непосредственно технические характеристики МГНБ, оценку эксплуатационных показателей МГНБ, оказывающих влияние на эффективность производства работ, ранее представленную на рисунке 1.19, результаты исследований в области повышения эффективности проведения работ и совершенствования конструкции МГНБ, принято решение о назначении исследуемым параметром, оказывающим наиболее сильное влияние на производительность МГНБ и ее ЭЭф – усилие продавливания (кН).

Так, изменяя согласно разработанной аналитической модели исследуемый параметр отдельно взятой МГНБ посредством оснащения ТИ ГВК, повышающего усилие продавливания до 30%, возможно проследить характер изменения иерархии распределения МГНБ в общем рейтинге и выявить зависимость между изменением исследуемого (перспективного) параметра и результативностью модернизации машины.

Посредством применения аналитической модели ОТУ МГНБ в заданной системе ограничений при всех возможных вариантах распределения

приоритетности параметров «К1 – К9» эталонным образцом в 343872 случаях признана МГНБ «Б», и в 19008 случаях – МГНБ «Д» (рисунок 2.11).

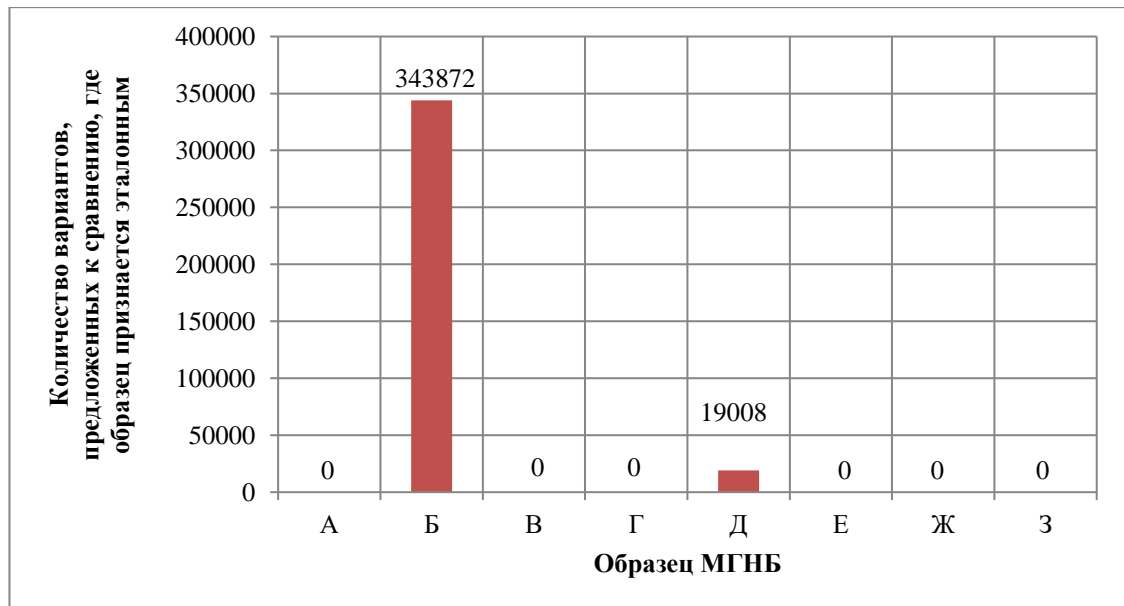


Рисунок 2.11. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9»

Интересно отметить, что в случае сравнения вариантов распределения показателей значимости, полученных посредством применения МСА, имеет место следующий порядок приоритета параметров: «К3>К7>К4>К6>К9>К5>К2>К8>К1», где наиболее приоритетна мощность двигателя, а наименее – масса самой МГНБ.

В случае применения МЭО МГНБ располагаются «в следующем порядке – «Д-Б-А-Е-Ж-З-В-Г», в случае применения МСА – «Б-Д-А-Е-Ж-З-В-Г». Наглядно отличие результатов проведения ОТУ МГНБ в зависимости от выбранного метода показано» [82] на рисунке 2.12.

Таким образом, применение разработанного МСА, в том числе за счет объективного анализа за счет исключения мнения группы экспертов [12], позволяет дать более достоверную и всестороннюю оценку существующего ТУ анализируемой МП. Кроме того, МСА предусматривает возможность внесения изменений в отдельные параметры МГНБ, наблюдения за происходящими передвижениями исследуемой МГНБ в общем рейтинге сравниваемой техники

и представления на их основе рекомендаций по дальнейшему внесению изменений в конструкцию МГНБ и применению наиболее эффективного набора параметров для реализации новой техники и (или) модернизации существующей.



Рисунок 2.12. Сравнительный анализ результатов проведения ОТУ МГНБ различными методами: синий – МЗО, красный – МСА

Проверка разработанной в рамках МСА аналитической модели проводилась посредством использования специального программного обеспечения. В целях повышения эффективности одной из МГНБ внесены изменения в один из рабочих параметров, влияющих на изменение сопротивления грунта, параметр «К6, усилие продавливания» (исследуемый параметр), при этом иерархия распределения неизменна – по принципу максимального значения. Одновременно принимаем иерархию распределения параметра «К3, мощность двигателя» по принципу приоритета минимального значения. Принятое решение обусловлено требованием получения одинаковой работы при различных мощностях. Тогда МГНБ с меньшей мощностью будет считаться более эффективной. Результаты выполнения расчетов показаны на рисунке 2.13.

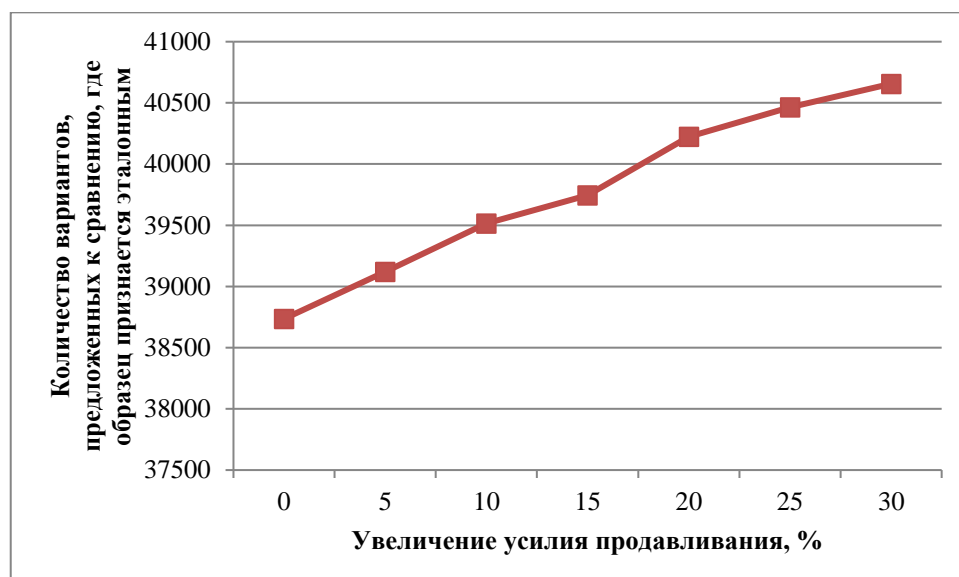


Рисунок 2.13. Результаты проведения расчетов путем применения аналитической модели ОТУ МГНБ с учетом внесения изменений в исследуемый параметр «усилие продавливания»

Из диаграммы видно, что в принятой системе ограничений, при прочих равных условиях, изменение одного из показателей работы машины позволяет изменить иерархическую последовательность распределения исследуемой техники, а в отдельных случаях – стать эталонным образцом.

2.3 Исследование влияния различных факторов и конструктивных параметров генератора вибрационных колебаний на область рационального использования машины горизонтально направленного бурения

2.3.1 Анализ влияния изменения исследуемого параметра оценки технического уровня на общую структуру распределения техники

Наглядно ранее сделанный вывод о возможности повышения ЭЭф МГНБ посредством внесения изменения в исследуемый параметр ОТУ отражает график распределения МГНБ (рисунок 2.14), составленный при условии

распределения образцов по параметру «К3, мощность двигателя» по принципу приоритета минимального значения, параметру «К6, усилие продавливания» – максимального значения, а также увеличения значения параметра «К6, усилие продавливания» у отдельно взятой машины, являющейся аутсайдером исследуемой совокупности техники, до значения 90 кН (+20%) за счет оснащения ТИ МГНБ ГВК.

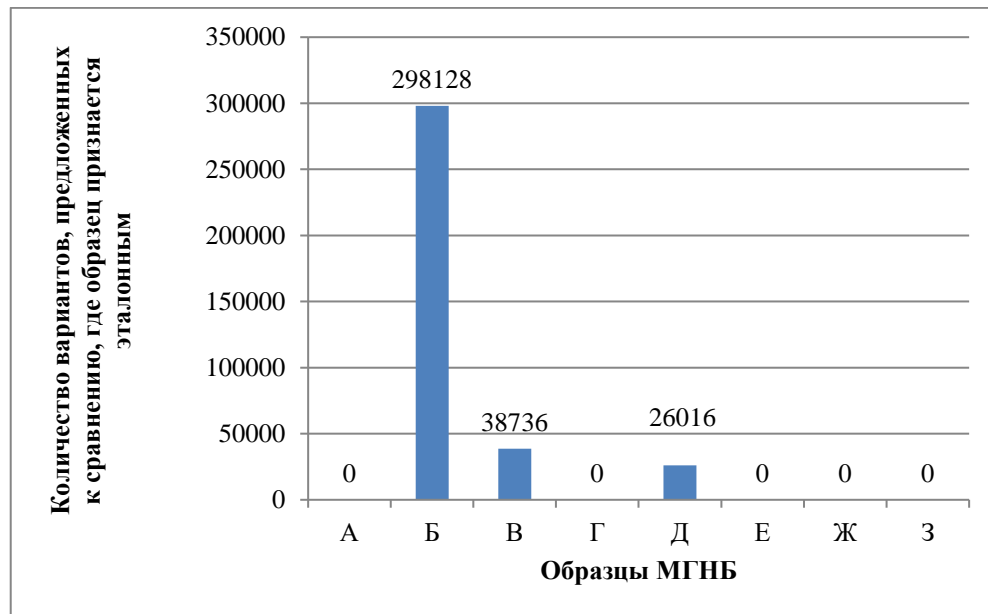


Рисунок 2.14. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9» и заданном параметре «К6» у МГНБ «В»

В заданной системе ограничений эталонным образцом в более 38 тыс. случаях будет признана МГНБ «В», что ранее не представлялось возможным, а количество эффективных вариантов, при которых исследуемая машина признавалась бы эталонной, равнялось 0. Да, несомненно, образец «Б» практически в 8 раз превосходит исследуемую МГНБ «В» по количеству вариантов, в которых занимает лидирующую позицию, однако, применение в ТИ ГВК, позволяющего при существующих габаритах и параметрах МГНБ значительно повысить ее ЭЭф, подтверждает свою уникальность.

В случае, если исследуемый показатель перспективной МГНБ увеличить до 97,5 кН (на 30%), то общий вид распределения исследуемых образцов МГНБ

останется без изменений, при этом количество эффективных исходов для исследуемой МГНБ увеличится на 5% и станет равным 40,5 тыс.

Важно отметить, что аналитическая модель ОТУ МГНБ в заданной системе ограничений позволяет варьировать значения исследуемых образцов МП, а, значит, получить объемную базу зависимостей рассматриваемых показателей техники, а также качественные и количественные оценки их распределения.

Допустим, что оснащение ГВК каждой из восьми МГНБ позволит уравнивать исследуемый показатель всех образцов, а непосредственно значение параметра примем равным 90 кН. В данном случае графическое изображение распределения исследуемой совокупности МГНБ будет выглядеть следующим образом (рисунок 2.15).

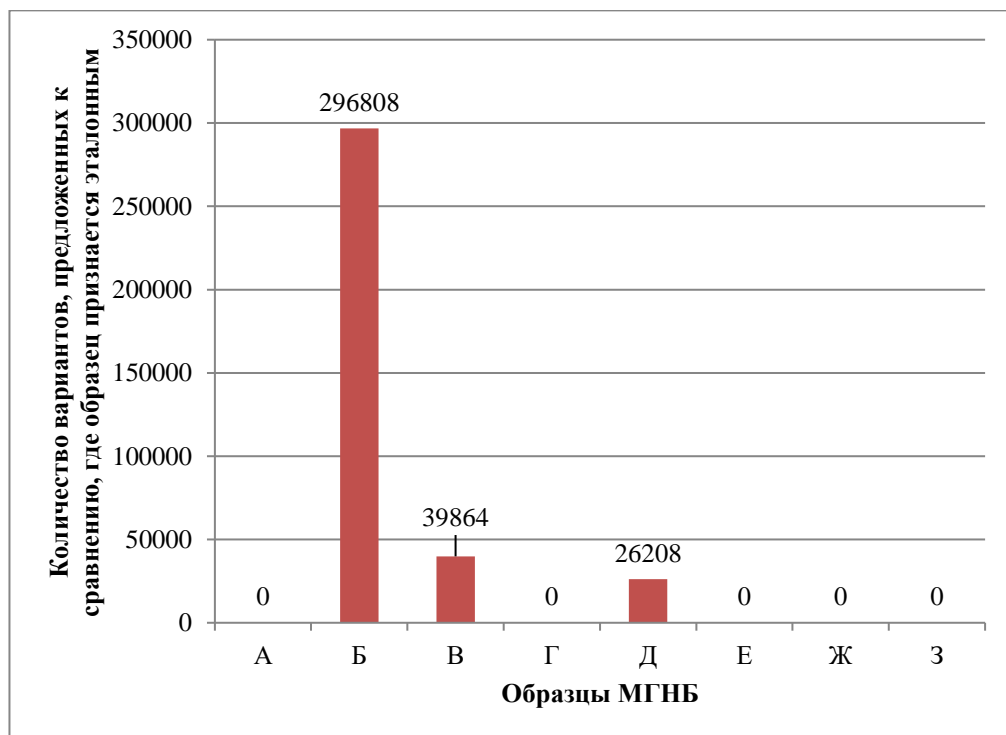


Рисунок 2.15. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9» и равном заданном исследуемом параметре

В результате исследования эталонным образцом в большинстве случаев (≈ 300 тыс.) при всех возможных вариациях приоритета параметров признана

МГНБ «Б», в части вариантов (около 40 тыс.) – исследуемая МГНБ «В», а также образец МГНБ «Д» (26 тыс.). Иные образцы техники в заданной системе ограничений в качестве эталонного образца не определены.

Интересно, что повышение перспективного параметра у априори лидера исследуемого сегмента техники на 30% (до 113,1 кН) при минимизирующем приоритете мощности позволит повысить количество эффективных исходов до 305 628 (+ 2,3 %), а при установке приоритета максимальной мощности – до 346 416 (+0,7%). Таким образом, рассматривая данный вариант распределения параметров с количественной точки зрения, эффект от внедрения ГВК может считаться незначительным, однако, качественно устройство позволяет расширить ОРП МГНБ, повысить количество вариантов эксплуатации МГНБ, и, соответственно, снизить себестоимость проведения работ за счет универсальности применения.

В целях обеспечения чистоты эксперимента и получения доказательной базы эффективности применяемой в расчетах аналитической модели ОТУ МГНБ исключим из перечня исследуемой техники наиболее отклоняющийся из общего ряда образец МГНБ «Б». В таком случае при стандартных значениях девяти показателей ОТУ и условии приоритета максимальной мощности, распределение МГНБ примет вид, показанный на рисунке 2.16, при условии приоритета минимальной мощности – на рисунке 2.17.

Анализируя представленные графики можно сделать следующие выводы:

1. В отсутствие ранее выявленного эталонного образца, занимающего в подавляющей части вариантов лидирующую позицию при различных принятых приоритетах распределения образцов МГНБ по мощности, в большинстве случаев (≈ 160 тыс.) эталонным признается образец МГНБ «Д», являющийся ранее вторым по иерархии эффективности. Данное обстоятельство доказывает высокий ТУ в части конструктивных и режимных параметров МГНБ и обосновывает ценовую политику в ее отношении на рынке.

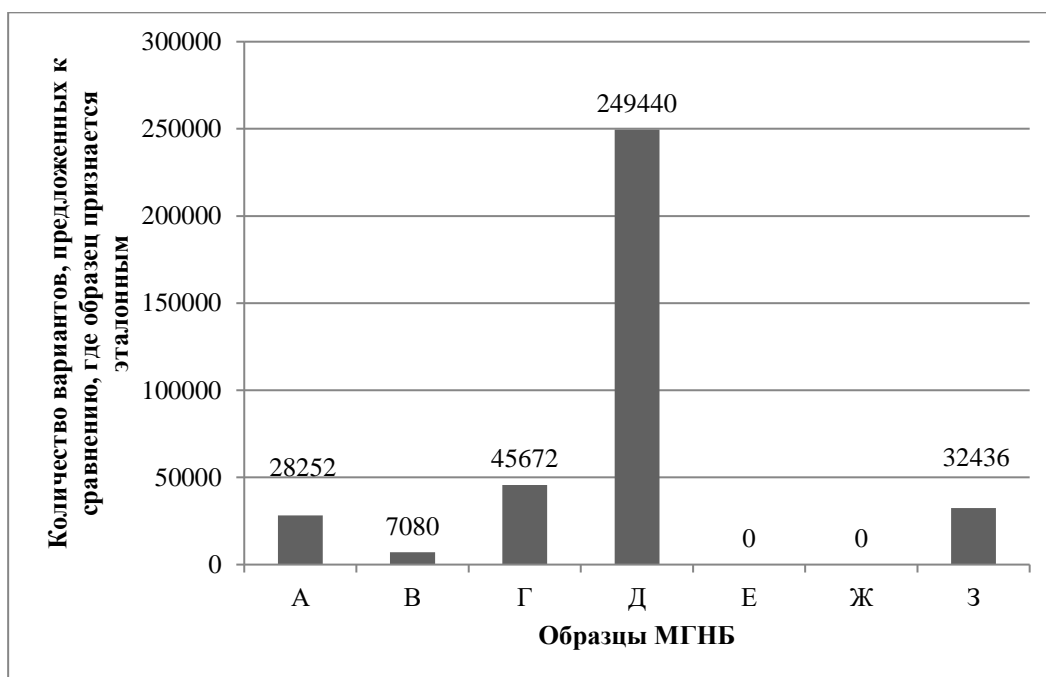


Рисунок 2.16. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9», без учета образца «Б» и установленном приоритете максимальной мощности

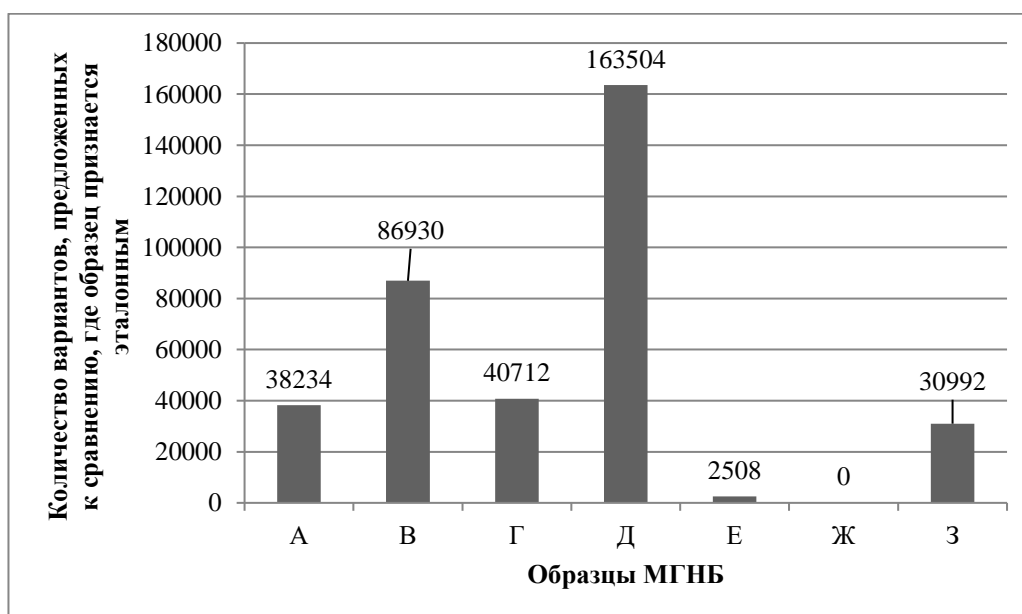


Рисунок 2.17. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9», без учета образца «Б» и установленном приоритете минимальной мощности

2. Образец МГНБ «Ж» также имеет одинаковый результат в обоих случаях распределения приоритета оценки исследуемых образцов техники, не представляясь возможным занять место эталонного образца ни в одной из областей, принадлежащих исследованиям. Данное обстоятельство показывает необходимость развития данного вида техники, применения принципиально новых устройств, повышающих производительность МГНБ и ее конкурентоспособность на рынке.

3. Наибольшая разница в месте расположения в структуре распределения образцов МГНБ в зависимости от установленного приоритета параметра мощности двигателя наблюдается у исследуемой ранее МГНБ «В». В случае установленного приоритета по максимальной мощности число исходов, в которых такая МГНБ признается эталонным образцом, составляет 7 080, по минимальной мощности – 86 930. Таким образом, при прочих равных условиях образец МГНБ «В», взятый за основу исследования, при имеющейся минимальной мощности позволяет выполнять ту же работу, что производят установки с более высокой мощностью. Таким образом, коэффициент полезного действия данной МГНБ значительно выше конкурентных образцов.

4. Рассматриваемые варианты распределения приоритетности параметров «К1 – К9» в зависимости от критерия приоритета максимальной (минимальной) мощности имеют схожее отражение в графическом виде (за исключением исследуемой МГНБ «В»), что говорит о стабильности распределения МГНБ на рынке и в предметной области исследования. В данном случае внесение изменений в конструкцию МГНБ позволит внести изменения в установившуюся иерархию и увеличить ЭЭф одной и/или нескольких МГНБ.

Далее проведен разбор четвертого тезиса на конкретных примерах.

Образец МГНБ «Ж» в исследуемой области значений ни при каких заданных ограничениях и приоритете параметров не становится эталонным образцом. Рассмотрим два варианта повышения эффективности данной МГНБ:

1. Установка внутрь ТИ ГВК, повышающего эффективность работы на 30% за счет увеличения усилия продавливания до 104 кН в условиях приоритета максимальной мощности (рисунок 2.18).

2. Установка внутрь ТИ ГВК, повышающего эффективность работы на 30% за счет увеличения силы продавливания до 104 кН в условиях приоритета минимальной мощности (рисунок 2.19).

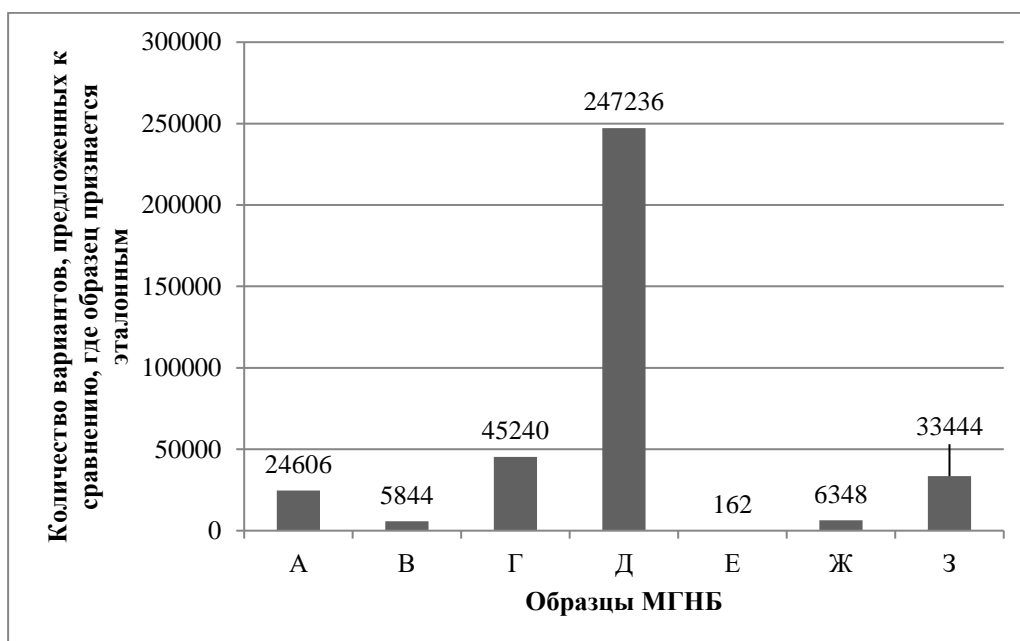


Рисунок 2.18. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9», без учета образца «Б», увеличении исследуемого показателя образца «Ж» и установленном приоритете максимальной мощности

Из графика следует, что установка внутрь ТИ МГНБ ГВК, повышающего усилие продавливания штанги в грунт, позволяет при прочих равных условиях и без использования внешних источников энергии повысить эффективность МГНБ и увеличить позицию техники в рейтинге, а значит, и увеличит ее привлекательность для потребителей рынка техники ГНБ.

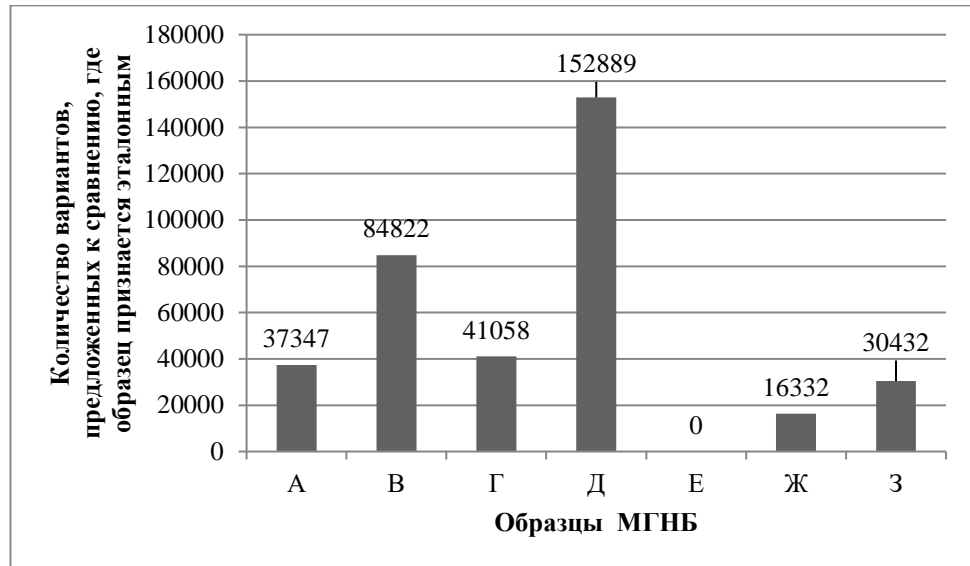


Рисунок 2.19. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9», без учета образца «Б», увеличении исследуемого показателя образца «Ж» и установленном приоритете минимальной мощности

Аналогичным образом отследим положительную динамику повышения эффективности эксплуатации образца МГНБ «Е» при использовании ГВК и увеличении усилия продавливания штанги на 30 % (до 104 кН) (рисунки 2.20 и 2.21).

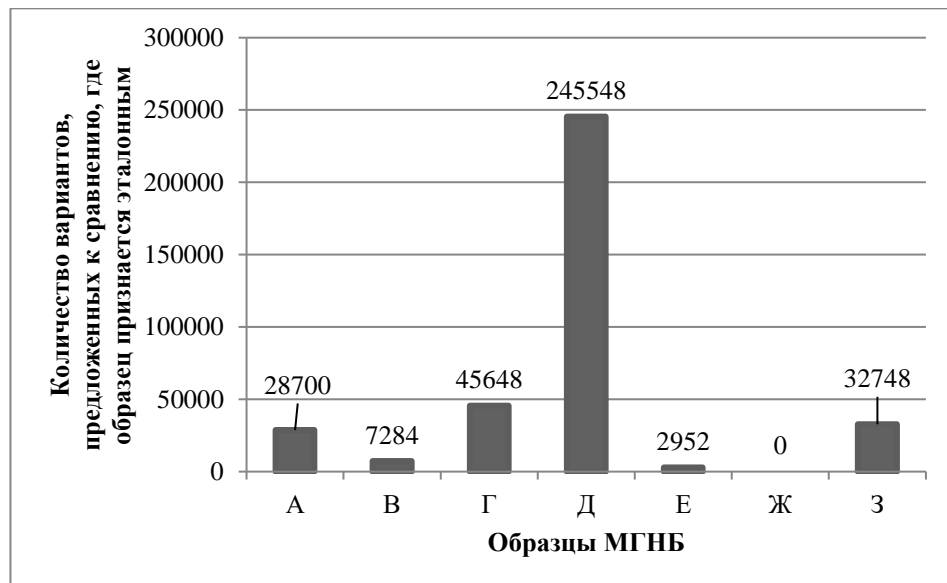


Рисунок 2.20. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах

распределения приоритетности параметров «К1 – К9», без учета образца «Б», увеличении исследуемого показателя образца «Е» и установленном приоритете максимальной мощности

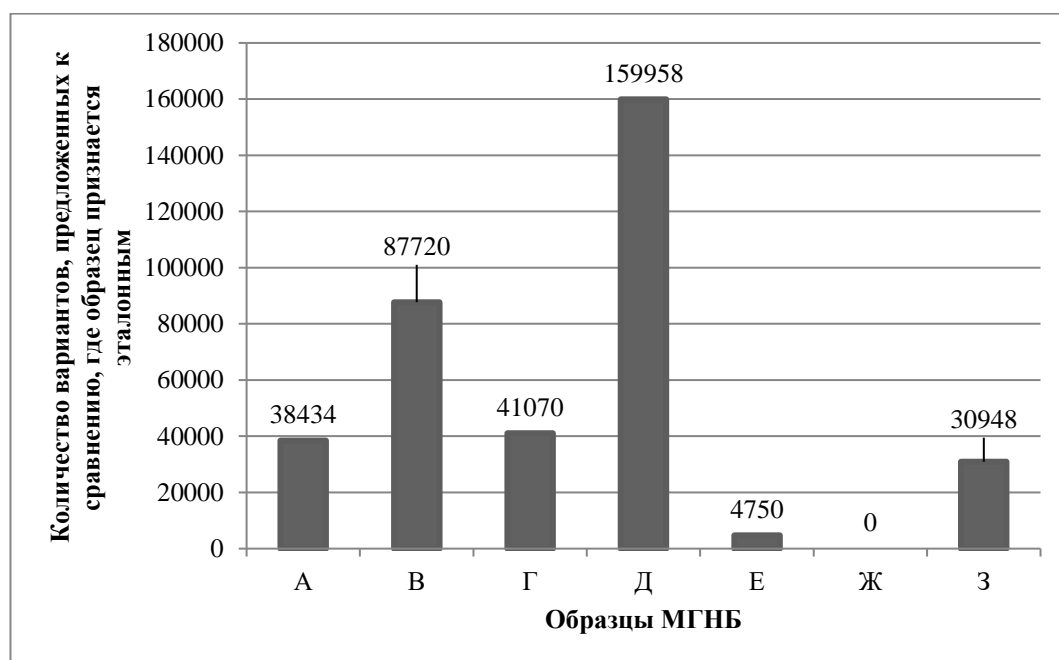


Рисунок 2.21. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9», без учета образца «Б», увеличении исследуемого показателя образца «Е» и установленном приоритете минимальной мощности

Таким образом, можно сделать вывод, что установка ГВК и в отношении образца «Е» доказывает свою эффективность и повышает рейтинг МГНБ в общей доле исследуемых образцов. В количественном эквиваленте рассмотренная зависимость выглядит следующим образом:

- увеличение «К6» на 30 % (104 кН) – 7570 эффективных исходов;
- увеличение «К6» на 20 % (96 кН) – 6312 эффективных исходов;
- увеличение «К6» на 10 % (88 кН) – 5204 эффективных исхода.

Важно отразить положительную динамику роста производительности ранее взятой за основу исследования МГНБ (рисунок 2.22 и 2.23).

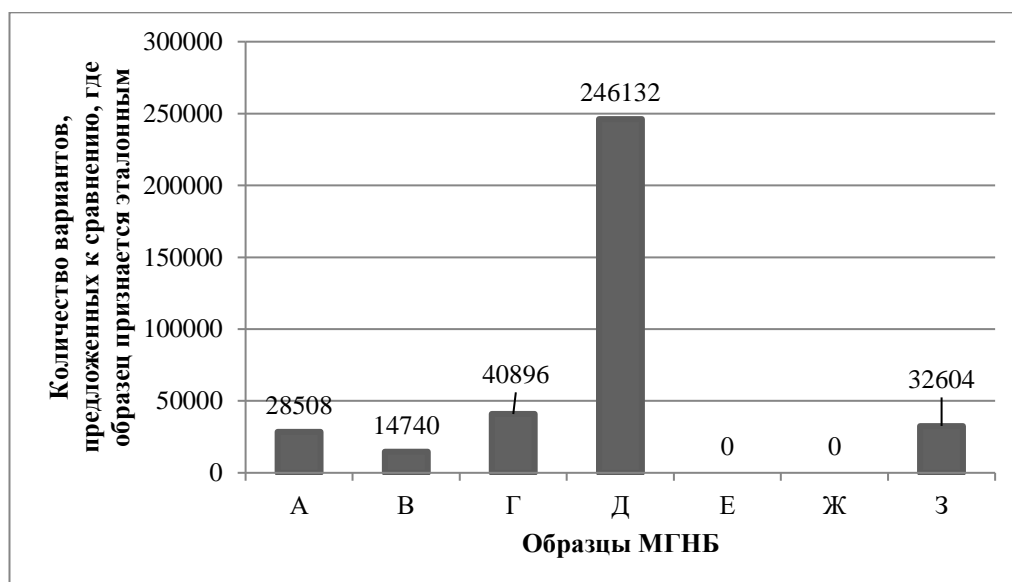


Рисунок 2.22. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9», без учета образца «Б», увеличении исследуемого показателя образца «В» и установленном приоритете максимальной мощности

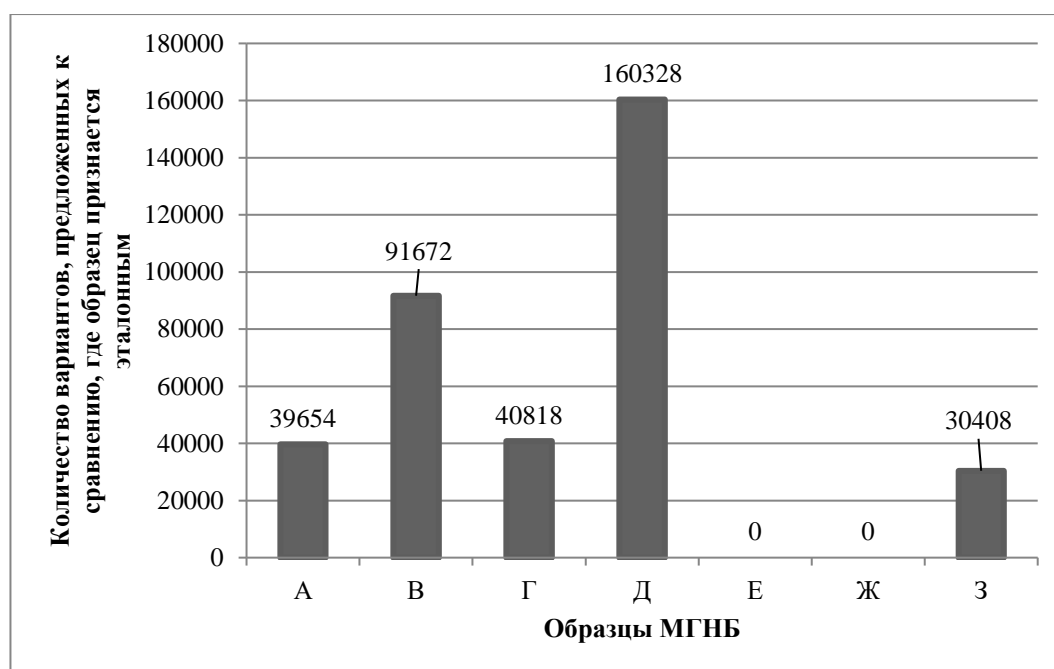


Рисунок 2.23. Иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9», без учета образца «Б», увеличении исследуемого показателя образца «В» и установленном приоритете минимальной мощности

В количественном эквиваленте рассмотренная зависимость выглядит следующим образом:

увеличение «К6» на 30 % (97,5 кН) – 91672 эффективных исхода;

увеличение «К6» на 20 % (90 кН) – 89686 эффективных исходов;

увеличение «К6» на 10 % (82,5 кН) – 88444 эффективных исхода.

Сводный график, отображающий влияние установки ГВК в ТИ МГНБ на эффективность работы машины в целом, приведен на рисунке 2.24.

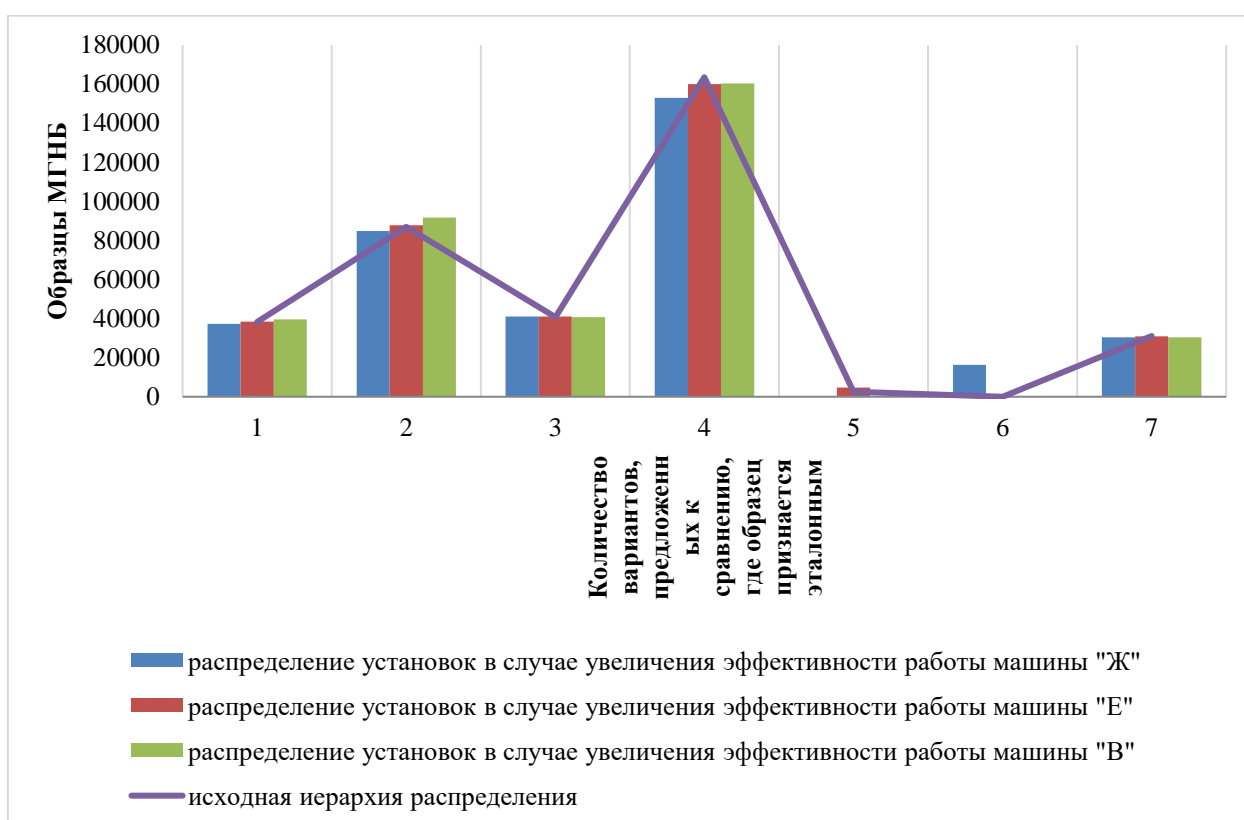


Рисунок 2.24. Сводная иерархия распределения образцов МГНБ по количеству присвоенного им эталонного значения при всех возможных вариантах распределения приоритетности параметров «К1 – К9», без учета образца «Б» и установленном приоритете минимальной мощности

Из представленной графической информации можно сделать следующие выводы:

1. Повышение эффективности одного из образцов техники за счет внесения изменений в конструкцию ТИ оказывает влияние и на общий рейтинг всех представленных образцов в исследуемой совокупности.

2. Наиболее эффективной МГНБ при всех возможных заданных условиях и параметрах приоритета является образец «Д» (в случае исключения из структуры анализа образца МГНБ «Б»).

3. Внедрение в конструкцию ПРИН ГВК, повышающего значение показателя усилия продавливания штанги в грунт при прочих равных параметрах, позволяет повысить рейтинг техники в общем исследуемом объеме установок.

Выведенные закономерности доказывают применимость разработанной аналитической модели ОТУ НТТМ, в частности МГНБ, а также задают направление дальнейшего пути развития техники.

Таким образом, представленный подход к оценке ОТУ МГНБ в заданной системе ограничений позволяет с высокой точностью при всех возможных вариантах распределения приоритетности принятых к анализу параметров определить эталонный образец исследуемой МП, сформировать рейтинг среди всех представленных НТТМ, рассмотреть возможные пути повышения ЭЭф МГНБ за счет изменения одного из показателей (группы показателей) с сопутствующим изменением положения исследуемого образца в общем рейтинге, а также определить ТУ для создания новых высокоэффективных машин путем применения новых технических решений.

2.3.2 Расчет показателя результативности модернизации машины за счет изменения исследуемого параметра оценки технического уровня

Разработанный в рамках диссертационной работы МСА позволяет как оценить существующий уровень развития техники (УРТ), в рамках исследования – техники ГНБ, так и определить направление модернизации МГНБ и дать оценку вводимым нововведениям.

В ходе проверки приоритетность параметра «К3, мощность двигателя» определена по минимальному значению, а параметр «К6, усилие

продавливания» поочередно изменялся у каждой отдельно взятой МГНБ в пределах от 5% до 30% с шагом в 5% при прочих заданных равных условиях. Затем для каждого значения параметра «усилие продавливания» по всем семи (исключен образец МГНБ «Б») анализируемым МГНБ определено среднее значение количества эффективных исходов, в которых машина признается эталонным образцом.

Обозначим показатель, характеризующий величину изменения параметра «Кб, усилие продавливания» – $K_{изм}$. Данный показатель является задаваемой величиной, не требующей расчета.

Посредством определения аналитической моделью числа эффективных исходов, где образец техники признается эталонным, по формуле (2.5) рассчитывается среднее значение показателя значимости:

$$K_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n}, \quad (2.5)$$

где k_i – количество эффективных исходов, в которых образец МГНБ признается эталонным по каждому значению заданного параметра оценки;

n – количество исследуемых образцов МГНБ.

Показатель, характеризующий изменение количества эффективных исходов в зависимости от величины изменения заданного параметра – $K_{мод}$, определяется по формуле (2.6):

$$K_{мод} = \frac{K_{ср}^i * 100\%}{K_{ср}^{исх}}, \quad (2.6)$$

где $K_{ср}^i$ – среднее значение количества эффективных исходов, в которых образец МГНБ признается эталонным по отдельно взятому значению заданного параметра оценки;

$K_{ср}^{исх}$ – среднее значение количества эффективных исходов, в которых образец МГНБ признается эталонным без модификации конструкции.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты расчетов результативности вводимых в конструкцию МГНБ модификаций

Образцы МГНБ							Коэффициенты оценивания		
А	В	Г	Д	Е	Ж	З	К _{изм} , %	К _{ср} , ед.	К _{мод} , %
Число эффективных исходов, ед.									
38034	87182	40802	163362	2508	0	30992	0	51840	0
38842	87878	40952	165690	2560	12	31894	5	52547	1,4
40152	88444	41548	168384	5204	12	32914	10	53808	3,8
41946	88822	41792	170810	5568	1860	33286	15	54869	5,8
43632	89686	42072	173176	6312	2184	34544	20	55944	7,9
45432	90750	42342	175502	6732	2436	34934	25	56875	9,7
47928	91430	42472	179310	7570	16438	35542	30	60099	15,9

Графическое отображение представленных расчетов показано на рисунке 2.25.

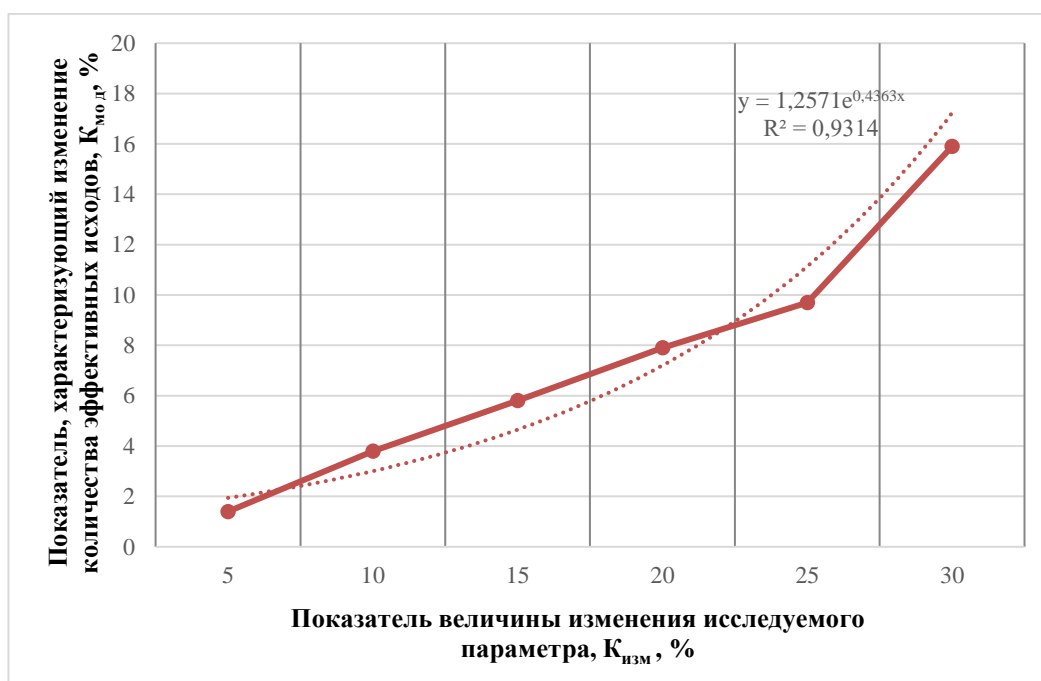


Рисунок 2.25. Зависимость изменения количества эффективных исходов от величины изменения исследуемого параметра «усилие продавливания»

Выявленная зависимость позволила разработать формулу расчета показателя результативности модернизации МГНБ посредством изменения отдельного исследуемого параметра оценки ТУ (K_p) в рамках применения метода сравнительного анализа, принимающую вид (2.7):

$$K_p = \frac{K_{\text{мод}}}{K_{\text{изм}}}, \quad (2.7)$$

где $K_{\text{изм}}$ - показатель величины изменения исследуемого параметра.

Результаты расчетов согласно формуле (2.7) представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Результаты расчета показателя результативности модернизации МГНБ посредством изменения исследуемого параметра «усилие продавливания»

Показатель величины изменения исследуемого параметра, $K_{\text{изм}}$, %	Показатель, характеризующий изменение количества эффективных исходов, $K_{\text{мод}}$, %	Показатель результативности модернизации МГНБ посредством изменения исследуемого параметра, K_p
5	1,4	0,28
10	3,8	0,38
15	5,8	0,39
20	7,9	0,40
25	9,7	0,39
30	15,9	0,53

Графическое отображение представленных расчетов показано на рисунке 2.26.

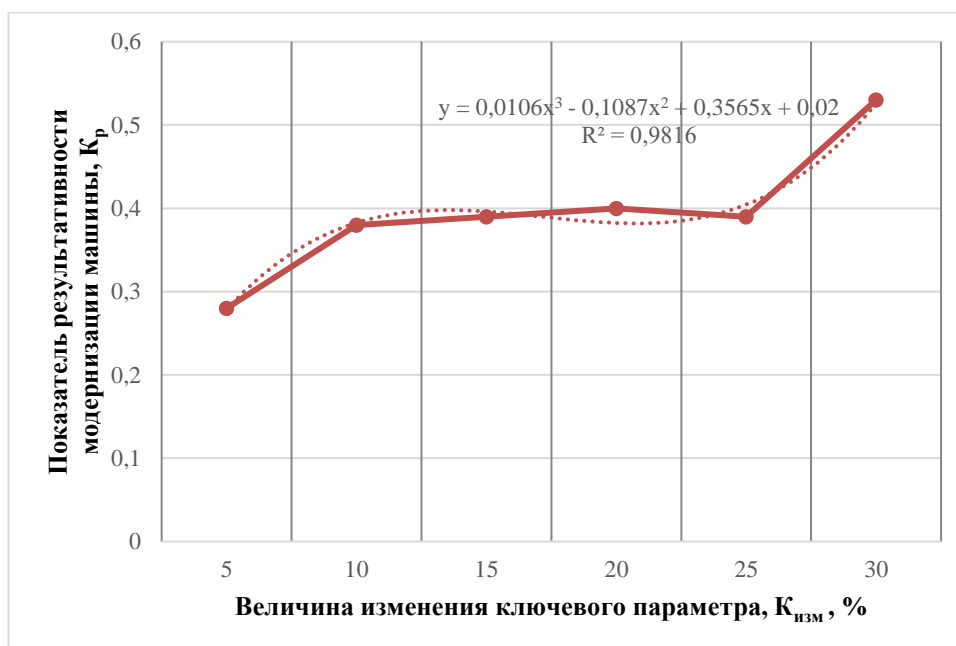


Рисунок 2.26. Зависимость изменения показателя результативности модернизации МГНБ посредством изменения исследуемого параметра «усилие продавливания»

Анализируя представленный графический материал можно сделать следующие выводы:

1. Зафиксирован резкий рост числа эффективных исходов, при которых определенный образец МГНБ признается эталонным, и результативности проведенной модернизации машины в случае увеличения значения исследуемого параметра на 25 % и более процентов.

2. Результативность модернизации техники в случае повышения усилия продавливания в диапазоне от 10% до 25% равнозначна.

3. Учитывая, что применение ГВК позволяет повысить ЭЭФ работы МГНБ до 30% от исходных показателей, использование данного ТИ целесообразно и необходимо в современных условиях производства работ с ПИК.

2.4 Выводы к главе 2

1. В рамках МСА разработана аналитическая модель ОТУ МГНБ, позволяющая провести объективный анализ и исключить субъективный аспект

оценки, присущий МЭО, повысить достоверность результатов расчетов и определить пути повышения ЭЭф МГНБ.

2. Определена зависимость между количеством эффективных вариантов, при которых образец МГНБ признается эталонным в исследуемой совокупности и увеличением одного из параметров оценки (исследуемого (перспективного) параметра).

3. Выявлена результативность модернизации МГНБ за счет изменения исследуемого параметра ОТУ, определен показатель результативности модернизации МГНБ и разработана формула для его расчета.

4. Формула расчета показателя результативности модернизации МГНБ применима для различных типов машин, учтенных в пункте 1 паспорта защищаемой научной специальности ВАК 2.5.11, в рамках заданной совокупности принятых к исследованию параметров.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГЕНЕРАТОРА ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА МАШИНЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

3.1 Построение модели гидродинамического процесса работы генератора вибрационных колебаний машины горизонтально направленного бурения

Применение имитационного моделирования процесса работы ГВК, заключающегося в возбуждении вибрации РП за счет набегания струи рабочей жидкости и последующей передачи полученной вибрации пластины на корпус ГВК, посредством формализации и интерпретации полученных результатов направлено на анализ и подтверждение достоверности выдвигаемых гипотез относительно влияния геометрических и гидравлических параметров ГВК на эффективность его работы и работы МГНБ в целом.

Исследование проводилось относительно четырех образцов ГВК, имеющих в своей конструкции от двух до пяти РП (рисунок 3.1).

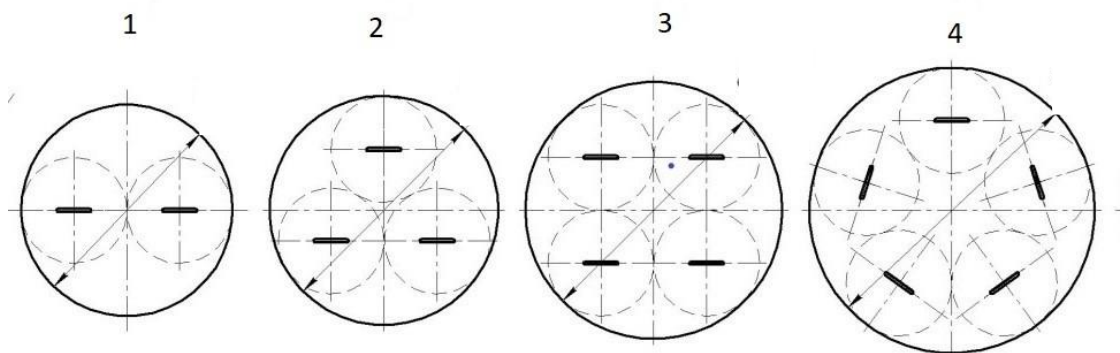


Рисунок 3.1 – Варианты расположения РП ГВК

Помимо заданных геометрических параметров ГВК, в качестве исходных данных учитывался расход рабочей жидкости (воды). Ввиду сложности и объема поставленной задачи в целях поиска закономерности движения РП ГВК в модели рассматривалось движение одной пластины с учетом количества пластин в каждой комбинации.

Процесс моделирования осуществлен в программном комплексе COMSOL Multiphysics, расчетная модель использовала физические интерфейсы (модули) вычислительной гидродинамики и механики твердого тела [81], например, для определения воздействия рабочей жидкости на РП выбрана структура Fluid-Structure Interaction. При исследовании движения потока рабочей жидкости составлены следующие графики (рисунки 3.2 – 3.3).

Построена геометрия камеры ГВК и рассчитываемой РП и определены входные и выходные отверстия для потока рабочей жидкости с соответствующими параметрами движения. Для входного отверстия скорость рассчитывалась по уравнению (3.1):

$$V = 1,5 * Y * \frac{0,41-Y}{\left(\frac{0,41}{2}\right)^2} * Step(t), \quad (3.1)$$

где: Y – установленные значения вертикальной оси;

t – время течения рабочего процесса;

$Step$ – график нарастания давления.

Для дальнейшего определения параметров, характеризующих рабочий процесс ГВК и оказывающих влияние на ЭЭф работы ТИ и МГНБ в целом, что, соответственно определяет ОРП МГНБ, твердое тело разделено на множество конечных элементов и получена сетка твердого тела (рисунок 3.4).

Заключительным шагом определено время потока течения рабочей жидкости (от 0 с до 5 с) с шагом 0,05 с.

Задав полный комплекс необходимых для расчета рабочего процесса ГВК условия, найдены решения, определяющие скорость потока рабочей жидкости, набегающей на торец РП, в зависимости от конфигурации ГВК, а также оценивающие прикладываемые на торец РП напряжения, показывающие способность РП противостоять разрушению от набегания струи рабочей жидкости (рисунки 3.5 – 3.8).

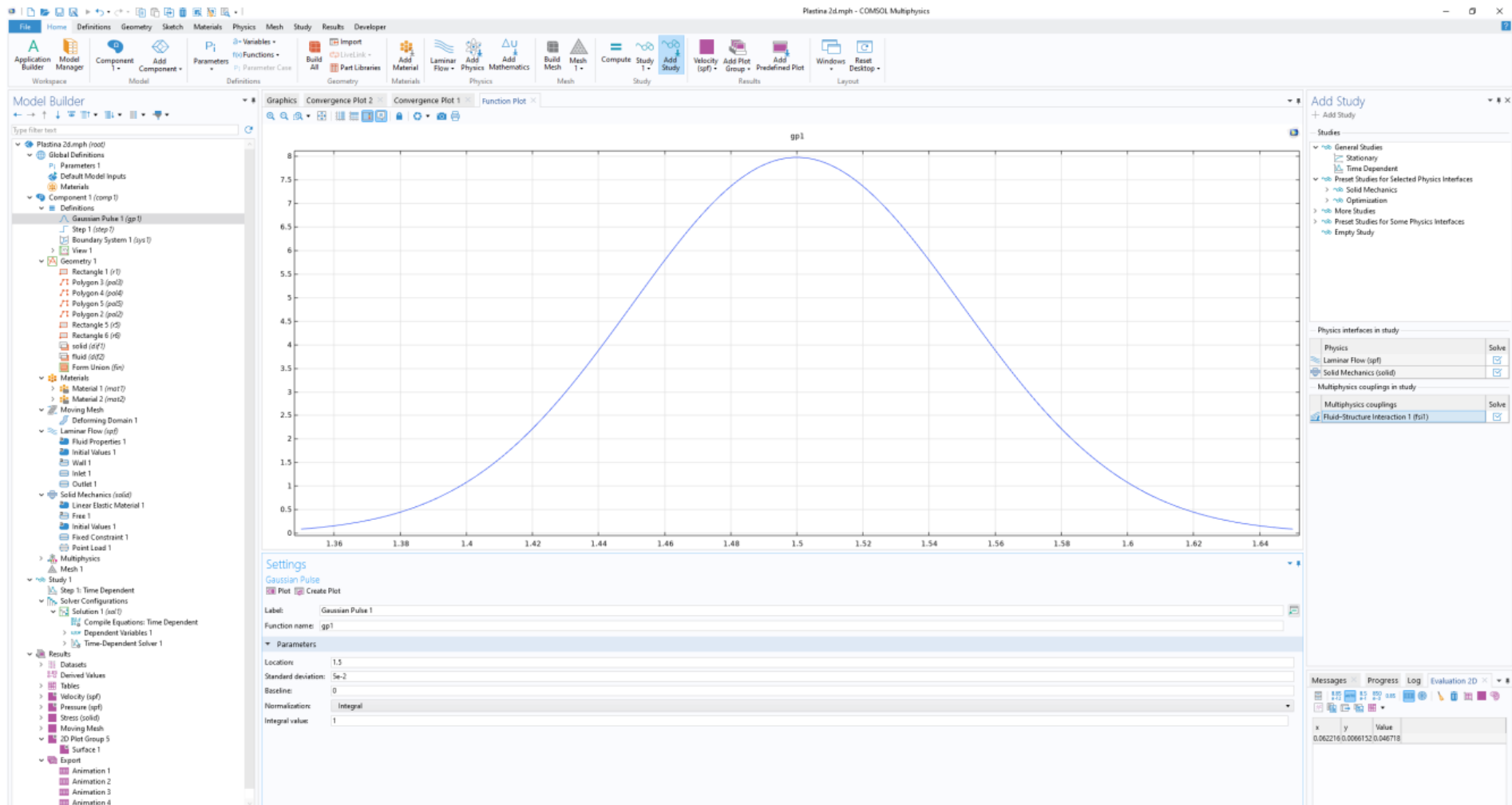


Рисунок.3.2. Исследование рабочего процесса ГВК посредством функции Gaussian Pulse

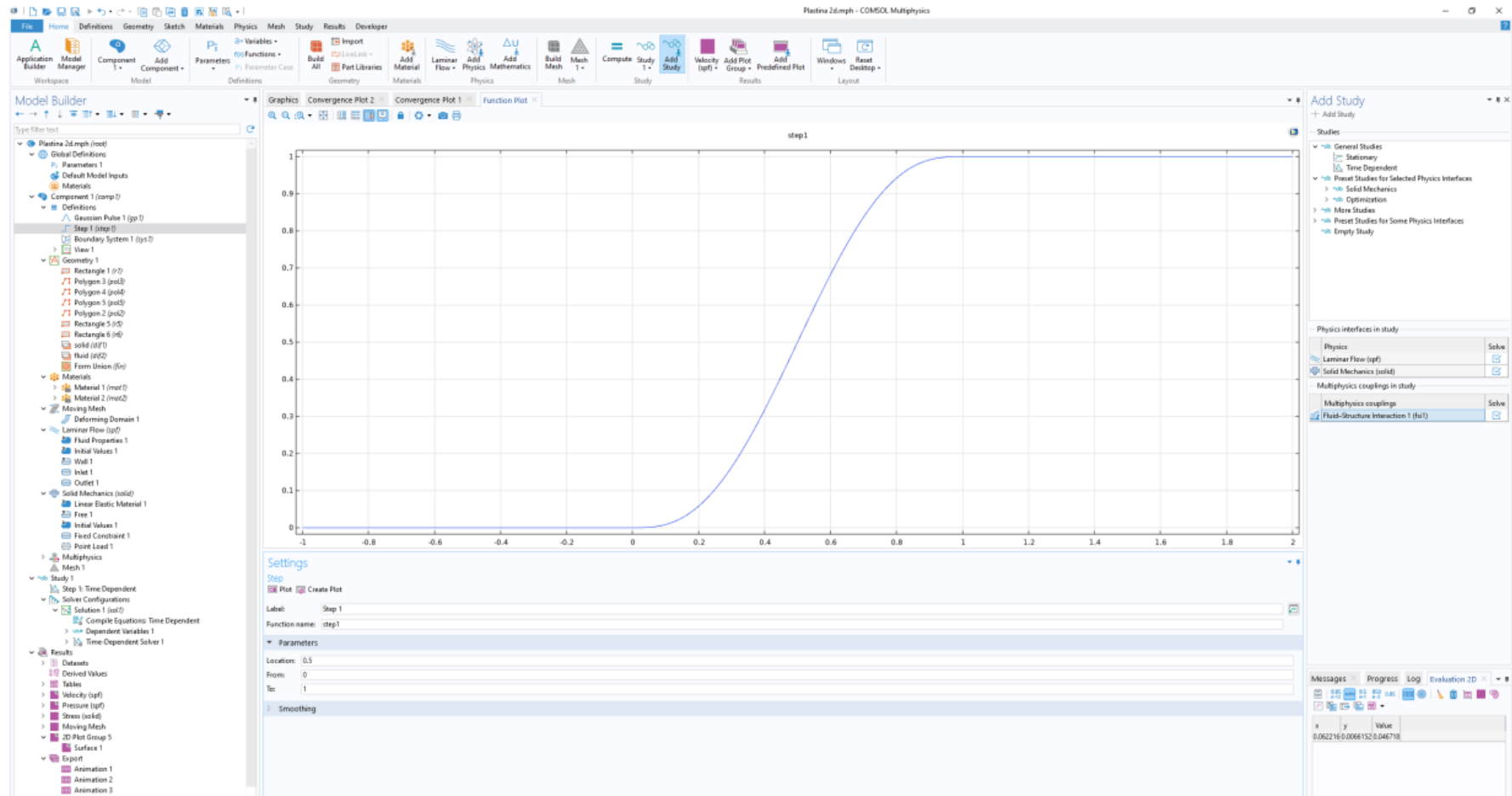


Рисунок.3.3. Последовательные шаги (step) исследования рабочего процесса ГВК (нарастание давления)

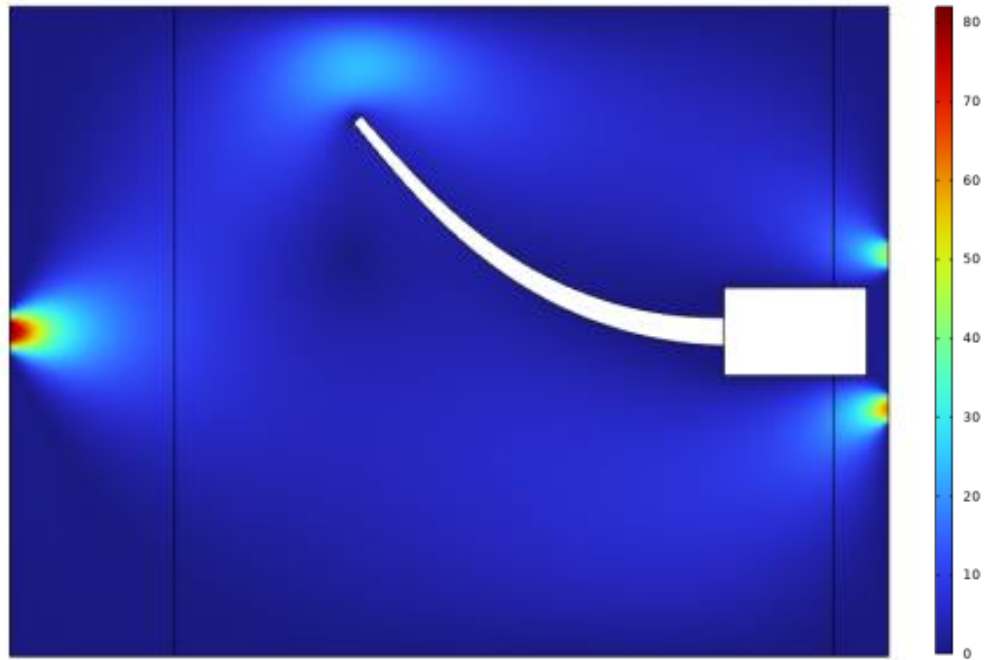


Рисунок 3.5. Отклонение РП и скорости подачи потока рабочей жидкости (м/с) в камере в максимальный момент нагрузки

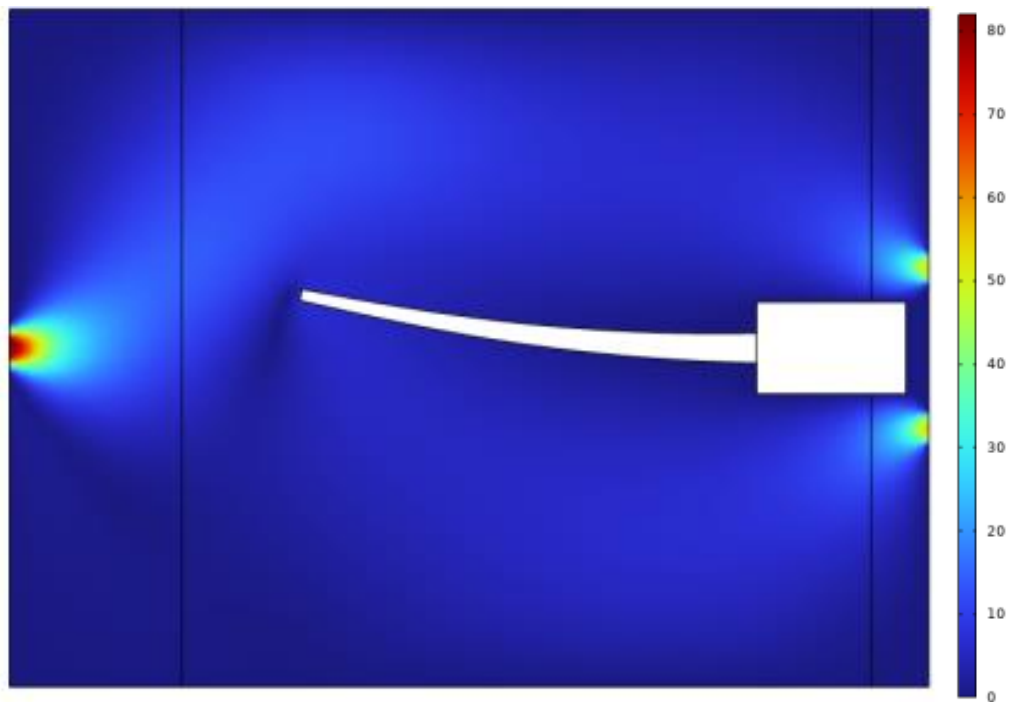


Рисунок 3.6. Отклонение РП и скорости подачи потока рабочей жидкости (м/с) в камере в номинальный момент нагрузки

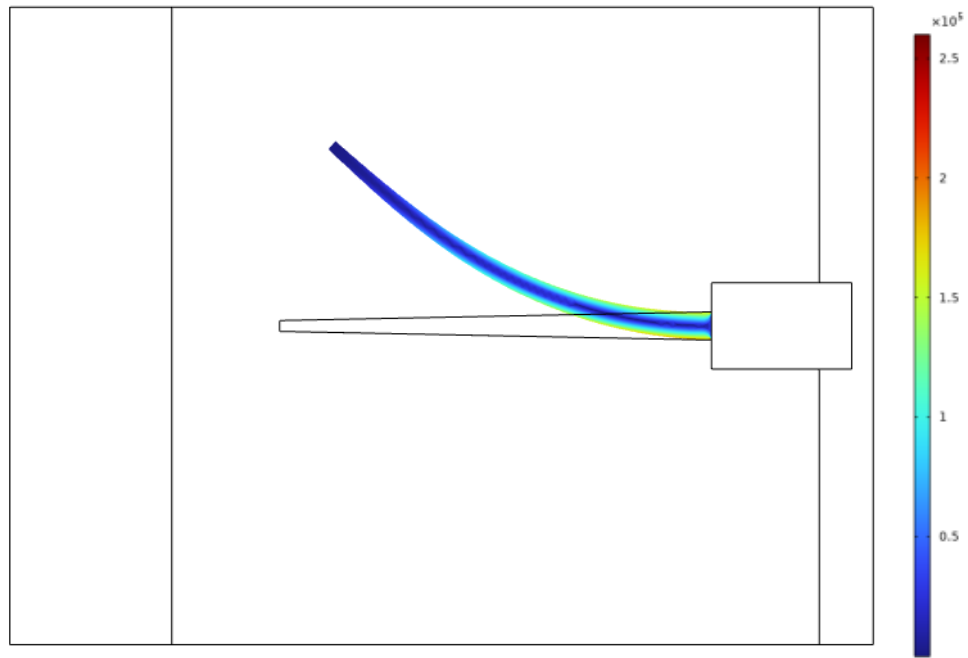


Рисунок 3.7. Напряжения, действующие на РП в момент максимальной нагрузки

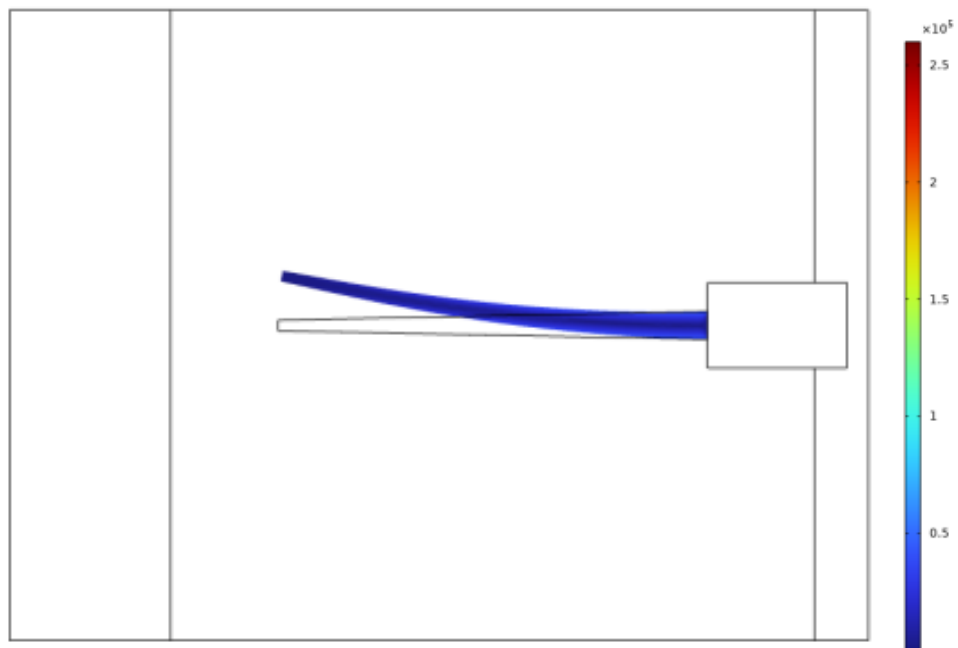


Рисунок 3.8. Напряжения, действующие на РП в момент номинальной нагрузки

Моделирование рабочего процесса ГВК позволило определить теоретический механизм течения рабочего процесса ГВК для дальнейшего проведения экспериментальных исследований опытного образца ГВК, скорость потока рабочей жидкости, составляющую от 15 м/с до 79 м/с в зависимости от

конфигурации ГВК, а также провести оценку прикладываемых на торец РП напряжений и установить способность РП противостоять разрушению от набегания струи рабочей жидкости.

3.2 Определение влияния конструктивных параметров генератора вибрационных колебаний и характеристик рабочей среды на показатели работы машины горизонтально направленного бурения

В целях проведения натурального эксперимента спроектирован и изготовлен опытный образец ГВК, принципиальные схемы основных составляющих которого приведены в Приложении Б.

Натурная составляющая рабочего процесса ГВК, моделируемая в разделе 3.1 настоящей диссертационной работы, представляющая собой колебания РП при подаче водного раствора из СФН, показана на рисунке 3.9.

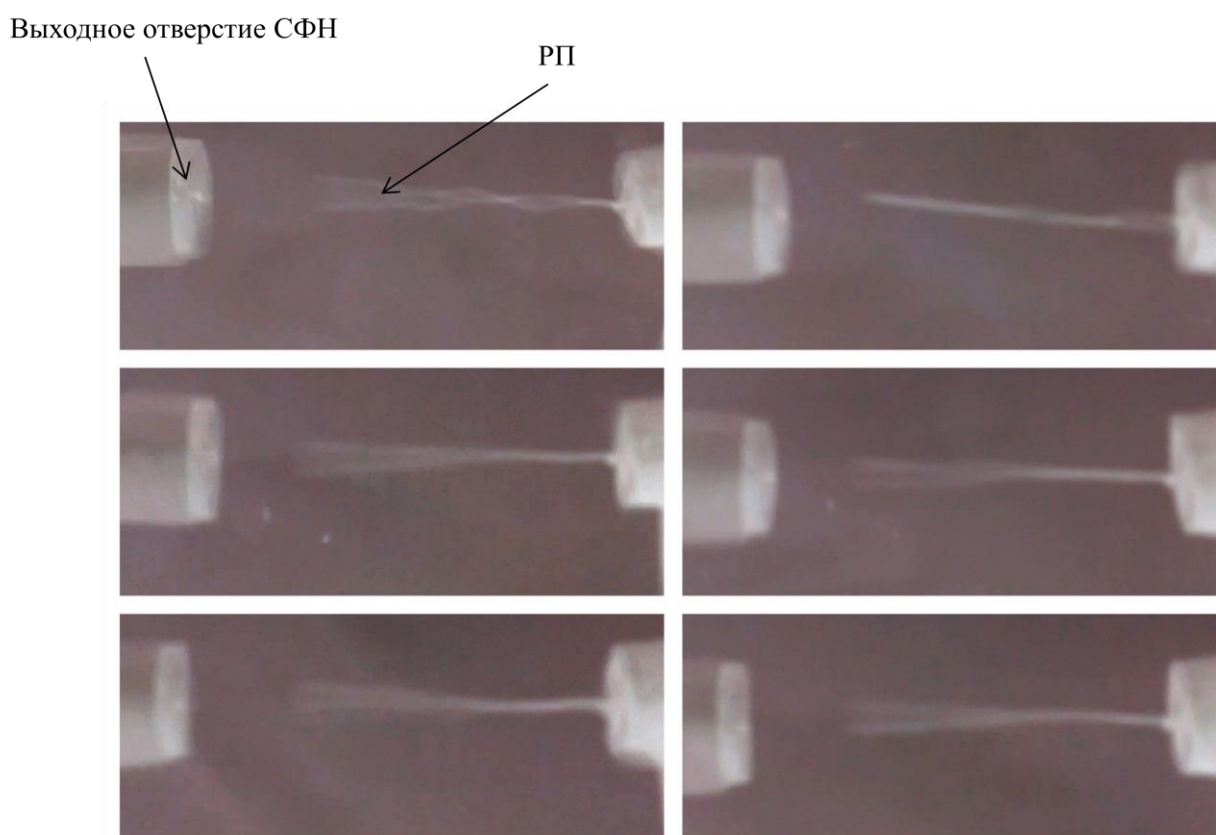


Рисунок 3.9. Рабочий процесс ГВК, зафиксированный в рамках проведения экспериментальных исследований

Как было указано ранее, оснащение ТИ МГНБ ГВК оказывает существенное влияние на основополагающий исследуемый параметр работы МГНБ – усилие продавливания.

Таким образом, проведен эксперимент [82-86] по выявлению взаимосвязи между характеристиками рабочей среды (сопротивляемость массива уплотнению, $(кПа)$) и рабочего процесса (площадь поперечного сечения ПИЛС $(м^2)$), а также влияния ГВК (скорость потока рабочей жидкости $(м/с)$) на изменение исследуемого параметра.

При проведении стендовых испытаний гидросистема МГНБ работала в режиме установленной постоянной скорости [88, 89], что позволило изменять усилие продавливания и выявить закономерность течения рабочего процесса (рисунки 3.10 – 3.11).

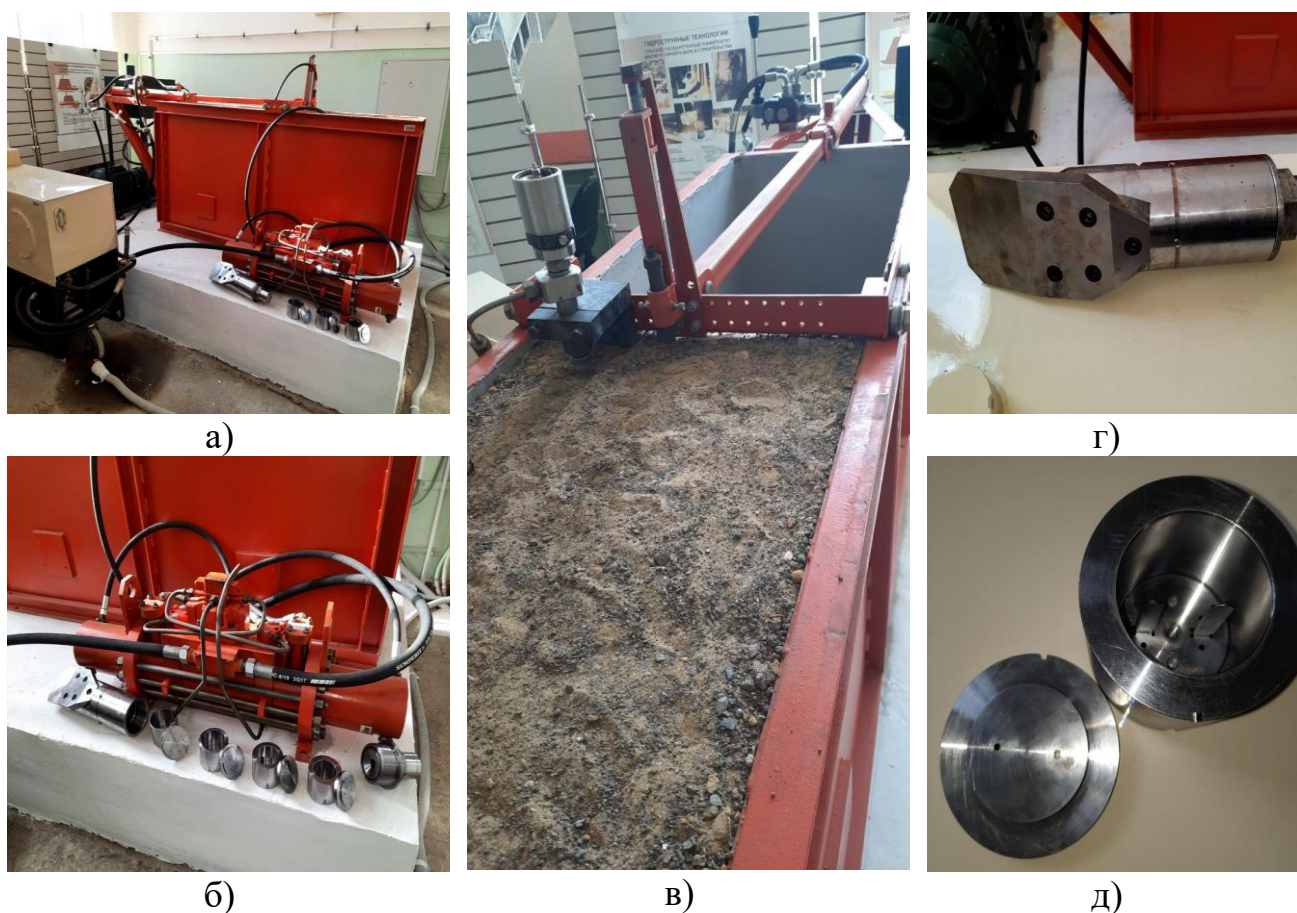


Рисунок 3.10. Фотоматериал проведенных экспериментальных исследований:

а-в – испытательный стенд, г – ТИ,

д – ГВК

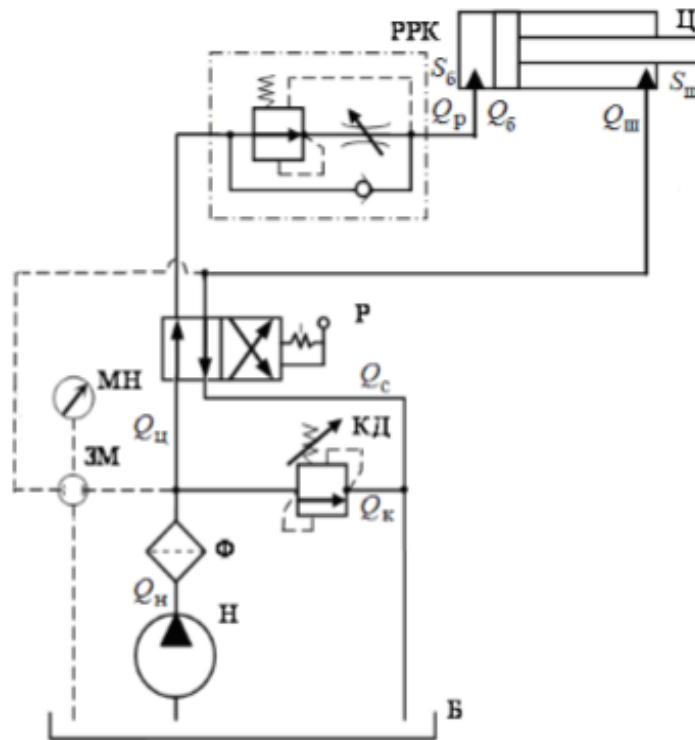


Рисунок 3.11 Гидравлическая схема регулирования скорости в одном направлении регулятором расхода на входе (КД – клапан давления, Б – бак, Н – насос, Ц – гидроцилиндр, Ф – фильтр, ЗМ – гидрозамок, Р – распределитель, РПК - регулятор расхода с обратным клапаном, МН – манометр, Q – расход)

Уравнение, описывающее выявленную зависимость, определено по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ) 2^3 [25, 90-92, 94, 105].

Так, структурируя и кодируя факторы, оказывающие влияние на усилие продавливания P_n , отмечен следующий порядок:

z_1 – сопротивляемость массива уплотнению, (кПа), $z_1^- = 180$, $z_1^+ = 540$;

z_2 – скорость потока рабочей жидкости (м/с), $z_2^- = 15$, $z_2^+ = 79$;

z_3 – площадь поперечного сечения ПИЛС (m^2), $z_3^- = 0,001$, $z_3^+ = 0,008$.

Каждый опыт эксперимента был проведен трижды, результаты приведены таблице 3.1

Кодирование факторов для ПФЭ проводится путем определения центра, интервала варьирования и зависимости кодированной переменной x_i от натуральной переменной z_i (таблица 3.2).

Таблица 3.1 – Матрица планирования ПФЭ в рамках исследования усилия продавливания

№ эксперимента	Изучаемые факторы			Результаты опытов (P_n)		
	z_1	z_2	z_3	y_1	y_2	y_3
1	+	+	+	343,35	340,47	344,15
2	–	+	+	420,30	418,37	418,69
3	+	–	+	67,67	69,02	68,67
4	–	–	+	83,67	82,40	84,63
5	+	+	–	274,68	275,14	275,69
6	–	+	–	332,12	334,69	334,80
7	+	–	–	64,64	65,03	65,63
8	–	–	–	80,02	79,41	79,78

Таблица 3.2 – Процесс кодирования факторов

Факторы	Верхний уровень z_i^+	Нижний уровень z_i^-	Центр z_i^0	Интервал варьирования λ_i	Зависимость кодированной переменной от натуральной
z_1	540	180	360	180	$x_1 = \frac{z_1 - 360}{180}$
z_2	79	15	47	32	$x_2 = \frac{z_2 - 47}{32}$
z_3	0,008	0,001	0,0045	0,0035	$x_3 = \frac{z_3 - 0,0045}{0,0035}$

По формуле (3.2) рассчитываются средние выборочные результатов (СВР) каждого эксперимента:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_{ij}, j = \overline{1, n}, \quad (3.2)$$

Пример расчета СВР 1-го опыта по исследованию параметров, оказывающих влияние на усилие продавливания:

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{3} (343,35 + 340,47 + 344,15) = 342,66;$$

Затем формируется матрица планирования ПФЭ с учетом взаимодействий факторов и средних значений опытов (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Матрица планирования эксперимента для дальнейшей обработки результатов ПФЭ

№ экс-та	Факторы			Взаимодействия факторов				Результаты опытов			СВР
	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_j
1	+	+	+	+	+	+	+	343,35	340,47	344,15	342,66
2	-	+	+	-	-	+	-	420,30	418,37	418,69	419,13
3	+	-	+	-	+	-	-	67,67	69,02	68,67	68,45
4	-	-	+	+	-	-	+	83,67	82,40	84,63	83,57
5	+	+	-	+	-	-	-	274,68	275,14	275,69	275,17
6	-	+	-	-	+	-	+	332,12	334,69	334,80	333,87
7	+	-	-	-	-	+	+	64,64	65,03	65,63	65,10
8	-	-	-	+	+	+	-	80,02	79,41	79,78	79,74

Затем вычисляются коэффициенты уравнения регрессии (КУР) по комплексу формул (3.3), значения вносятся в таблицу 3.4:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{y}_j, \quad b_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ji} \bar{y}_j, \quad i = \overline{1, k}, \quad b_{r,p} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{jr} x_{jp} \bar{y}_j, \quad r < p, \quad r = \overline{1, k}, \quad p = \overline{1, k}. \quad (3.3)$$

Примеры расчетов по формуле (3.3) приведены ниже:

$$b_0 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 \bar{y}_j = \frac{1}{8} (342,66 + 419,13 + 68,45 + 83,57 + 275,17 + 333,87 + 65,10 + 79,74) \approx 208,46$$

$$b_1 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j1} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (342,66 + 419,13 * (-1) + 68,45 + 83,57 * (-1) + 275,17 + 333,87 * (-1) + 65,10 + 79,74 * (-1)) \approx -20,67$$

$$b_2 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j2} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (342,66 + 419,13 + 68,45 * (-1) + 83,57 * (-1) + 275,17 + 333,87 + 65,10 * (-1) + 79,74 * (-1)) \approx 134,25$$

$$b_3 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j3} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (342,66 + 419,13 + 68,45 + 83,57 + 275,17 * (-1) + 333,87 * (-1) + 65,10 * (-1) + 79,74 * (-1)) \approx 19,99$$

$$b_{1,2} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j1} x_{j2} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (342,66 + 419,13 * (-1) + 68,45 * (-1) + 83,57 + 275,17 + 333,87 * (-1) + 65,10 * (-1) + 79,74) \approx -13,18$$

$$b_{1,3} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j1} x_{j3} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (342,66 + 419,13 * (-1) + 68,45 + 83,57 * (-1) + 275,17 * (-1) + 333,87 + 65,10 * (-1) + 79,74) \approx -2,28$$

$$b_{2,3} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j2} x_{j3} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (342,66 + 419,13 + 68,45 * (-1) + 83,57 * (-1) + 275,17 * (-1) + 333,87 * (-1) + 65,10 + 79,74) \approx 18,20$$

$$b_{1,2,3} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j1} x_{j2} x_{j3} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (342,66 + 419,13 * (-1) + 68,45 * (-1) + 83,57 + 275,17 * (-1) + 333,87 + 65,10 + 79,74 * (-1)) \approx -2,16.$$

Таблица 3.4 – Расчетные значения КУР

b_0	b_1	b_2	b_3	$b_{1,2}$	$b_{1,3}$	$b_{2,3}$	$b_{1,2,3}$
208,46	-20,67	134,25	19,99	-13,18	-2,28	18,20	-2,16

Определение дисперсии воспроизводимости (ДВП) $S_{\{y\}}^2$ проводится по следующему сценарию (3.4):

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{1}{n \cdot (m-1)} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_j)^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_j)^2 \right) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n S_j^2, \quad (3.4)$$

где внутренние суммы S_j^2 являются выборочными дисперсиями (ВБРД) результатов опытов для j -го эксперимента ($j=1, \dots, n$) (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Расчеты ВБРД

j	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_j	$(y_{j1} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j2} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j3} - \bar{y}_j)^2$	S_j^2
1	343,35	340,47	344,15	342,66	0,4761	4,7961	2,2201	7,4923
2	420,30	418,37	418,69	419,13	1,3689	0,5776	0,1936	2,1401
3	67,67	69,02	68,67	68,45	0,6084	0,3249	0,0484	0,9817
4	83,67	82,40	84,63	83,57	0,01	1,3689	1,1236	2,5025
5	274,68	275,14	275,69	275,17	0,2401	0,0009	0,2704	0,5114
6	332,12	334,69	334,80	333,87	3,4969	0,6724	0,8649	5,0342
7	64,64	65,03	65,63	65,10	0,2116	0,0049	0,2809	0,4974
8	80,02	79,41	79,78	79,74	0,0784	0,1369	0,0016	0,2169

Проводится расчет ДВП и среднего квадратического отклонения (СКО) на основе суммирования ВБРД:

$$\sum_{j=1}^8 S_j^2 = 19,3765$$

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 S_j^2 = \frac{1}{8} \cdot 19,3765 = 2,4221.$$

$$S_{\text{коэф.}} = \sqrt{\frac{S_{\{y\}}^2}{n \cdot m}} \approx \sqrt{\frac{2,4221}{8 \cdot 3}} \approx 1,3177.$$

Из таблиц распределения Стьюдента по числу степеней свободы при уровне значимости $\alpha = 0,05$ определяется $t_{кр.} = 2,12$. Аким образом, $t_{кр.} \cdot S_{\text{коэф.}} = 2,12 \cdot 1,3177 \approx 2,79$.

Проводя сравнительную оценку полученного значения (2,79) с КУР, указанными в таблице 3.4, отметим, что все коэффициенты, превышающие по абсолютной величине полученное значение 2,79 – значимы.

Тогда уравнение в кодированных переменных выглядит следующим образом:

$$Y = 208,46 - 20,67x_1 + 134,25x_2 + 19,99x_3 - 13,18x_1x_2 + 18,20x_2x_3 \quad (3.5)$$

Проверка уравнения (3.5) на адекватность по критерию Фишера проводится посредством вычисления остаточной дисперсии (ОСТД) $S^2_{ост.}$ по значениям исследуемого параметра по полученному уравнению регрессии (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Результаты расчетов изучаемого параметра по уравнению регрессии

\tilde{y}_1	\tilde{y}_2	\tilde{y}_3	\tilde{y}_4	\tilde{y}_5	\tilde{y}_6	\tilde{y}_7	\tilde{y}_8
343,84	417,94	68,51	83,49	273,99	335,06	64,93	79,84

ОСТД $S^2_{ост.}$ рассчитывается по формуле (3.6):

$$S^2_{ост.} = \frac{m}{n-r} \sum_{j=1}^n (\tilde{y}_j - \bar{y}_j)^2, \quad (3.6)$$

где n – количество проведенных экспериментов;

m – количество опытов в каждом эксперименте;

r – число значимых КУР;

\tilde{y}_j – значение исследуемого параметра, вычисленное по уравнению (3.5) со значимыми КУР для j -ого эксперимента;

\bar{y}_j – СВР наблюдений для j -ого эксперимента.

Таким образом, ОСТД:

$$S^2_{ост.} = \frac{3}{8-6} \sum_{j=1}^8 (\tilde{y}_j - \bar{y}_j)^2 = 1,5 \cdot [(343,84 - 342,66)^2 + (417,94 - 419,13)^2 + (68,51 - 68,45)^2 + (83,49 - 83,57)^2 + (273,99 - 275,17)^2 + (335,06 - 333,87)^2 + (64,93 - 65,10)^2 + (79,84 - 79,74)^2] = 7,1699$$

Расчетное значение критерия Фишера $F_{расч.}$ заключено в формуле (3.7):

$$F_{расч.} = \frac{S_{ост.}^2}{S_{\{y\}}^2} = \frac{7,1699}{2,4221} \approx 2,97, \quad (3.7)$$

Табличное значение критерия Фишера $F_{табл.}$ из таблиц критических точек распределения Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$ по соответствующим степеням свободы $k_1 = 2$ и $k_2 = 16$ составляет $F_{табл.} = 3,63$.

Так как $F_{расч.} = 2,97 < F_{табл.} = 3,63$, уравнение регрессии (3.5) адекватно.

Интерпретирование уравнения (3.5) с заменой кодированных переменных позволяет получить следующий промежуточный вид данного уравнения:

$$y = 208,46 - 20,67 \cdot \frac{z_1 - 360}{180} + 134,25 \cdot \frac{z_2 - 47}{32} + 19,99 \cdot \frac{z_3 - 0,0045}{0,0035} - 13,18 \cdot \frac{z_1 - 360}{180} \cdot \frac{z_2 - 47}{32} + 18,20 \cdot \frac{z_2 - 47}{32} \cdot \frac{z_3 - 0,0045}{0,0035}.$$

Путем проведения расчетов и преобразований уравнение (3.5) выглядит следующим образом:

$$y = 60,83 - 0,007z_1 + 5,02z_2 - 1925z_3 - 0,002z_1z_2 + 162,49z_2z_3, \quad (3.8)$$

Внешний вид уравнения отражает наиболее сильное влияние на общий результат такого параметра, как площадь поперечного сечения ПИЛС (z_3), имеющего наибольший по абсолютной величине коэффициент.

Далее по мере убывания следуют:

z_2z_3 – сочетание скорости потока рабочей жидкости и площади поперечного сечения ПИЛС;

z_2 – скорость потока рабочей жидкости.

Минимальное влияние оказывают:

z_1 – сопротивляемость массива уплотнению;

z_1z_2 – сочетание сопротивляемости массива уплотнению и скорости потока рабочей жидкости.

Положительные коэффициенты уравнения указывают на прямую зависимость от их увеличения на возрастание искомого параметра,

отрицательные коэффициенты, наоборот, с увеличением снижают величину ключевого параметра.

Уравнение (3.8) в натуральном виде с указанием факторов влияния выглядит следующим образом:

$$P = 60,83 - 0,007\delta + 5,02 V_{жс} - 1925S - 0,002\delta V_{жс} + 162,49 V_{жс} S, \quad (3.9)$$

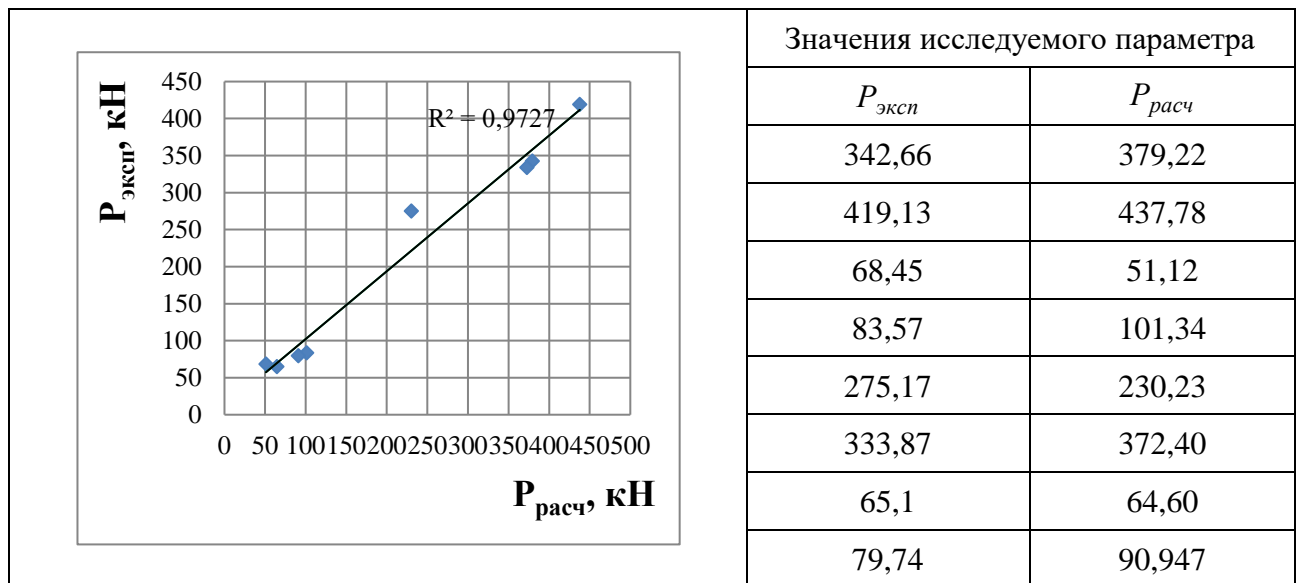
где δ – сопротивляемость массива уплотнению, (кПа);

$V_{жс}$ – скорость потока рабочей жидкости (м/с);

S – площадь поперечного сечения ПИЛС (м²).

Расчетные значения усилия продавливания по уравнению (3.9) приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Сопоставление значений усилия продавливания P , полученных экспериментальным ($P_{эксн}$) и расчетным ($P_{расч}$) путями



Для подтверждения сходимости расчетных и экспериментальных данных, показанных в таблице 3.7, был рассчитан индекс корреляции, который для выражения (3.9) равен $R = 0,97$, а критерий Фишера $F = 2,97$. Указанные значения свидетельствуют об адекватности выведенной зависимости и высоком уровне сходимости данных [25].

3.3. Установление влияния генератора вибрационных колебаний на выбор машины горизонтально направленного бурения

Возможность увеличения исследуемого (перспективного) параметра оказывает существенное влияние на ТУ МГНБ и ее положение в совокупности принятой к сравнению техники ГНБ. Ранее во II главе настоящей диссертационной работы рассмотрены различные варианты распределения МГНБ в случае присвоения критерия максимизации (минимизации) одного или нескольких параметров оценки и увеличения в диапазоне от 5% до 30% исследуемого параметра (усилие продавливания) различных образцов МГНБ, а также графически отражены представленные результаты анализа вероятных эффективных исходов событий.

По итогам экспериментального исследования определена и доказана зависимость между перспективным параметром (усилием продавливания) и характеристиками рабочей среды и рабочего процесса, согласно которым наибольшее влияние на указанный исследуемый параметр оказывает площадь сечения ПИЛС. При этом отрицательный коэффициент перед данным параметром свидетельствует о снижении силового воздействия ТИ в процессе бурения ввиду возрастания сил трения и сопротивления массива, возрастающих с увеличением диаметра ПИЛС.

Таким образом, еще одним важным параметром, принятым к оценке в рамках аналитической модели МСА, является параметр «K2 – диаметр штанги, мм». В настоящее время данный показатель между восемью образцами исследуемой МП варьируется в диапазоне от 60 до 100 мм.

Учитывая изложенное, можно сделать вывод о том, что более эффективной и предпочтительной к выбору с точки зрения потребительской способности будет признана та МГНБ, которая обеспечивает проходку более широкой ПИЛС, затрачивая на работу меньшее по величине усилие продавливания и используя меньшие мощностные возможности.

Так, например, образец МГНБ «З» при усилии продавливания, равном 76 кН, способен обеспечить прокладку трубопровода диаметром 100 мм. В то же время образец МГНБ «Б», признанный в большинстве вариантов распределения приоритетности параметров эталонным образцом, на прохождение ПИЛС диаметром 76 мм прикладывает усилие продавливания равное 87 кН. При этом мощность образца МГНБ «Б» в 1,5 раза превосходит мощность МГНБ «З».

Отсюда можно сделать вывод, во-первых, что одним из вариантов выбора эталонного образца техники может быть признан образец, обладающий меньшей мощностью и усилием продавливания, одновременно обеспечивающим проходку ПИЛС большего диаметра по сравнению с МГНБ, обладающими более высокими мощностными характеристиками, но меньшим диаметром бурения, во-вторых, применение в конструкции МГНБ ГВК, за счет преобразования энергии потока рабочей жидкости в полезную мощность, позволит расширить ОРП МГНБ и обеспечит прокладку трубопровода большего сечения.

Важно отметить, что согласно данным Польшмана и Яновского, потребляемая ГВК мощность определяется по формуле (3.10) [71-73, 79-80]:

$$W = 981 \cdot 10^{-4} p Q, \quad (3.10)$$

где p – усилие продавливания;

Q – объем промывочной жидкости, поступающей из СФН на торец РП.

Тогда по результатам ОТУ МГНБ, проведенной с помощью аналитической модели, используемой в МСА, распределение техники ГНБ выглядит следующим образом (рисунок 3.12).

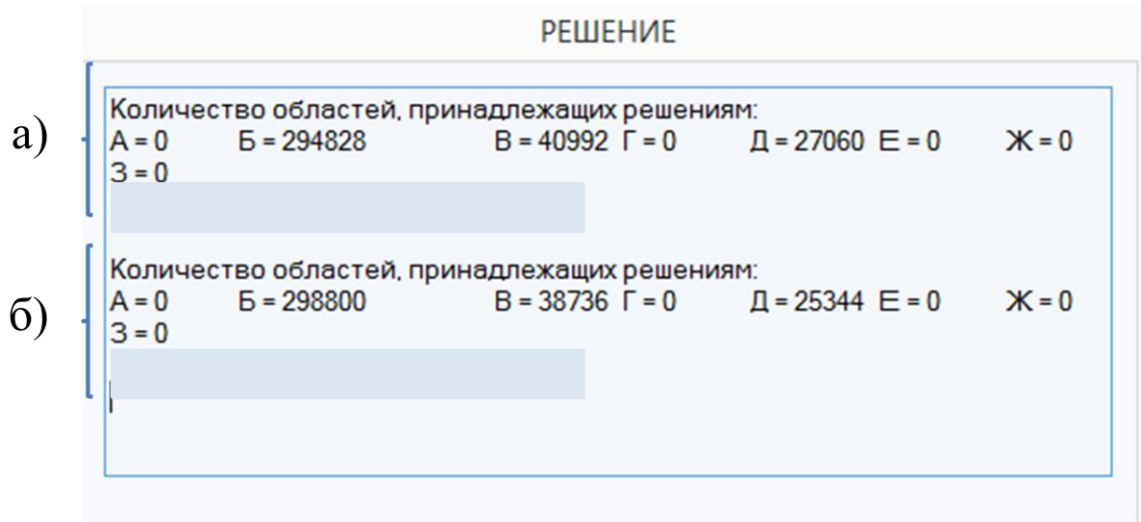


Рисунок 3.12. Результат анализа ОТУ МГНБ посредством аналитической модели МСА с учетом выявленной зависимости между исследуемым параметром и характеристиками рабочей среды, рабочего процесса и параметров ГВК: а) по результатам эксперимента, б) по исходным данным

Анализируя представленные данные можно говорить о достоверности полученных экспериментальных зависимостей параметров взаимодействия ТИ с рабочей средой и влиянии исследуемого параметра на положение машины в предложенном к оценке ряду техники. Количество эффективных исходов, в которых образец МГНБ «В» признается эталонным, в случае учета выявленных экспериментальным путем зависимостей, увеличивается на 5,8 %, данный показатель для образца МГНБ «Б» увеличивается на 6,7 %.

Для чистоты и полноты полученных данных, по аналогии с проводимыми во II главе настоящей диссертационной работы исследованиями, исключим из расчетов образец МГНБ «Б» значительно превосходящий по абсолютному показателю оценки оставшиеся семь образцов. Тогда иерархия распределения исследуемого ряда техники ГНБ будет выглядеть следующим образом (рисунок 3.13).

Наиболее наглядно результат модернизации МГНБ с помощью устройства внутри ТИ ГВК, способствующего повышению эффективности работы МГНБ на основе выявленных экспериментально зависимостей,

отражает образец МГНБ «Ж», который в 60 вариантах оценки будет признан эталонным образцом (в исходных данных вероятность данного события равна 0).

		РЕШЕНИЕ					
а)	}	Количество областей, принадлежащих решениям:					
		A = 35846	B = 0	V = 89792	Г = 41238	Д = 158824	E = 3750 Ж = 60
б)	}	Количество областей, принадлежащих решениям:					
		A = 38034	B = 0	V = 87182	Г = 40802	Д = 163362	E = 2508 Ж = 0

Рисунок 3.13. Результат анализа ОТУ МГНБ посредством аналитической модели МСА с учетом выявленной зависимости между исследуемым параметром и характеристиками рабочей среды, рабочего процесса и параметров ГВК (без учета образца МГНБ «Б»): а) по результатам эксперимента, б) по исходным данным

Кроме того, отмечен положительный эффект и рост числа эффективных исходов на 3% образца МГНБ «В», на 1% образца МГНБ «Г», на 48% образца МГНБ «Е» и на 8% образца МГНБ «З», сопутствующее снижение в случае перераспределения фиксируется у образцов МГНБ «А» и «Д», при этом в общем случае вероятность их становления в качестве «эталонного образца» существенно высока.

3.4 Выводы к главе 3

1. Проведено имитационное моделирование процесса работы ГВК четырех различных комбинаций исполнения – с двумя, тремя, четырьмя и пятью РП в конструкции.

2. Экспериментально определена скорость течения рабочей жидкости, составляющая от 15 м/с до 79 м/с в зависимости от конфигурации ГВК.

3. Проведена оценка прикладываемых на торец РП напряжений и установлена способность РП противостоять разрушению от набегания струи рабочей жидкости.

3. Экспериментально определены и обоснованы параметры взаимодействия ТИ с рабочей средой и получено уравнение, отражающее зависимость между исследуемым (перспективным) параметром работы МГНБ (усилие продавливания) и характеристиками рабочей среды (сопротивляемость массива уплотнению), рабочего процесса (площадь поперечного сечения ПИЛС) и влияния оснащения конструкции ТИ МГНБ ГВК (скорость потока рабочей жидкости).

4. Увеличение усилия продавливания, как значимого параметра работы МГНБ, позволяет повысить ТУ МГНБ, расширить ОРП МГНБ и поднять место МГНБ в ряде аналогичных образцов техники, увеличивая уровень потребительской привлекательности МГНБ на рынке.

4. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ МАШИНЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

4.1 Обоснование повышения энергоэффективности машины горизонтально направленного бурения при оснащении технологического инструмента генератором вибрационных колебаний

По итогам исследований, указанных в III главе настоящей диссертационной работы, модернизация техники ГНБ за счет устройства в конструкцию ТИ ГВК позволяет повысить один из значимых параметров ОТУ МГНБ – усилие продавливания.

В свою очередь увеличение усилия продавливания оказывает влияние на отдельные показатели эффективности работы МГНБ (рисунок 4.1)

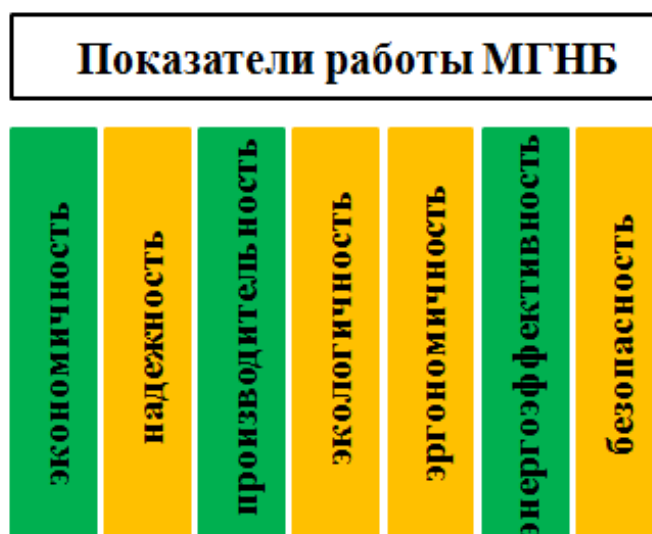


Рисунок 4.1. Показатели работы МГНБ: зеленый – устройство ГВК оказывает положительный эффект, желтый – устройство ГВК не оказывает влияния на значение показателя

Таким образом, эффективность работы МГНБ может быть определена путем расчета трех составляющих – производительность, экономичность и ЭЭф. В ТГНБ производительность выражается в количестве пройденных

метров скважины заданного диаметра за единицу времени. Сокращение времени производства работ путем увеличения скорости проходки скважины и сопутствующее снижение затрат на заработную плату рабочих, расход рабочих жидкостей и ГСМ и амортизацию представляют собой экономическую составляющую процесса бурения. При этом повышение ЭЭф работы МГНБ возможно за счет снижения ЭЕм, составляющей которой является скорость проходки ПИЛС.

Таким образом, ключевым показателем ЭЭф работы МГНБ является скорость проходки ПИЛС, представляющая собой результат взаимодействия прикладываемого усилия и характеристик рабочей среды (рисунок 4.2).

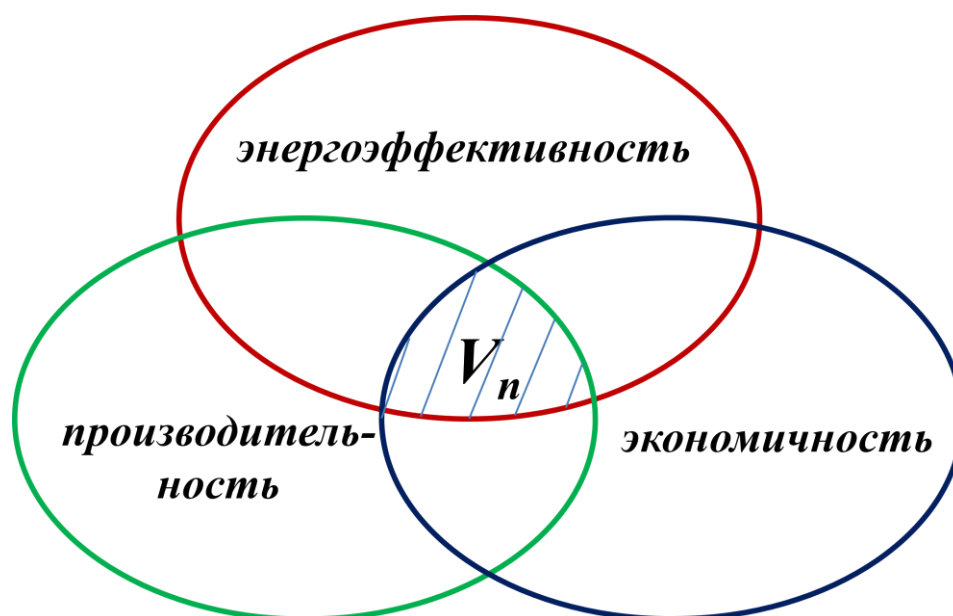


Рисунок 4.2. Обоснование скорости проходки ПИЛС как ключевого параметра в повышении эффективности работы машины ГНБ (V_n – скорость проходки скважины, м/с)

Одной из формул, описывающих ЭЭф, является отношение ЭЕм МГНБ со встроенным в ТИ МГНБ ГВК к ЭЕм МГНБ стандартного исполнения.

Показатель ЭЕм бурения посредством ТИ с ГВК, или без ГВК, рассчитывается по формулам (4.1-4.2):

$$e_{\text{ГВК}} = \frac{P_T V_T + 2nT}{S V_{\Pi}} \quad (4.1)$$

или

$$e = \frac{P_T V_T + 2nT}{S V_T} \quad (4.2)$$

где: e - энергоемкость бурения (кДж/м³) без, или $e_{\text{ГВК}}$ с использованием ГВК;

P_T – усилие продавливания, необходимое для прокладки ПИЛС, кН;

S – площадь поперечного сечения ПИЛС, м²;

n – частота вращения, об/мин;

T – крутящий момент, кН·м;

V_{Π} – скорость проходки ПИЛС с использованием ГВК, м/мин.

V_T – скорость проходки ПИЛС без использования ГВК, м/мин.

Рабочий (буровой) процесс определяет скорость проходки ПИЛС как результат приложенного усилия продавливания и характеристик рабочей среды [77,78].

Принимая во внимание, что в процессе бурения динамические характеристики, такие как усилие продавливания и крутящий момент остаются неизменными, существенное влияние на ЭЭф окажет повышение производительности работы, выраженное в возможности увеличения скорости проходки ПИЛС заданного диаметра.

Важно отметить, что при проведении стендовых испытаний гидросистема МГНБ осуществляла работу в режиме постоянного давления, что обеспечивало постоянное значение усилия продавливания.

Таким образом, при неизменных затратах энергии непосредственно на рабочий процесс бурения, повышение ЭЭф осуществляется за счет перераспределения имеющейся мощности и повышения энерговооруженности МГНБ за счет увеличения ее производительности, выраженной в увеличении

скорости проходки ПИЛС за счет оптимального сочетания параметров рабочей среды, рабочего процесса и конструктивных параметров ГВК.

Учитывая изложенное, формула расчета ЭЭф для площади поперечного сечения ПИЛС, равного $0,01 \text{ м}^2$, выглядит следующим образом (4.3):

$$E = \frac{e_T}{e_n} = \frac{\frac{P_T V_T + 2nT}{SV_T}}{\frac{P_T V_T + 2nT}{SV_n}} = \frac{SV_n}{SV_T} = \frac{V_n}{V_T} \quad (4.3)$$

В ходе эксперимента изучено влияние характеристик рабочей среды (сопротивляемость массива уплотнению, ($\kappa Па$)), рабочего процесса (усилие продавливания ($\kappa Н$)) и конструктивных параметров ГВК (скорость потока рабочей жидкости ($м/с$)), на величину ключевого параметра – скорости проходки ПИЛС ($м/мин$).

Так, в качестве факторов, оказывающих влияние на скорость проходки ПИЛС V_n , были выбраны следующие параметры:

z_1 – сопротивляемость массива уплотнению, ($\kappa Па$), $z_1^- = 180$, $z_1^+ = 540$;

z_2 – скорость потока рабочей жидкости ($м/с$), $z_2^- = 15$, $z_2^+ = 79$;

z_3 – усилие продавливания ($\kappa Н$), $z_3^- = 70$, $z_3^+ = 90$.

Дальнейший эксперимент был поставлен по плану ПФЭ, каждый опыт был проведен трижды, что указано в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Матрица планирования ПФЭ в рамках исследования скорости проходки ПИЛС

№ эксперимента	Изучаемые факторы			Результаты опытов (V_n)		
	z_1	z_2	z_3	y_1	y_2	y_3
1	+	+	+	2,8	2,8	2,7
2	–	+	+	3,3	3,4	3,4
3	+	–	+	1,2	1,3	1,2
4	–	–	+	1,5	1,6	1,6
5	+	+	–	2,2	2,2	2,3

Окончание таблицы 4.1.

6	–	+	–	2,6	2,5	2,5
7	+	–	–	1,1	1,2	1,1
8	–	–	–	1,4	1,5	1,6

Кодирование факторов для ПФЭ проводится путем определения центра, интервала варьирования и зависимости кодированной переменной x_i от натуральной переменной z_i (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Результат кодирования факторов

Факторы	Верхний уровень z_i^+	Нижний уровень z_i^-	Центр z_i^0	Интервал варьирования λ_i	Зависимость кодированной переменной от натуральной
z_1	540	180	360	180	$x_1 = \frac{z_1 - 360}{180}$
z_2	79	15	47	32	$x_2 = \frac{z_2 - 47}{32}$
z_3	90	70	80	10	$x_3 = \frac{z_3 - 80}{10}$

Так, по формуле (4.3) СВР для 1-го опыта равно:

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{3}(2,8 + 2,8 + 2,7) = 2,77$$

Дополненная матрица планирования ПФЭ представляет собой следующий вид (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Матрица планирования эксперимента для дальнейшей обработки результатов ПФЭ

№ экс-та	Факторы			Взаимодействия факторов				Результаты опытов			СВР \bar{y}_j
	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2	y_3	
1	+	+	+	+	+	+	+	2,8	2,8	2,7	2,77
2	–	+	+	–	–	+	–	3,3	3,4	3,4	3,37
3	+	–	+	–	+	–	–	1,2	1,3	1,2	1,23

Окончание таблицы 4.3.

4	-	-	+	+	-	-	+	1,5	1,6	1,6	1,57
5	+	+	-	+	-	-	-	2,2	2,2	2,3	2,23
6	-	+	-	-	+	-	+	2,6	2,5	2,5	2,53
7	+	-	-	-	-	+	+	1,1	1,2	1,1	1,13
8	-	-	-	+	+	+	-	1,4	1,5	1,6	1,50

Вычисление КУР по комплексу формул (3.3) и внесение полученных значений в таблицу 4.4:

$$b_0 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 \bar{y}_j = \frac{1}{8} (2,77 + 3,37 + 1,23 + 1,57 + 2,23 + 2,53 + 1,13 + 1,50) \approx 2,04;$$

$$b_1 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j1} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (2,77 + 3,37 * (-1) + 1,23 + 1,57 * (-1) + 2,23 + 2,53 * (-1) + 1,13 + 1,50 * (-1)) \approx -0,2$$

$$b_2 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j2} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (2,77 + 3,37 + 1,23 * (-1) + 1,57 * (-1) + 2,23 + 2,53 + 1,13 * (-1) + 1,50 * (-1)) \approx 1,06$$

$$b_3 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j3} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (2,77 + 3,37 + 1,23 + 1,57 + 2,23 * (-1) + 2,53 * (-1) + 1,13 * (-1) + 1,50 * (-1)) \approx 0,19$$

$$b_{1,2} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j1} x_{j2} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (2,77 + 3,37 * (-1) + 1,23 * (-1) + 1,57 + 2,23 + 2,53 * (-1) + 1,13 * (-1) + 1,50) \approx -0,02$$

$$b_{1,3} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j1} x_{j3} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (2,77 + 3,37 * (-1) + 1,23 + 1,57 * (-1) + 2,23 * (-1) + 2,53 + 1,13 * (-1) + 1,50) \approx -0,03$$

$$b_{2,3} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j2} x_{j3} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (2,77 + 3,37 + 1,23 * (-1) + 1,57 * (-1) + 2,23 * (-1) + 2,53 * (-1) + 1,13 + 1,50) \approx 0,15$$

$$b_{1,2,3} = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 x_{j1} x_{j2} x_{j3} \bar{y}_j = \frac{1}{8} (2,77 + 3,37 * (-1) + 1,23 * (-1) + 1,57 + 2,23 * (-1) + 2,53 + 1,13 + 1,50 * (-1)) \approx -0,04$$

Таблица 4.4 – Расчетные значения КУР

b_0	b_1	b_2	b_3	$b_{1,2}$	$b_{1,3}$	$b_{2,3}$	$b_{1,2,3}$
2,04	-0,2	1,06	0,19	-0,02	-0,03	0,15	-0,04

Нахождение ДВП по формуле (3.4) с учетом промежуточных расчетов таблицы 4.5:

Таблица 4.5 – Расчеты ВБРД

j	y_1	y_2	y_3	\bar{y}_j	$(y_{j1} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j2} - \bar{y}_j)^2$	$(y_{j3} - \bar{y}_j)^2$	S_j^2
1	2,8	2,8	2,7	2,77	0,0009	0,0009	0,0049	0,0067
2	3,3	3,4	3,4	3,37	0,0049	0,0009	0,0009	0,0067

Окончание таблицы 4.5.

3	1,2	1,3	1,2	1,23	0,0009	0,0049	0,0009	0,0067
4	1,5	1,6	1,6	1,57	0,0049	0,0009	0,0009	0,0067
5	2,2	2,2	2,3	2,23	0,0009	0,0009	0,0049	0,0067
6	2,6	2,5	2,5	2,53	0,0049	0,0009	0,0009	0,0067
7	1,1	1,2	1,1	1,13	0,0009	0,0049	0,0009	0,0067
8	1,4	1,5	1,6	1,50	0,01	0,0	0,01	0,2

Тогда ВБРД:

$$\sum_{j=1}^8 S_j^2 = 0,2469$$

ДВП по формуле (3.4):

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 S_j^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,2469 = 0,0309.$$

СКО:

$$S_{\text{коэф.}} = \sqrt{\frac{S_{\{y\}}^2}{n \cdot m}} \approx \sqrt{\frac{0,0309}{8 \cdot 3}} \approx 0,036.$$

Из таблиц распределения Стьюдента по числу степеней свободы ($n \cdot (m-1) = 8 \cdot 2 = 16$) при уровне значимости $\alpha = 0,05$ определяется $t_{\text{кр.}} = 2,12$. Следовательно, $t_{\text{кр.}} \cdot S_{\text{коэф.}} = 2,12 \cdot 0,036 \approx 0,076$.

Проводя сравнение значения (0,076) с КУР, представленными в таблице 4.4, видно, что все КУР, кроме $b_{1,2}$, $b_{1,3}$ и $b_{1,2,3}$ больше по абсолютной величине 0,076. Следовательно, КУР, кроме указанных выше, значимы. Тогда уравнение регрессии в кодированных переменных будет выглядеть следующим образом (4.4):

$$y = 2,04 - 0,2x_1 + 1,06x_2 + 0,19x_3 + 0,15x_2x_3 \quad (4.4)$$

Проверка полученного уравнения (4.4) на адекватность по критерию Фишера проводится с вычислением ОСТД с учетом значений изучаемого параметра из таблицы 4.3 (таблица 4.6)

Таблица 4.6 – Результаты расчетов изучаемого параметра по уравнению регрессии

\tilde{y}_1	\tilde{y}_2	\tilde{y}_3	\tilde{y}_4	\tilde{y}_5	\tilde{y}_6	\tilde{y}_7	\tilde{y}_8
2,82	3,46	1,12	1,44	2,34	2,58	1,02	1,46

ОСТД по формуле (3.6) рассчитана следующим образом:

$$S_{ост.}^2 = \frac{3}{8-5} \sum_{j=1}^8 (\tilde{y}_j - \bar{y}_j)^2 = 1 \cdot [(2,82 - 2,77)^2 + (3,46 - 3,37)^2 + (1,12 - 1,23)^2 + (1,44 - 1,57)^2 + (2,34 - 2,23)^2 + (2,58 - 2,53)^2 + (1,02 - 1,13)^2 + (1,46 - 1,5)^2] = 0,0939$$

Расчетное значение критерия Фишера $F_{расч.}$ определяется по формуле (3.7):

$$F_{расч.} = \frac{0,0939}{0,0309} \approx 3,04,$$

Табличное значение критерия Фишера $F_{табл.}$ из таблиц критических точек распределения Фишера при уровне значимости $\alpha = 0,05$ по соответствующим степеням свободы $k_1 = 3$ и $k_2 = 16$ составляет $F_{табл.} = 3,24$.

Так как $F_{расч.} = 3,04 < F_{табл.} = 3,24$, то уравнение регрессии (4.4) адекватно.

Интерпретация полученной модели (4.4) принимает вид (4.5):

$$y = 2,04 - 0,02 \cdot \frac{z_1 - 360}{180} + 1,06 \cdot \frac{z_2 - 47}{32} + 0,19 \cdot \frac{z_3 - 80}{10} + 0,15 \cdot \frac{z_2 - 47}{32} \cdot \frac{z_3 - 80}{10} \quad (4.5)$$

Преобразовав вышеуказанное уравнение, получаем вид (4.6):

$$y = 0,74 - 0,0001z_1 + 0,03z_2 + 0,0003z_3 - 0,0001z_2z_3, \quad (4.6)$$

Ввиду наибольшего по абсолютной величине коэффициента весомое влияние на скорость проходки ПИЛС оказывает скорость потока рабочей жидкости. Второе по величине коэффициента влияние оказывает усилие продавливания. Минимальное значение оказывает характеристика рабочей среды и сочетание скорости потока рабочей жидкости и усилия продавливания.

Уравнение в натуральных переменных приобретает вид (4.7):

$$V = 0,74 - 0,0001\delta + 0,03V_{жс} + 0,0003P - 0,0001V_{жс}P, \quad (4.7)$$

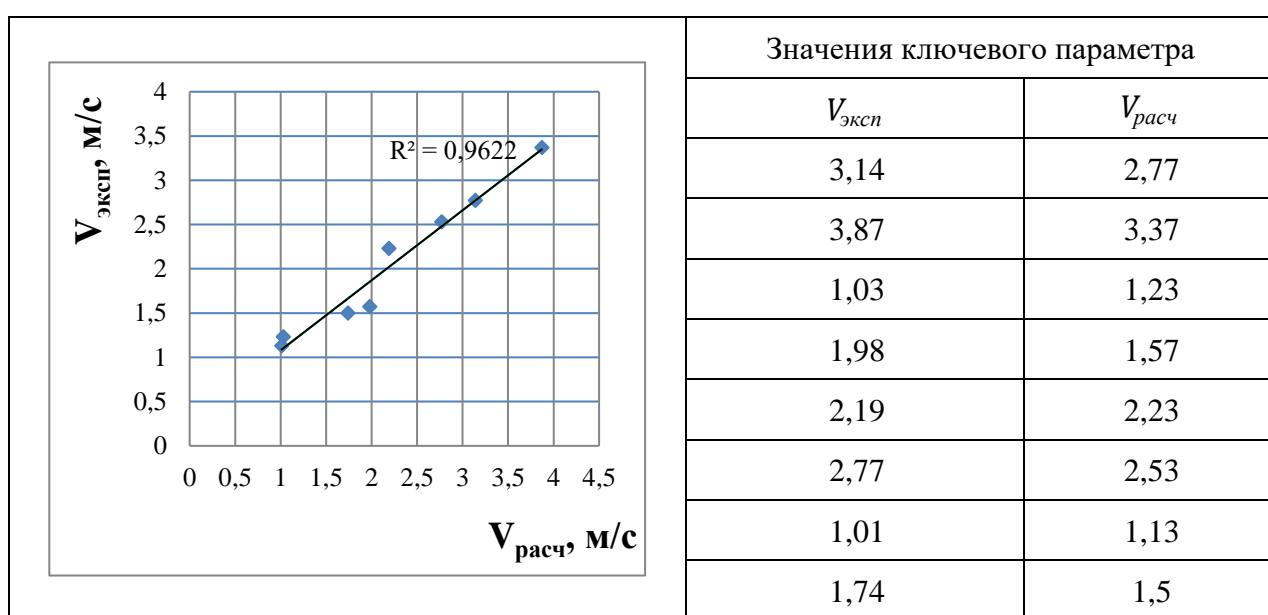
где δ – сопротивляемость массива уплотнению, (кПа);

$V_{жс}$ – скорость потока рабочей жидкости (м/с);

P – усилие продавливания (кН).

Расчетные значения скорости проходки ПИЛС по уравнению (4.7) приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Сопоставление значений скорости проходки пилотной скважины V экспериментальным ($V_{эксп}$) и расчетным ($V_{расч}$) путями



Для подтверждения сходимости расчетных и экспериментальных данных, показанных в таблице 4.7, был рассчитан индекс корреляции, который для выражения (4.7) равен $R = 0,96$, а критерий Фишера $F = 3,04$. Указанные значения свидетельствуют об адекватности выведенной зависимости и высоком уровне сходимости данных [25].

Определив зависимость между ключевым параметром, оказывающим влияние на повышение производительности работы МГНБ и характеристиками рабочей среды, рабочего процесса и параметров работы ГВК, по формуле (4.3) и с учетом значений, приведенных в таблице 4.8, вычисляется ЭЭф МГНБ.

Таблица 4.8 – Вычисление ЭЭф МГНБ

№ п/п	Сопротивляемость массива уплотнению, кПа	Скорость проходки ПИЛС без использования ГВК, м/мин	Скорость проходки ПИЛС с использованием ГВК, м/мин	ЭЭф
1	180	1	1,23	1,23
2	250	1	1,21	1,21
3	370	1	1,17	1,17
4	430	1	1,12	1,12
5	540	1	1,08	1,08

Графически результаты расчетов показаны на рисунке 4.3.

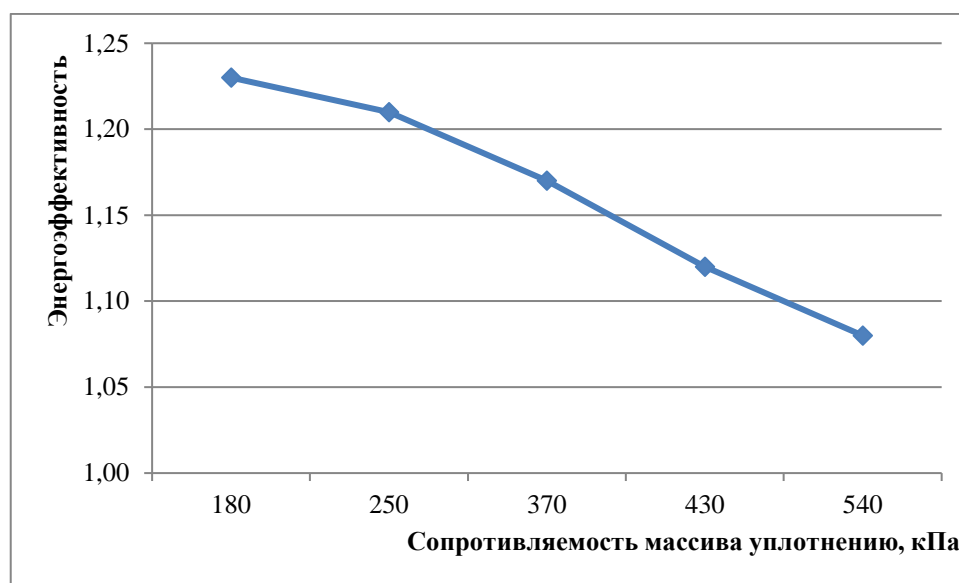


Рисунок 4.3. Влияние характеристики рабочей среды на ЭЭф работы МГНБ

Таким образом, анализ представленных результатов показывает, что для всех рассмотренных условий применения МГНБ с ГВК ЭЭф увеличивается по мере снижения показателя сопротивляемости массива уплотнению, что обуславливается возможностью проведения работы с большей скоростью проходки ПИЛС и обеспечением большей производительности. Значения ЭЭф в зависимости от сопротивляемости уплотнению составляют от 1,08 до 1,23. Полученный результат подтверждает перспективность расширения ОРП МГНБ с ГВК на более твердые грунты с точки зрения повышения ЭЭф, а также демонстрирует эффективность работы МГНБ с ГВК в мягких и средних

грунтовых массивах, что формирует рекомендации по эксплуатации МГНБ при планировании и непосредственном проведении комплекса производства работ.

4.2 Экономическая эффективность изменения конструкции технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения посредством устройства генератора вибрационных колебаний

Стандартный путь повышения производительности работы НТТМ, в частности МГНБ, предполагает увеличение мощностных характеристик за счет увеличения габаритов и массы техники, что, в свою очередь, снижает энерговооруженность МГНБ, повышает ЭЕм и металлоемкость, а значит и увеличивает материальные затраты на изготовление данного вида техники. Кроме того, увеличение габаритных и весовых параметров создает предпосылки к переходу МГНБ к более тяжелому классу типоразмерного ряда (например, из «миди» в «макси» и т.д.).

Обеспечить улучшение эксплуатационных характеристик МГНБ без повышения габаритов и массы техники позволяет внедрение в конструкцию ТИ МГНБ ГВК, что было рассмотрено и доказано во II и III главах настоящей диссертационной работы.

При этом важным аспектом является экономическая составляющая проведения подобной модернизации МГНБ, в связи с чем выполнена плановая калькуляция затрат на производство ТИ с ГВК, имеющим в конструкции две РП. Результаты калькуляции приведены в таблице 4.9.

Аналогичным образом в целях проведения сравнения стоимостных характеристик был проведен расчет затрат на производство ТИ с ГВК, имеющим в конструкции 3, 4 и 5 РП. Результаты расчета показаны в таблице 4.10.

Таблица 4.9 – Калькуляция затрат на производство ТИ с ГВК с двумя РП в конструкции [108]

№ п/п	Наименование статей калькуляции	Плановые затраты (2024 год), руб.
1	Материальные затраты – всего:	4 334,82
	в том числе:	
1.1	приобретение сырья, материалов и вспомогательных материалов	4 079,79
1.2	возвратные отходы	42,35
1.3	приобретение комплектующих изделий	297,38
2	Затраты на оплату труда – всего:	10 746,80
	в том числе:	
2.1	основная заработная плата	9 527,30
2.2	дополнительная заработная плата	1 219,50
3	Страховые взносы на обязательное социальное страхование	3 385,24
4	Общепроизводственные затраты	36 412,86
5	Производственная себестоимость	54 879,72
6	Административно-управленческие расходы	22 046,19
7	Себестоимость продукции	76 925,92
	в том числе:	
	привнесенные затраты	4,334,82
	собственные затраты	72 591,10
8	Прибыль	18 184,39
9	Цена продукции (без НДС)	95 110,30
	Трудоемкость (нормо-час)	16,44

Таблица 4.10 – Затраты на производство ТИ с ГВК различного конструктивного исполнения

Конструкция ТИ	Цена продукции (без НДС)
ТИ с ГВК с двумя РП	95 110,30
ТИ с ГВК с тремя РП	102 314,00
ТИ с ГВК с четырьмя РП	110 216,60
ТИ с ГВК с пятью РП	126 274,00*

* коммерческое предложение по указанной конфигурации представлено в приложении Д.

Проведенный анализ рынка МГНБ категории «миди» показал, что исследуемая категория МГНБ представлена в широком ассортименте и различных ценовых сегментах. Так, стоимость бывшей в употреблении МГНБ начинается от 4,5 млн. руб., новой МГНБ – от 6,1 млн. руб. На стоимость МГНБ оказывает влияние наименование компании-производителя, год выпуска и технические характеристики.

Учитывая изложенное, оснащение конструкции ТИ МГНБ ГВК увеличит стоимость МГНБ на 1,6-2,2%.

В целях определения экономического эффекта от модернизации МГНБ произведен технико-экономический расчет, результаты которого представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Экономическая эффективности оснащения ТИ МГНБ ГВК

Показатель оценки	МГНБ базовой конструкции	МГНБ с установленным в конструкцию ТИ ГВК
Стоимость, млн. руб.	6	6,12
Коэффициент технического использования	0,4	
Сопrotивляемость массива уплотнению, кПа	180	

Окончание таблицы 4.11

Скорость проходки ПИЛС, м/мин	1	1,23
Время проходки 1 тыс. п.м., ч (мин)	42 (2500)	34 (2033)
Экономия времени производства работ, ч (смена)	8 (1)	
Заработная плата оператора МГНБ, тыс.руб./ч (тыс.руб./смена 8 ч)	4 (32)	
Заработная плата оператора локации, тыс.руб./ч (тыс.руб./смена 8 ч)	4 (32)	
Заработная плата разнорабочего, тыс.руб./ч (тыс.руб./смена 8 ч)	2 (16)	
Стоимость расхода рабочих жидкостей (ГСМ, дизельное топливо), тыс.руб./смена	14	
Амортизационные расходы в переводе на 1 смену (8 ч)	5,5	
Общая экономия на 1000 п.м. (1 смена (8 ч)), тыс. руб.	100	
Общая экономия в год, тыс. руб.	4800	

При этом выявленная эффективность предлагаемой модернизации за счет увеличения производительности работ на 8-23% в полной мере оправдывает

затраченный материальный ресурс на установку и эксплуатацию ГВК, что также определяет рекомендации к эксплуатации МГНБ с усовершенствованной конструкцией ТИ.

4.3 Выводы к главе 4

1. Внесение изменений в конструкцию МГНБ путем установки ГВК оказывает положительное существенное влияние на производительность и ЭЭф работы МГНБ.

2. Учитывая, что в процессе бурения динамические характеристики, такие как усилие продавливания и крутящий момент остаются неизменными, существенное влияние на ЭЭф оказывает повышение производительности работы, выраженное в возможности увеличения скорости проходки ПИЛС заданного диаметра.

4. Экспериментально определена зависимость скорости проходки ПИЛС от характеристик рабочей среды (сопротивляемости массива уплотнению ($кПа$)), рабочего процесса усилия продавливания ($кН$) и конструктивных параметров ГВК (скорости потока рабочей жидкости ($м/с$)). Сопоставление расчетных и экспериментальных значений скорости проходки ПИЛС показало высокую сходимость данных.

5. ЭЭф от применения в конструкции ТИ МГНБ ГВК находится в диапазоне 8-23% в зависимости от характеристик рабочей среды (сопротивляемости массива уплотнению), находящихся в диапазоне 180-540 $кПа$.

6. Анализ экономической составляющей предлагаемой модернизации техники показал высокую рентабельность и относительно низкие затраты на реализацию, составляющие 1,6-2,2% от общей стоимости МГНБ, что при объеме выполненных работ 1 тыс. п.м. составит около 100 тыс. руб. (сокращение времени производства работ на 8 ч) или 4,8 млн. руб./год.

7. В общем виде разработанный метод определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой включает в себя последовательность шагов, состоящую из ОТУ МГНБ посредством применения аналитической модели, определения на ее основе основополагающего (ключевого) параметра, изменение которого окажет наиболее существенное влияние на ЭЭф работы машины, расчет результативности модернизации МГНБ в случае изменения ключевого параметра посредством модификации конструкции машины, проведение имитационного моделирования с целью получения теоретического механизма протекания рабочего процесса, выполнения на основе полученных результатов экспериментальных исследований, обработка которых определяет области параметров, обеспечивающие максимальную энергоэффективность, выполнение технико-экономического расчета и обоснование экономической эффективности предлагаемых к внедрению в конструкцию МГНБ модификаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Посредством выполнения теоретических исследований и проведенных на их базе экспериментальных опытов решена актуальная научная задача повышения энергоэффективности работы МГНБ путем оснащения ее технологического инструмента ГВК, обоснованного выбором его конструктивных параметров и режимов работы.

По результатам диссертационного исследования получены следующие научные и практические результаты:

1. Разработан метод определения параметров взаимодействия технологического инструмента МГНБ с рабочей средой, основанный на использовании аналитической модели оценки ТУ, позволяющей объективно выполнить сравнительный анализ представленного ряда техники ГНБ, и сформированы рекомендации по эксплуатации данных машин.

2. Доказана результативность модернизации МГНБ за счет внесения изменений в конструкцию технологического инструмента и изменения величины ключевого параметра, определен показатель результативности модернизации техники и разработана формула для его расчета. Формула расчета показателя результативности модернизации техники применима для различных типов машин в рамках заданной совокупности принятых к исследованию параметров.

3. Экспериментально определена зависимость между усилием продавливания и характеристиками рабочей среды (сопротивляемостью массива уплотнению (кПа)), конструктивными параметрами ГВК (скоростью потока рабочей жидкости (м/с) и характеристиками рабочего процесса (площадью поперечного сечения скважины (м²)). Наиболее сильное влияние на величину усилия продавливания оказывают площадь поперечного сечения скважины, скорость течения рабочей жидкости и их сочетание. Минимальное влияние оказывает сочетание сопротивляемости массива уплотнению и скорости потока рабочей жидкости. В данном исследовании усилие

продавливания представляет собой эквивалентное силовое воздействие, складывающееся из усилия продавливания, предусмотренного паспортными характеристиками машины ГНБ и вибровоздействия, создаваемого ГВК.

4. Экспериментально определена зависимость между скоростью проходки пилотной скважины и характеристиками рабочей среды (сопротивляемостью массива уплотнению (кПа)), конструктивными параметрами ГВК (скоростью потока рабочей жидкости (м/с) и характеристиками рабочего процесса (усилием продавливания (кН)). Определено уравнение регрессии, согласно которому наибольшее влияние на ключевой параметр оказывает усилие продавливания. Минимальное влияние оказывает сочетание скорости потока рабочей жидкости и усилия продавливания. Скорость проходки пилотной скважины возрастает с увеличением скорости потока рабочей жидкости и усилия продавливания и уменьшается по мере увеличения сопротивляемости массива уплотнению.

5. Увеличение усилия продавливания, как одного из значимых параметров работы МГНБ, способствует повышению ТУ образца техники и расширению его области рационального применения, что также стимулирует потребительскую привлекательность данной машины на рынке.

6. Повышение энергоэффективности МГНБ достигается за счет роста ее производительности, выраженного в возможности увеличения скорости проходки скважины заданного диаметра. В зависимости от характеристик рабочей среды повышение энергоэффективности работы МГНБ составляет от 8% до 23%, при этом оснащение технологического инструмента ГВК составляет 1,6-2,2% от общей стоимости машины, что при объеме выполненных работ 1 тыс. п.м. составит около 100 тыс. руб. (сокращение времени производства работ на 8 ч) или 4,8 млн. руб./год. Полученный результат подтверждает перспективность расширения области рационального применения машин ГНБ с ГВК на более твердые грунты, а также демонстрирует эффективность работы МГНБ подобных конструкций в мягких и средних грунтовых массивах.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- БЕНТР – бентонитовый раствор
- БКОЛ – буровая колонна
- БРАСТ – буровой раствор
- ВБРД – выборочные дисперсии
- ВТИ – вибрационный технологический инструмент
- ВБУ – вибрационная бурильная головка
- ГБГ – гидромониторная бурильная головка
- ГВК – генератор вибрационных колебаний
- ГНБ – горизонтально направленное бурение
- ГСМ – горюче-смазочные материалы
- ДВП – дисперсия воспроизводимости
- КУР – коэффициент уравнения регрессии
- МГНБ – машина горизонтально направленного бурения
- ММ – математическая модель
- МП – машиностроительная продукция
- МСА – метод сравнительного анализа (безэкспертный метод, метод определения параметров взаимодействия ТИ МГНБ с рабочей средой)
- МЭО – метод экспертных оценок
- НТТМ – наземные транспортно-технологические машины
- ОПЗП – относительный показатель значимости параметров
- ОРП – область рационального применения
- ОСТД – остаточная дисперсия
- ОТУ – оценка технического уровня
- ПРИН – породоразрушающий инструмент
- РП – резонирующая пластина
- СВР – средние выборочные результатов
- СКО – среднее квадратическое отклонение

СФН – струеформирующая насадка

ТГНБ – технология горизонтально направленного бурения

ТЗС-БП – технология «закрытый способ» - бестраншейная прокладка

ТИ – технологический инструмент

ТОС-ВТ – технология «открытый способ» - вскапывание траншеи

ТУ – технический уровень

УДС – улично-дорожная сеть

УРТ – уровень развития техники

ЭЕм – энергоемкость

ЭЭф – энергоэффективность

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 27.03.2012 № 272 «О порядке осуществления временных ограничения или прекращения движения транспортных средств по автомобильным дорогам регионального значения в Санкт-Петербурге» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/822400595> (дата обращения 02.06.2024)
2. Скляров Р.А., Склярова А.А., Куракина Е.В. / Комплексная механизация работ технологии бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ №6(71). – 2018. – С.163-168.
3. СП 249.1325800.2016. Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытыми способами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivo.garant.ru>
4. СП 341.1325800.2017 Подземные инженерные коммуникации. Прокладка горизонтальным направленным бурением. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>
5. ГОСТ Р ИСО 21467-2011 Национальный стандарт Российской Федерации. Машины землеройные. Машины для горизонтально направленного бурения. – М., 2012. – 12 с.
6. СТО НОСТРОЙ 2.27.17-2011. Прокладка подземных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения. – М.: БСТ, 2012. – 145 с.
7. Колесников В. В. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы бурильной головки со встроенным генератором гидродинамических колебаний: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Колесников Владимир Владимирович [Место защиты: Тул. гос. ун-т]. – Тула, 2013. – 154 с.: ил. РГБ ОД, 61 14-5/1535.
8. Bentonit. Теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dattis.info/theorypm/306-bentonitst.html>

9. Руководство по прокладке подземных трубопроводов способом горизонтально-направленного бурения с применением труб из ВЧШГ//ООО"Аквадизайн-А"/ М: —2007, — 66с.

10. Бестраншейная прокладка коммуникаций с применением микротоннелепроходческих комплексов и реконструкция трубопроводов с применением специального оборудования / МГСН 6.01-03, ТСН 40-303-2003. – М., 2004. – 41 с.

11. Юдина А.Ф. Современные технологии при реконструкции зданий и сооружений / А. Ф. Юдина // Вестник гражданских инженеров. - 2017. - N 3. - С. 117-123.

12. Юдина А.Ф., Кобелев Е.А. Инновационные технологии бестраншейной прокладки новых и ремонта старых инженерных сетей // Вестник гражданских инженеров СПбГАСУ №3(62). – 2016. – С.101-108.

13. Сачивка В.Д. Модели и методы выбора оптимального способа прокладки подземных инженерных коммуникаций в условиях городской застройки: дис. ... канд.техн.наук: 05.13.01. – М., 2011. – 131с.

14. Данилов Б.Б. Пути совершенствования технологий и технических средств для бестраншейной прокладки коммуникаций / Б.Б. Данилов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007.- № 2, с. 69-75

15. Данилов Б.Б. Теория и практика создания оборудования для бурения в грунте горизонтальных скважин с пневмотранспортом разрушенного материала по вращающемуся трубопроводу: дис. ... док.. техн. наук: 05.05.04 / Данилов Борис Борисович [Место защиты: Институт горного дела Сибирского отделения РАН]. – Новосибирск, 2009. – 246 с.

16. Данилов Б.Б. Повышение эффективности бестраншейных способов подземного строительства за счет применения пневнотранспорта / Б.Б.Данилов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. - № 5, с. 52-61.

17. Червов В.В. Условия самоочистки полости трубы от грунтового керна при бестраншейной прокладке коммуникаций // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2005. - № 2. – С. 67-73

18. Земсков В. М. Определение рациональных параметров виробурильной установки для бестраншейной прокладки трубопроводов: дис. ... канд. тех. наук: 05.05.04 / Земсков Владимир Михайлович. – Саратов, 2002. – 153 с.

19. Земсков В. М. Развитие научных основ создания вибрационных рабочих наконечников машин для прокола горизонтальных грунтовых скважин: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.04 / Земсков Владимир Михайлович. – Новочеркасск, 2011. – 273 с.

20. Абулгафарова С.В. Комбинированная технология бестраншейного ремонта трубопроводов оросительных систем на примере Краснодарского края: дис. ... канд.техн.наук: 06.01.02. – Краснодар., 2004. – 198с.

21. Пушкарев А.Е., Склярова А.А., Петров А.А. / Решение задачи построения математической модели колебания пластины встроенного генератора вибрации в рабочую головку МГНБ // Строительные и дорожные машины. – 2023. – № 7. – С.20-24.

22. Куракина Е.В. Склярова А.А. / Обоснование выбора комплекта технологических машин при технологии ГНБ // Мир транспорта и технологических машин. № 3(66) 2019 Июль-Сентябрь. – С.34-43.

23. ГОСТ 2.116-84 Межгосударственный стандарт. Карта технического уровня и качества продукции. – М., 2007. – 15 с.

24. Мейке У.Н. Методы оценки технического уровня транспортно-технологических машин для дорожно-строительной отрасли: дис... канд. техн. наук: 2.5.11 / Мейке Ульяна Николаевна [Место защиты: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»]. – Санкт-Петербург, 2023. – 156 с.

25. Абросимова А.А. Методика оценки и повышения прочности сварных соединений металлоконструкций строительных машин: дис...канд. техн. наук:

05.05.04 / Абросимова Анжелика Анатольевна [Место защиты: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»]. – Санкт-Петербург, 2017. – 173 с.

26. Калашников, В. В. Качественный анализ поведения сложных систем методом пробных функций. – Москва: Наука, 1978. - 248 с.

27. Афанасьев, А.С. Практика применения метода экспертных оценок для обоснования параметров технологических машин /Афанасьев А.С., Пушкарев А.Е. // В сборнике: Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021. Сборник тезисов VIII Международной научно- практической конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 139-143.

28. Добромиров, В.Н. Всеобщее управление качеством: учебно-методическое пособие / В.Н. Добромиров, А.В. Новожилова; СПбГАСУ. – СПб., 2017. – 122 с.

29. Кришталь, Н.В. Методы оценки стратегической конкурентоспособности машиностроительной продукции: диссертация кандидата экономических наук: 08.00.05. – Санкт-Петербург, 2006. – 183 с.

30. Попова, Е.В. Методика оценки конкурентоспособности сложной технической продукции: на примере авиационной техники: диссертация кандидата экономических наук: 08.00.05. – Москва, 2006. – 154 с.

31. Смирнова, О.В. Оценка конкурентоспособности продукции: Научные труды Вольного экономического общества России. – 2010. – С. 642 – 648.

32. Шайхутдинов, И.Ф. Формирование параметров конкурентоспособного грузового автомобиля на стадии разработки технического задания: диссертация кандидата технических наук: 05.05.03. – Набережные Челны, 2006. – 151 с.

33. Ипатов, М.И. Технико-экономический анализ проектируемых автомобилей. М.: Машиностроение, 1982. – 272 с.

34. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции [Текст]: РД 50-149-79 / Гос. ком. СССР по стандартам; [Отв. исполн. к. т. н. М.И. Примаков и др.]. – Москва: Изд-во стандартов, 1979. – 123 с.

35. Определение коэффициентов весомости при комплексной оценке технического уровня и качества продукции: государственный стандарт Союза ССР ГОСТ 24294-80 / Государственный комитет СССР по стандартам. – Москва: Изд-во стандартов, 1982. – 9 с.

36. Глебов, А.В. Определение значимости показателей при оценке уровня качества геотехники / А.В. Глебов // Известия Тульского государственного университета. – 2021. – №1. – С. 123 – 137.

37. Энциклопедия машиностроения XXL. Оборудование, материалы, механика и... [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mash-xxl.info/map/> (дата обращения 02.06.2024).

38. Мейке, У.Н. Методы прогнозирования и оценки технического уровня наземных транспортно-технологических машин / У.Н. Мейке // Сборник научных трудов молодых учёных Кафедры наземных транспортно-технологических машин. Издательский дом «Петрополис», Санкт-Петербург, 2017. – 116 с. С. 85-97.

39. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования / А.Н. Борисов и др.; отв. ред. А.Н. Борисов. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.

40. Терентьев, А.В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля: диссертация доктора технических наук: 05.22.10 / Терентьев Алексей Вячеславович; [Место защиты: С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. – Москва, 2018. – 303 с.

41. Прудовский, Б.Д. Векторная оптимизация / Б.Д. Прудовский, А.В. Терентьев // Сб. трудов 2-ой международной научно-практической конференции Инновационные системы планирования и управления на

транспорте и в машиностроении. Том 1. – СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. – С. 64 – 66.

42. Карелина, М.Ю. Аналитическое определение весовых коэффициентов при многокритериальной оценке эффективности автотранспортных средств / М.Ю. Карелина, И.В. Арифиллин, А.В. Терентьев // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. – № 1 (52). – С. 3 – 9.

43. Мейке, У.Н. Исследование возможности применения метода районирования для выбора дорожно-строительных машин / У.Н. Мейке, А.В. Терентьев, В.Н. Добромиров // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 6. – С. 26 – 31.

44. Складорова А.А., Пушкарев А.Е. Аналитическая модель оценки технического уровня техники горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024612706, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 05.02.2024

45. Терентьев, А.В. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды» / А.В. Терентьев, Б.Д. Прудовский // Транспортное планирование и моделирование: сб. трудов Международной научно-практической конференции (26-27 мая 2016) СПбГАСУ. – СПб., 2016 С. 145–149.

46. Терентьев, А.В. Методы районирования, как методы оптимизации автотранспортных процессов / А.В. Терентьев, Д.Б. Ефименко, М.Ю. Карелина // Вестник гражданских инженеров. – СПб: СПбГАСУ, 2017 № 6 (65). С. 291–294.

47. Терентьев, А.В. Развитие метода районирования / А.В. Терентьев // Материалы 4-й международной научно-практической конференции. Инновации на транспорте и в машиностроении. – СПб.: НМСУ «Горный», 2016 – С. 127–130.

48. Мартюченко И. Г., Бойков И. В., Рожкова О. В., Жадов И. В. Обзор способов образования горизонтальных скважин // Техническое регулирование в транспортном строительстве / СГТУ им. Гагарина Ю. А. С. 206–212.

49. Земсков В. М. Теоретические основы взаимодействия рабочего наконечника с грунтом при проколе горизонтальных скважин: монография. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. – 104 с.

50. Бентонит. Теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dattis.info/theorypm/306-bentonitst.html>

51. Назаренко А. Ф. Об одном механизме гидродинамического звукообразования // Акустический журнал. – 1978. – Т. 24, № 4. С. 573.

52. Петров А. А. Влияние кавитации на процессы, протекающие в гидромониторной бурильной головке со встроенным генератором гидродинамических колебаний // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы 73-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб.: СПбГАСУ, 2020. – С. 26–33.

53. Пирсол И. Кавитация. М.: Мир, 1975. – 93 с.

54. Константинов Б. Г. Гидродинамическое звукообразование и распространение звука в ограниченной среде. – Л.: Наука, 1974. – 144 с.

55. Арзуманов Э. С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. – М.: Энергия, 1978. – 304 с.

56. Назаренко А. Ф. Гидродинамические излучающие системы и проблема интенсификации некоторых технологических процессов: дис. ... д-ра техн. наук. – Одесса, 1980. – 383 с.

57. Склярова А.А., Скляров Р.А., Хайров В.В. Совершенствование механизации производства работ технологии ГНБ // Актуальные проблемы современного строительства: материалы 72-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых в 2-х ч.; СПбГАСУ . – СПб., 2019. – Ч 2. – С. 129-135

58. Ши-Го-Бао. Исследование гидродинамических излучателей: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 1961. – 93 с.

59. Дзоз Н. А., Жулай Ю. А. Интенсификация процессов бурения с использованием гидродинамической кавитации. Горный информационный аналитический бюллетень. – М.: Горная книга, с. 290–296.

60. Гаращук А.Н., Грушецкий С.М., Склярова А.А., Орлов Д.С. Современная автоматическая система управления работой машин для уплотнения поверхностей // Грузовик. – 2023. - № 5. – С. 39-45.

61. Пат. № 74317, РФ. Гидродинамический диспергатор и резонансная пластина для него / Аистов Н. М., Щучкин А. С. Заявл. 14.02.2008; опубл. 27.06.2008.

62. Пат. № 2081988, РФ. Гидромониторная бурильная головка / Рольф Дан. Заявл. 25.03.1991; опубл. 20.06.1997.

63. Пат. № 2249083, РФ. Устройство для бестраншейной прокладки трубопроводов методом проката / Ромакин Н. Б., Ромакин Д. Н., Краснолудский К. В. Заявл. 05.12.2002; опубл. 27.03.2005.

64. Пат. № 2169625, РФ. Гидродинамический генератор для обработки суспензий / Фрейдин А. М., Шалауров В. А., Анушенков А. Н. Заявл. 10.01.2000; опубл. 27.06.2001.

65. Пат. № 2013135577 RU. Гидромониторная бурильная головка / Качурина Н. М., Колесникова В. В., Пушкарева А. Е. Уведомление о поступлении документов заявки 29.07.2013. Решение о выдачи патента от 01.10.2013.

66. Пат. № 2330928, РФ. Гидромониторная бурильная головка / Ермолин Д. А., Зайнашев М. М. Заявл. 17.01.2007; опубл. 10.08.2008.

67. Куракин А. Н., Новожилов Н. Н. Обеспечение требований безопасности при технической эксплуатации ВВУ в строительстве. Актуальные проблемы безопасности дорожного движения. Материалы 69-й Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов 6–8 апреля 2016 года.

68. Белецкий Б. Ф. Технология и механизация строительного производства: учебник. – Изд. 3-е. – Ростов/Д: Феникс, 2004. – 752 с.

69. Рогов А. Б. Обоснование технологических решений и параметров машин и комплексов оборудования для разрушения крепких пород, повышающих долговечность горной техники: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.06 / Рогов Александр Борисович. – Тула, 2004. – 308 с.

70. Петров А. А., Шаронов А. А. Современное состояние и перспективы развития техники и технологий бестраншейной прокладки // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: материалы 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. – С. 83–88.

71. Колесников В. В., Лежебоков А. В., Пушкарев А. Е. Особенности конструкции гидромониторной бурильной головки // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 4. – С. 240–246.

72. Колесников В. В. Повышение эффективности работы породоразрушающего инструмента установки горизонтально направленного бурения // VII Региональная молодежная научно-практическая конференция Тульского государственного университета «Молодежные инновации»: сборник докладов / под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора Е. А. Ядыкина: в 3 ч. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – Ч. I. – С. 144.

73. Колесников В. В., Лежебоков А. В., Пушкарев А. Е. Повышение эффективности работы породоразрушающего инструмента для МГНБ // Вопросы образования и науки в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научной-практической конференции 29 апреля 2013 г.: в 11 частях. Часть 6 / Мин-во обр. и науки РФ. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес – Наука – Общество», 2013. – С. 57–59.

74. Кершенбаум Н. Я. Виброметод в проходке горизонтальных скважин / Н. Я. Кершенбаум, В. И. Минаев. – М.: Недра, 1968. – 158 с.

75. Рыбаков А. П. Основы бестраншейных технологий. Теория и практика. – М.: ПрессБюро, 2005. – 304 с.

76. Сулакшин С. С. Техника и технология направленного бурения скважин. – М.: Недра, 1967. – 310 с.

77. Техническое руководство по горизонтальному направленному бурению. – 2-е изд. / Европейская Ассоциация подрядчиков по горизонтальному направленному бурению DCA – Europe. – Аахен, 2001.

78. Васильев Н. В. Закрытая прокладка трубопроводов. – М.: Недра, 1964. – 264 с.

79. Петров А. А. Анализ напряженно-деформируемого состояния пластины колебателя буровой головки со встроенным генератором гидродинамических колебаний // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 12. – С. 26–30.

80. Петров А. А., Пушкарев А. Е., Манвелова Н. Е. Расчет геометрических параметров буровой головки со встроенным генератором гидродинамических колебаний // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 12. – С. 21–25.

81. Ватаев А.С., Ватулин Я.С., Кавказский В.Н. Моделирование динамического воздействия высокоскоростного подвижного состава на заглубленные сооружения тоннельного типа // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 6 (109). С. 72-84.

82. Склярова А.А. Исследование влияния конструктивных параметров на область рационального применения машины горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 24. – С. 68-73. - doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-68-73.

83. Колесников В. В., Лежебоков А. В., Пушкарев А. Е. Экспериментальные исследования характеристик насадок // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 4. – С. 211–216.

84. Колесников В. В., Лежебоков А. В., Пушкарев А. Е. Экспериментальные исследования характеристик насадок гидродинамических излучателей // Ударно-вибрационные системы, машины и технологии:

материалы V Международного научного симпозиума / под ред. д-ра техн. наук, профессора Л. С. Ушакова. – Орел: Госуниверситет-УНПК, 2013. – С. 237–240.

85. Назаров Г. С. Экспериментальное исследование кавитационных характеристик сужающихся насадков // Инженерно-физический журнал. – 1968. – Т. XIV, № 3. – С. 423–429.

86. Назаров Г. С. К расчету параметров кавитационного течения в гидравлических системах // Инженерно-физический журнал. – 1969. – Т. XVII, № 3. – С. 397–406.

87. Склярова А.А., Дружинин П.В., Максимов С.Е., Пушкарев А.Е. / Оценка технического уровня установок горизонтально направленного бурения // Грузовик – 2023. – № 11. – С. 13–17

88. Котоусов Л. С. Исследование скорости водяных струй на выходе сопел с различной геометрией // Журнал технической физики. – 2005. – Т. 75, вып. 9. – С. 8–14.

89. Сиов Б. Н. Истечение жидкости через насадки в среды с противодавлением. – М.: Машиностроение, 1968. – 140 с.

90. Барон Л. И. О познавательной ценности экспериментально-статистического метода в науке о разрушении горных пород. – 1973. – Вып. 113. – С. 3–21.

91. Седов Л. И. Методы подобия и размерностей в механике. – М.: Наука, 1967. – 428 с.

92. Леман Э. Проверка статистических гипотез. – М., Мир, 1975. – 450 с.

93. Барон Л. И. Горнотехническое породоведение. – М.: Наука, 1977. – 323 с.

94. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента: справочное пособие. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

95. Пушкарев А. Е. Обоснование и выбор параметров гидроабразивного инструмента исполнительных органов горных машин с разработкой модулей высоконапорного оборудования: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.06 / Пушкарев Александр Евгеньевич. – Тула, 1999. – 347 с.

96. Леонтьев Н. С. Выбор и обоснование конструктивных параметров и режимов работы гидросъемника гидроструйной бурильной машины: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Леонтьев Николай Сергеевич. – Тула, 2013. – 125 с.

97. Рогачев А. А. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы исполнительного органа управляемой прокалывающей установки: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Рогачев Алексей Александрович. – Тула, 2007. – 192 с.

98. Жабин А. Б. Обоснование параметров взаимодействия агрегированного механогидравлического инструмента с массивом для эффективного разрушения крепких горных пород: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Жабин Александр Борисович. – Тула, 1984. – 177 с.

99. Головин К. А. Обоснование параметров и создание оборудования для гидроструйной цементации неустойчивых пород в горном производстве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.06 / Головин Константин Александрович. – Тула, 2007. – 336 с.

100. Поляков Ан. В. Обоснование рациональных параметров импульсных струй воды высокого давления и разработка метода расчета эффективности процесса резания ими горных пород: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Поляков Андрей Вячеславович. – Тула, 2006. – 162 с.

101. Поляков Ал. В. Разработка метода расчета эффективности процесса резания горных пород струями воды сверхвысокого давления и обоснование параметров устройства для их получения применительно к проходческим комбайнам: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Поляков Алексей Вячеславович. – Тула, 2006. – 184 с.

102. Копылов В. Е. Бурение?.. Интересно! – М.: Недра, 1981. – 160 с.

103. Janovski W., Pohiman R. Schallund Ultraschallerzeugung in Fussigkeiten fur inaustrielle Zwecke, Zs. angew. Phys, 1, 222 (1948).

104. Рыбаков А. П. Основы бестраншейных технологий: теория и практика. – М.: ПрессБюро № 1, 2005. – 304 с.

105. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М., "Наука", 1965 г., 256 с.

106. СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений

107. Юнгмейстер Д.А., Тимофеев М.И., Исаев А.И., Гасымов Э.Э. / Совершенствование исполнительного органа тоннелепроходческого механизированного комплекса S-782 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2023. № 1. С. 107-118.

108. Приказ ФАС России от 16.12.2022 № 995/22 «Об утверждении форм документов, предусмотренных положением о государственном регулировании цен на продукцию, поставляемую по государственному оборонному заказу, утвержденным постановлением Российской Федерации от 2 декабря 2017 года № 1465» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fas.gov.ru/documents/688841> (дата обращения 29.08.2024)

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**ПРИМЕРЫ АНКЕТНЫХ ЛИСТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ
ПРОВЕДЕНИИ ОТУ ТЕХНИКИ ГНБ ПОСРЕДСТВОМ МЭО**

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ УСТАНОВОК ГНБ

от 13 – максимальная значимость до 1 – минимальная значимость

№ п/п	Наименование параметра оборудования	Показатель значимости
1	Габариты, мм	2
2	Масса установки, т	3
3	Диаметр штанги, мм	4
4	Мощность двигателя, кВт	12
5	Максимальный крутящий момент, Нм	11
6	Максимальное тяговое усилие, кН	13
7	Максимальная скорость вращения, об/мин	1
8	Сила подачи, кг	10
9	Максимальное расширение, мм	9
10	Максимальная длина бурения, м	8
11	Объем подачи буровой смеси, л/мин	5
12	Давление рабочей смеси, Мпа	4
13	Ширина типоразмерного ряда по мощности	6

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ УСТАНОВОК ГНБ

от 13 – максимальная значимость до 1 – минимальная значимость

№ п/п	Наименование параметра оборудования	Показатель значимости
1	Габариты, мм	5
2	Масса установки, т	4
3	Диаметр штанги, мм	9
4	Мощность двигателя, кВт	13
5	Максимальный крутящий момент, Нм	10
6	Максимальное тяговое усилие, кН	12
7	Максимальная скорость вращения, об/мин	11
8	Сила подачи, кг	8
9	Максимальное расширение, мм	6
10	Максимальная длина бурения, м	7
11	Объем подачи буровой смеси, л/мин	2
12	Давление рабочей смеси, Мпа	1
13	Ширина типоразмерного ряда по мощности	3

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
ПАРАМЕТРЫ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
СОСТАВЛЯЮЩИХ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА ТИ

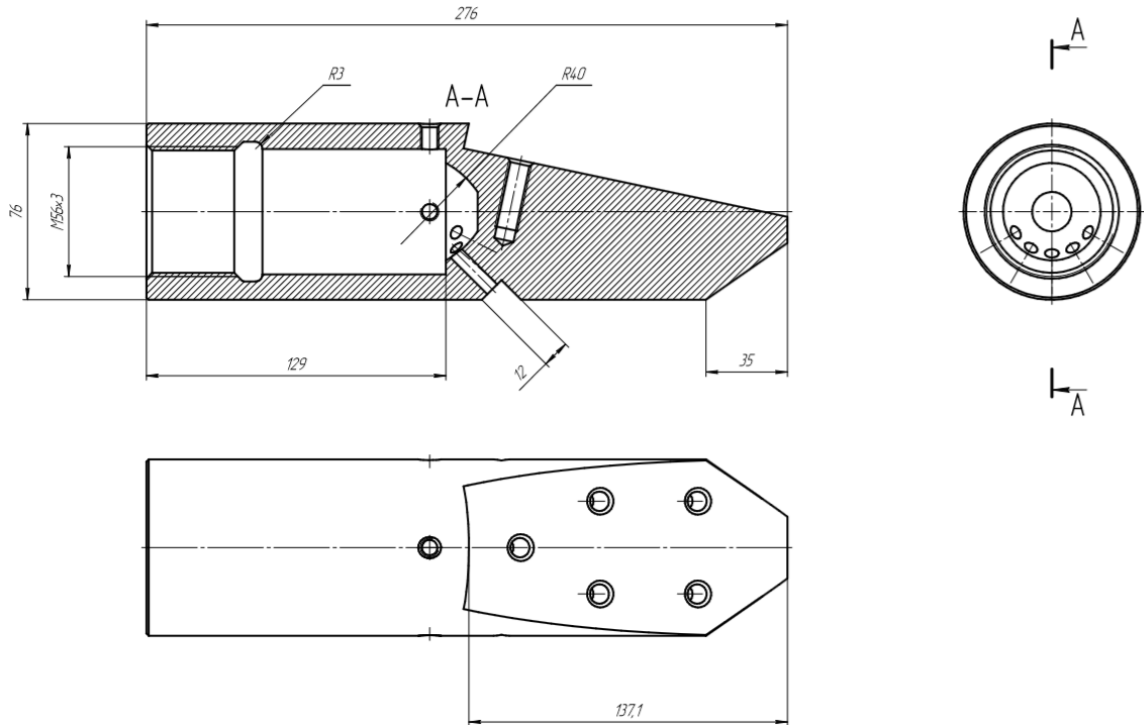


Рисунок Б.1 – Корпус

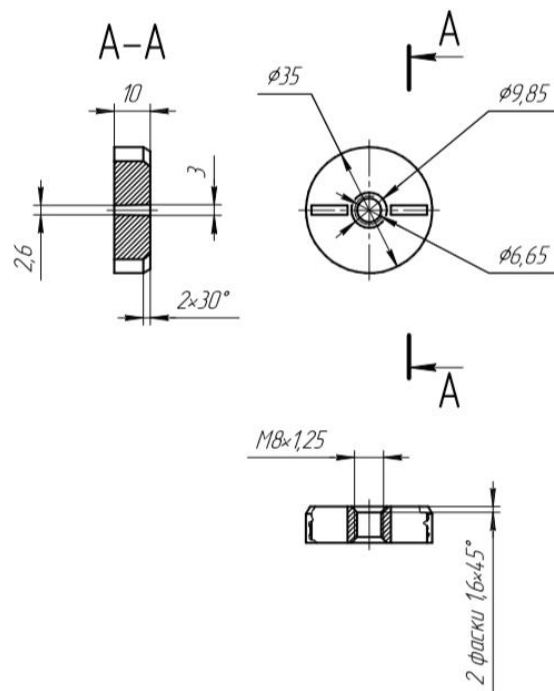


Рисунок Б.2 – Основание

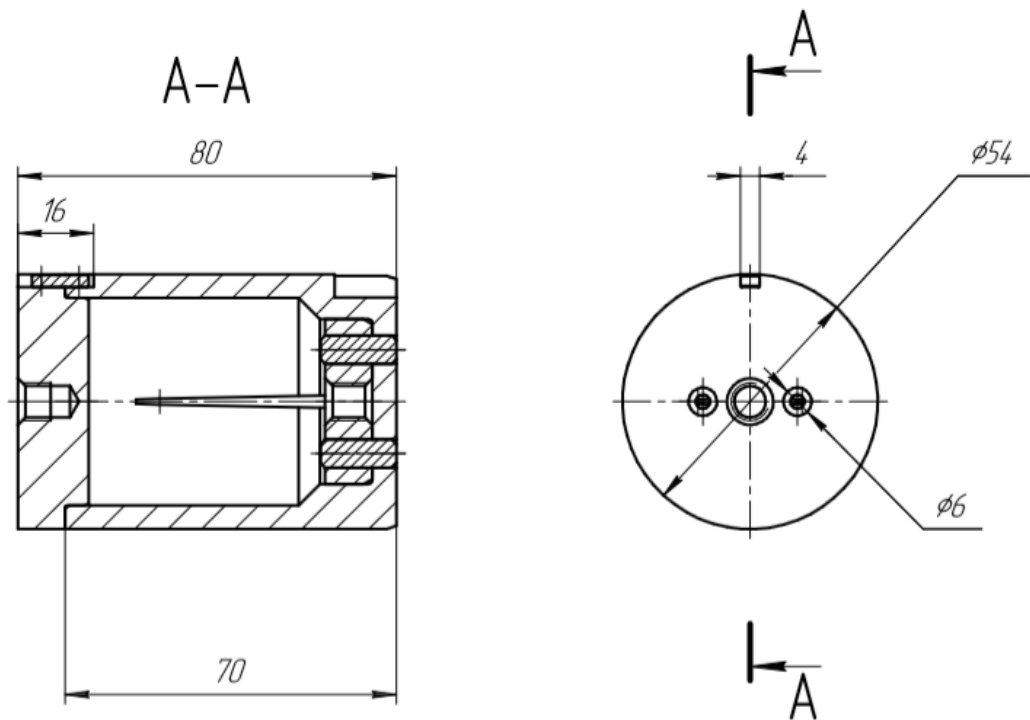


Рисунок Б.3 – Колбатель

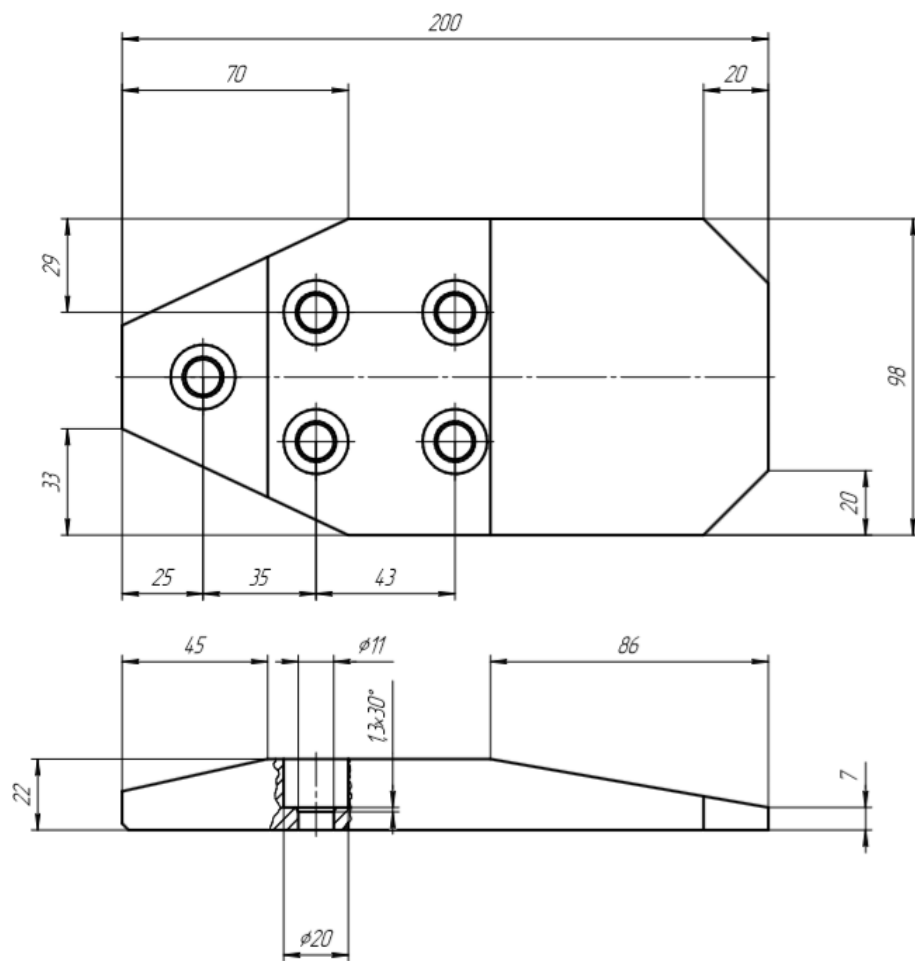


Рисунок Б.4 – Лопатка

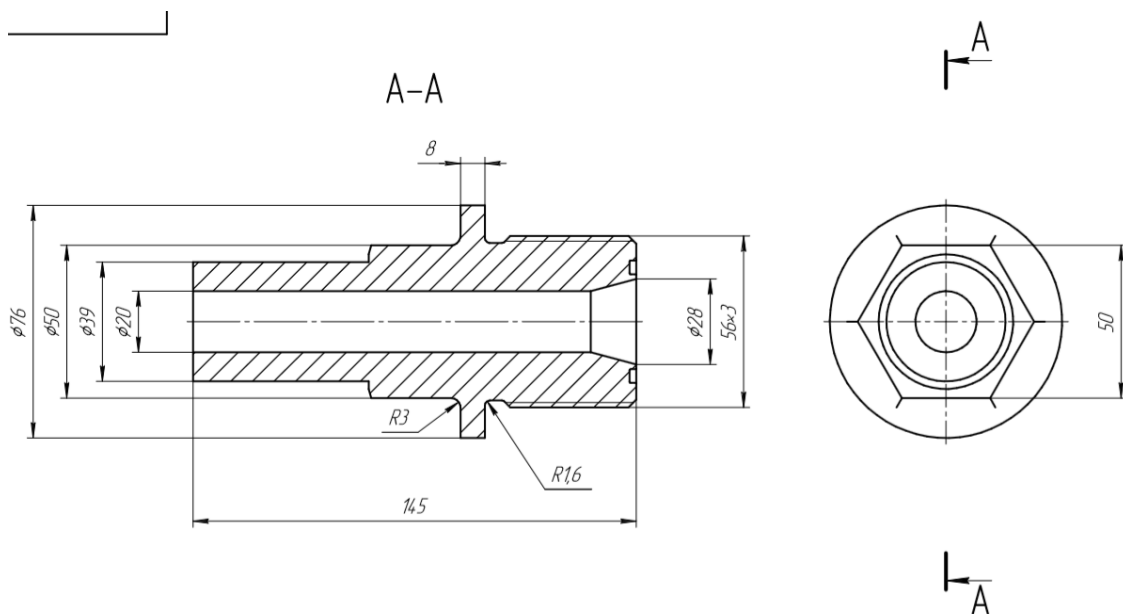


Рисунок Б.5 – Хвостовик

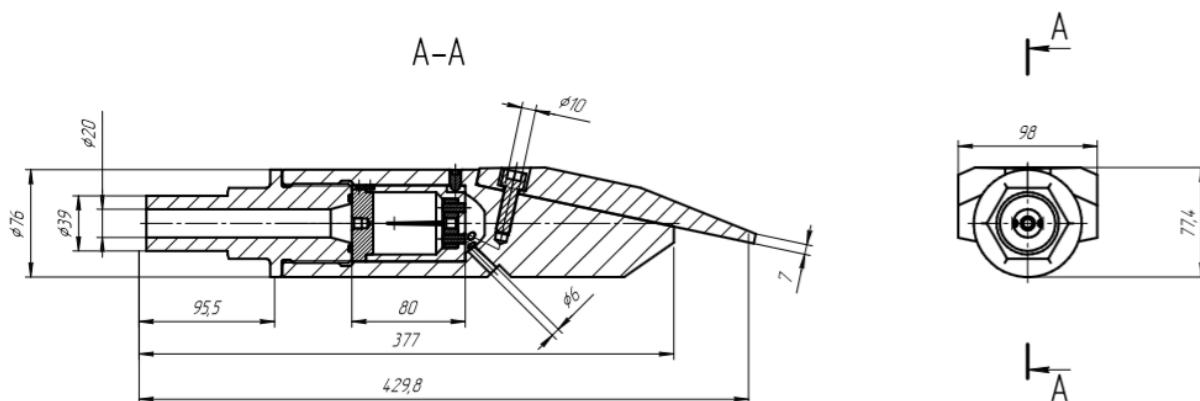


Рисунок Б.6 – Бурильная головка

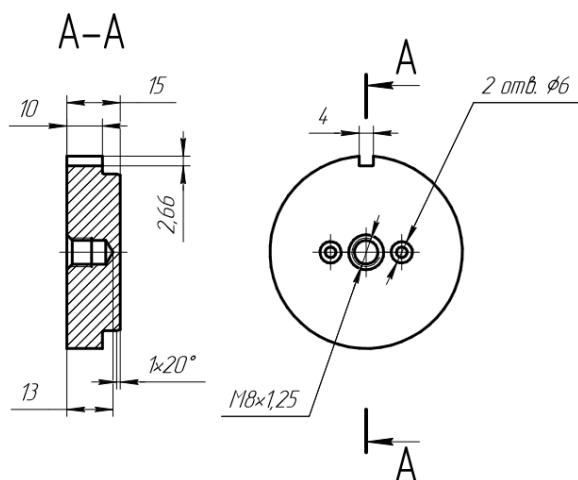


Рисунок Б.7 – Диск

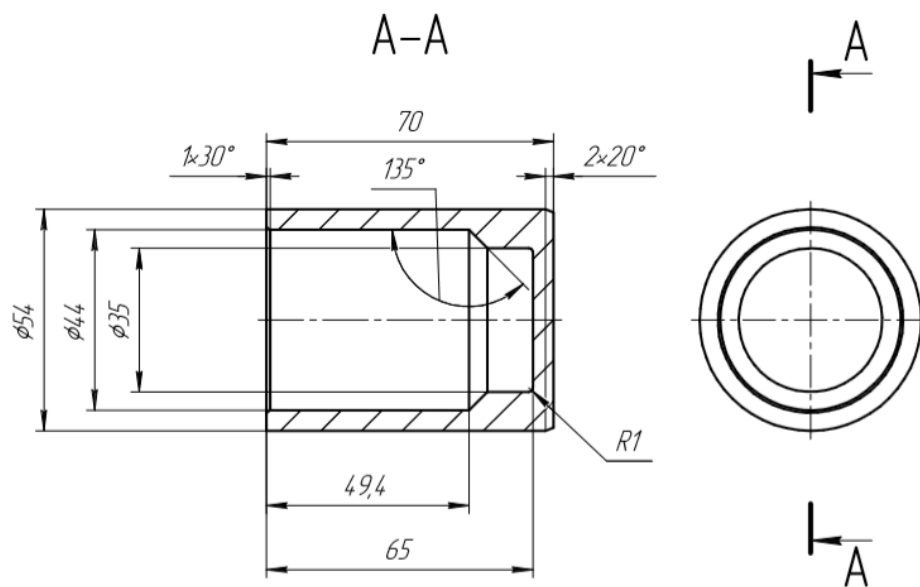


Рисунок Б.8 – Фиксатор

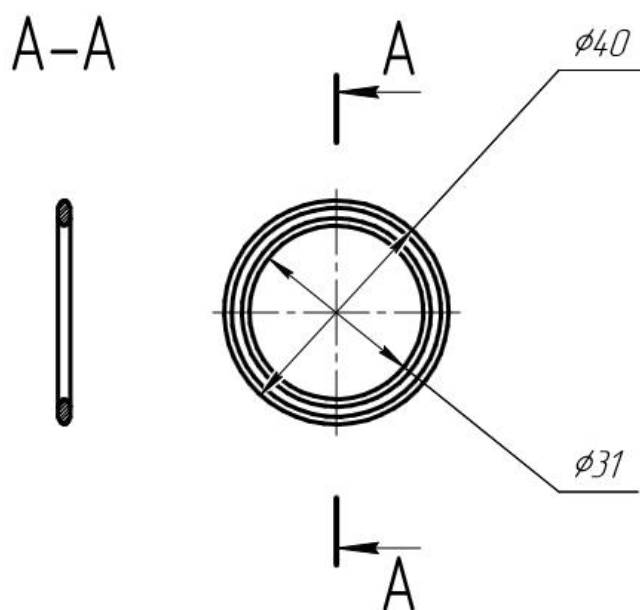


Рисунок Б.9 – Кольцо

ПРИЛОЖЕНИЕ В
СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ
ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2024612706

**Аналитическая модель оценки технического уровня
техники горизонтально направленного бурения в
заданной системе ограничений**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный архитектурно-
строительный университет» (RU)*

Авторы: *Склярова Анастасия Алексеевна (RU), Пушкарёв
Александр Евгеньевич (RU)*

Заявка № **2024611783**
Дата поступления **31 января 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **05 февраля 2024 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности


Ю.С. Зубов

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)**

Бережковская наб., 30, этаж 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 248-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № 68-13-03 от 22.01.2024

Изм № 2024Э02300

*При переводе следует сослаться на класс №
Исходная корреспонденция от 05.02.2024*

190005,
Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская
ул., 4, ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»,
Управление научной работы



УВЕДОМЛЕНИЕ

**о положительном результате проверки заявки
на государственную регистрацию программы для ЭВМ**

Ставим Вас в известность о том, что программа для ЭВМ: Аналитическая модель оценки технического уровня техники горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений

(21) по заявке № 2024611783/69

(22) Дата поступления заявки 31.01.2024

(71) Заявитель(и) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (RU)

внесена в Реестр программ для ЭВМ, регистрационный № 2024612706 от 05.02.2024

Приложение: 1. заключение на 1 л. в 1 экз.

2. свидетельство о государственной регистрации на 1 л. в 1 экз.

Консультант отдела правового
обеспечения предоставления
государственных услуг

документ подписан электронной подписью

Сведения о сертификате ЭП

Сертификат: 0400C980060800FAB4800A8001412AB47A

Владелец: Бражникова Надежда Евгеньевна

Срок действия с 13.11.2023 по 13.11.2024

Бражникова Н.Е.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
по результатам проверки заявки
на государственную регистрацию программы для ЭВМ

(21) Заявка № 2024611783/69

(22) Дата поступления заявки 31.01.2024

(54) Название: Аналитическая модель оценки технического уровня техники горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений

(71) Заявитель(и) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (RU)

В результате проверки заявки, проведенной в соответствии со ст. 1262 Гражданского Кодекса Российской Федерации* и п.п. 60 – 82 Административного Регламента** установлено, что заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ удовлетворяет требованиям, установленным Правилами составления*** и Правилами оформления****.

Электронный охраняемый документ (патент или свидетельство) будет доступен по нижеуказанной ссылке после регистрации объекта интеллектуальной собственности в соответствующем государственном реестре:

<https://fips.ru/EGID/678e863b-b8c2-4938-8046-e2bddd7dc349>

Для доступа следует:

- если ссылка получена на бумажном носителе, ввести ссылку вручную с использованием клавиатуры в адресную строку интернет-браузера и инициировать клавишу «Ввод»;
- если ссылка получена в электронной форме, инициировать ссылку указателем мыши либо скопировать ее, вставить в адресную строку интернет-браузера и инициировать клавишу «Ввод».

Наказова А.А. (000)000-00-00

* Гражданский кодекс Российской Федерации (часть четвертая) от 18 декабря 2006 г. № 230-ФЗ (с изменениями)

** Административный регламент предоставления Федеральной службой по интеллектуальной собственности государственной услуги по государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных и выдаче свидетельства о государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных, изданный, утвержден приказом Министерства экономического развития Российской Федерации от 3 апреля 2016 г. № 210, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42738.

*** Правила составления документов, являющихся объектами для государственной регистрации заявки или базы данных по государственной регистрации программы для электронных вычислительных машин или базы данных, утверждены приказом Министерства экономического развития Российской Федерации от 3 апреля 2016 г. № 211, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42738.

**** Правила оформления заявки на государственную регистрацию программы для электронных вычислительных машин или базы данных, утверждены приказом Министерством экономического развития Российской Федерации от 3 апреля 2016 г. № 211, зарегистрированным Министерством юстиции Российской Федерации 5 июля 2016 г. № 42738.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ В УЧЕБНЫЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕССЫ



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»
(СПбГАСУ)
ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, 190005

20.08.2024 № 08.32/24-13

[Акт внедрения материалов диссертации
в учебный процесс]



АКТ

внедрения материалов, содержащихся в диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Обоснование параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой» Складровой Анастасии Алексеевны, в учебный процесс Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета

Учебно-методическая комиссия автомобильно-дорожного факультета:

Председатель:

кандидат технических наук, доцент Зышкин А.В. – декан автомобильно-дорожного факультета.

Секретарь:

кандидат технических наук, доцент Виноградова Т.В.

Настоящим подтверждает внедрение материалов, содержащихся в диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук «Обоснование параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой» аспиранта кафедры наземных транспортно-технологических машин Складровой Анастасии Алексеевны (научный руководитель: доктор технических наук, профессор Пушкарев Александр Евгеньевич), в учебный процесс выпускающей кафедры наземных транспортно-технологических машин автомобильно-дорожного факультета в рабочие программы дисциплин (модулей): «Строительные машины» и «Технология машиностроения» по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, специализация «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудование».

Внедрение результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук обсуждено на заседании учебно-методической комиссии автомобильно-дорожного факультета Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета 30 мая 2024 года (протокол № 6).

Научная новизна данной диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработан безэкспертный метод оценки параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой посредством реализации аналитической модели оценки технического уровня

представленного ряда исследуемой техники горизонтально направленного бурения, базирующийся на элементарной теории вероятностей и исключающий возможность субъективного аспекта оценки.

2. Определена формула расчета показателя результативности модернизации машины горизонтально направленного бурения в рамках применения безэкспертного метода оценки параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой.

3. Установлены параметры взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой, при которых реализация технологии горизонтально направленного бурения протекает с максимальной энергоэффективностью.

Основные положения диссертационного исследования изложены в следующих печатных трудах:

1. Склярова А.А. Исследование влияния конструктивных параметров на область рационального применения машины горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 24. – С. 68-73. - doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-68-73.

2. Склярова А.А., Дружинин П.В., Максимов С.Е., Пушкарев А.Е. Оценка технического уровня установок горизонтально направленного бурения // Грузовик – 2023. – № 11. – С. 13–17 DOI: 10.36652/1684-1298-2023-11-13-17

3. Склярова А.А., Пушкарев А.Е. Научно обоснованный подход к оценке технического уровня машин ГНБ в заданной системе ограничений // Строительные и дорожные машины – 2023. – № 8. – С. 25–30

Председатель УМК АДФ:
декан АДФ, к.т.н., доцент

 А.В. Зазыкин

Секретарь УМК АДФ:
к.т.н., доцент кафедры НТТМ

 Т.В. Виноградова



Общество с ограниченной ответственностью «Специализированный застройщик «Эс Пи Райтерс»
ООО «Специализированный застройщик «Эс Пи Райтерс»

ОГРН 1085038012180 ИНН 5038064980 КПП 503801001
195273, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. Муниципальный округ Полострово, пр-кт Пискаревский, д.
63 литер А, помещение 3-Н, офис 640

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «СЗ Эс Пи Райтерс»

Шашков А.В.

«30» августа 2024 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы «Обоснование параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой» аспиранта кафедры наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО СПбГАСУ

СКЛЯРОВОЙ Анастасии Алексеевны

Настоящим сообщаем, что результаты диссертационной работы «Обоснование параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой», выполненной аспирантом кафедры наземных транспортно-технологических машин ФГБОУ ВО СПбГАСУ Скляровой А.А., приняты к внедрению и будут использованы при проведении строительных работ на этапе прокладки подземных инженерных коммуникаций различного назначения.

Разработанный Скляровой А.А. метод безэкспертного определения параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой, включающий в себя программу «Аналитическая модель оценки технического уровня техники горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024612706, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 05.02.2024), позволяет подобрать оптимальную машину (комплект техники) для выполнения работ в рамках технологии горизонтально направленного бурения, а также, за счет своей универсальности, может быть применен при выборе техники для выполнения иных видов работ.

Установленные Скляровой А.А. параметры взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой, при которых реализация данной технологии протекает с максимальной энергоэффективностью, учтены в производственном процессе.

Генеральный директор ООО «СЗ Эс Пи Райтерс»



Шашков А.В.

(подпись, печать)

info@glorax.com
glorax.com



ООО «ВелИС»
 195253, г. Санкт-Петербург, Салтыковская
 дорога, д. 6, лит. А, пом. 18
 тел./факс (812) 334-91-24
 ОКПО 19010780 ОГРН 1177847254650
 ИНН/КПП 7806275927/780601001

исх. №б/и от «02» сентября 2024 г.
 вх. № _____ от « _____ » _____ 2024 г.



АКТ

об использовании результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата
 технических наук аспиранта ФГБОУ ВО СПбГАСУ
 Склировой Анастасии Алексеевны
 на тему: «Обоснование параметров взаимодействия технологического инструмента
 машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой»

Научные результаты диссертационной работы на тему: «Обоснование параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой», выполненной аспирантом ФГБОУ ВО СПбГАСУ Склировой А.А., внедрены в процесс работы ООО «ВелИС» в части применения разработанного ею метода безэкспертного определения параметров взаимодействия технологического инструмента машины ГНБ с рабочей средой. Указанный метод использован при подборе техники ГНБ для прокладки подземных коммуникаций в августе 2024 года. Установленные Склировой А.А. параметры взаимодействия технологического инструмента (рабочего органа) машины ГНБ с рабочей средой подтверждены и будут учтены при реализации комплекса земляных работ ООО «ВелИС» в текущем году и последующих периодах.

С уважением,
 Генеральный директор ООО «ВелИС»



А.А. Федоскин



ООО «АКРОСС»

р/с 40702810811000000325 в ПАО «Банк Санкт-Петербург»
г. Санкт-Петербург
к/с 30101810900000000790
БИК 044030790
e-mail: acrossgnb@gmail.com
тел: +7 (911) 811-50-71

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «АКРОСС»

Матюшкин П.Н.

«23» 08 2024 г.

АКТ

о практической реализации результатов диссертационной работы на тему: «Обоснование параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой»
аспиранта кафедры наземных транспортно-технологических машин
ФГБОУ ВО СПбГАСУ
Склярной Анастасии Алексеевны

Настоящий акт подтверждает использование в деятельности ООО «АКРОСС» результатов, полученных Склярной А.А. при выполнении диссертационной работы на тему: «Обоснование параметров взаимодействия технологического инструмента машины горизонтально направленного бурения с рабочей средой».

Установленные Склярной А.А. параметры взаимодействия технологического инструмента машины ГНБ с рабочей средой, при которых соответствующий рабочий процесс протекает с максимальной энергоэффективностью, применяются при планировании работ с подземными инженерными коммуникациями.

Разработанная программа для ЭВМ «Аналитическая модель оценки технического уровня техники горизонтально направленного бурения в заданной системе ограничений» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024612706, дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 05.02.2024) эффективна, используется ООО «АКРОСС» при планировании организации работ для проведения подземных инженерных коммуникаций.

Генеральный директор



П.Н. Матюшкин

ООО «АКРОСС»

Юр. адрес: 197349, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, дом 4, литера А, кабинет 521
ИНН 7814510331, КПП 781401001, ОГРН 1117847362533

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
КОММЕРЧЕСКОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО СОЗДАНИЮ ТИ МГНБ,
ОСНАЩЕННОГО ГВК



ООО "Альфа стил"
 ул. Салова, дом 53, корпус 1 лит Н, офис
 240/241, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, Россия, 192102
 Тел.: 3099260
 E-mail: zapros@alfastil.spb.ru

КОММЕРЧЕСКОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ №Д028 от 15.08.2024

Сообщаем Вам, что ООО «Альфа стил» готово произвести изделия по Вашему запросу:

№ п/п	Наименование	Чертежное обозначение	Кол-во	Ед. изм.	Стоимость, руб. без НДС	Сумма, руб. без НДС
1	Головка бурильная	35СБ	70	шт.	126 274,00	8 839 180,00
				ИТОГО:		8 839 180,00
				СУММА НДС:		1 767 836,00
				ВСЕГО К ОПЛАТЕ:		10 607 016,00

Условия оплаты: 50% предплата, оставшиеся 50% после подписания УПД.
 Срок поставки: 4 месяца, с момента поступления аванса

Генеральный директор



ИВАНОВ МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

