

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

На правах рукописи

ВЛАСОВ АНТОН СЕРГЕЕВИЧ

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОВОГО
ШЛАМА В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА**

1.6.21 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, доцент
Пугин Константин Георгиевич

Пермь, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И МЕТОДЫ ОБРАЩЕНИЯ С БУРОВЫМИ ШЛАМАМИ	11
1.1 Объемы образования буровых шламов.....	12
1.2 Обобщенная характеристика буровых шламов	16
1.3 Воздействие бурового шлама на объекты окружающей среды	19
1.4 Анализ существующих методов обращения с буровыми шламами	21
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОВОГО ШЛАМА В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА	35
2.1 Характеристика применяемых материалов	35
2.2 Методы определения физико-химических характеристик образцов буровых шламов.....	37
2.3 Методики определения физико-механических характеристик асфальтобетона.....	38
2.4 Методики определения геоэкологической устойчивости асфальтобетона с содержанием бурового шлама	42
2.5 Статистическая обработка результатов исследования.....	43
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БШУ	45
3.1 Исследование качественного состава образцов БШУ	46
3.2 Исследование экологических свойств образцов БШУ	49
3.3 Определение физико-механических свойств БШУ	53
3.4 Теоретическое и практическое обоснование использования БШУ в составе асфальтобетона	54
ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОВОГО ШЛАМА В СОСТАВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА	62
4.1 Исследование физико-механических свойств асфальтобетона с добавлением бурового шлама	62
4.2 Построение уравнений регрессии физико-механических показателей асфальтобетонной смеси с добавлением БШУ	69

4.3 Технологическая схема производства асфальтобетона с использованием БШУ	91
ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ БШУ В СОСТАВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА.....	99
5.1 Оценка миграции загрязняющих агентов из асфальтобетона с БШУ в водные среды	99
5.2 Биотестирование образцов асфальтобетона	105
5.3 Техничко-экономическая оценка использования БШУ в качестве минерального порошка в асфальтобетонной смеси	108
5.4 Эколого-экономическая оценка предотвращенного ущерба при использовании БШУ в качестве минерального порошка в асфальтобетоне	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	115
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	117
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	118
Приложение. Акты внедрения	129

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Разработка месторождений нефти и газа сопровождается образованием большого объема буровых шламов (БШ). Наличие в их составе опасных химических соединений, тяжелых металлов (ТМ), углеводородов формирует техногенный потенциал способный вызвать значительное загрязнение окружающей среды (ОС). Наибольшую опасность для ОС представляет буровой шлам, образующийся при использовании бурового раствора на углеводородной основе (БШУ). Практика долгосрочного размещения БШУ в шламовых амбарах (шламонакопителях) формирует повышенные риски загрязнения геосфер в местах добычи нефти и газа опасными для ОС компонентами входящими в состав БШУ. Присутствие углеводородов и нефти в значимых количествах определяет не только высокую геоэкологическую опасность БШУ, но и представляет материальный ресурс, который может быть востребован при производстве целевых продуктов. Существующие методы извлечения нефти из БШУ рентабельны при ее концентрации более 8-10%. При более низком содержании углеводородов БШУ направляются на уничтожение или захоронение с потерей ценного ресурса. Проведенный предварительный анализ свойств БШУ показал, что высокодисперсная минеральная часть БШУ, нефть и нефтепродукты определяют технологическую возможность создания ресурсосберегающей технологии производства асфальтобетона, позволяющей экономить первичные минеральные материалы и битум. Гранулометрический состав БШУ позволяет использовать его в качестве мелкого минерального заполнителя в асфальтобетонах.

Наличие в БШУ нефти и механоактивированной минеральной части преобразованной при взаимодействии бурового инструмента с горной породой в среде углеводородов, при перемешивании с битумом при производстве асфальтобетона, позволяют регулировать процессы его структурообразования обеспечивая улучшение его физико-механических и эксплуатационных свойств. При таком подходе БШУ будет полностью вовлекаться в ресурсный цикл производства асфальтобетона, без выделения отдельных составных материальных

частей и исключить формирование вторичного загрязнения в результате образования неутилизированных остатков. Создаваемая битумом гидрофобная водостойкая матрица и плотная структура асфальтобетона обеспечат приемлемый уровень экологической опасности при эксплуатации асфальтобетона произведенного с БШУ. Высокодисперсное состояние БШУ, наличие углеводородов и механоактивация минеральной части позволяют экономить энергетические ресурсы, затрачиваемые на производство минеральных компонентов асфальтобетона, что дополнительно обеспечивает экономическую целесообразность крупнотоннажного использования БШУ в производстве асфальтобетона. Научное обоснование оптимального состава асфальтобетона с применением БШУ позволит получить материал геоэкологически устойчивый, безопасный для ОС, рециркулируемый, не вызывающий загрязнения на всем протяжении его жизненного цикла. Внедрение в производство рекомендаций по использованию БШУ в составе асфальтобетонов позволит отказаться от его размещения в ОС, перейти к безамбарной технологии бурения, сократить потребление первичных природных сырьевых материалов, исключить загрязнение ОС, а также получить геоэкологически устойчивый безопасный для ОС эффективный строительный материал, востребованный на рынке.

В этой связи геоэкологическое обоснование использования БШУ в производстве асфальтобетона является актуальной задачей.

Тема диссертации соответствует **паспорту специальности ВАК 1.6.26 – Геоэкология**, по пункту 17.

Степень разработанности темы. Теоретической и методологической основой выполненного диссертационного исследования послужили опубликованные ранее работы: Булатова А.И., Войтенко В.С., Ежова М.Ю., Гапонова В.С., Гаевой Е.В., Косаревича И.В., Кузьмина Ю.И., Малышкина М.Ю., Мартыненко Е.Г., Некрасовой И.Л., Пичугина Е.А., Рудаковой Л.В., Рахматуллина Д.В., Сафарова А.Х., Скипина Л.Н., Тарасовой С.С., Терпелец В.И., Шеметова В.Ю., Ягофаровой Г.Г., Язикова Е.Г., Liu Dong-sheng, Leonard Sunday A., Neff J.M., Kujawska J., Schaanning M. и др. Анализ ранее опубликованных

работ показал, что вопрос использования ресурсного потенциала БШУ в составах асфальтобетона не изучен, не проводилась оценка геоэкологической устойчивости асфальтобетонов полученных с БШУ.

Цель диссертационной работы: геоэкологическое обоснование использования бурового шлама в производстве асфальтобетона.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи:**

- определены физико-механические, химические, токсикологические свойства БШУ и определены условия его использования в составе асфальтобетона;
- разработан оптимальный состав асфальтобетона с БШУ обеспечивающий необходимые для дорожного строительства физико-механические характеристики;
- на основе проведения токсикологических, химических исследований дана оценка геоэкологической устойчивости асфальтобетона с БШУ оптимального состава;
- разработаны технология и рекомендации по использованию БШУ в составе асфальтобетонов;
- проведена технико-экономическая оценка использования БШУ в составе асфальтобетона.

Научная новизна работы:

1. На основе анализа физико-механических, химических, токсикологических свойств БШУ предложено для снижения водномиграционной опасности химических соединений БШУ и достижения геоэкологической устойчивости целевого продукта использовать материальный ресурс БШУ в составе асфальтобетона. Установлено, что формируемая при этом структура асфальтобетона характеризуется водостойкостью, гидрофобностью, кислотостойкостью, с образованием прочных связей между битумом и БШУ, что обеспечивает приемлемый уровень экологической опасности при его эксплуатации.

2. Впервые установлен механизм взаимодействия БШУ и битума при структурообразовании асфальтобетона. Регулирование характеристик асфальтобетона обеспечивается свойствами минеральной части БШУ полученной при взаимодействии бурового инструмента с горной породой в среде углеводородов при высоком контактном давлении и высокой температуре. На минеральных частицах БШУ формируется механоактивированный поверхностный слой содержащий углеводороды, который обеспечивает прочные связи между битумом асфальтобетона и минеральной частью БШУ.

3. Впервые установлены закономерности изменения физико-механических характеристик асфальтобетона от содержания БШУ и битума. Определен оптимальный состав асфальтобетона: песок – 11-14%, щебень – 45-48%, отсев дробления – 35-39%, БШУ – 8%, битум БНД 90/130 – 4,9-5,1 % (свыше 100% смеси). Доказано, что при содержании БШУ 8% улучшаются характеристики асфальтобетона: показатель водонасыщения асфальтобетона снизился в 1,36 раз, остаточная пористость уменьшилась в 1,19 раз, коэффициент водостойкости увеличился в 1,1 раз; прочность на сжатие при 20 °С увеличилась в 1,14 раз; прочность на сжатие при 0 °С снизилась в 1,16 раза.

4. Впервые произведена оценка водномиграционной опасности асфальтобетонов произведенных с добавлением БШУ. Установлено, что снижение водномиграционной опасности БШУ достигается за счет совместного участия нефтепродуктов и активированной мелкодисперсной минеральной части БШУ в процессах структурообразования асфальтобетона, с образованием прочных связей между БШУ и компонентами асфальтобетона. Это позволяет при оптимальном содержании БШУ (8% по массе) в составе асфальтобетона снизить миграцию в водные среды: хлоридов в 2,4 раз; ионов тяжелых металлов в подвижной форме от 30 до 200 раз, нефтепродуктов в 14,7 раза.

5. Впервые доказана геоэкологическая устойчивость асфальтобетона произведенного с использованием БШУ. По итогам проведения биотестирования установлено, что водная вытяжка не обладает эффектом токсичности на тест-объекты *Scenedesmus quadricauda* и *Daphnia magna Straus* при содержании БШУ в

составе асфальтобетона до 12%. Полученные значения эмиссии химических соединений (хлоридов, свинца, марганца, никеля, меди), опасных для ОС, не превышают допустимые ПДК для вод и почвы.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании: способности БШУ встраиваться в структуру органоминеральных смесей с обеспечением водномиграционной опасности на допустимом уровне; регулирования физико-механических характеристик асфальтобетона с достижением повышенных показателей физико-механических характеристик; геоэкологической устойчивости асфальтобетона произведенного с использованием БШУ в качестве мелкого минерального заполнителя. Улучшение характеристик асфальтобетона обеспечивается механоактивированным поверхностным слоем минеральной части БШУ образующейся при взаимодействии бурового инструмента с горной породой в среде углеводородов при высоком контактном давлении и высокой температуре.

Практическая значимость работы:

- установлено, что использования БШУ в составе асфальтобетона позволяет снизить потребление первичных сырьевых материалов битума и горных пород, затрачиваемых на производство минерального порошка используемого в качестве мелкого заполнителя и регулятора структурообразования в асфальтобетоне, снизить негативное воздействие на ОС формируемое БШУ за счет отказа от долгосрочного хранения в шламонакопителях;

- технико-экономическое сравнение стоимости производства и укладки асфальтобетонной смеси с использованием БШУ и традиционного асфальтобетона показал, что экономия денежных средств на производство одной тонны асфальтобетона составляет 231 руб. (в ценах 2021 года);

Научные и практические знания, полученные в ходе работы над диссертацией, внедрены в учебный процесс ФГАОУ ВО ПНИПУ. На основе полученных результатов исследования получен патент № 2020144072 «Асфальтобетон». Разработанный оптимальный состав асфальтобетона с БШУ и рекомендации по его производству одобрены на ряде предприятий Пермского

края занятых производством асфальтобетона, строительством и ремонтом автомобильных дорог, что подтверждается актами ООО «МонолитСтрой» и «Аракс» г. Пермь, представленными в приложении.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № FSNM-2020-0024 «Разработка научных основ экологически чистых и природоподобных технологий и рационального природопользования в области добычи и переработки углеводородного сырья».

Методология и методы исследования. При исследовании использовались эмпирические и теоретические научные методы. При изучении физических химических, механических, токсикологических свойств образцов БШУ и асфальтобетонов использовались стандартные методики анализа, указанные в отраслевых нормативных документах. Для обработки результатов экспериментов использовались математические и статистические методы. Работы проводились на кафедрах «ООС» и «АДМ» ФГАОУ ВО ПНИПУ, лабораториях ФГАОУ ВО ПГНИУ, ФГБОУ ВО ПГАТУ, КГБУ «Аналитический центр» г. Пермь

Положения, выносимые на защиту:

1. Физические, химические и токсикологические свойства БШУ месторождений Западной Сибири, оценка возможности использования БШУ в составе асфальтобетона.

2. Зависимость изменения физико-механических свойств асфальтобетона от содержания БШУ и битума в его составе. Оптимальный состав асфальтобетона при использовании в его составе БШУ удовлетворяющий требованиям нормативных документов на асфальтобетон.

3. Результаты исследований геоэкологической устойчивости асфальтобетона с БШУ на основе оценки его токсикологических свойств.

4. Технологическая схема и рекомендации по использованию БШУ в составе асфальтобетонов оценка их применения в дорожном строительстве.

Степень достоверности результатов диссертационного исследования подтверждается: использованием общепринятых стандартных методов

используемых при исследованиях и испытаниях полученных образцов. Полученные данные не противоречат ранее опубликованным исследованиям.

Апробация результатов диссертационной работы. Основные положения работы были доложены и обсуждены на конференциях разного уровня: междунар.конф. попром. инжинирингу и современ. техн. «FarEastCon» (г.Владивосток, 2019г., 2020.); IV междунар.науч.конф. «От обращения отходами к управлению ресурсами» (г.Пермь, 2019г.); междунар.науч.-практ.конф. «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе» (г.Пермь, 2018, 2019, 2020г.), Всерос.науч.-практ.конф. «Химия. Экология. Урбанистика» (г.Пермь, 2019, 2021, 2022), Всерос. науч.-практ.конф.«Агротехнологии XXI века» (г.Пермь, 2019 г.), междунар. науч.-практ.конф. (г.Ростов-на-Дону, 2020 г) и др.

Личный вклад автора заключается в обосновании актуальности исследования, постановке цели и перечня решаемых задач; в непосредственном личном участии во всех проведенных экспериментах по изучению бурового шлама и асфальтобетона, его свойств и характеристик, интерпретации полученных данных; в обобщении результатов исследования; в написании и подготовке к публикациям научных трудов посвященных теме исследования.

Публикации. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 9 статьях, из которых 3 статьи в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Chemical Abstracts и патенте.

Структура и объем работы. Материал диссертационной работы занимает 130 страниц. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, 97 библиографических источников и приложения. Текст содержит 39 рисунков, 25 таблиц.

ГЛАВА 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И МЕТОДЫ ОБРАЩЕНИЯ С БУРОВЫМИ ШЛАМАМИ

Деятельность нефтедобывающих предприятий приводит к возникновению значительных объемов буровых шламов (БШ), которые представляют собой водонефтяные эмульсии и размещаются в окружающей среде [1-5]. Свойства БШ определяются многими факторами и меняются со временем. К таким факторам относят: обводненность скважин; химический состав и минерализация межпластовых вод; способ ведения буровых работ; компонентный состав нефти и газа, физико-химические свойства нефтей; количество механических примесей и их состава; температура и другие характеристики. При долгосрочном хранении БШ открытым способом происходит «старение» БШ, которое характеризуется уплотнением и упрочнением структуры БШ за счет испарения воды и легких фракций углеводородов, увеличением содержания минеральных частиц за счет атмосферной пыли. В составе БШ содержатся загрязняющие агенты, которые формируют угнетение и подавление окружающего биоценоза за счет изменения химических свойств геосферных оболочек, в которых существуют экосистемы [6-11]. Накопление БШ в местах проведения буровых работ приводит к долгосрочному задалживанию земельных ресурсов, негативному воздействию на ОС за счет формирования изменения химического состава геосферных оболочек, повышения рисков изменения жизнеобеспечивающих функций окружающей среды выше приемлемого уровня. В то же время БШ можно отнести к вторичным материальным ресурсам, которые могут быть использованы в производстве целевых продуктов вместо первичного сырья [12-17].

Изучив механизм негативного воздействия БШ на ОС, выделив основные опасные для ОС химические соединения входящие в состав БШ, поняв каким образом, возможно, снизить формирование негативного воздействия, возможно, разработать технологию утилизации которая обеспечит полное использование материального ресурса БШ с обеспечением экологической безопасности получаемого продукта на всем протяжении его жизненного цикла.

Методы утилизации БШ можно представить в качестве способов, при которых БШ размещается в ОС посредством встраивания в структуру производимого продукта в качестве одного из сырьевых компонентов [18-23]. БШ будет заключен в виде компонента внутри структуры нового продукта или станет непосредственным участником самой структуры с образованием прочных связей на молекулярном уровне. Такое использование БШ позволит не только экономить природные ресурсы, а так же создавать новые материалы с повышенными потребительскими свойствами [24-29].

1.1 Объемы образования буровых шламов

Россия является одним из лидеров стран по нефтедобывающей промышленности. По официальным данным сайта «Минэнерго» за 2020 год было добыто 608 131 тыс.т нефти. С ежегодным увеличением темпа добычи нефти происходит рост образования техногенного отхода – бурового шлама.

Образование буровых шламов и других отходов бурения в России за 2017 г.наиболее крупными предприятиями представлены в таблице 1.1

Таблица - 1.1 Объемы образования отходов бурения в России за 2017 г., т

Отходы	ПАО «Татнефть»	ОАО «Сургут-нефтегаз»	ПАО «НК «Роснефть»	ПАО «Газпром нефть»	ПАО «ЛУКОЙЛ»
Наличие отходов на начало года, всего	169	37 501	13803539	63 655	131 719
нефтешламы	169	4066	10228792	7091	24 034
отходы бурения	нет данных	нет данных	1 163622	25 630	
Образовано отходов за год	61 696	797 344	6411 553	1 134 004	1 384460
нефтешламы	30 588	17 246	697 838	122 285	67 245
отходы бурения	нет данных	нет данных	4675585	884166	
Использовано (утилизировано) отходов	10 180	462 681	4367220	743 649	867 199
нефтешламы	332	нет данных	362324	450	1
отходы бурения	нет данных	нет данных	3796470	97 873	нет данных
Обезврежено отходов,	0	50 470	533581	200 287	32 063
нефтешламы	0	18 500	292271	65 960	9433
отходы бурения	нет данных	нет данных	44 921	97 874	нет данных

Буровые работы, связанные с добычей нефти и газа, на один метр проходки в условиях Западной Сибири образуют приметно 0,4 м³ отходов бурения. Объем отходов, зависит от диаметра и глубины скважины, технологической схемы

бурения, системы промывки скважины и геологических особенностей места проходки скважины (Солодовников и др., 2015; Матвеевко и др., 2017).

Примерно такой же объем отходов бурения на один метр проходки образуется и в нефтедобывающих компаниях других стран. В США в штате Пенсильвания при бурении типовых горизонтальных скважин образуется до 4,3 млн. тонн бурового шлама, в целом в США в 2017г образовано примерно 113 млн. тонн бурового шлама.(Stuckmanetal, 2019)

Согласно опубликованным отчетам по обращению с отходами за 2018 г, крупных нефтегазовых компаний России, образование бурового шлама составило более шестидесяти процентов от общего объема всех образованных отходов, рисунок 1.1.

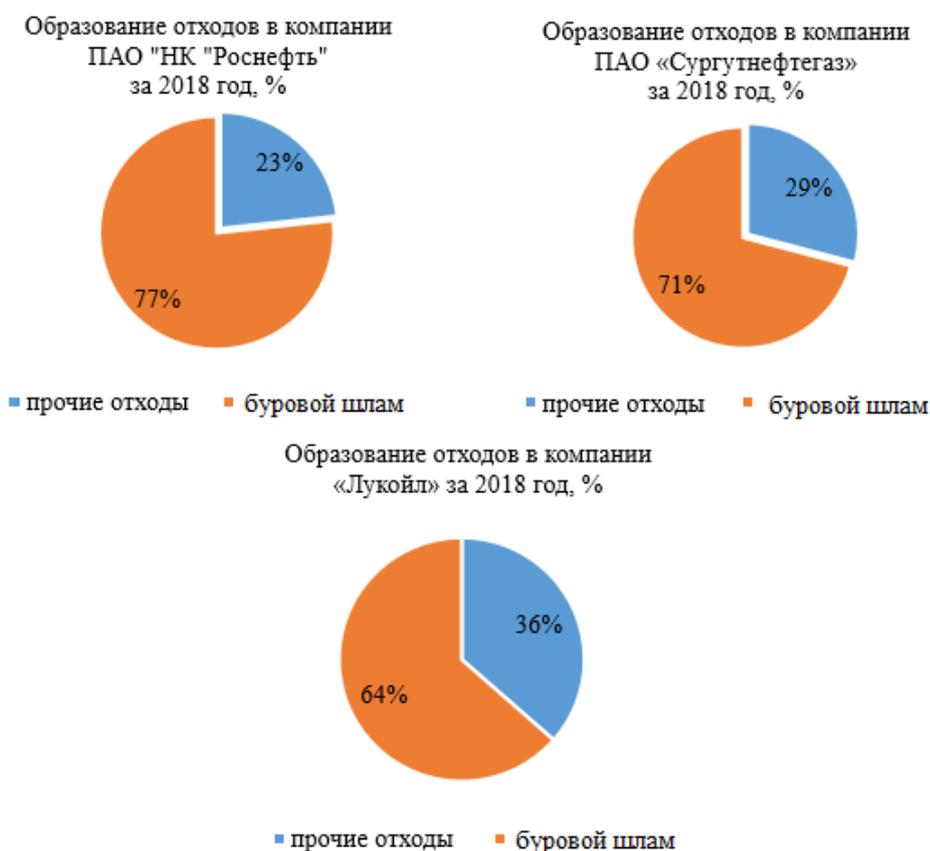


Рисунок 1.1 Объемы образования бурового шлама в 2018 год

В отчетах по обращению с отходами бурения группы компаний «Лукойл» за 2014-2020 г. отмечается, что наибольший удельный вес среди отходов бурения приходится на буровые шламы и буровой раствор. Рост объема данных отходов

связан в первую очередь с ростом буровых работ связанных с разведкой новых месторождений и эксплуатацией разведанных.

Рост объемов бурения отмечается и в других крупных нефтедобывающих компаниях. Некоторое снижение объемов образования отходов бурения в 2015-2017 годах сменилось устойчивым подъемом начиная с 2018г. Объемы образования отходов бурения группы компаний «Газпром» представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 Объемы образования отходов бурения группы компаний Газпром.

Показатель		Год			
		2017	2018	2019	2020
1	Образовано отходов бурения, тыс. тонн	947	748	888	1 106
1.1	Утилизировано на предприятии, тыс. тонн	87	0	0	41
1.2	Обезврежено на предприятии, тыс. тонн	5,1	1,3	0	0
2	Передано другим специализированным предприятиям, всего, в т. ч.: тыс. т.	731	688	790	971
2.1	на утилизацию, тыс. т	620	596	727	945
2.2	на обезвреживание, тыс. т	111	92	63	26
2.3	Размещено на объектах временного хранения Газпром, тыс.т.	6,8	0	62	6,8
2.4	Размещено на объектах захоронения Газпром, тыс.т.	50	59	57	31

В отчетах компаний «Газпром» так же отмечается, что на сегодняшний день основными отходами, образующимися при бурении скважин являются БШ и отработанный буровой раствор. По величине опасности для ОС БШ и растворы относят к 4 (малоопасному) и 5 (неопасному) классам опасности. Основной объем данных отходов бурения направляется на захоронение или обезвреживание.

Большинство компании занятых в сфере нефте-газодобычи за последнее время показывают устойчивый рост образования буровых отходов, который обусловлен в первую очередь увеличением буровых работ (внедрение горизонтального бурения скважин требует большой объем бурового раствора), атак же значительным объемом ремонтных, демонтажных и строительных работ,

которые проводятся на буровых участках. Как следствие этого повышаются риски изменения химического состава геосферных оболочек выше приемлемого уровня.

Необходимо отметить, что большинство буровых участков размещаются на значительном удалении от мест проживания и людей и промышленных предприятий, имеют плохую транспортную доступность. Эти обстоятельства накладывают ограничения на возможные технологические решения по утилизации буровых шламов и их вторичному использованию материального ресурса. Организация технологии утилизации (производства вторичных продуктов) из бурового шлама с получением продукта с низкой добавочной стоимостью экономически не выгодно в виду значительных транспортных издержек. Предпочтительными являются технологии утилизации с получением продуктов, которые возможно использовать на самой буровой площадке или в ее близи, для технологических потребностей самой нефтегазодобывающей компании, для обустройства инфраструктуры прилегающих территорий.

В настоящее время нефтегазодобывающие предприятия РФ осуществляют переход на технологию безамбарного бурения скважин. Образующиеся отходы бурения направляются на утилизацию, обезвреживание или захоронение в специализированные предприятия, без осуществления долговременного хранения на буровых площадках. Такая технология бурения предполагает отказ от долгосрочного хранения отходов бурения и в перспективе вообще отказаться от устройства шламовых амбаров.

Все это формирует необходимость дополнительных технических предложений позволяющих обеспечить вовлечение отходов бурения, в ресурсный цикл получения востребованных на рынке целевых продуктов с высокой добавочной стоимостью, востребованных для обустройства инфраструктуры участков добычи и прилегающих территорий, безопасных для окружающей среды.

1.2 Обобщенная характеристика буровых шламов

Буровые шламы, образующиеся при ведении буровых работ, представляют собой высокодисперсные системы, состоящие из мелких частиц горной породы в виде минеральных компонентов (песка, пыли и глин), химических реагентов, углеводородов, нефти и воды.

Содержание нефти и нефтепродуктов достигают 7,5%, химические соединения и поверхностно-активные вещества составляют 0,5-1,5%. Содержание нефтепродуктов в БШ составляет от 100 до 90000 мг/кг. Нефтяная составляющая БШ это в основном парафино-нафтеновые углеводороды – 35-48%, 10-30% - твердые парафины, 10-26% - ароматические углеводороды, 15-25% - смолы, 2-5,5% - асфальтены. Минеральная часть состоит в основном из окислов кремния, небольшие количества соединений Fe, Al, Na, Zn и других металлов.

В соответствии с ФККО(редакция от 29 марта 2021 г. N 149) шламы буровые имеют в своем составе группы: 29112081394 - шламы буровые при бурении, связанном с добычей сырой нефти, природного газа и газового конденсата, с применением бурового раствора глинистого на водной основе; 29112112394 - шламы буровые при бурении, связанном с добычей сырой нефти, природного газа и газового конденсата, с применением бурового раствора на углеводородной основе; 29112411394 - шламы буровые при бурении, связанном с добычей сырой нефти, природного газа и газового конденсата, с применением бурового раствора глинистого на водной основе с добавлением биоразлагаемых полимеров. Это деление обусловлено использованием вида бурового раствора, который формирует опасность для окружающей среды. Наиболее опасные БР на углеводородной основе, которые способны формировать среду не пригодную для проживания живых организмов.

В БШ попадают различные реагенты бурового раствора, в частности эфироивлекаемые соединения, глинопорошки, различные полимеры, в том числе и на основе целлюлозы, смазки и т.д.), содержащиеся в диапазоне значений 1,5-13,5 %.

В состав БШ входят загрязняющие вещества, как нефть и нефтепродукты (до 7%), минеральные соли (0,012-16,83%), соединения тяжелых металлов (до 6%). Присутствие тяжелых металлов обусловлено в т.ч. поступлением из выбуренной породы. Для разных месторождений нефтегазодобычи характерен разный состав БШ и разброс данных по содержанию компонентов, что может быть связано с: технологиями бурения; местонахождением объекта добычи нефти; геологическими особенностями пород; компонентного состава реагентов бурового раствора.

Физические свойства и химические составы БШ определяются типом и видом горной породы и химическим составом бурового раствора. Минералогический состав твердой фазы БШ может быть: глинистым (основное содержание это глины, аргиллиты, мергели); карбонатным (известняки, доломиты); коллоидно-сульфатным(каменная соль, гипс и/ или ангидрит) [30-32].

Водородный показатель (рН) водной вытяжки БШ, составляет 7,5-10,5 что соответствует щелочной среде. В химическом составе элементов водной вытяжки БШ преобладает содержание основных породообразующих элементов:О, Н,Si, С,Al, Fe, Са, Mg, Mn, Na, Cl, К, Br. В меньших количествах встречаются Cd, Pb, Zn, Cu, Со, Hg, As, В, Ва, Р, Ti,Cr, Ni, W [33,34]. Повышенная щёлочность и высокое содержание ионов натрия определяют их высокую дисперсность минеральной части и способность удерживать в своем составе воду. Принято считать, что основными опасными для окружающей среды элементами являются: нефть; углеводороды; легкорастворимые соли в виде хлоридов; соединения тяжелых металлов; химические соединения определяющие высокую щёлочность БШ [35-37].

В зависимости от используемого бурового раствора различают буровые шламы, которые образуются при использовании глинистого бурового раствора на водной основе (БШГ), и буровые шламы, образованные при использовании БР на углеводородной основе (БШУ). В последнем всегда содержатся нефтепродукты в значительных количествах способных сформировать негативное воздействие на ОС выше приемлемого уровня.

Присутствие в составе БШ опасных для окружающей среды нефти и химических соединений формируют риски негативного воздействия на все геосферные оболочки Земли. Размещая БШ в специализированных инженерных сооружениях (шламовых амбарах) имеющих природоохранные мероприятия, позволяющие с допустимым риском для окружающей среды осуществить централизованный сбор, обезвреживание и последующее захоронение БШ. Загрязнение опасными для окружающей среды компонентами БШ гидро- и литосферы возможно в виду недостаточной эффективности или выхода из строя гидроизоляции шламовых амбаров [38]. Атмосфера, со стороны БШ, подвергается негативному воздействию в виде испарения углеводородов и пыли формирующейся при высыхании БШ без должных защитных мероприятий и сооружений. Строительство шламовых амбаров и других инженерных сооружений, направленных на предотвращение негативного воздействия БШ, сопровождается выводом из хозяйственного оборота значительных площадей земель пригодных для ведения сельского хозяйства и лесоводства, вырубаются деревья и кустарник, нарушаются ареолы обитания живых организмов.

Ранее проведенные исследования различными научными группами показывают, что основными опасными компонентами для окружающей среды в составе БШ (и в составе отходов бурения в общем) являются нефть/нефтепродукты, тяжелые металлы, минеральные соли и органические ксенобиотики (в частности, синтетические присадки к буровым растворам). Каждый из этих компонентов БШ при складировании отхода в шламонакопителе подвергается действию разнонаправленных процессов, и определить, какой из них станет преобладающим, можно только при рассмотрении конкретных условий образования и складирования отхода. Для предотвращения накопления БШ в настоящее время вводится технология безамбарного бурения. Такая технология бурения требует разработки и внедрения методов обезвреживания и технологических схем утилизации БШ. Технологии должны иметь низкую стоимость реализации, малые технологические потребности и не формировать вторичное загрязнение окружающей среды при своей реализации.

Ряд авторов показывают, что в процессе бурения горная порода может получить новые свойства. Измельчение при ударном, ударно-истирающем воздействии механически преобразовывает структуру горной породы, вследствие взаимодействия с нефтепродуктами происходит механоактивация, соединения тяжелых металлов адсорбируются на поверхности горной породы, в результате чего экологическая опасность образываемого БШ увеличивается [39].

Бутовые шламы образуются при силовом взаимодействии бурового инструмента с горной породой. При отделении горной породы от массива при бурении, на частицы горной породы действуют значительные силы способные образовать на поверхности минеральных частиц поверхностные слои отличные от слоев обычного песка. Это обусловлено не только силовым воздействием, а также высокой температурой, давлением, средой углеводородов.

1.3 Воздействие бурового шлама на объекты окружающей среды

Опосредованное воздействие отходов нефтегазодобычи на природные экосистемы возникает при несоблюдении и нарушении правил безопасности при их захоронении либо утилизации [40].

БШ являются многотоннажными отходами, характеризующиеся разнородными химическими и физическими составами, что определяет сложность утилизации. Большинство исследователей в своих научных публикациях показывают, что основная негативная нагрузка на объекты ОС формируется за счет нефти и углеводородов входящих в состав БШ. Накопление нефти в отходах бурения происходит при контакте с пластовым флюидом в процессе бурения, а также при размещении продуктов освоения скважин в шламовом амбаре (шламонакопителе). Загрязняющие агенты, которые присутствуют в отходах нефтегазодобычи, хорошо растворимы в воде, а также характеризуются летучестью, при этом они являются растворителями и могут накапливать другие вредные элементы [41].

Воздействие БШ на атмосферный воздух обусловлено воздействием легких фракций углеводородов, входящих в состав БШ, за счет их испарения с

поверхности шламонакопителей. Получены данные о снижении содержания нефтяных углеводородов в отходах бурения, что связано с распадом и улетучиванием легких фракций нефтепродуктов; содержание нефтепродуктов со временем может снижаться до фоновых значений для промышленных территорий [42-44]. При долгосрочном открытом хранении в шламонакопителях дополнительно формируется техногенное воздействие в виде мелкодисперсного пыления при высыхании поверхностного слоя БШ. При этом возможно распространение БШ на большое расстояние от мест складирования. Мелкодисперсная пыль может накапливаться на локальных участках поверхности земли с формированием загрязнения в недостаточно удаленном расстоянии от мест складирования БШ.

Воздействие БШ на подземные и поверхностные воды происходит из-за неправильного устройства шламонакопителя, нарушения работы гидроизоляционных слоев, водоотводных канав [45,46]. Атмосферные осадки в виде дождя и снега способствуют миграции водорастворимых химических соединений из БШ, формируют миграционные потоки опасных для ОС соединений в поверхностные и подземные воды [47,48].

БШ, попадая в водные среды, вызывает: местные изменения химико-биологических свойств экосистем; увеличенная концентрация взвешенных веществ понижает прозрачность воды; изменение теплового режима водной среды; увеличение в воде содержания растворенной формы металлов; изменение рН; солености.

Проблеме загрязнения почвы БШ посвящены многие исследования [49-53]. Исследования показывают, что на всех загрязненных участках наблюдается угнетение растительного покрова. Почти всегда, после разлива отходов бурения, растительный покров практически полностью уничтожается по причине вытеснения кислорода из почвы.

Увеличение засоления и усиление фитотоксичности почв на загрязненных участках формируются из-за наличия в составе БШ растворимых солей, нефтепродуктов, токсических компонентов бурового раствора, тяжелых металлов.

Миграция различных минеральных солей в почвенные слои Земной коры, изменяет химический баланс между ионами магния, натрия и кальция, которые определяют процессы питания растений. Резкое изменение химического состава может привести к голоданию растений, и может спровоцировать их гибель, происходит изменение агрохимических свойств почвы. С увеличением количества хлора, токсичного для растительных культур, создаются неблагоприятные условия для выращивания сельхозкультур.

БШ при попадании в почву образует крупные глинистые комки, которые обладают высокой вязкостью и липкостью, вследствие чего, уменьшаются плодородные свойства почв.

Влияние БШ на растительный слой исследовано во многих работах [54-57], в которых определено большое воздействие БШ на растительный покров. Получено, что даже после 15 лет растительность на загрязненных БШ территориях восстанавливается только наполовину. Редкий растительный слой приводит к деструкции рельефа и происходит заболачивание территории.

Под действием малых доз сырой нефти уменьшается биологическое разнообразие, угнетается травянистый слой, пожелтение и отмирание хвои и листьев, меняется биохимический состав растений. Из-за того, что полиароматические углеводороды характеризуются сильным канцерогенным действием, они представляют высокую опасность при их большой концентрации. При этом, полиароматические углеводороды по пищевым цепям могут достичь человека.

1.4 Анализ существующих методов обращения с буровыми шламами

Для минимизации и ликвидации техногенного воздействия от БШ на геосферные оболочки Земли используются различные методы, с помощью которых обеспечивается экологическая безопасность, рациональное использование и регулирование с целью сохранения продуктивной экосреды [58-65].

Захоронение, обезвреживание и утилизация БШ являются известными методами обращения, способными обеспечить защиту и сохранение продуктивной способности геосферных оболочек Земли.

Методы захоронения БШ.

БШ размещаются в специально сконструированном шламовом амбаре, представляющий собой забетонированный котлован большой емкости [66,67]. Размещение БШ в шламовом накопителе является самым легким и простым способом обращения с отходами, но при этом нефтяная компания обязана платить большой экологический платеж за размещение отхода. Дополнительно возникает техногенная нагрузка на ОС, так как для устройства накопителей приходится изымать большие площади земли, что ведет к материальным и денежным затратам. При этом сохраняется риск поступления загрязняющих агентов из БШ в сопредельные среды, связанные с неверной конструкцией амбара, либо с чрезвычайными ситуациями, связанные с проливами БШ на поверхность земли.

Методы обезвреживания буровых шламов

Целью обезвреживания БШ является уменьшение их токсичных свойств, объема, подготовка их к вторичному использованию [68]. Существует несколько способов обезвреживания БШ: термический - сжигание; физический – захоронение, разделение в силовых полях; физико-химический – изменение физико-химические свойства; химический - экстрагирование, отверждение, применение коагулянтов и флокулянтов; биологический – микробиологическое разложение[69-72].

Большинство этих методов требуют использования специального технологического оборудования, организацию технологических процессов сопровождающиеся большим потреблением энергии, способствуют образованию вторичного химического загрязнения атмосферы или водных объектов, формируют большие объемы вторичных малоопасных отходов.

Методы утилизации буровых шламов

Согласно Распоряжению Правительства РФ [73], принята стратегия, целью которой является перспективное развитие промышленности, обеспечивающее

максимальное вовлечение отходов в производство с минимизацией их количества. Таким образом, обусловлен переход нефтедобывающих предприятий от амбарного метода обращения с БШ к безамбарному бурению, при котором происходит полная утилизация БШ без организации шламохранилищ, без долгосрочного размещения в окружающей среде. БШ рассматривается как вторичное сырье для технологических процессов получения различных видов продуктов безопасных для окружающей среды [74-77].

Основные направления в использовании материального ресурса БШ:

1. ***В качестве мелиорантов.*** Для этой цели могут быть использованы БШ, в составе которых не содержатся хроматы и минеральные соли [7]. Установлено, что глинистые отработанные буровые растворы являются структурообразующим элементом для почв. Хорошо проявляется мелиорирующий эффект БШ вместе с использованием фосфогипсом-дигидрата. Использование такого мелиоранта приводит к улучшению структуры и агрохимических свойств почв.

2. ***В качестве рекультивационного материала***

Для получения рекультивационного грунта на основе БШ применяется процесс перемешивания БШ с торфом в соответствующих пропорциях [78]. Чтобы структурировать рекультивационный грунт можно использовать такие добавки, как мел, мука доломитовая, доломитовая глина, и другие подобные компоненты. Чтобы повысить плодородные свойства почв возможно применение гуминовых кислот. Такие смеси представляют собой однородную грунтоподобную смесь текуче-пластичной или рыхлой консистенции. Применение рекультивационной смеси возможно при подтверждении отсутствия исследования токсичности, проведенного на основе биотестирования.

3. ***Применение буровых шламов для производства керамзита и кирпича.***

В компонентном составе БШ содержится значительное содержание глины, что является основной причиной использования его в данном методе утилизации. Экспериментально доказано, что использование БШ в объеме до 25% не снижает физико-механические и эксплуатационные характеристики получаемых керамических изделий. Некоторые буровые шламы способны повышать

пластичность, формуемость, которые определяют технологические свойства исходной массы. Кирпич, получаемый на основе БШ, характеризуется высокими прочностными показателями, меньшей усадкой, малым водопоглощением [65,79].

4. **Получение строительного материала** на основе БШ способом обезвреживания – солидификации [80-82]. Данная технология позволяет получить продукт с низким индексом опасности для ОС. При использовании этого метода буровой шлам помещается в гидрофобную матрицу устойчивую к внешним воздействиям, при этом уменьшается площадь контакта бурового шлама с объектами ОС и дополнительно образуются химические связи способные многократно снижать миграционную подвижность опасных для окружающей среды химических соединений входящие в состав бурового шлама. Солидификация заключается в смешении БШ в рассчитанных соотношениях с сорбентом и цементом, либо другим органическим или неорганическим вяжущим. В результате процесса присутствующие в БШ опасные компоненты связываются введенными сорбентом и вяжущим. Таким образом, катионы ТМ, которые содержатся в БШ, переходят в состав труднорастворимых соединений. В результате процессов гидратации происходит отверждение из-за введенного в систему цемента, либо другого вяжущего, что способствует более прочному связыванию и нейтрализации загрязняющих агентов и предотвращает последующее их растворение или вымывание при воздействии окружающей среды. При помощи данного метода БШ может использоваться в производстве различных строительных материалов: плитка тротуарная; шлакоблоки; связующие смеси; бордюрный камень; цементобетонные изделия; гранулированный наполнитель. БШ широко используется в качестве инертного материала выполняющего функцию минерального наполнителя.

Зарубежный опыт обращения с буровыми шламами

В зарубежных странах с большим объемом буровых работ вопрос утилизации и обеззараживания буровых шламов стоит так же остро, как и в РФ. К таким странам можно отнести страны Северной Америки, Западной Африки, в которых данный вопрос решается примерно теми же методами, что и в РФ.

В США широко применяется захоронение БШ. Для этих целей используют специально обустроенные шламохранилища, в которых в качестве гидроизоляции дна, боковых откосов и верха шламохранилища используют пленку из полиэтилена или поливинилхлорида со слоем бентонита [57,64]. Сверху шламохранилище засыпают грунтом, с обустройством гидроизоляционного слоя из бентонита. Далее производят рекультивацию поверхностного слоя места захоронения.

Многими западными компаниями используется метод сепарации, заключающегося в отделении жидкой фазы с помощью специальных центрифуг, а затем очищенный раствор возвращается в технологический цикл. На шельфовых месторождениях проводят сепарацию от ОБР, а остальной БШ сбрасывают в воду, где он осаждается на дне в виде ила.

В исследовании [72] оценивается возможность использования БШ в бетонных изделиях в качестве частичной замены цемента. Было получено, что используя БШ в качестве частичной замены цемента в бетоне происходит уменьшение прочности на сжатие образцов бетона. Было установлено, что заменяя 10, 15 и 20% цемента на БШ предел прочности уменьшается на 15%, но заменяя еще большее количество цемента на БШ происходит резкое падение прочности на сжатие – замена 20% цемента буровыми отходами найдена оптимальной. Для компенсации снижения значения предела прочности бетонных образцов, содержащим 20 % БШ, добавляли 20 % золы и дополнительно 5 % диоксида кремния. В результате происходило увеличение прочности на сжатие бетона на 13%. Дальнейшие исследования показали, что добавление золы и 7,5% диоксида кремния будут увеличивать прочность на сжатие бетонных образцов на 40%.

Было получено аморфное стекло путем плавления БШ, сформированного при добыче нефти в Северном море, и смешивания с оксидами натрия и кальция, необходимыми для уменьшения температуры плавления [83]. Смеси, содержащие высушенный БШ, оксид натрия, оксид кальция в массовом соотношении 8:1:1, выдерживаемые при 1300° С в течение 5 ч, образуют аморфное твердое вещество,

которое может быть дополнительно обработано при температурах 750° - 800° С с получением кристаллического стекла, керамики. Анализ физических, химических и механических свойств показал, что стеклокерамика обладает свойствами обрабатываемости, прочности, износостойкости, теплостойкости, стойкости к распространению трещин и стабильности в отношении выщелачивания, что позволяет использовать ее в качестве плитки и предотвращает захоронение БШ на суше. Стеклокерамика из БШ имеет почти нулевую пористость, что является благоприятным механическим свойством для возможных применений в качестве строительных материалов, например, черепицы.

Исследовано использование БШ, обработанного термической десорбцией, в песчаном блоке, крупном строительном материале, используемом во всей Нигерии и большей части Западной Африки [84]. Образцы песочных блоков готовили с использованием соотношения песка и цемента 6:1. Результаты показывают при замене до 50% песка обработанными БШ образцы песочных блоков обладают уменьшенной абсорбцией воды, повышенной плотностью и пониженной теплопроводностью. Кроме того, прочность на сжатие образцов, содержащих нефтяные БШ, была сопоставима с контрольными образцами песочных блоков. Работа демонстрирует потенциал для эффективного повторного использования БШ, обработанного термической десорбцией при производстве песочных блоков с улучшенными свойствами.

Большое количество горной породы в составе бурового шлама можно расценивать как основу для производства почвенно-подобных смесей. Буровой шлам можно смешать с древесными опилками с образованием субстрата способного найти применения в сельском хозяйстве. Оценка проводилась на основе содержания металлов в почвоподобных материалах и растениях, культивируемых на субстратах, полученных из почвоподобных материалов [85]. Низкая концентрация металлов в почвоподобных смесях позволяет их применять на грунтах, относящихся к пахотным землям. Концентрация тяжелых металлов в растениях, культивируемых на субстратах, полученных почвенно-подобными

материалами, является низкой и не превышает концентрацию металлов, определенных в стандартах кормления животных.

В исследовании [86] изучается возможность получения биокompозитного материала на основе поликапролактона, в котором в качестве наполнителей использовались БШ и медный шлак. Было исследовано влияние от содержания наполнителей на обработку, структуру и производительность биокompозита. Более малый размер частиц БШ облегчал обработку композитов по сравнению с медным шлаком, что было подтверждено более высокими значениями скорости течения расплава (более низкой вязкостью).

Кроме того, более мелкие частицы БШ-наполнителя и, как следствие, более высокая удельная площадь поверхности позволили лучше окружить наполнитель полимерными цепями, снижая пористость более чем на 22% в сравнении с медным шлаком.

Более краткая структура композитов поликапролактон/БШ привела к увеличению прочности на сжатие на 11% и прочности на растяжение на 20%.

Проведенные микробные тесты с тремя различными, грамотрицательными и грамположительными бактериальными штаммами показали, что приготовленные композиты не оказывают токсического воздействия на них и позволяют предположить, что они не должны оказывать токсического воздействия на другие живые организмы, поэтому их можно рассматривать как экологически чистые продукты. Таким образом, БШ и медный шлак показали значительный потенциал в качестве недорогих наполнителей для производства полимерных композитов, использование которых заметно снизит производственные затраты и сделает применение материалов на основе поликапролактона более доступным.

Использование бурового шлака в качестве добавки в почвоподобные материалы ограничено большим содержанием химических веществ используемых для регуляции свойств бурового раствора. В этой связи не всякий буровой шлам можно использовать для сельскохозяйственных целей. Принятие решения о возможном использовании бурового шлама возможно только после детального

изучения химического состава, с определением валового содержания химическим элементов и содержания в подвижной форме.

Стабилизация/затвердевание, которое включает в себя фиксацию и иммобилизацию загрязняющих веществ с использованием цемента, является одним из методов обработки БШ до окончательной утилизации [64]. В данной работе рассматривается повторное использование стабилизированных/затвердевших БШ для выращивания кормовых трав в кислых почвах. Полученные результаты позволяют предположить, что обработанные цементом БШ потенциально могут быть использованы для улучшения почвы отведенной под выращивание кормов.

В исследовании [75] изучается обеззараживание БШ с помощью микроволновой сушки. Исследование было направлено на изучение фундаментальных аспектов кинетики нагрева и сушки буровых растворов и БШ с помощью микроволн. Кинетика сушки БШ изучалась при трех температурах контроля. Были исследованы важные аспекты, связанные с взаимодействием этих компонентов в процессе сушки и нагрева твердого вещества, испарения воды и сопротивления органических соединений. Установлено, что в течение одного и того же времени сушки удаление парафина происходит более интенсивно, чем олефина. Что касается удаления органических компонентов из БШ, то кинетические кривые сушки аналогичны. Контрольные температуры не влияют на кинетику сушки воды, но они влияют на кинетику сушки органических соединений. Модифицированная модель, предложенная в этой работе, наилучшим образом описывает кинетическую сушку. Вычислительное моделирование подчеркнуло важность фундаментальных исследований кинетики микроволнового нагрева.

В работе [76] исследуется использование очищенных БШ в качестве заполнителя в битумной смеси. Нефтяные БШ, отделенные от бурового раствора и отправленные на берег для удаления нефти перед засыпкой, имеют потенциал для использования в качестве заполнителя в строительстве. Геометрические, физические и химические свойства были проверены на соответствие

существующим стандартным требованиям для наполнителей. Материалы были пригодными для включения в асфальт дорожного покрытия либо в исходном состоянии, либо после незначительной корректирующей технологии обработки. Производительность испытательных смесей, приготовленных с использованием очищенных БШ, сравнивалась с эталоном известняка.

Было обнаружено, что определенные образцы БШ имели подходящие свойства для использования в качестве заполнителя в битумных смесях без измельчения. Было обнаружено, что другие образцы были слабо агломерированы и требовали некоторого измельчения, чтобы сделать их подходящими.

Может потребоваться смешивание очищенных БШ с низким содержанием барита и высоким содержанием барита, чтобы сохранить объемную плотность в приемлемом диапазоне. Оценка битумных смесей с помощью испытания с использованием метода кольца и шара показала, что все, кроме одного из четырех исследованных образцов БШ, очищенных от бурового раствора, были более эффективными, чем эталонный известняковый наполнитель. Все заполнители производили гомогенные смеси с битумом и доказали свою способность частично или полностью заменить известняк. Общая выгода от такого использования должна быть еще выше, поскольку снижаются затраты на утилизацию очищенных БШ, на которые в значительной степени влияют расстояние транспортировки и приемочные расходы.

В ходе исследования [77] была изучена техническая возможность преобразования БШ в легкий заполнитель. Легкий заполнитель представляет собой гранулированный материал с сыпучей объемной плотностью, не превышающей $1,2 \text{ г/см}^3$, или плотностью частиц, не превышающей $2,0 \text{ г/см}^3$. Для использования в бетонных изделиях материал должен обладать низкой водопоглощающей способностью, он должен быть приблизительно сферическим (чтобы быть в диапазоне диаметра нормального крупного заполнителя), прочным, пористым, со спеченным ядром и непроницаемой шероховатой поверхностью для усиления связи с цементным заполнителем. Использование такого материала в

бетонных изделиях улучшает теплоизоляционные свойства и снижает несущую нагрузку на конструкцию, позволяя строить более крупные здания.

БШ, полученные из нефтяного месторождения Северного моря, были высушены, подвергнуты шаровому размолу, сформированы в гранулы и обожжены при температуре от 1160 до 1190 °С. Были определены физические свойства полученного легкого заполнителя, включая плотность частиц, водопоглощение и прочность на сжатие. Образцы БШ имели типичный эвапоритовый состав, содержащий высокие концентрации хлористых солей. Это ограничивает возможность использования полученных образцов БШ при производстве легких заполнителей, поскольку полученные продукты показывают высокий уровень выщелачивания. Было необходимо добавление промывочной предварительной обработки для уменьшения вымывания хлорид-ионов. Промывка также снижала начальную температуру спекания и улучшала свойства легкого заполнителя. При спекании при 1180 °С образуется легкий заполнитель с плотностью частиц 1,29 г/см³, водопоглощением 3,6 % и прочностью на сжатие 4,4 МПа. Исследование показало, что производство легких заполнителей представляет собой ресурсосберегающий вариант для повторного использования БШ и обеспечивает значительную экономию материала.

Анализ технологий утилизации буровых шламов

Основными технологиями утилизации для буровых шламов образованных при использовании полимер-глинистых буровых растворах остаются методы стабилизация (отверждение), которые являются эффективными, универсальными, технологиям и химической фиксации и физической инкапсуляции загрязняющих веществ.

Основным материалом для реализации методов стабилизации выступает цемент, который в разы снижает скорость миграции загрязняющих компонентов БШ. Для этих целей, но с меньшим эффектом используют: негашеную известь, песок и адсорбирующие добавки. Эффект снижения скорости миграции заключается в создании щелочной среды с высоким рН и перевода растворимых химических соединений в малорастворимые.

При таком методе образуется вторичный продукт в виде инертного грунта (рекультиванта) который возможно использовать в качестве грунта для рекультивации карьеров и горных выработок, в качестве техногрунта для строительных работ. Метод не всегда эффективен в виду высоких затрат, нестабильных характеристик получаемого техногрунта, экологических рисков загрязнения гидросферы и литосферы химическими компонентами БШ.

Для утилизации буровых шламов, образующихся при бурении с применением буровых растворов на углеводородной основе (БШУ) используют более сложные технологии, требующие специализированного технологического оборудования и больших энергетических и финансовых затрат.

Большинство методов утилизации БШУ требуют предварительного их обезвреживания - уменьшения содержания нефти и нефтепродуктов. Для этих целей используют различные методы воздействия на БШУ: термическая десорбция и деструкция; экстракция и отмыв растворителями; биоремедиация; микроволновая обработка.

Методы обезвреживания БШУ использующие термическую деструкцию, экстракцию и отмыв растворителями формируют вторичное загрязнение ОС за счет использования большого количества химических соединений. Методы использующие биоремедиацию и микроволновую обработку БШУ в настоящее время характеризуются малой производительностью и сложным технологическим обеспечением процесса.

Наиболее экологичной технологией можно признать термическую десорбцию, при которой не используют дополнительные химические соединения, в меньшей степени формируется вторичное загрязнение ОС при реализации метода и вторично используется ресурсный потенциал углеводородов из БШУ. При термической десорбции сепарацию и конденсацию углеводородов, входящих в БШУ, производят за счет нагрева БШУ в бескислородной среде. Термодесорбционные установки работают при температурах от 250 до 520⁰С (в зависимости от начальной вязкости углеводородов БШУ) и позволяют снизить

концентрацию нефти и углеводородов до 1 % и меньше. Существенным минусом, данного метода являются затраты энергии.

При большом разнообразии методов утилизации БШУ, исследования по оценке экологической безопасности и геоэкологической устойчивости получаемой продукции на основе БШУ не проводились в достаточной степени. При разработке новых технологий утилизаций БШУ необходимо сохранить ресурсный потенциал БШУ в полном составе, который складывается не только из минеральной части, а так же и из углеводородов, которые можно использовать в качестве вяжущего компонента в строительных органоминеральных смесях. Также актуален вопрос формирования вторичного загрязнения ОС при использовании технологии утилизации БШУ, так как формируемые риски техногенного воздействия могут перекрыть экологические выгоды при утилизации БШУ. Для обеспечения безопасности технологии утилизации БШУ необходимо учитывать техногенное воздействие со стороны БШУ на геосферные оболочки Земли, так как они формируют среду обитания живых организмов и физическое или химическое изменение в составе хотя бы одной геосферы приведет к изменению среды обитания.

На основе проведенных аналитических исследований методов обращения и утилизации буровых шламов, выявленных особенностей использования ресурсного потенциала БШУ была поставлена цель: разработка технологии утилизации БШУ позволяющей в полной мере использовать ресурсный потенциал БШУ с обеспечением геоэкологической безопасности, в частности обоснование использования БШУ в производстве асфальтобетона.

В ходе диссертационного исследования необходимо:

- изучить физико-механические, химические, токсикологические свойства БШУ и установить условия его использования в составе асфальтобетона;
- разработать оптимальный состав асфальтобетона с БШУ обеспечивающий необходимые для дорожного строительства физико-механические характеристики;

- провести оценку геоэкологической устойчивости асфальтобетона с БШУ оптимального состава;
- разработать технологию и рекомендации по использованию БШУ в составе асфальтобетонов;
- провести технико-экономическую оценку использования БШУ в составе асфальтобетонной смеси.

Выводы по 1 главе:

1. Основное негативное воздействие на ОС БШУ формируют за счет присутствия в их составе различных загрязняющих агентов: углеводородов (нефти и нефтепродуктов), хлоридов, соединений тяжелых металлов (свинец, кобальт, марганец, кадмий, цинк, алюминий, железо, скандий, алюминий и т.д). Воздействие определяется водомиграционной активностью опасных для ОС компонентов БШУ при контакте с геосферными оболочками Земли, временем нахождения в контакте и защитными мероприятиями которые формируют условия взаимодействия БШУ и ОС. Содержащиеся в БШУ нефть и нефтепродукты, химические соединения, тяжелые металлы в подвижной и неподвижной формах, высокая степень измельчения БШУ, формируют повышенную опасность для ОС и как следствие ограничение в использовании в технологиях утилизации.

2. Захоронение, обезвреживание и утилизация БШУ являются широко используемыми методами обращения, способными обеспечить защиту и сохранение ОС. Более прогрессивными и экономически выгодным являются методы утилизации БШУ которые позволяют использовать минеральную часть и углеводороды присутствующие в БШУ. Основные методы утилизации и переработки БШУ в продукт, востребованный на рынке, заключаются в получении рекультивационных или строительных материалов.

3. Повышение требований обеспечения экологической безопасности ОС в местах добычи нефти и газа, внедрение метода безамбарного бурения требуют разработки новых технологий утилизации. Они должны отвечать общепринятому

тренду вовлечения отходов в ресурсный цикл с получением геоэкологически устойчивых безопасных для окружающей среды целевых продуктов, снижать потребление природных сырьевых ресурсов, отвечать принципам экономики замкнутого цикла. Технологии утилизации должны иметь низкие затраты на их реализацию, а целевой продукт должен иметь высокую потребительскую стоимость и не оказывать неблагоприятное воздействие на ОС при использовании. Технологии, направленные на выделение одного ресурсного потенциала из БШ с потерей другого малоэффективны, и не могут отвечать принципам экономики замкнутого цикла.

4. Анализ технологических решений по утилизации БШУ позволил выдвинуть предположение о возможности использования материального ресурса БШУ в технологии получения асфальтобетона. Геоэкологическая устойчивость асфальтобетонов с БШУ будет обеспечена снижением миграционной подвижности ТМ и опасных для ОС химических соединений, входящих в состав БШУ, за счет их размещения в монолитной, гидрофобной, кислото-щелоче- и солестойкой структуре асфальтобетона, вовлечения углеводородов и минеральной части БШУ в процессы структурообразования асфальтобетона с созданием долговременных, прочных связей.

5. Известно, что асфальтобетон, используемый в дорожном строительстве, является достаточно хорошо рециклируемым материалом, вовлечение БШУ в ресурсный цикл асфальтобетонов позволит увеличить срок использования материального ресурса БШУ. Использование ресурсного потенциала БШУ в производстве асфальтобетона позволит снизить потребление первичных природных ресурсов с обеспечением рециркуляции материальных потоков при завершении жизненного цикла асфальтобетона, создать технологию отвечающую принципам экономики замкнутого цикла.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОВОГО ШЛАМА В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Для достижения поставленных целей и решения задач по использованию ресурсного потенциала БШУ в технологии получения асфальтобетона были использованы современные методы исследования материалов, включающие исследования физико-механических, химических и токсикологических свойств исходных образцов БШУ и асфальтобетона полученного с использованием БШУ. Для исследования были привлечены аккредитованные лаборатории, которые позволили провести весь необходимый спектр исследований на поверенном оборудовании.

2.1 Характеристика применяемых материалов

В исследовании были использованы образцы буровых шламов с четырех месторождений нефтедобывающих предприятий Западной Сибири. Образец № 1 и №2 с использованием бурового раствора на водной (глинистой) основе. Образец №3 и № 4 с использованием БР на углеводородной основе. Один из шламовых амбаров из которого были отобраны образцы для проведения исследования представлен на рисунке 1. Класс опасности буровых шламов – IV. Влажность исходного бурового шлама – 50-60%. Зерновой состав и содержание пылеглинистых частиц высушенного БШ определялся в соответствии с ГОСТ Р 52129-2003. Образцы в лабораторию были доставлены в исходном состоянии, взяты из разных горизонтов шламового амбара и усреднены.

Для того чтобы оценить негативное влияние на объекты ОС от БШУ был проведен комплекс исследований, направленных на выявление физико-химических и токсикологических свойств.



Рисунок 2.1 – Поверхность шламового амбара

Для изучения свойств буровых шламов на предмет возможности их использования в качестве сырья для получения асфальтобетона была разработана программа проведения исследований основных характеристик исходных образцов буровых шламов и получаемого асфальтобетона.

Программа исследований:

1. Отбор и исследование физико-химических характеристик образцов буровых шламов.
2. Оценка свойств буровых шламов для использования в составе асфальтобетона в качестве структурного элемента активно влияющего на процессы структурообразования.
3. Исследование физико-механических свойств асфальтобетона полученного с БШУ. Определение оптимального содержания БШУ в составе асфальтобетона.
4. Геоэкологическая оценка полученного асфальтобетона с БШУ.
5. Технико-экономическая оценка получения и использования асфальтобетона с БШУ.

2.2 Методы определения физико-химических характеристик образцов буровых шламов

Для исследования физико-химических характеристик образцов буровых шламов были использованы методы, представленные в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Используемые методы определения физико-химических характеристик образцов буровых шламов

№	Показатель	Метод определения (нормативный документ)	Примечание
Органолептические и физико-химические характеристики			
1.	рН водной вытяжки, ед.	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.33-02 (изд. 2005 г.)	
2.	Влажность	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.27-02	
3.	Запах, цвет	Органолептические свойства	
Химические показатели			
4.	Содержание хлорид-ион, мг/дм ³	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.28-02 (изд. 2005 г.)	Для водной вытяжки 1:5
5.	Содержание ионов К ⁺ , Na ⁺ , мг/дм ³	РД 52.24.391-2008	
6.	Сухой остаток, мг/дм ³	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.32-02 (изд. 2005 г.)	
7.	ХПК, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2.100-97	
8.	Жесткость, ммоль-экв/ дм ³	ПНД Ф 14.1 2 3.98-97	
9.	БПК, мг/дм ³	ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97	
10.	Нефтепродукты (водорастворимые), мг/дм ³ , мг/кг	ПНД Ф 14.1:2:4.5-95	
11.	Тяжелые металлы (Cu, Cd, Co, Ni, Cr, Pb, Mn), мг/кг	РД 52.18.685-2006, ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08.	в валовой и подвижной формах
12.	Удельная эффективная активность (Аэфф), Бк/кг	СанПиН 2.6.1.2800-10 п.6.2	

Запах образцов буровых шламов оценивали по 5 балльной шкале:

1-отсутствует запах нефтепродуктов; 2-слабый запах нефтепродуктов; 3-умеренный запах; 4-значительный запах нефтепродуктов; 5-резко выраженный запах нефтепродуктов.

Аналитические исследования отходов бурения проводили в трех лабораториях: лаборатория кафедры ООС, ФГАОУ ВО ПНИПУ, КГБУ «Аналитический центр», г. Пермь, ООО «Центр аналитических исследований и экологического мониторинга».

Водные вытяжки готовили из высушенных при 105°C до постоянного веса образцов буровых шламов. Соотношение образец БШ/вода составляло 1:5.

2.3 Методики определения физико-механических характеристик асфальтобетона

Физико-механические и эксплуатационные характеристики асфальтобетона, зависят от характеристик используемых каменных материалов (прочности, вида горной породы, формы зерна минеральных материалов), от свойств и количества вяжущего (битума).

Асфальтобетонная смесь должна соответствовать по своим физико-механическим характеристикам требованиям в соответствии ГОСТ 9128-2013. Для сравнения результатов исследования характеристик асфальтобетона с БШУ была выбрана горячая плотная мелкозернистая асфальтобетонная смесь типа Б марки П, как одна из наиболее востребованных в дорожном строительстве. Получаемый асфальтобетон с содержанием БШУ может быть использован для устройства верхних и нижних слоев дорожной одежды автомобильных дорог, дорог промышленных предприятий, внутри промысловых и временных автомобильных дорог, пешеходных дорожек, тротуаров, мест стоянок автомобильного транспорта.

Все научные лабораторные исследования были проведены на оборудовании в научно-производственной испытательной лаборатории «Дорожные исследования», которая входит в состав строительного факультета ФГАОУ ВО ПНИПУ.

Для приготовления асфальтобетона был использован следующий компонентный состав:

1. Природный песок крупностью 0-5 мм в соответствии с ГОСТ 8735-2014.
2. Щебень, крупностью 5 - 20 мм (соответствующий ГОСТ 8267-93.
3. Отсев дробления, 0 - 5 мм в соответствии с ГОСТ 8735-2014.

4. БШУ (в качестве минерального порошка) – техногенный материал нефтедобывающего производства, в высушенном виде представляет собой сыпучий мелкий песок темно-серого цвета, без образования конгломератов при длительном его хранении.

5. Битум 90/130, в соответствии с ГОСТ 22245-90.

Для того, чтобы определить возможность использования БШУ в качестве одного из компонентов асфальтобетона необходимо провести анализ соответствия физико-механических характеристик получаемых образцов асфальтобетона, заданным нормативными документами.

В лабораторных условиях были сформованы необходимые серии (по 36 шт. образцов) с БШУ разного содержания (от 0 до 12% БШУ по массе, с шагом 4%) (рисунок 2.2). Для приготовления асфальтобетонных образцов использовался гидравлический пресс П-125, представленный на рисунке 2.3.



Рисунок 2.2 – Сформованные асфальтобетонные образцы



Рисунок 2.3 – Пресс гидравлический П-125

В соответствии с требованием указанным в ГОСТ 12801-98 были проведены исследования характеристик асфальтобетона полученного с применением бурового шлама. Буровой шлам выступал в качестве мелкого минерального заполнителя (минерального порошка).

Для определения характеристик: остаточной пористости; средней плотности; водонасыщения; пористость минеральной части полученных асфальтобетонных образцов была использована вакуумная установка рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Вакуумная установка.

С помощью испытательной машины марки Tecnotest T052/E были определены пределы прочности при разных температурах (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Испытательная машина Tecnotest T052/E

Предел прочности на растяжение образцов проводили согласно ГОСТ на асфальтобетон.

Сдвиговые характеристики образцов асфальтобетона определились с по схеме Маршала. Установка для определения сдвиговых характеристик образцов асфальтобетона, полученных с добавлением БШУ представлена на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 –Установка для определения сдвиговых характеристик по схеме Маршала.

Коэффициент водостойкости для образцов асфальтобетона с добавлением БШУ определялся согласно ГОСТ на асфальтобетон.

2.4 Методики определения геоэкологической устойчивости асфальтобетона с содержанием бурового шлама

После определения физико-механических характеристик асфальтобетона была проведена оценка геоэкологической устойчивости оценка токсичности полученных асфальтобетонов с различным содержанием БШУ. Для этих целей была использована методика МУ 2.1.674-97, по которой смоделированы естественные условия эксплуатации асфальтобетона и оценена его геоэкологическая устойчивость по следующим признакам:

- токсикологическая оценка асфальтобетона, выполненная с помощью метода биотестирования;
- содержание нефтепродуктов в водной вытяжке из асфальтобетона;
- содержание хлоридов в водной вытяжке из асфальтобетона;
- содержание тяжелых металлов в образцах асфальтобетона.

Лабораторные исследования асфальтобетонных образцов проведены в трех лабораториях: лаборатория кафедры ООС ФГАОУ ВО ПНИПУ, лаборатория гидрохимического анализа геологического факультета ФГАОУ ВО ПГНИУ, лаборатория кафедры экологии ФГБОУ ВО ПГАТУ.

Естественные условия были получены путем размещения асфальтобетонных образцов в емкостях с дистиллированной водой в соотношениях 1:3.

Определение тяжелых металлов производилось на пламенном атомно-абсорбционном спектрофотометре «Квант-2МТ».

Определение токсичности асфальтобетонных образцов. Анализ выполнен согласно методикам указанным в ФР. 1.39.2007.03222 и ФР. 1.39.2007.03223. Для биотестирования водной вытяжки использовались два тест-объекта: Зеленые протококковые водоросли – *Scenedesmus quadricauda (Turp) Breb* и ракообразные – *Daphnia magna Straus*.

Содержание хлоридов и содержание нефтепродуктов в образцах и вытяжках определялось по стандартным методикам ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.28-02 и ПНД Ф 14.1:2:4.5-95.

2.5 Статистическая обработка результатов исследования

Для обработки полученных результатов проведенных исследований использовалась программы Statistica 10, и Excel 2013 [87]. Были определены: уравнения регрессии изменения физико-механических характеристик асфальтобетона от содержания битума и БШУ, построены трехмерные модели факторов, диаграммы Парето и рассеивания, что позволило установить оптимальное содержание БШУ в составе асфальтобетона.

Выводы по 2 главе:

1. Разработана программа проведения исследований образцов БШУ, по которой обозначены основные исследования по установлению характеристик: органолептических, физических, механических, физико-химических и радиационных, которые позволяют оценить экологическую, водномиграционную опасность БШУ и выбрать направление утилизации, которое отвечает требованиям ресурсосбережения, рециркуляции, обеспечивает геоэкологическую безопасность получаемого продукта.

2. На основании полученных результатов количественного химического анализа было выбрано направление использования БШУ в качестве минерального заполнителя в составе асфальтобетона. В качестве образца сравнения был выбран горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б II марки, как один из наиболее востребованных на рынке. Для приготовления асфальтобетона были использованы рационально подобранные компонентные составы, состоящие из природного песка, щебня, отсева дробления горных пород, БШУ и битума. Использованные методики определения физико-механических характеристик для установления возможности применения БШУ в качестве минерального заполнителя в асфальтобетоне являются стандартными для проведения такого рода испытаний.

3. Использованные в исследовании методики испытаний используемых материалов, БШУ и полученных образцов асфальтобетонов соответствуют современным требованиям к качеству и надежности проводимых работ, позволяют в полной мере оценить экологическую безопасность и обосновать возможность применения ресурсного потенциала БШУ в составе асфальтобетона, определить его оптимальный состав и обеспечить геоэкологическую устойчивость асфальтобетона на всем протяжении его жизненного цикла, реализовать условия обеспечения ресурсосбережения и требования экономики замкнутого цикла при производстве асфальтобетонов.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БШУ

При использовании ресурсного потенциала отходов промышленного производства в технологиях получения целевых продуктов необходимо учитывать возможные неблагоприятное воздействие на ОС формируемые отходами при их эксплуатации и завершении жизненного цикла. Достичь наименьшего негативного воздействия возможно при технологиях утилизации, которые используют материальный ресурс отходов не как инертный наполнитель, а как целенаправленный структурорегулирующий элемент. При таком подходе большинство химических соединений, опасных для ОС, будут активно вовлечены в структуру нового материала с образованием прочных связей. Это обеспечит долгосрочное связывание опасных для ОС элементов отходов или преобразование их в менее опасные. Это позволит реализовать ресурсосберегающую технологию, отвечающую современным требованиям экономики замкнутого цикла с обеспечением геоэкологической безопасности получаемых целевых продуктов.

С целью установления факторов, имеющих наибольший вес в изменение структуры, химического состава геосферных оболочек Земли и как следствие этого изменение жизнеобеспечивающих функций, управляя которыми, возможно снизить негативное воздействие на объекты ОС, для получения экономической привлекательности использования ресурсного потенциала БШУ, с учетом выше обозначенных факторов, необходимо разработать технологию получения продукции из БШУ отвечающую требованиям геоэкологической безопасности и рециркуляции материалов, применимую в дорожном строительстве. Для разработки такой технологии необходимо провести исследования физико-механических и экологических свойств образцов БШУ.

Для этих целей необходимо провести количественный химический анализ БШУ, на основе которого предварительно оценивается его ресурсный потенциал и сфера возможного применения. Результаты количественного химического анализа, помогут установить, какие свойства необходимо регулировать, какие

показатели необходимо контролировать для обеспечения геоэкологической безопасности получаемых целевых продуктов, в состав которых войдет БШУ, на всем протяжении их жизненного цикла, с учетом требований экономики замкнутого цикла.

3.1 Исследование качественного состава образцов БШУ

Для оценки качественного состава отходов бурения были проанализированы паспорта на отходы, предоставленные нефтедобывающими предприятиями и проведены собственные исследования БШУ четырех месторождений Западной Сибири. Анализ исходной информации по качественному составу отходов бурения, показал, нет единообразия по перечню определяемых компонентов и суммарное содержание компонентов не всегда равно 100 %. Содержание опасных для окружающей среды соединений в БШУ во многом определяется химическим составом компонентов, которые используются для регулирования свойств бурового раствора. Свойства бурового раствора (БР) зависят от условий бурения и пород составляющие область бурения. В этой связи были проведены собственные исследования качественного состава буровых шламов, отработанного бурового раствора (ОБР), буровые сточные воды (БСВ) четырех месторождений Западной Сибири.

Содержащиеся в буровых отходах загрязняющие вещества в зависимости от своих компонентных составов и природы происхождения были объединены в восемь основных групп компонентов: вода, нефть и нефтепродукты, твердая часть (выбуренная порода), хлориды, тяжелые металлы, прочие соединения (ионы, оксиды), реагенты бурового раствора, прочее. Качественный состав отходов бурения представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Качественный состав отходов бурения

Наименование группы компонент	Наименование компонентов	Содержание компонента, %								
		БШ			ОБР			БСВ		
		Мин. зн-е	Макс зн-е	Ср. зн-е	Мин. зн-е	Макс. зн-е	Ср. зн-е	Мин. зн-е	Макс. зн-е	Ср. зн-е
Вода	вода	0,950	50,0	26,31	33,24	99,64	76,50	84,00	99,30	91,21
Нефть и	нефть и	0,001	6,01	1,45	0,003	3,01	1,14	0,001	3,81	1,28

нефтепродукты	нефтепродукты									
Твердая часть (выбуренная порода)	взв. в-ва, мин. в-ва, мех. примеси, зола, сухой остаток, диоксид кремния, песок, орг. в-ва	8,69	98,71	61,91	0,19	65,18	17,56	0,69	13,59	7,25
Хлориды	хлориды кальция, магния, натрия, аммония	0,01	0,27	0,09	0,012	16,83	2,73	0,003	1,08	0,39
Тяжелые металлы	свинец, кобальт, марганец, кадмий, цинк, алюминий, железо, скандий, алюминий и т.д.	1,17	12,80	6,23	0,001	5,64	0,98	0,001	0,001	0,001
Прочие соединения	ионы натрия, кальция, серы, фтора, оксиды магния, калия, фосфора, сульфаты, и т.д.	0,01	3,93	1,21	0,001	2,96	0,44	0,04	0,04	0,04
Реагенты бурового раствора	эфироизвлекаемые соединения, полимеры, КМЦ-600, лигнин и сульфолигнин, смазка ФК-2000 и т.д.	1,5	13,5	7,67	не анализировались			не анализировались		

Анализ показал, что основными компонентами буровых шламов являются вода (0,95-50,0%); твердая часть, которая представляет собой сложную многокомпонентную систему, состоящую из грунта, минеральных веществ, механических примесей, частиц кварца, песка, известняка, а также частиц других горных пород с содержанием 8,7-98,7%, органические загрязняющие вещества, как нефть и нефтепродукты, находящиеся в диапазоне значений 0,01-6,01%. (меньшее значение относится к БШ образованных при использовании БР на водной основе, большее на углеводородной). Повышенное содержание нефтепродуктов в БШ, установлены даже в случаях использования водных буровых растворов, образуются вследствие обогащения пластовыми флюидами, находящихся в горной породе при прохождении бура через нефтесодержащие пласты.

Установлено наличие в буровых шламах высоких концентраций содержания соединений тяжелых металлов (от 1 до 4 класса опасности) таких, как свинец, кобальт, марганец, кадмий, цинк, алюминий, железо и т.д., валовое содержание

которых находится в диапазоне значений 1,17-12,80 %.

В составе буровых шламов также было установлено содержание различных реагентов бурового раствора (полимеры, глинопорошки, смазки и др.), содержащиеся в диапазоне значений от 1,5 до 13,5 %.

В состав отработанного бурового раствора (ОБР) входят такие загрязняющие вещества, как нефть и нефтепродукты (до 3,4%), минеральные соли (0,01-16,8%), тяжелые металлы (от 0,01 до 5,6%). Присутствие тяжелых металлов в ОБР обусловлено в т.ч. поступлением из выбуренной породы.

Анализ качественного состава отходов бурения позволил сделать вывод, компоненты нефть и нефтепродукты, полимеры, соединения тяжелых металлов в большей степени переходят в состав БШУ из состава бурового раствора при их разделении. Хлориды, присутствующие в буровом растворе накапливаются в БШУ в меньшей степени и с большим успехом могут быть отделены при разделении БШУ и отработанного бурового раствора.

Более детально были изучены физико-механические и химические показатели БШУ. Усредненный элементный состав исследованных образцов БШУ показаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Элементный состав образцов БШУ

Элемент	Содержание
K ₂ O	2,78-3,59
Al ₂ O ₃ , %	8,20-16,50
MgO, %	2,01-2,32
SiO ₂ , %	53,30-78,90
Na ₂ O, %	3,14-4,15
CaO, %	4,53-9,02
Потери при прокаливании, %	3,40-6,00
Нефтепродукты, мг/кг	382,4-6010,0
Нефть, %	3,5-6,0

Содержание нефти в исследуемых образцах БШУ составило от 3,5 до 6,0%. Это в основном парафино-нафтеновые углеводороды – 40-46,8%, из них 16-25,5% - твердые парафины, 18-24,2% - ароматические углеводороды, 17-21,1% - смолы, 5-5,5% -асфальтены.

К числу макрокомпонентов содержащихся в буровых шламах, относятся также неорганические водорастворимые соли, основными из которых являются хлориды (хлориды магния, кальция, аммония, натрия) с концентрацией 0,01-0,27 %.

В состав бурового шлама входят в значительных количествах каолин и кварц. Содержание в составе бурового шлама каолина определяется его количеством в буровом растворе. Количество и вид минеральных материалов в БШУ определяется условиями прохождения горных пород при бурении скважин [68,88].

3.2 Исследование экологических свойств образцов БШУ

Важным критерием для оценки степени негативного воздействия БШУ на ОС является наличие нефти, соединений ТМ, которые являются наиболее опасными элементами БШУ способные привести к долгосрочному изменению химического состава геосферных оболочек Земли в виду их высокой водомиграционной опасности [89]. Наибольшее негативное воздействие может получить гидросфера в виде изменения содержания ТМ и нефти в грунтовых и поверхностных водах. При контакте с атмосферными водами они могут мигрировать на большие расстояния и изменять химический состав различных вод и почвы на значительном удалении от места размещения БШУ.

Был проведен сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в валовой и подвижной формах в образцах БШУ с установленными гигиеническими нормативами ПДК (ГН 2.1.7.2041-06, СанПиН 2.1.5.980-00). Результаты приведены в таблице 3.3.

Таблица. 3.3 – Содержание тяжелых металлов в образцах БШУ

Валовые формы ТМ (РД 52.18.685-2006)					
Элемент	Результаты, мг/кг				ПДК почвы населенных мест, мг/кг
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	
Cd	0,9±0,2	0,4±0,2	0,6±0,2	0,4±0,2	2,0
Cr	22,3±0,9	19±0,9	21,6±0,9	9,9±0,9	0,05
Ni	28±0,6	9,4±0,6	17,3±0,6	19,8±0,6	80

Co	10,9±0,4	2,3±0,4	2,1±0,4	6,6±0,4	-
Pb	8,5±0,7	9,1±0,7	4,6±0,7	12,3±0,7	32
Cu	16±0,8	7,1±0,8	14,5±0,8	18,5±0,8	132
Mn	535±5	104±5	95±5	212±5	1500
Подвижные формы ТМ (ПНД Ф 16.1:2.3:3.50-08)					
Элемент	Результаты, мг/кг				ПДК почвы населенных мест, мг/кг
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	
Cd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	1
Cr	0,89±0,2	1,62±0,2	1,82±0,2	0,74±0,2	6
Ni	3,6±0,6	1,0±0,2	2,6±0,1	3,0±0,6	4
Co	1,8±0,4	1,6±0,4	1,4±0,4	1,2±0,4	5
Pb	2,8±0,7	2,8±0,7	3,2±0,7	3,4±0,9	6
Cu	2,30±0,6	0,42±0,13	2,02±0,5	3,32±0,8	3
Mn	207±5	27±4	23±4	51±4	500

Дополнительно были оценены радиологические показатели БШУ. Результаты исследования радиологических показателей БШУ представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 Радиологические показатели БШУ, Бк/кг

Определяемые показатели	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Величина допустимого уровня	СанПиН
^{137}Cs	<3	<3	<3	<3	-	СанПиН 2.6.1.2523-09
^{226}Ra	25,3±7,0	41,9±8,3	27,4±7,0	23,8±6,7	-	СанПиН 2.6.1.2800-10 п.6.2
^{232}Th	32,2±8,0	5,2±4,5	11,3±5,5	25,4±7,1	-	
40K	492±121	226±77	151±121	496±121	-	
Удельная эффективная активность ($A_{\text{эфф}}$)	111,4±16,6	69,0±12,3	55,8±14,8	101,5±15,8	<1500	

Анализ результатов лабораторного анализа проб БШУ по содержанию тяжелых металлов, радиологическому контролю показал, что полученные данные согласуются с данными паспортов отходов полученные от нефтедобывающих предприятий откуда были взяты образцы БШУ. Радиологический контроль не выявил превышений по контролируемым показателям. По содержанию ТМ в БШУ в подвижной и валовой формах превышений нормативов нет. Использование БШУ в составе асфальтобетонной смеси не будет формировать

критического изменения химического или физического состава геосферных оболочек Земли при эксплуатации асфальтобетонного покрытия на всем его протяжении жизненного цикла.

Для анализа возможного воздействия БШУ на окружающую среду были исследованы водные вытяжки, полученные из осушенных образцов бурового шлама. Результаты исследования сравнивались с нормативными значениями СанПиН 1.2.3685-21 и приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 Физико-химические показатели водных вытяжек из БШУ

Показатели БШУ	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	ПДК
рН формируемой БШУ	7±0,1	7,2±0,1	6,9±0,1	7,1±0,1	6,0-9,0
Формируемая жесткость среды (общая), мг-экв/дм ³	11,5±0,4	35,1±0,4	60,2±0,4	3,5±0,4	10
Минерализация (общая), мг/дм ³	635±5	4125±5	1625±5	1225±5	1500
Хим. потреб. кислорода, мг/дм ³ (ХПК)	595±5	535±5	1294±5	324±5	30
Хлорид-ионы, (Cl ⁻) мг/дм ³	460,1±0,4	903,1±0,7	1503,1±0,3	268,7±0,3	350
Углеводороды (суммарно), мг/дм ³	1,5±0,4	2,2±0,4	6,4±0,4	2,0±0,4	0,1
Био. потреб. кислорода, мг/дм ³ (БПК ₅)	44,1±0,3	31,4±0,3	38,8±0,3	12,2±0,3	4,0

Результаты исследования свидетельствуют о негативном воздействии на природные геосистемы из-за наличия высоких значений ХПК, БПК, сухого остатка, содержания нефтепродуктов водных вытяжек, превышающие допустимые нормы СанПиН 1.2.3685-21.

С повышением минерализации возрастает плотность воды. По сухому остатку из водных вытяжек (620-4090 мг/дм³) исследуемые БШУ классифицируются от пресных до маломинерализованных вод. Минеральный состав водной вытяжки из БШУ характеризует водномиграционную опасность почвообразующих минералов, органических соединений серы, кислорода, азота, углерода и др.

Почвы с высоким значением рН обладают неблагоприятными агрохимическими свойствами. Исследуемые образцы имеют значения (6,9-7,2) близкие к нейтральному водородному показателю, что говорит об отсутствии опасности от защелачивания почв и воды.

Проведенные исследования БШУ показали, что исследуемые образцы имеют высокие значения ХПК, БПК, хлоридов, нефтепродуктов, сухого остатка и не отвечают требованиям СанПиН 2.1.5.980-00. Размещение БШУ в объектах окружающей среды формирует техногенное воздействие больше нормативного. Однако, ввиду того, что состав БШУ представлен в основном горной породой и в сухом виде представляет собой мелкий сыпучий песок, его возможно использовать как мелкий наполнитель в получении строительных изделий и материалов. Присутствие в составе БШУ нефти и нефтепродуктов, формирующих высокий потенциал опасности для окружающей среды, возможно использовать в качестве отдельного ресурсного потенциала БШУ при производстве органоминеральных строительных смесей.

Оценка формирования возможного негативного воздействия БШУ при его размещении в окружающей среде позволили сформулировать требования для геоэкологически безопасного использования его ресурсного потенциала. Для обеспечения безопасной эксплуатации строительных материалов в состав которых был включен БШУ необходимо обеспечить: участие нефти и нефтепродуктов в процессах структурообразования строительного материала; структура строительного материала должна быть плотной и гидрофобной, что должно обеспечить приемлемую водномиграционную опасность тяжелых металлов, хлоридов и других опасных химических соединений БШУ. В целом это должно обеспечить эффективное использование ресурсного потенциала БШУ (минеральной части, нефтепродуктов и нефти) при соблюдении геоэкологической безопасности использования строительных материалов на всем протяжении их жизненного цикла.

3.3 Определение физико-механических свойств БШУ

В исследовании был использован БШУ с исходной влажностью– 60-70%, плотность исходного БШУ 1,7-2,1 т/м³. Усредненные физические характеристики твердой фазы образцов БШУ представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 Усредненные физические характеристики твердой фазы образцов БШУ

	Показатель	Значение
1	Плотность частиц БШУ, г/см ³	2,71-2,73
2	Плотность БШУ, г/см ³	1,49-1,84
3	Влажность БШУ, %	37,3-68,1
4	Песчаные частицы, %	40,0-71,5
5	Насыпная плотность БШУ, г/см ³	0,851-1,34
6	Влажность на границе раскатывания, %	8,7-21,2
7	Пылеватые частицы, %	9,7-27,9
8	Влажность на границе текучести, %	28,2-43,8

Для определения возможности использования БШУ в качестве сырья для дорожного строительства большое значение имеет его гранулометрический состав. Гранулометрический состав является одним из основных физико-механических характеристик для оценки возможности использования БШУ в качестве инертного или структурообразующего компонента асфальтобетона.

Для проведения испытаний БШУ был предварительно высушен до постоянной массы при температуре 105 °С. Сухой БШУ представляет собой мелкий сыпучий песок без образования конгломератов. Это позволяет рассматривать БШУ в качестве песка или мелкого заполнителя в органоминеральных смесях и асфальтобетонах. Испытания образцов БШУ проводились в соответствии с методикой ГОСТ 8735-88. Результаты испытаний сравнивались с требованиями ГОСТ 8736-2014. Результаты определения гранулометрического состава БШУ представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 Гранулометрический состав образцов БШУ.

	Размер отверстий сит, мм	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Прошло через	Образец 1	100	100	99,87	99,68	99,39	98,8	92,97	85,82
	Образец 2	99,5	98,7	96,37	92,93	83,66	75,96	64,6	54,87
	Образец 3	100	99,96	99,89	99,75	99,31	98,61	96,72	94,8

сито, %	Образец 4	100	99,16	97,46	96,09	92,13	88,4	82,4	66,77
------------	-----------	-----	-------	-------	-------	-------	------	------	-------

По модулю крупности согласно ГОСТ 8736-2014 образцы БШУ относятся к песку очень тонкому. Проверка образцов БШУ на соответствие требованиям ГОСТ 8736-2014 для песка строительного дала отрицательный результат. Все образцы БШУ не соответствуют по содержанию пылевидных и глинистых частиц. БШУ имеет значительное превышение доли частиц мельче 0,071 мм. Это означает, что существующие технологии строительства не смогут использовать БШУ в качестве материала (строительного песка) для изготовления строительных конструкций без предварительной обработки.

В виду большого количества пылеватых частиц было определено одно из возможных направлений использования в строительстве - использование БШУ в качестве минерального порошка используемого в составе асфальтобетона.

3.4 Теоретическое и практическое обоснование использования БШУ в составе асфальтобетона

При структурообразовании асфальтобетона происходит взаимодействие битума и минерального порошка, при этом битум из объемного состояния переходит в пленочное состояние с образованием диффузно-сольватных оболочек. Между битумом и поверхностью минеральных частиц формируются прочные физические и хемосорбционные связи, которые определяют силу сцепления битума с поверхностью минеральных частиц. Адгезионные свойства битума к поверхности минеральных частиц минерального порошка определяются в большой степени содержанием и свойствами анионоактивных веществ – асфальтенами, мальтенами и нафтеновыми кислотами. Они формируют физическое взаимодействие с основными центрами на поверхностях минеральных частиц минерального порошка. Сила взаимодействия будет определяться присутствием (формированием) на поверхности частиц БШУ катионных центров. Битум являясь полярным материалом, адгезия которого зависит от заряда на поверхности минерального материала. Сила адгезии битума к минеральной

частицы БШУ формируются за счет большого количества центров адсорбции. БШУ с высоким содержанием двухвалентных катионов Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , («основные» горные породы) при контакте с битумом будут образовывать прочные битумоминеральные системы. Жидкие фракции битума (мальтены) будут практически полностью заполнять дефекты поверхности минеральных частиц БШУ. При наличии в составе БШУ минеральной части с одновалентными катионами K^+ , Na^+ («кислые» горные породы), битумоминеральные системы будут характеризоваться высокой пластичностью и малой прочностью, что будет формировать низкие эксплуатационные характеристики асфальтобетонов.

БШУ имеет большую суммарную площадь поверхности своих минеральных частиц, чем минеральные частицы товарных (традиционных) минеральных порошков используемых в асфальтобетонах. Величина суммарной площади минеральных определяет количество битума, которое будет расходоваться на обволакивание минеральных частиц БШУ при формировании асфальтобетона. Увеличение площади требует увеличения количества битума для формирования структуры асфальтобетона, однако это возможно скомпенсировать наличием нефти и углеводородов в составе БШУ.

БШУ образуется при взаимодействии бурового инструмента с горной породой в среде углеводородов, при высоком контактном давлении и высокой температуре. Это способствует образованию на минеральных частицах БШУ механоактивированного поверхностного слоя, содержащего углеводороды, который обеспечит прочные связи между битумом асфальтобетона и минеральной частью БШУ, без расходования товарного битума при производстве асфальтобетона.

Теоретическая оценка вероятности эффективного использования БШУ в качестве минерального порошка показала, что БШУ возможно использовать в качестве минерального порошка.

Для подтверждения выдвинутой теории были проведены исследования асфальтобетонных образцов на предмет их соответствия требованиям ГОСТ Р 52129-2003, который определяет требования к физико-механическим свойствам

материалов, используемым в качестве минеральных порошков в асфальтобетонах и органоминеральных смесях. Свойства БШУ сравнивали по показателям для двух марок порошков МП-1 и МП-2. Согласно ГОСТ Р 52129-2003 оцениваются следующие свойства порошковых материалов, табл.3.8.

Таблица 3.8 Показатели свойств минеральных порошков

Показатель	МП-1		МП-2
	неактивированный	активированный	
Зерновой состав, % по массе:			
мельче 1,25 мм	100	100	>95
0,315мм	> 90	> 90	80 - 95
0,071 мм	70 - 80	> 80	> 60
Пористость, %, не более	35	30	40
Набухание образцов, %, не более	2,5	1,8	3,0
Водостойкость образцов, %, не более	-		0,7
Показатель битумоемкости, г, не более	-		80
Влажность, % по массе, не более	1,0	-	2,5

Зерновой состав является определяющей характеристикой для проведения оценки соответствия порошкового материала для его использования в составе асфальтобетонной смеси. Оценка проводилась согласно ГОСТ Р 52129-2003. Исследование зернового состава образца БШУ образец №1 таблица 3.9.

Таблица 3.9 - Зерновой состав образца БШУ №1.

Размер отв. сит, мм	2,500	1,250	0,630	0,315	0,160	0,071
Прошло через сито, %	99,9	99,8	99,4	97,9	95,1	84,9
Соответствие МП-1 неактивированный	-	100%	-	>90%	-	70 – 80%
Соответствие МП-2 неактивированный	-	>95	-	80-95	-	>60

БШУ образец №1 по зерновому составу не соответствует требованиям к МП-1 неактивированному: через сито 1,25 прошло менее 100 %, через сито 0,071 прошло более 80%. БШУ образец №1 по зерновому составу соответствует требованиям к МП-2 неактивированному.

Исследование зернового состава образца БШУ №2 представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10–Зерновой состав БШУ образец №2.

Размер отв. сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Прошло через сито, %	96,4	93,8	84,6	77,3	65,8	56,8
Соответствие МП-1 неактивированный	-	100%	-	>90%	-	70 – 80%
Соответствие МП-2 неактивированный	-	>95	-	80-95	-	>60

БШУ образец №2 по зерновому составу не соответствует требованиям к МП-1 или к МП-2 неактивированным: через сито 1,25 прошло менее 95 %, через сито 0,315 прошло менее 80, через сито 0,071 прошло менее 60%. Образец БШУ №2 нельзя отнести к существующим видам минеральных порошков по гранулометрическому составу. Для его использования необходимо провести измельчение крупной фракции.

Исследование зернового состава БШУ образец №3 представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 –Зерновой состав БШУ образец №3.

Размер отв. сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Прошло через сито, %	99,9	99,8	99,3	98,6	96,7	94,8
Соответствие МП-1 неактивированный	-	100%	-	>90%	-	70 – 80%
Соответствие МП-2 неактивированный	-	>95	-	80-95	-	>60

БШУ образец №3 по зерновому составу не соответствует МП-1 неактивированному: через сито 1,25 прошло менее 100%, через сито 0,071 прошло более 80%. БШУ образец №3 по зерновому составу в целом соответствует требованиям ГОСТ Р 52129-2003 к МП-2 неактивированному, имеется незначительное отклонение по полному проходу на сите 0,315 мм на 3,6% от нормы 95%. БШУ образец №3 по зерновому составу можно отнести к порошкам неактивированным МП-2, ГОСТ Р 52129-2003.

Исследование зернового состава образца БШУ образец №4 представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 –Зерновой состав БШУ образец №4.

Размер отв. сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
Прошло через сито, %	98,4	97,3	93,8	87,9	83,5	68,1
Соответствие МП-1 неактивированный	-	100%	-	>90%	-	70 – 80%
Соответствие МП-2 неактивированный	-	>95	-	80-95	-	>60

БШУ образец №4 по зерновому составу не соответствует требованиям МП-1 или к МП-2 неактивированным: через сито 1,25 прошло менее 95%, через сито 0,315 прошло менее 90%, через сито 0,071 прошло менее 70%. Также имеются частицы крупнее 2,5 мм, что недопустимо по требованиям ГОСТ Р 52129-2003. Для его использования в качестве минерального порошка необходимо провести дополнительное измельчение крупной фракции.

Определение набухания образцов из смеси БШУ и битума было проведено по методике ГОСТ 32707-2014.

Сформованные образцы из шлама и битума представлены на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Сформованные образцы из БШУ и битума

Испытания по набуханию показали, что образцы из смеси БШУ и битума при долговременном контакте с водой удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 52129-2003. Набухание образцов из смеси БШУ с битумом, составили не более 1,7%.

Определение пористости образцов БШУ показало, что все образцы подходят под требования ГОСТ Р 52129-2003 (значения от 16% до 23%).

Минеральные порошки, используемые для производства асфальтобетонов для строительства автомобильных дорог, оценивают по величине $A_{эфф}$ (суммарная удельная эффективная активность естественных радионуклидов). $A_{эфф}$ для: строительства дорог и аэродромов в пределах территории населенных пунктов $A_{эфф}$ не более 740 Бк/кг; вне населенных пунктов $A_{эфф}$ не более 1500 Бк/кг. По данному ограничению все четыре образца БШУ пригодны для использования в качестве минерального порошка (см. таблица 3.3.) Радиационная опасность БШУ будет определяться условиями горной проходки, какие горные породы, какого отложения будут пройдены при бурении. Этот показатель будет всегда зависеть индивидуально от месторождения нефти и газа. На показатели физико-механических и эксплуатационных характеристик асфальтобетона получаемого с использованием БШУ данный показатель не оказывает значимого влияния.

Потери при прокаливании для сырья используемого для производства минерального порошка (в том числе и отходы производств) должны быть не более 20% массы (ГОСТ Р 52129-2003). По данному требованию все образцы БШУ так же подходят для использования.

В качестве активаторов минеральных порошков возможно использовать поверхностно активные вещества и битум (ГОСТ Р 52129-2003). В БШУ содержатся битуминозные компоненты нефти и ПАВ, которые могут быть расценены в качестве активаторов, что повышает значимость содержания данных опасных для окружающей среды компонентов в БШУ для структурообразования асфальтобетона.

Представленные выше исследования позволяют расценивать БШУ в качестве минерального порошка для получения эффективных асфальтобетонов и других органоминеральных смесей.

Для установления наличия и влияния механоактивированного слоя минеральных частиц и углеводородов БШУ на характеристики асфальтобетона (АБ), были проведены сравнительные испытания образцов с использованием

буровых шламов на глинистой (водной) основе (БШГ) и БШУ, взятых с одного и того же месторождения. Для исследований был использован БШУ образец 3 (с показателями таблица 3.2, 3.3 и 3.4), как имеющий в своем составе наибольшее количество углеводородов. Для определения физико-механических характеристик, были сформованы образцы асфальтобетона (АБ) с БШГ и БШУ, в качестве образцов сравнения выступал асфальтобетон типа Б, марки П. Основные результаты испытаний асфальтобетонных образцов приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Физико-механические свойства образцов.

Показатели	Требования ГОСТ 9128	АБ (контрольный)	АБ с БШГ 8%	АБ с БШУ 8%
Трещиностойкость	3,0-6,5	5,01	3,8	5,15
Водонасыщение, %	1,5-4,0	1,88	1,55	1,38
Сдвигоустойчивость,	>0,81	0,95	0,72	0,93
Водостойкость,	>0,85	0,90	0,72	0,98
Предел прочности, (МПа):				
при 20°С, не менее	2,20	3,75	2,98	4,26
при 50°С, не менее	1,00	1,47	0,91	1,45
при 0°С, не более	12,00	9,93	9,80	8,53

Установлено, что асфальтобетон с БШУ имеет более высокие физико-механические показатели. Это доказывает наличие на минеральных частицах БШУ механоактивированного поверхностного слоя, который обеспечивает прочные связи между битумом асфальтобетона и минеральной частью БШУ, что обеспечит снижение водномиграционной опасности БШУ и управление процессами структурообразования в асфальтобетоне.

Выводы по 3 главе:

1. Состав БШУ неоднороден и состоит из: воды (0,95-50,0%); твердой части (8,7-98,7%) состоящей из горных пород, механических примесей, минеральных веществ; органических загрязняющих веществ (до 6,4%) таких как нефть и нефтепродукты; неорганических загрязняющих веществ (от 1,1 до 13,5%), соединения ТМ, реагентов БР; неорганические водорастворимые соли, основными из которых являются хлориды с концентрацией 0,01-0,27 %.

2. Результаты физико-химических характеристик образцов БШУ показал, что имеются высокие значения хлоридов, ХПК, БПК, содержания нефтепродуктов, сухого остатка, превышающие нормативные требования, что формирует химическое изменение геосферных оболочек способные снизить репродуктивную способность ОС. Содержащиеся в БШУ нефть и нефтепродукты, химические соединения, ТМ в подвижной и неподвижной формах, высокая степень измельчения БШУ, формируют повышенную опасность для ОС.

3. Для обеспечения безопасной эксплуатации строительных материалов в состав которых был включен БШУ необходимо обеспечить: участие нефти и нефтепродуктов в процессах структурообразования строительного материала; структура строительного материала должна быть плотной и гидрофобной, что должно обеспечить приемлемую водномиграционную опасность тяжелых металлов, хлоридов и других опасных химических соединений БШУ. В целом это должно обеспечить эффективное использование ресурсного потенциала БШУ (минеральной части, нефтепродуктов и нефти) при соблюдении геоэкологической безопасности использования строительных материалов на всем протяжении их жизненного цикла.

4. БШУ представляет собой мелкий песок с малым модулем крупности, что позволяет использовать его в качестве минерального порошка в асфальтобетонных смесях. Проведенные исследования гранулометрического состава и других показателей БШУ на соответствие ГОСТ на минеральный порошок для асфальтобетона показали пригодность БШУ для использования в качестве минерального порошка в асфальтобетонах.

5. Проведенные лабораторные исследования свойств смеси БШУ и битума позволили установить на поверхности частиц БШУ механоактивированного слоя, содержащего углеводороды, который способствуют формированию прочных связей между битумом и поверхностью минеральных частиц БШУ и асфальтобетона, что обеспечивает снижение водномиграционной опасности БШУ и управление процессами структурообразования в асфальтобетоне.

ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОВОГО ШЛАМА В СОСТАВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Анализ научной литературы по вопросу использования материального ресурса буровых шламов показал, что разработано большое количество методов утилизации отходов бурения. Во многих работах отмечается, что одной из областей применения буровых шламов является дорожное строительство. Утилизация буровых шламов с использованием их в строительстве автомобильных дорог позволяет решать экологические вопросы, связывание их в составе других материалов исключает их попадание в атмосферу, гидросферу и почву.

В виду того что буровых шламов представляет собой мелкодисперсную горную породу, загрязненную остатками бурового раствора, то его возможно рассматривать в качестве минерального заполнителя в бетонах.

На основе проведенных лабораторных исследований и анализа литературного обзора был предложен метод утилизации БШУ, заключающийся в применении ресурсного потенциала БШУ в качестве минерального порошка при производстве асфальтобетонной смеси.

Использование ресурсного потенциала БШУ в составе асфальтобетонной смеси позволяет: снизить техногенное воздействие нефти-газодобывающей промышленности на геосферные оболочки Земли; снизить стоимость производства асфальтобетона, обеспечив при этом соответствие асфальтобетона требованиям нормативных документов по эксплуатационным характеристикам и физико-механическим свойствам; вовлечь БШУ в состав рециркулируемого строительного материала.

4.1 Исследование физико-механических свойств асфальтобетона с добавлением бурового шлама

За основу подбора зернового состава была выбрана горячая мелкозернистая плотная асфальтобетонная смесь типа Б, марки П. В качестве битума использовался битум БНД90/130. Данный тип асфальтобетона может быть

использован для устройства дорожной одежды автомобильных дорог общего назначения, дорог промышленных предприятий, внутрипромысловых и временных автомобильных дорог.

Для приготовления асфальтобетона были использованы следующие компоненты:

1. Природный песок, фракция от 0 до 5 мм в соответствии с ГОСТ 8735-2014;
2. Щебень, фракция 5 - 20 мм в соответствии с ГОСТ 8267-93;
3. Отсев дробления, фракция от 0 до 5 мм в соответствии с ГОСТ 8735-2014;
4. БШУ;
5. Битум 90/130, в соответствии с ГОСТ 22245-90.

Общая технологическая схема приготовления асфальтобетонной смеси не отличается от традиционной (при использовании традиционных (товарных) минеральных материалов).

Для приготовления асфальтобетонной смеси предварительно высушенный БШУ тщательно перемешивали с природным песком, щебнем, песком из отсева дробления, нагревали до 165-175⁰ С. Далее добавляли битум и полученную смесь перемешивали при 150⁰ С.

Способ введения БШУ в асфальтобетонную смесь посредством предварительного смешивания вместе с минеральными материалами исходной асфальтобетонной смеси не требует изменения технологических параметров приготовления асфальтобетонной смеси – температуры приготовления, времени перемешивания и т.п.

После формования асфальтобетонных образцов были проведены лабораторные исследования по определению физико-механических показателей. Исследования физико-механических свойств, полученных образцов асфальтобетона, проводились по методикам, указанным в ГОСТ 9128-2013.

Для определения оптимального состава асфальтобетонной смеси были сформованы 3 серии асфальтобетонных образцов с различным содержанием БШУ, рисунок 4.1.



Рисунок 4.1 – Полученные образцы асфальтобетона

Для установления зависимостей физико-механических характеристик асфальтобетона от содержания БШУ в его составе были разработаны составы асфальтобетонных смесей таким образом, чтобы зафиксировать максимально возможное значение процентного содержания БШУ при котором наблюдается соответствие нормативным требованиям ГОСТ 9128-2013. Были разработаны следующие составы асфальтобетонных смесей с использованием образца БШУ образец №3 в качестве минерального порошка:

1. Асфальтобетонная смесь № 1(АБ смесь 1), %:
 - Природный песок – 12
 - Щебень – 46
 - Отсев дробления - 38

- БШУ – 4
 - Битум 90/130 – 5,3 (сверх 100% смеси)
2. Асфальтобетонная смесь № 2(АБ смесь 2), %:
- Природный песок – 12
 - Щебень – 46
 - Отсев дробления - 34
 - БШУ – 8
 - Битум 90/130 – 5,3 (сверх 100% смеси)
3. Асфальтобетонная смесь № 3(АБ смесь 1), %:
- Природный песок – 12
 - Щебень – 46
 - Отсев дробления - 30
 - БШУ – 12
 - Битум 90/130 – 5,3 (сверх 100% смеси)
4. Асфальтобетонная смесь контрольная с использованием традиционного минерального порошка, %:
- Природный песок – 12
 - Щебень – 46
 - Отсев дробления - 38
 - Минеральный порошок – 4
 - Битум БНД 90/130 – 5,3 (сверх 100% смеси)

После изготовления асфальтобетонных образцов, были проведены лабораторные исследования по определению физико-механических показателей согласно ГОСТ 9128-2013.(таблица 4.1). Сдвигоустойчивость определялась по коэффициенту внутреннего трения и по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С. Трещиностойкость определялась при скорости деформирования 50 мм/мин по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С.

Таблица 4.1 Физико-механические свойства асфальтобетонных образцов

Показатели	Требования ГОСТ 9128	Контрольная смесь с МП 4%	АБ №1 с БШУ 4%	АБ №2 с БШУ 8%	АБ №3 с БШУ 12%
Пористость минеральной части, %	14-19	15,39	15,4	14,5	13,1
Средняя плотность, г/см ³	-	2,43	2,43	2,44	2,45
Остаточная пористость, %	2,5-5,0	3,57	3,2	3,01	2,02
Трещиностойкость (при расколе)	3,0-6,5	5,01	5,08	5,15	4,18
Водонасыщение, %	1,5-4,0	1,88	1,55	1,38	1,19
Сдвигоустойчивость по: коэфф. внутрен. трения	>0,81	0,95	0,91	0,93	0,92
Сдвигоустойчивость по сцеплению	>0,35	0,42	0,38	0,36	0,30
Водостойкость,	>0,85	0,90	0,96	0,98	0,96
Предел прочности (МПа):					
R _{сж} при 20°С,	>2,20	3,75	4,38	4,26	3,56
R _{сж} при 50°С,	>1,00	1,47	1,31	1,45	1,34
R _{сж} при 0°С.	<12,00	9,93	9,80	8,53	9,26

По полученным значениям были построены графики зависимости некоторых физико-механических характеристик асфальтобетона. С увеличением содержания БШУ в составе асфальтобетонной смеси происходит увеличение ее средней плотности (рисунок 4.2) за счет уменьшения числа пор в структуре асфальтобетона – частицы БШУ заполняют мелкие пространства в асфальтобетоне, что делает его более устойчивым к разрушению при замерзании воды в порах при эксплуатации асфальтобетонного покрытия в зимний период.

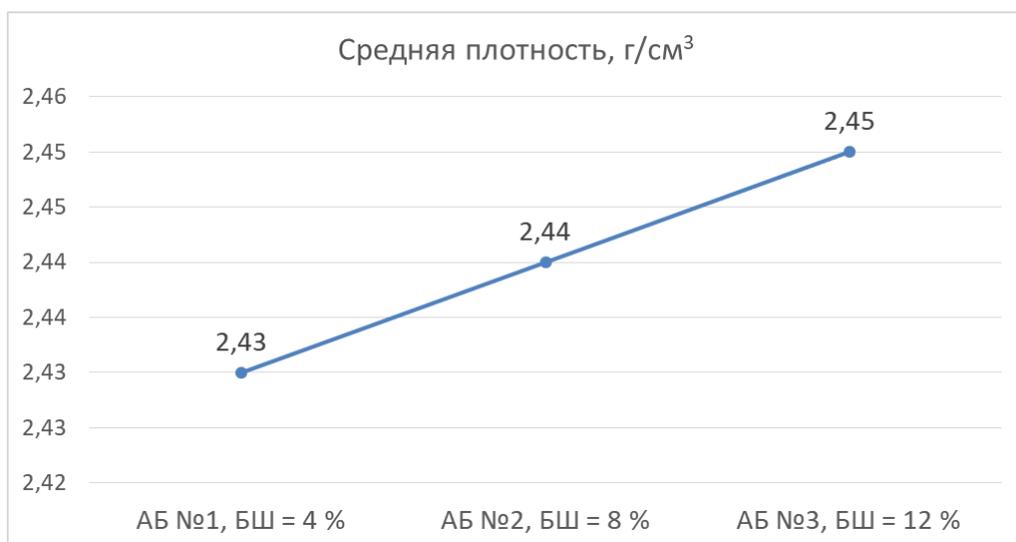


Рисунок 4.2 – Средняя плотность асфальтобетонных образцов

Вследствие увеличения средней плотности уменьшается показатель водонасыщения, т.к. снижается количество свободных пор и в водной среде сложнее проникнуть в структуру асфальтобетона, что делает его более устойчивым к разрушению при замерзании воды в порах при эксплуатации асфальтобетонного покрытия в зимний период, рисунок 4.3.

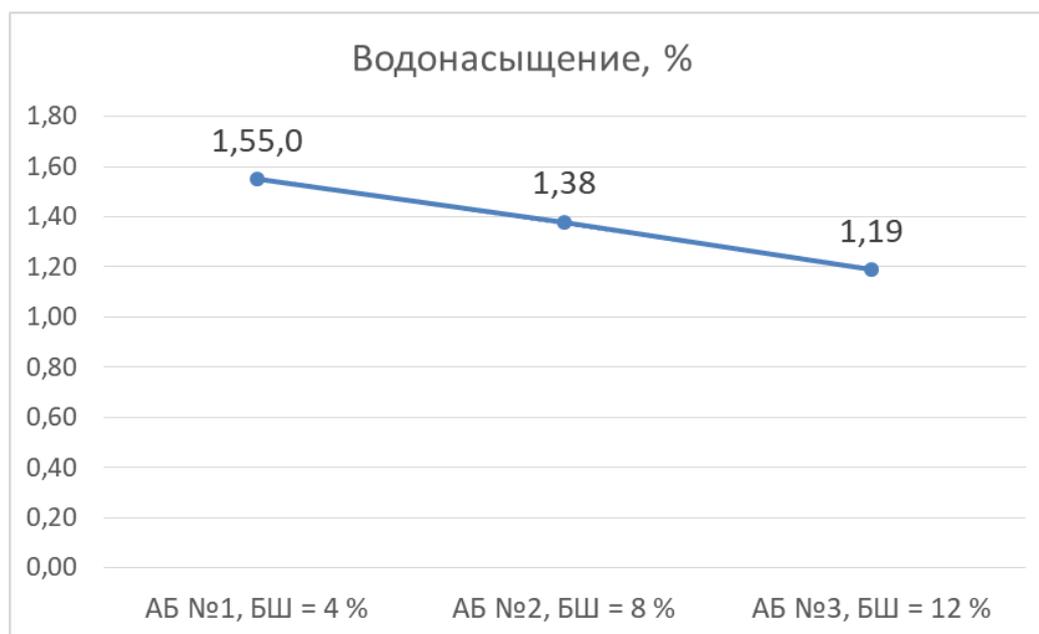


Рисунок 4.3 – Водонасыщение асфальтобетонных образцов

С увеличением процентного содержания БШУ в качестве минерального порошка в асфальтобетоне происходит падение предела прочности (рисунок 4.4). Избыточное количество БШУ (минерального порошка) приводит к снижению прочности покрытия. Это обусловлено неоднородностью состава БШУ, из-за входящих в состав БШУ хлоридов, реагентов бурового раствора, которые способствуют ухудшению физико-механических свойств асфальтобетона.

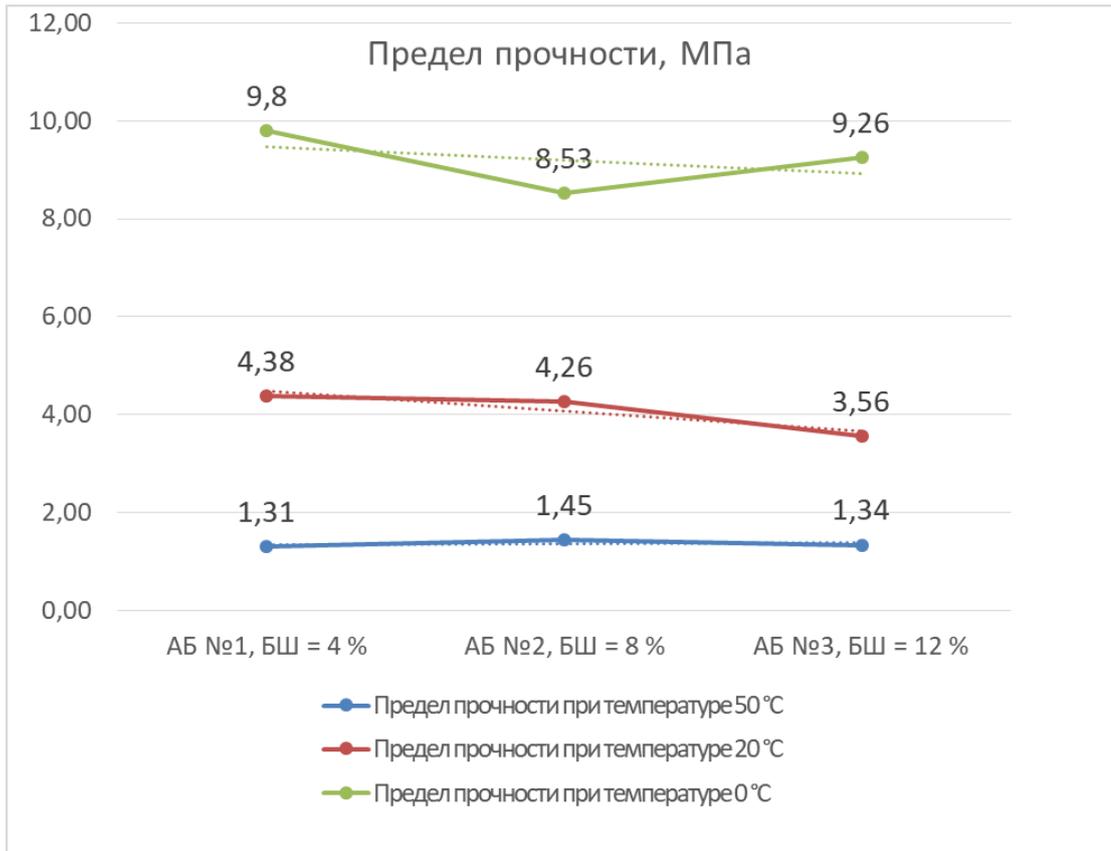


Рисунок 4.4 –Зависимости предела прочности асфальтобетона при сжатии от содержания БШУ

Проведение эксперимента позволило определить оптимальный состав асфальтобетона при использовании БШУ в качестве минерального порошка. Оптимальный состав асфальтобетонной смеси, для характеристик по ГОСТ 9128-2013:

- Щебень – 45-48%;
- Отсев дробления – 35-39%;
- Природный песок – 11-14%;
- БШУ – 4-8%;
- Битум БНД 90/130 – 4,9-5,3 % (свыше 100% от массы минеральной смеси).

Исследования показали, что использование до 8% БШУ в асфальтобетонной смеси, сохраняют ее физико-механические показатели. Использование БШУ в

качестве минерального порошка позволяет обеспечить надежность асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги.

Спроектирована горячая мелкозернистая асфальтобетонная смесь типа Б II марки с добавлением БШУ, используемого в качестве минерального порошка, обладает требуемыми прочностными характеристиками, что позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду за счет исключения размещения БШУ, расширить номенклатуру материалов, используемых в дорожно-строительной отрасли, снизить стоимость асфальтобетона за счет использования техногенного сырья.

4.2 Построение уравнений регрессии физико-механических показателей асфальтобетонной смеси с добавлением БШУ

Для оптимизации состава асфальтобетонной смеси требованиям ГОСТ 9128-2013 при добавлении в состав БШУ и установления как влияет содержание БШУ и количество битума на характеристики асфальтобетона использовали программу «Statistica 10». Были получены уравнения регрессии физико-механических показателей асфальтобетона от содержания БШУ и битума: предел прочности при сжатии при различных температурах; коэффициент водонасыщения; коэффициент водостойкости; показатель средней плотности; трещиностойкости. Данные показатели определяют основные физико-механические и частично эксплуатационные свойства асфальтобетона.

За фактор X_1 было выбрано процентное содержание БШУ, а за фактор X_2 выбрано процентное содержание битума в асфальтобетонных смесях. Интервалы варьирования для БШУ были выбраны $\pm 4\%$ от среднего уровня 8%, так как ранее было определено что оптимальное значение содержания БШУ находится в пределах от 4 до 8%. Для битума интервал варьирования был выбран $\pm 0,4$ от среднего уровня 5,0%, это связано с общепринятой практикой содержания битума в смеси 5%. Факторы и интервалы варьирования представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Факторы и интервалы их варьирования для моделирования

Код	Значение кода	Факторы	
		X ₁	X ₂
Верхний уровень	+1	12	5,4
Средний уровень	0	8	5,0
Нижний уровень	-1	4	4,6

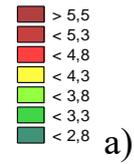
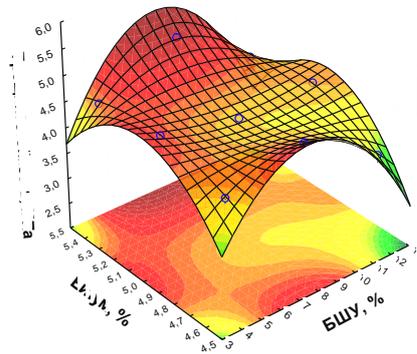
Согласно значениям диапазона изменяющихся факторов, промежуточных значений и полученным результатам физико-механических показателей асфальтобетонных образцов была построена матрица планирования эксперимента, представленная в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Матрица планирования эксперимента

Точки плана	Факторы		Функции отклика						
	План в натуральных переменных		Трещиностойкость, МПа	Водонасыщенность, %	предел прочности при сжатии R _{сж} 50С ⁰ , МПа	предел прочности при сжатии R _{сж} 20С ⁰ , МПа	предел прочности при сжатии R _{сж} 0С ⁰ , МПа	Плотность, ρ, г/см ³	коэффициент водостойкости K _в
	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
1	4	4,6	4,31	1,21	1,15	4,12	7,33	2,35	0,9
2	4	5	4,67	1,1	1,23	3,98	9,57	2,42	0,87
3	4	5,4	4,51	1	1,31	4,38	9,8	2,42	0,96
4	8	4,6	4,66	0,42	1,1	3,45	7,99	2,39	0,79
5	8	5	4,34	0,43	1,14	3,12	8,23	2,43	0,87
6	8	5,4	5,15	0,55	1,15	3,76	7,93	2,43	0,85
7	12	4,6	3,78	0,45	1,09	3,1	8,98	2,43	0,86
8	12	5	4,41	0,39	1,17	3,23	8,56	2,44	0,9
9	12	5,4	4,18	0,36	1,14	3,56	9,26	2,45	0,93

На основе установленных физико-механических показателей полученных образцов асфальтобетона с различным содержанием БШУ и битума были получены уравнения функций отклика. Для получения уравнений и проведения статистической обработки, полученных данных была использована программы «STATISTICA 10». Для анализа были использованы трехмерные поверхности, диаграммы Парето и рассеивания, рисунки 4.5.1-4.5.15.

Fitted Surface; Variable: T, МПа
 2 3-level factors, 1 Blocks, 9 Runs
 DV: T, МПа



Fitted Surface; Variable: T, МПа
 2 3-level factors, 1 Blocks, 9 Runs
 DV: T, МПа

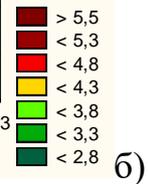
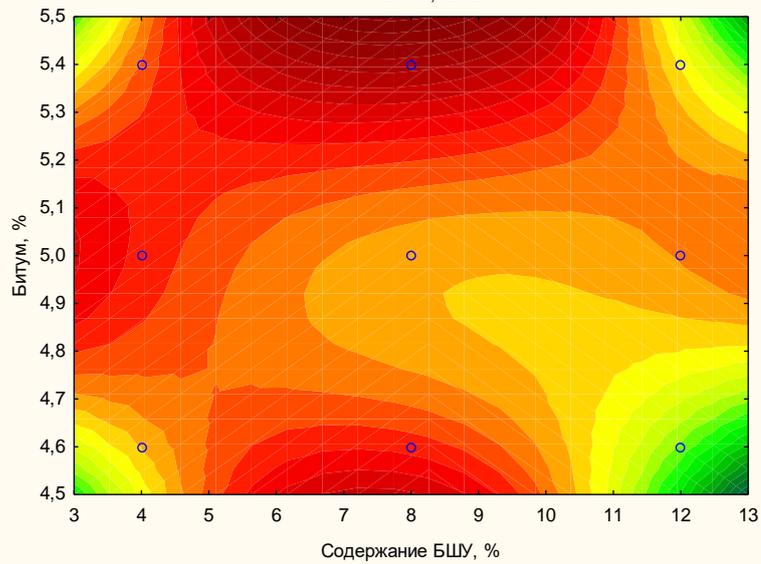


Рис. 4.5.1. Трещиностойкость

а) трехмерная поверхность функции отклика, б) проекция поверхности отклика на ось YOX.

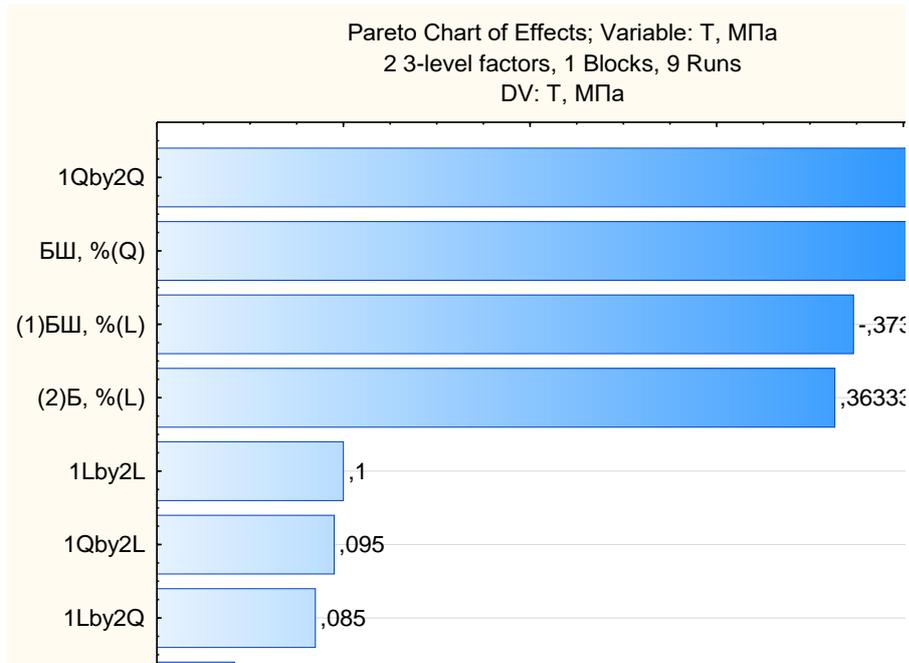


Рис. 4.5.2 Диаграмма Парето для показателя трещиностойкость асфальтобетона по переменным БШУ – Битум

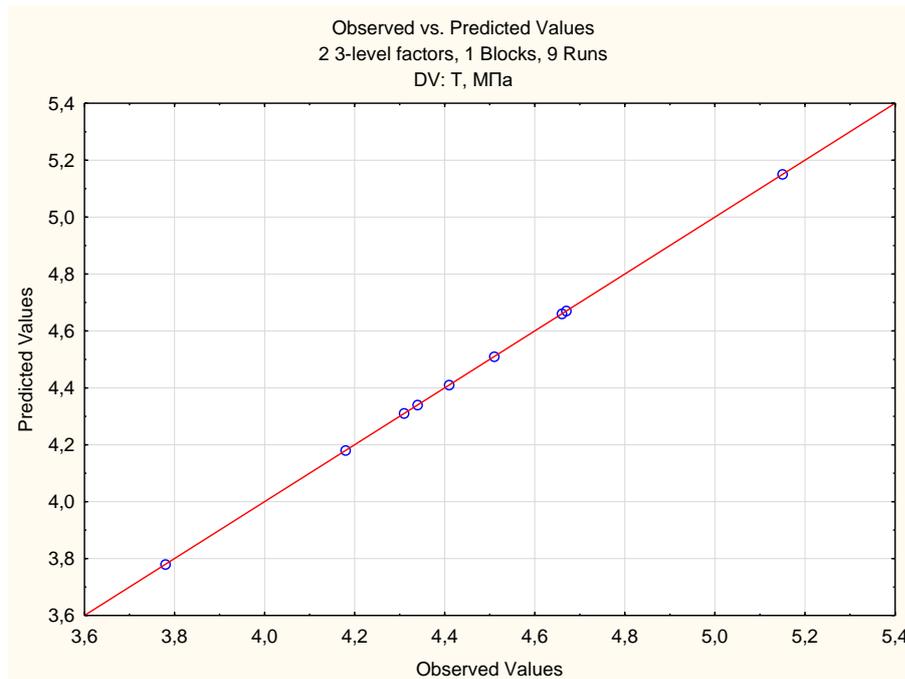


Рис. 4.5.3 Диаграмма рассеяния для показателя трещиностойкость асфальтобетона по переменным БШУ – Битум.

Установлено, что значение трещиностойкости зависит от содержания БШУ и битума. Согласно требованию ГОСТ 9128-2013 он должен находиться в пределах от 3,5 до 6,0. Уравнение регрессии, определяющее значение показателя

трещиностойкости от содержания БШУ и битума в асфальтобетонной смеси имеет следующий вид:

$$Y_1 = -445,56 + 137,29 * X_1 - 8,79 * X_1^2 + 180,97 * X_2 - 18,15 * X_2^2 - 55,27 * X_1 * X_2 + 5,55 * X_1 * X_2^2 + 3,53 * X_1^2 * X_2 - 0,35 * X_1^2 * X_2^2$$

Из диаграммы Парето для показателя трещиностойкости асфальтобетона видно, что содержание в смеси битума и БШУ не являются статистически значимыми (менее 0,5). Однако наибольшее влияние на показатель трещиностойкости асфальтобетона имеет содержание битума.

Диаграмма рассеяния по переменным БШУ – Битум, показала, коэффициент корреляции Пирсона равен $r = 0,99$ и является статистически значимым. Высокая корреляция может объясняться как существующей взаимосвязью между показателем трещиностойкости от значений битума и БШУ, так и особенностями планирования составов асфальтобетонной смеси.

Анализ полученного уравнения регрессии позволяет установить: при увеличении содержания битума в составе асфальтобетонной смеси происходит перенасыщение асфальтобетонной смеси битумом, что способствует более сильному смещению частиц минерального материала (щебня, песка, БШУ) относительно друг друга, при воздействии внешних нагрузок. При процентном содержании БШУ свыше 12 % начинается снижение показателя трещиностойкости, даже, несмотря на увеличение содержания битума, что указывает на не эффективную работу минерального остова асфальтобетона и вяжущего.

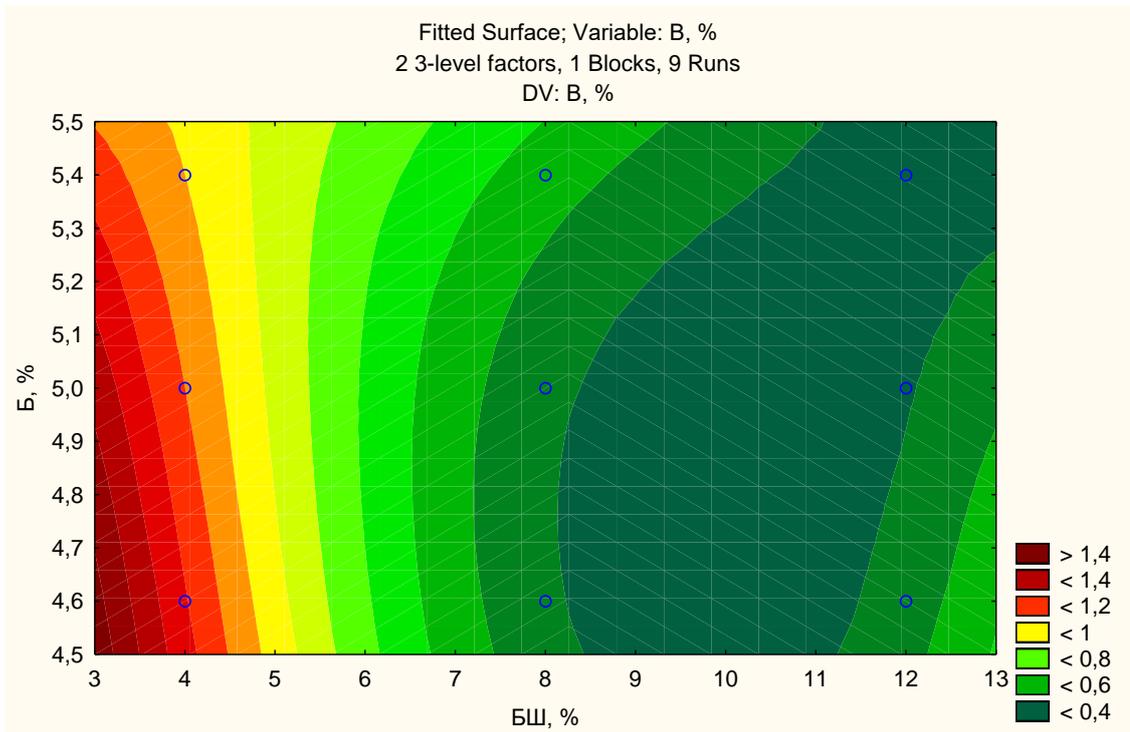
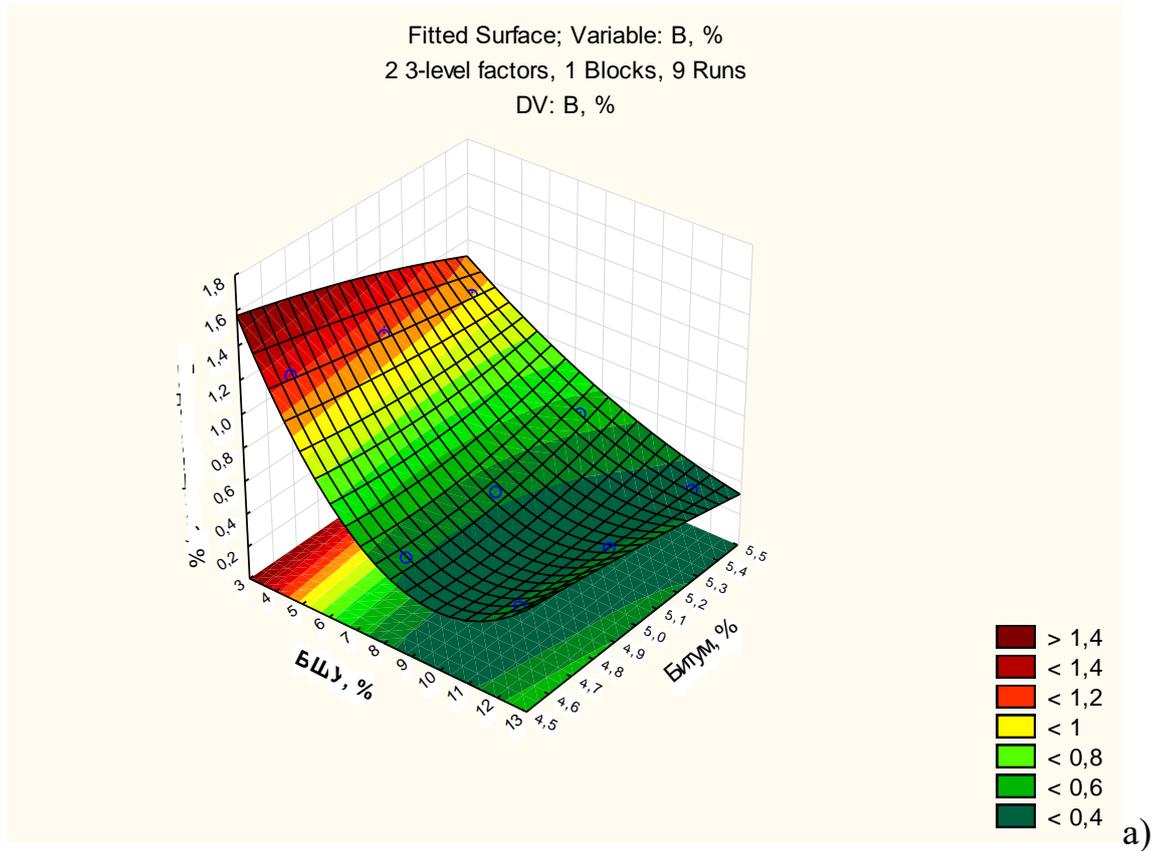


Рис. 4.5.4. Поверхность функции отклика показателя коэффициента водонасыщения а) трехмерная поверхность, б) проекция на ось YOX.

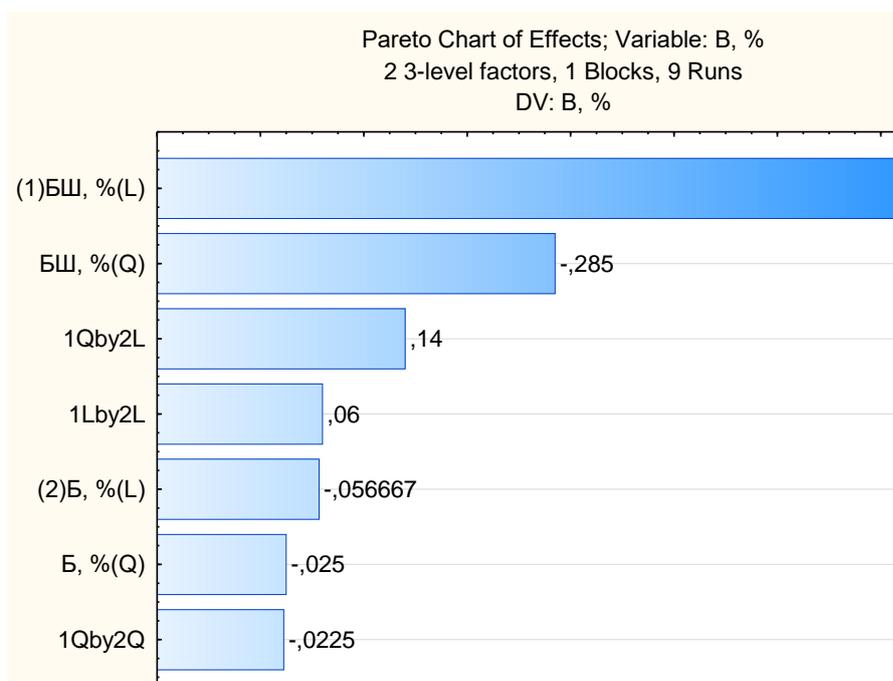


Рис. 4.5.5 Диаграмма Парето для показателя водонасыщения асфальтобетона по переменным БШУ – Битум

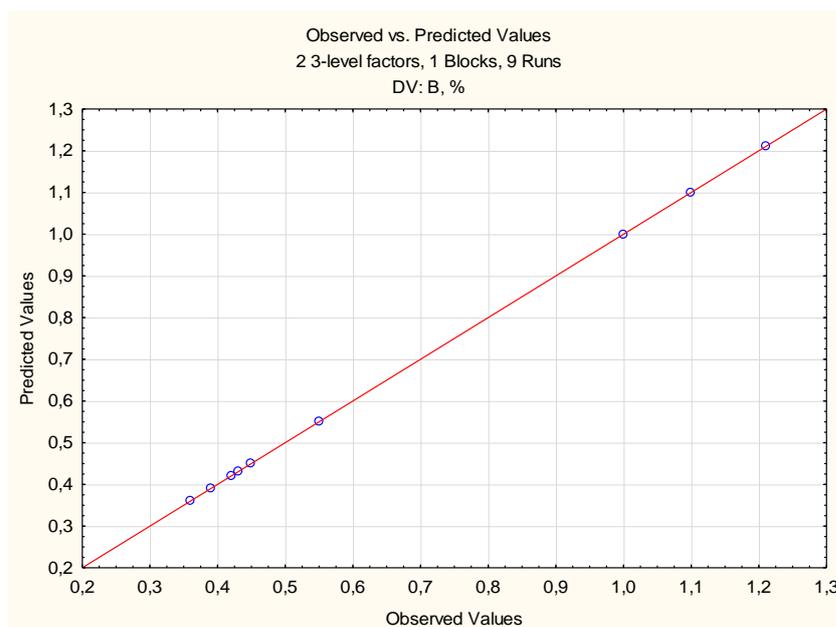


Рис. 4.5.6 Диаграмма рассеяния для показателя водонасыщения асфальтобетона по переменным БШУ – Битум.

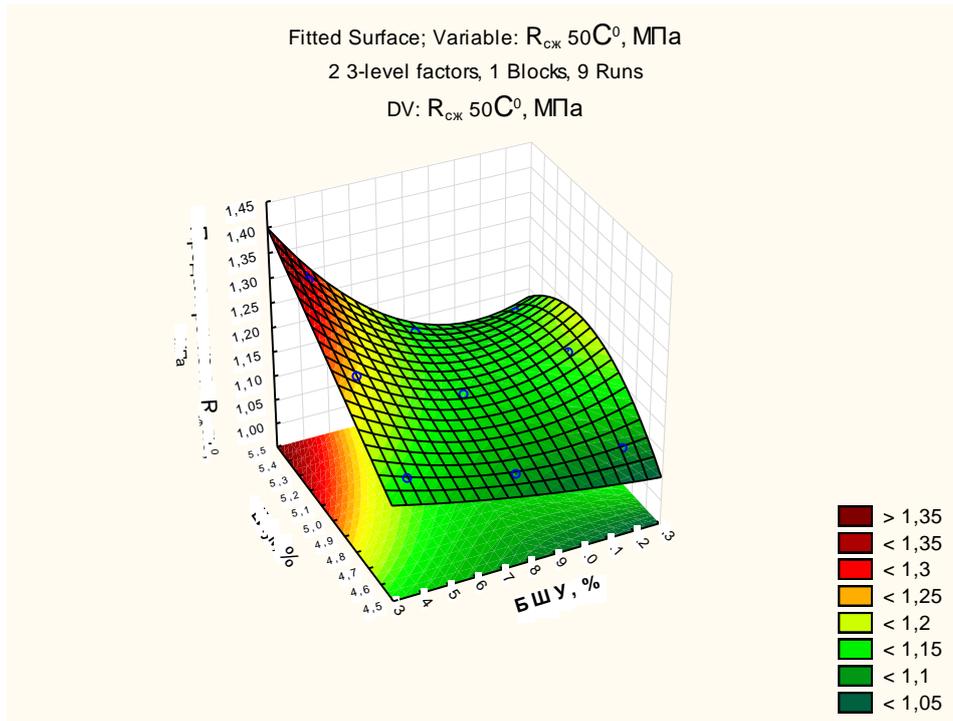
Установлено, что значение показателя водонасыщения (ГОСТ 9128-2013 значения лежат в пределах от 1,5 до 4,0) зависит от содержания БШУ и битума. Уравнение регрессии, определяющее значение показателя водонасыщения от содержания БШУ и битума в асфальтобетонной смеси имеет следующий вид:

$$Y_2 = -11,75 + 4,97 * X_1 - 0,31 * X_1^2 + 7,05 * X_2 - 0,84 * X_2^2 - 2,52 * X_1 * X_2 + 0,29 * X_1 * X_2^2 + 0,15 * X_1^2 * X_2 - 0,017 * X_1^2 * X_2^2.$$

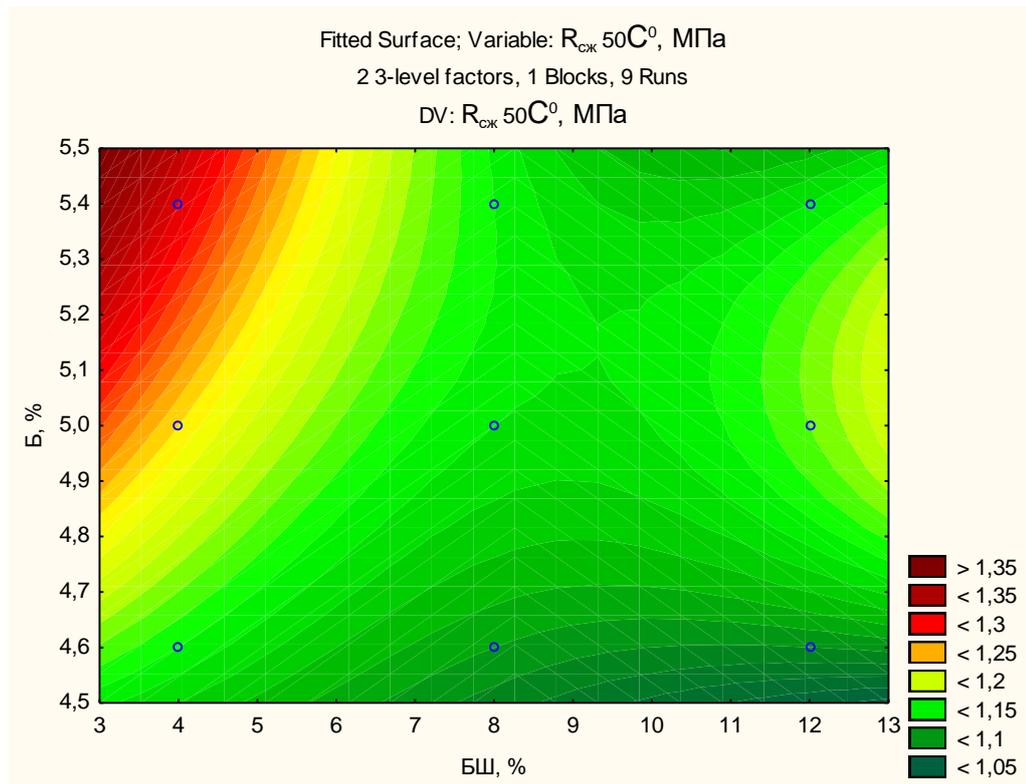
Показатель водонасыщения определяет количество не закрытых пор в структуре асфальтобетона. Большое количество не закрытых пор приводит к разрушению асфальтобетонного покрытия при эксплуатации в осенний период при переходе температуры окружающей среды в отрицательный диапазон. Вода, находящаяся в порах, замерзает и разрушает асфальтобетон. Наличие таких пор зависит не только от состава асфальтобетона, а также от условий укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси. ГОСТ 9128-2013 указывает допустимый интервал количества не замкнутых пор в структуре асфальтобетона исходя из технологических условий укладки. При использовании БШУ в составе асфальтобетона были достигнуты низкие значения водонасыщения, что показывает его эффективность и способность противостоять разрушению сил, возникающих при замерзании воды. Оптимальное содержание БШУ находится от 4 до 12%, содержание битума от 4,5 до 5,5%

Из диаграммы Парето для показателя коэффициента водонасыщения асфальтобетона видно, что битум не являются статистически значимыми (менее 0,5). Наибольшее влияние на величину показателя коэффициент водонасыщения имеет содержание БШУ в асфальтобетонной смеси. БШУ являясь мелкодисперсным минеральным материалом с частицами имеющими механоактивированный поверхностный слой с нефтью или углеводородами способен создать более плотную структуру асфальтобетона.

Диаграмма рассеяния по переменным БШУ – Битум, показала, что коэффициент Пирсона является статистически значимым, составляет $r = 0,99$. Высокое значение может быть объяснено, как существующей взаимосвязью между величиной коэффициента водонасыщения от содержания в составе асфальтобетона БШУ и битума, а так же особенностями планирования составов асфальтобетонной смеси.



а)



б)

Рис. 4.5.7. предел прочности при сжатии $R_{сж} 50C^0$, МПа
а) трехмерная поверхность, б) проекция на ось YOX.

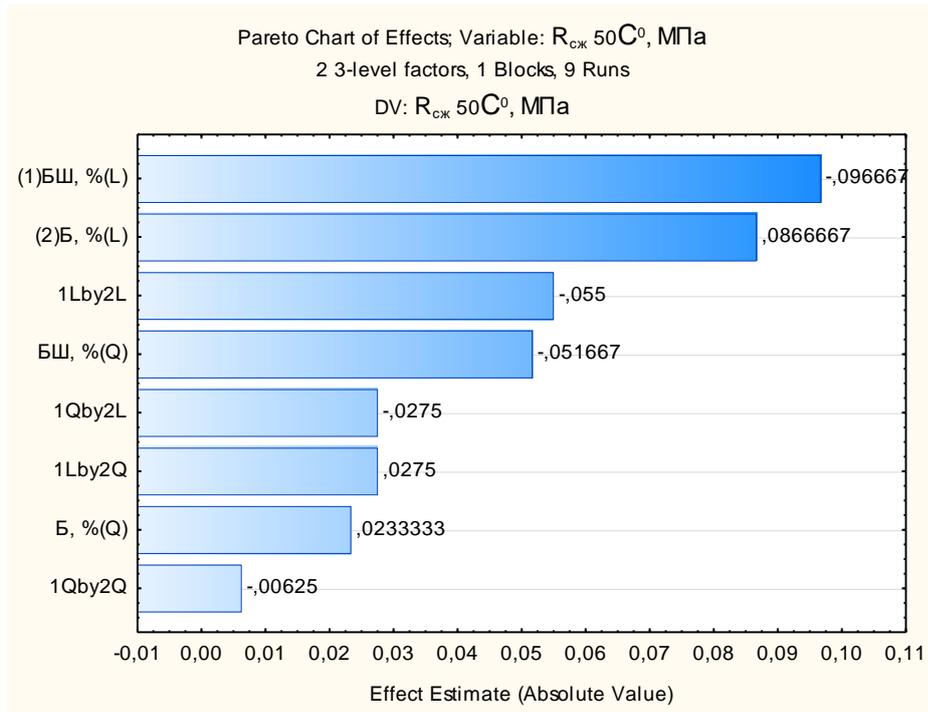


Рис. 4.5.8 Диаграмма Парето для показателя предел прочности при сжатии $R_{сж} 50C^0$, по переменным БШУ – Битум

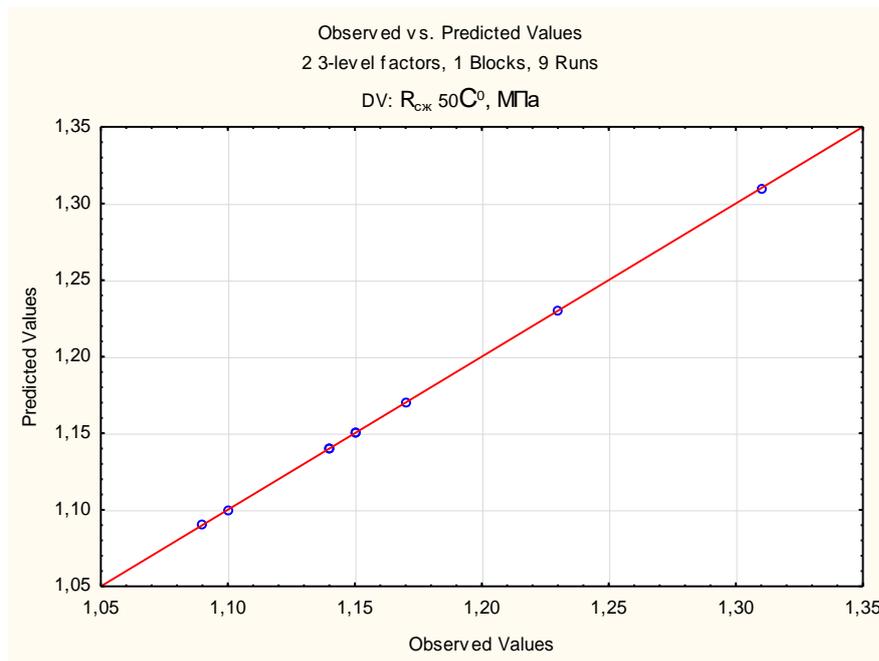


Рис. 4.5.9 Диаграмма рассеяния для показателя предел прочности при сжатии $R_{сж} 50C^0$, по переменным БШУ – Битум.

Установлено, что значения показателя предела прочности при сжатии $R_{сж} 50C^0$ (требования ГОСТ 9128-2013 не менее 1,0 МПа) зависит от содержания БШУ и битума. Полученное уравнение регрессии определяющее значение

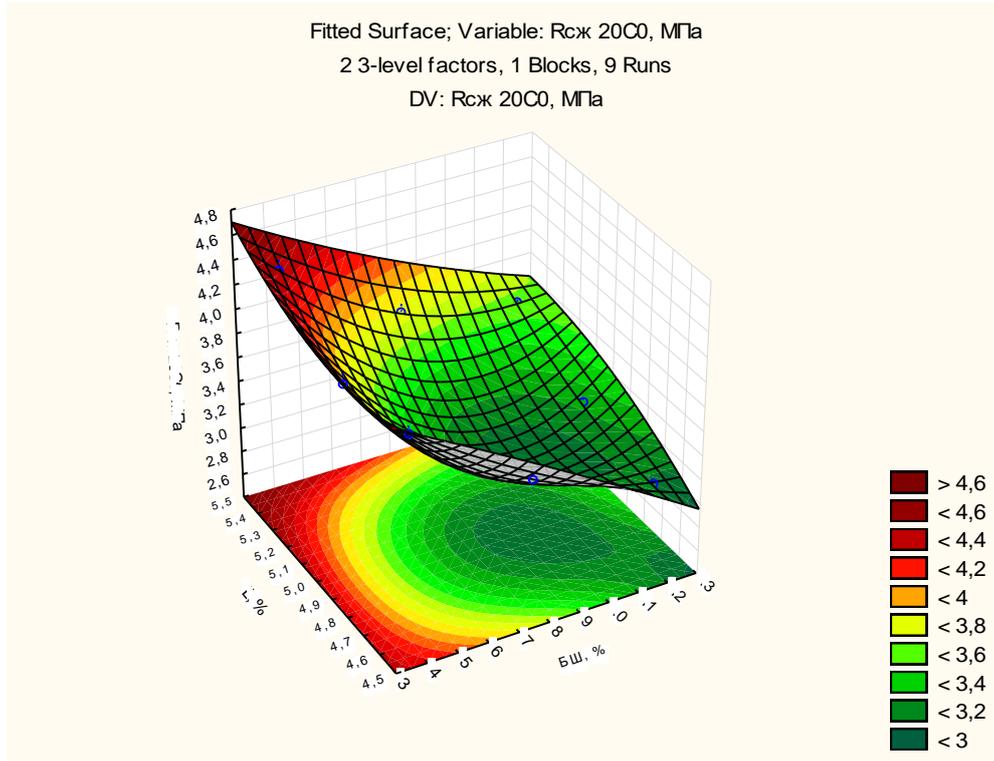
предела прочности при сжатии $R_{сж} 50C^0$ от содержания БШУ и битума в асфальтобетонной смеси имеет следующий вид:

$$Y_3 = -2,49 + 1,24 * X_1 - 0,13 * X_1^2 + 1,09 * X_2 - 0,06 * X_2^2 - 0,43 * X_1 * X_2 + 0,035 * X_1 * X_2^2 + 0,053 * X_1^2 * X_2 - 0,004 * X_1^2 * X_2^2$$

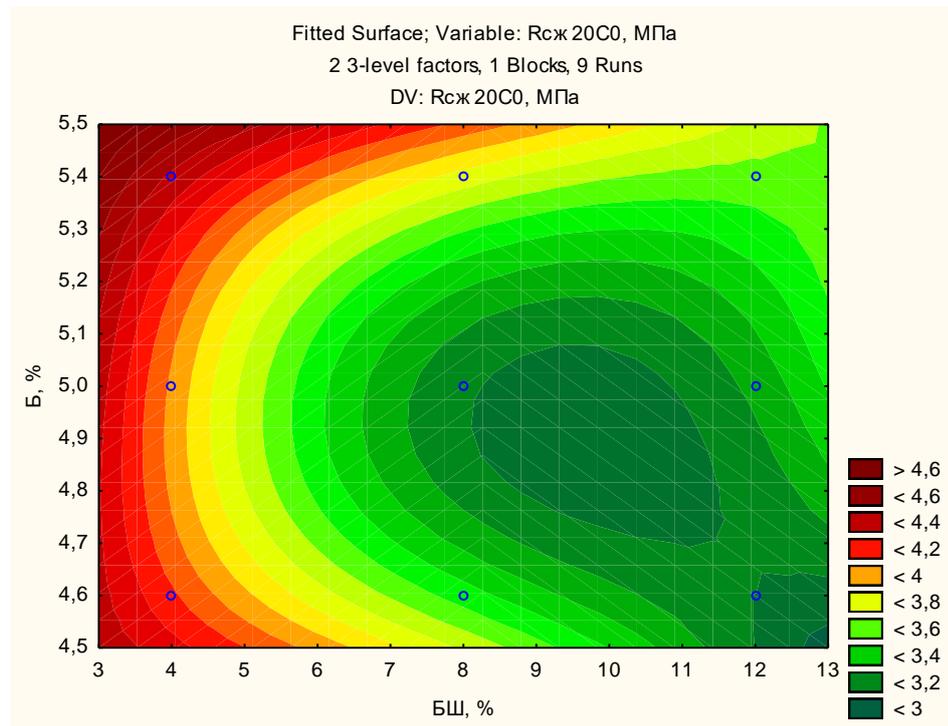
При увеличении содержания БШУ в составе асфальтобетона, для компенсации увеличения площади поверхности минеральных материалов, необходимо увеличить количество битума. Увеличение количества битума в структуре асфальтобетона сверх оптимального формирует условие чрезмерного заполнения внутреннего пространства минерального остова асфальтобетона не пленочным битумом, а свободным битумом. В этом случае структура асфальтобетона, при повышении температуры окружающей среды, становится пластичной и подвержена пластическим деформациям от внешних нагрузках. Оптимальное значение БШУ составляет 8-11%, битума 5,0-5,2%.

Из диаграммы Парето для предела прочности при сжатии $R_{сж} 50C^0$ асфальтобетона видно, что битум и БШУ не являются статистически значимыми (менее 0,5). Наибольшее влияние на предел прочности при сжатии $R_{сж} 50C^0$ имеет содержание БШУ в составе асфальтобетона.

Диаграмма рассеяния по переменным БШУ – Битум, показала, что коэффициент корреляции Пирсона является статистически значимыми равен $r = 0,99$. Высокое значение корреляции можно объяснять существенным взаимным влиянием факторов и особенностями проектирования состава асфальтобетонной, большим количеством исследуемых образцов в серии испытаний на одну полученную точку значений.



а)



б)

Рис. 4.5.10. Поверхность функции отклика показателя предела прочности при сжатии при 20°C а) трехмерная поверхность, б) проекция на ось YOX.

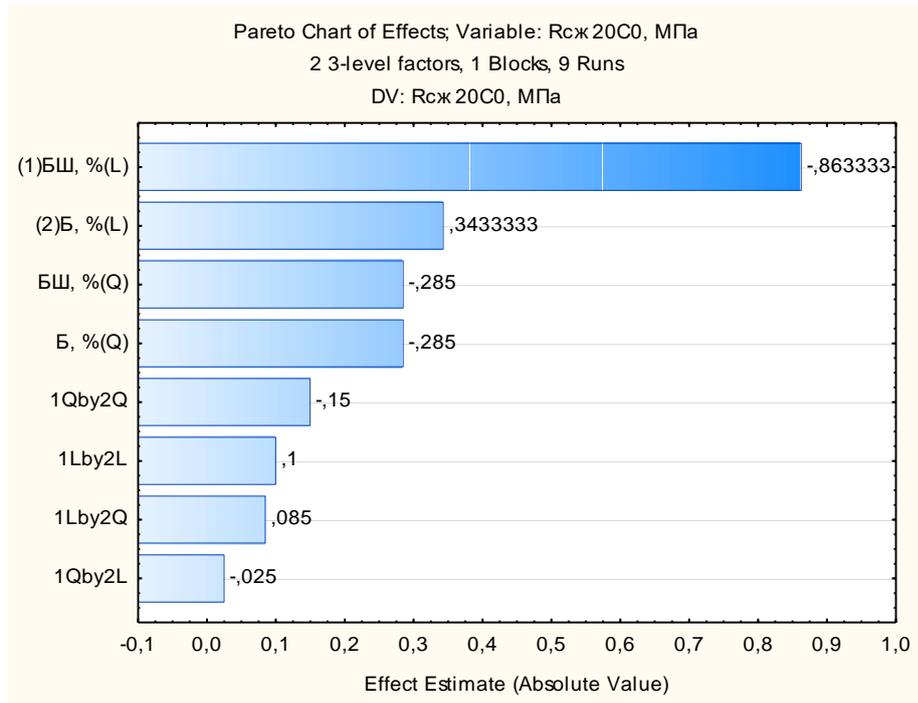


Рис. 4.5.11 Диаграмма Парето для показателя предел прочности при сжатии $R_{сж} 20C^0$ по переменным БШУ – Битум

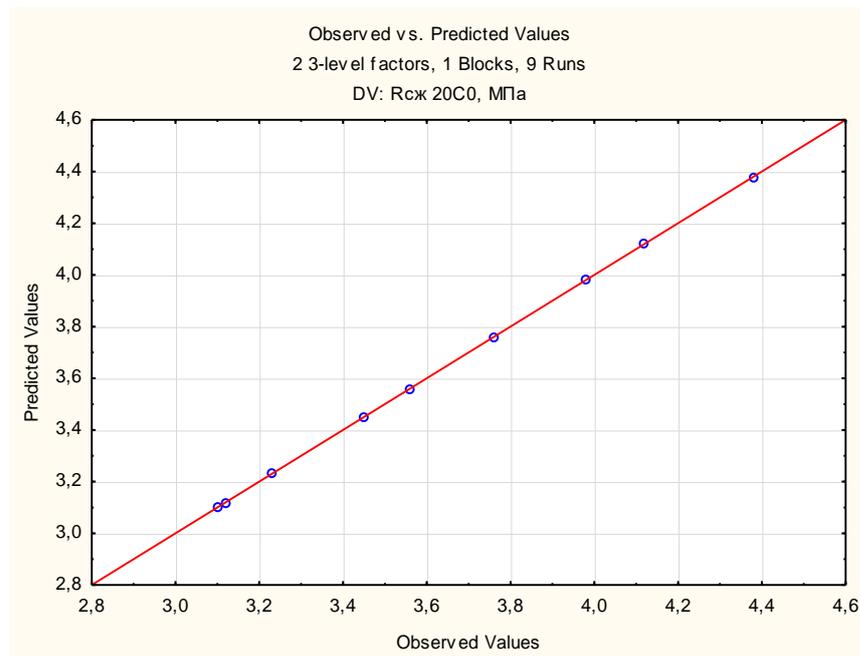


Рис. 4.5.12 Диаграмма рассеяния для показателя предел прочности при сжатии $R_{сж} 20C^0$ по переменным БШУ – Битум.

Установлено, что значение предела прочности при сжатии $R_{сж} 20C^0$ (согласно ГОСТ 9128-2013 значение показателя не менее 2,2 МПа) зависит от содержания БШУ и битума. Полученное уравнение регрессии, определяющее

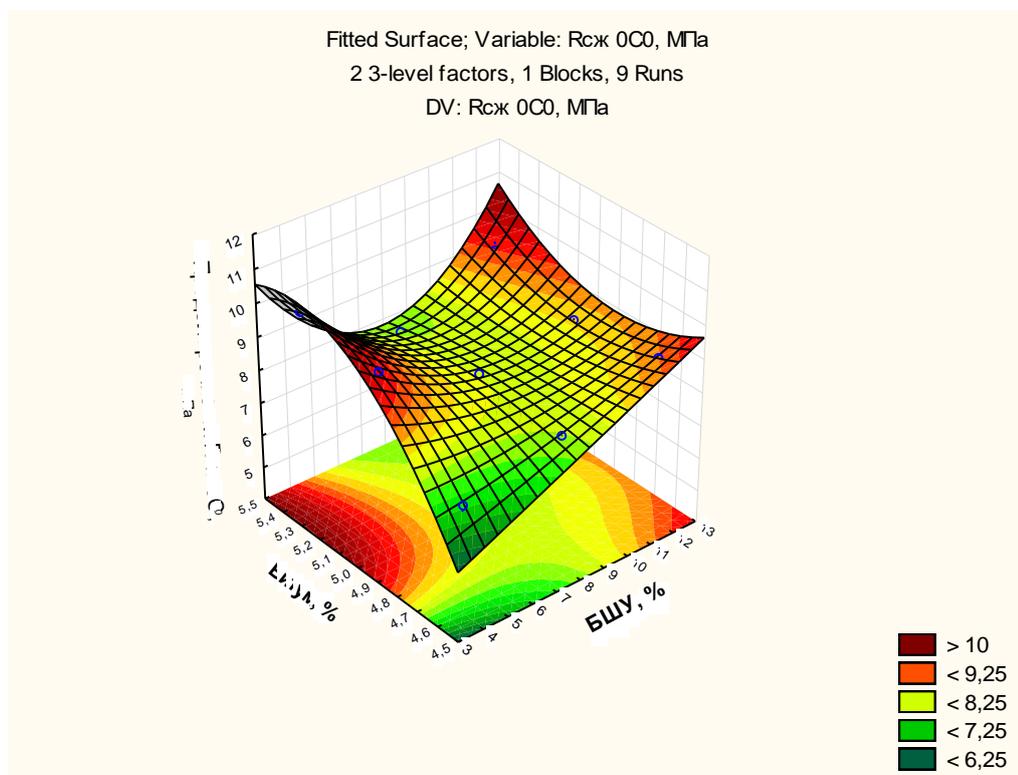
зависимость предела прочности при сжатии $R_{сж}20C^0$ от содержания БШУ и битума в асфальтобетонной смеси имеет следующий вид:

$$Y_4 = -81,283 + 43,132 * X_1 - 2,918 * X_1^2 + 34,449 * X_2 - 3,406 * X_2^2 - 17,453 * X_1 * X_2 + 1,742 * X_1 * X_2^2 + 1,175 * X_1^2 * X_2 - 0,117 * X_1^2 * X_2^2$$

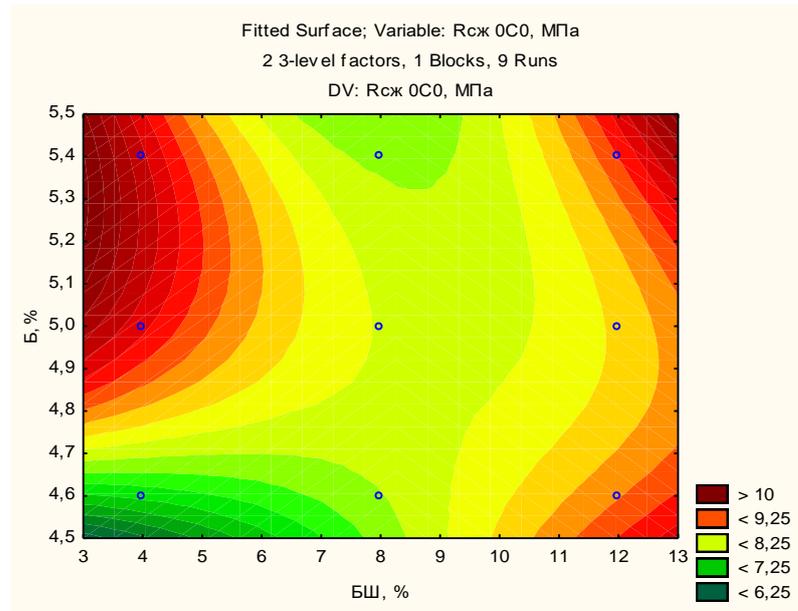
При увеличении содержания БШУ в составе асфальтобетонной смеси, при неизменном количестве битума происходит снижение прочности. Это объясняется недостаточным объемом битума для формирования монолитной асфальтобетонной структуры.

Из диаграммы Парето, видно, что содержание битума не являются статистически значимыми (менее 0,5). Наибольшее влияние на показатель предела прочности $R_{сж}20C^0$ имеет содержание БШУ.

Диаграмма рассеяния по переменным БШУ – Битум, показала, коэффициент корреляции Пирсона равен $r = 0,98$ и является статистически значимым. Это объясняется существующей взаимосвязью между функцией и параметрами, а также особенностями проектирования составов асфальтобетонной смеси.



a)



б)

Рис. 4.5.13. Поверхность функции отклика показателя предела прочности при сжатии при 0°С а) трехмерная поверхность, б) проекция на ось УОХ.

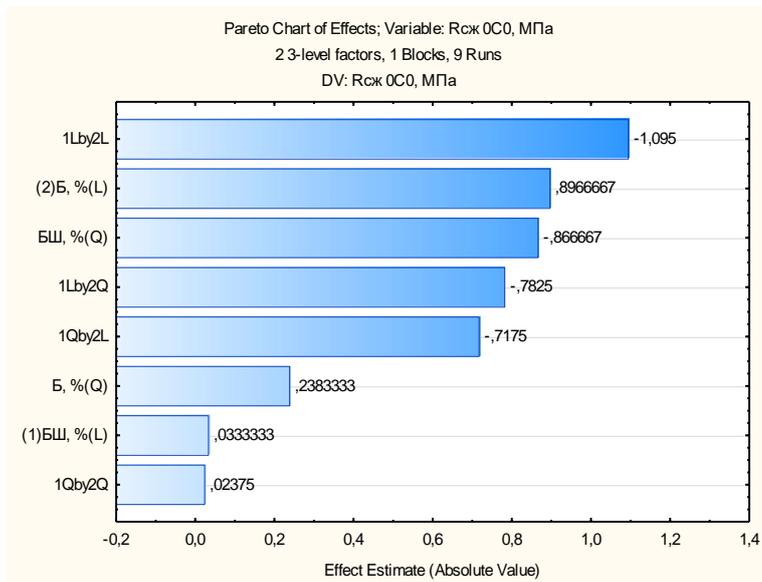


Рис. 4.5.14 Диаграмма Парето для показателя предел прочности при сжатии $R_{сж} 0 C^0$ по переменным БШУ – Битум

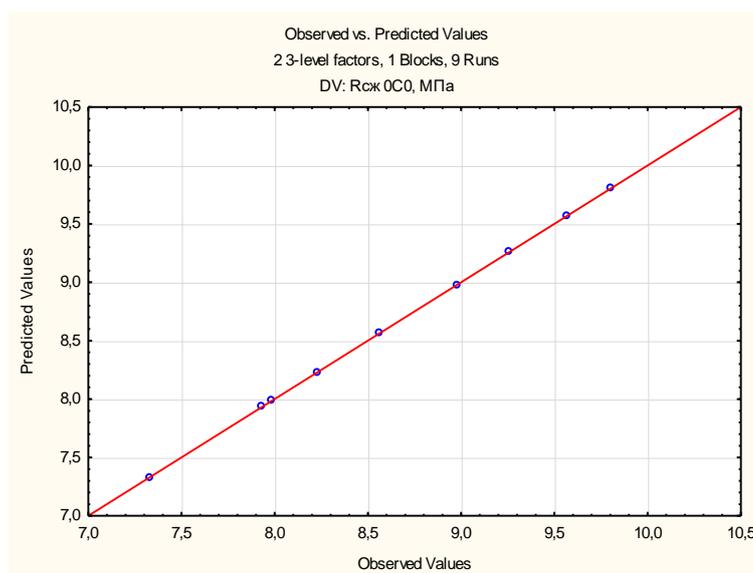


Рис. 4.5.15 Диаграмма рассеяния для показателя предел прочности при сжатии $R_{сж} 0 C^0$ по переменным БШУ – Битум.

Установлено, что значения предела прочности при сжатии $R_{сж} 0 C^0$ (требования ГОСТ 9128-2013 не менее 12,0 МПа) зависят от содержания БШУ и битума. Полученное уравнение регрессии определяющее предел прочности при сжатии $R_{сж} 0 C^0$ в зависимости от содержания БШУ и битума в асфальтобетонной смеси имеет следующий вид:

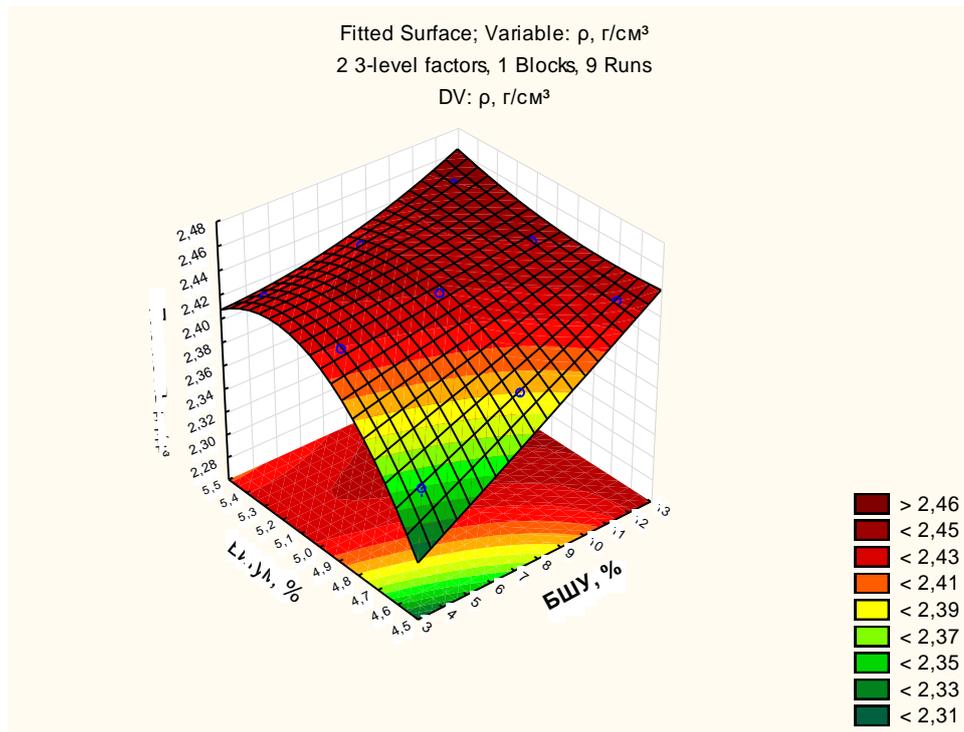
$$Y_5 = -293,638 + 32,862 * X_1 - 0,044 * X_1^2 + 112,649 * X_2 - 10,281 * X_2^2 - 11,393 * X_1 * X_2 + 0,925 * X_1^2 * X_2^2 - 0,073 * X_1^2 * X_2 + 0,018 * X_1^2 * X_2^2$$

При увеличении содержания битума при малом содержании БШУ асфальтобетон становится более пластичным, снижается допустимая внешняя нагрузка. Для увеличения несущей способности асфальтобетонного покрытия необходимо добавить БШУ, при этом оптимальное содержание битума от 4,6 до 5,3% и БШУ от 6 до 11%. Широкий диапазон значений определяется условиями эксплуатации асфальтобетона при отрицательных температурах и необходимости сохранения пластичных свойств асфальтобетона. Нехватка битума в составе асфальтобетона приведет к увеличению жесткости асфальтобетонного покрытия и как следствие этого будет повышение скорости разрушения асфальтобетонного покрытия.

Из диаграммы Парето для показателя предел прочности при сжатии $R_{сж} 0 C^0$ асфальтобетона видно, что битум и БШУ являются статистически значимыми (более 0,5). Наибольшее влияние на показатель предел прочности при сжатии $R_{сж}$

0С⁰ имеет содержание битума. Пластичные свойства битума определяют условия работы асфальтобетонного покрытия при отрицательных температурах окружающей среды.

Диаграмма рассеяния по переменным БШУ – Битум, показала, что коэффициент корреляции Пирсона равен $r = 0,98$ и является статистически значимым, что объясняется особенностями проектирования составов асфальтобетонной смеси.



а)

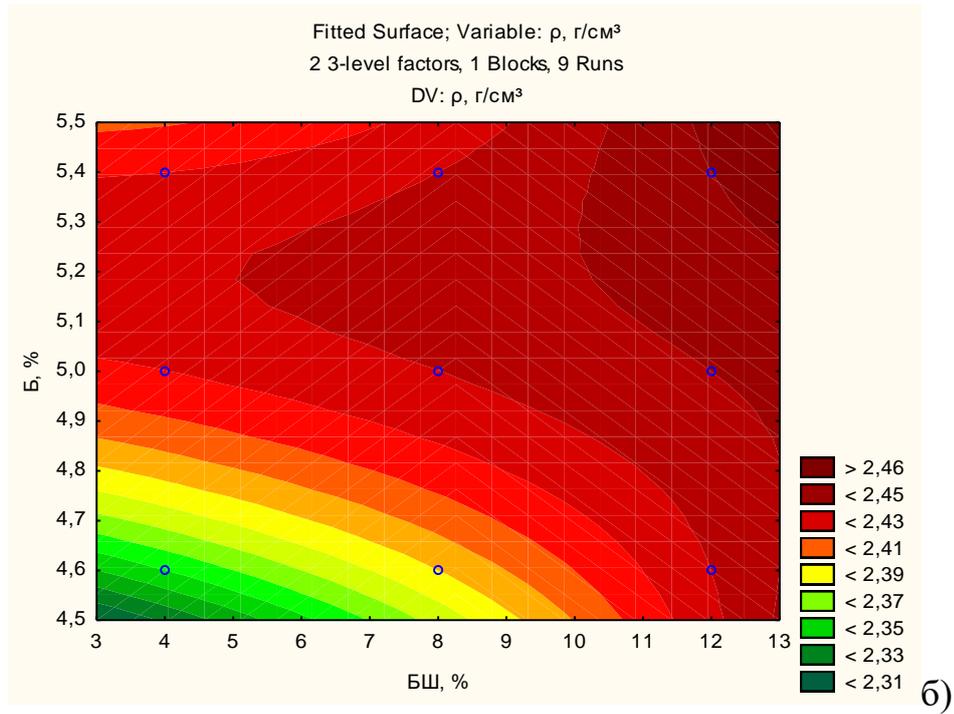


Рис. 4.5.16. Поверхность функции отклика показателя средней плотности, а) трехмерная поверхность, б) проекция на ось YOX.

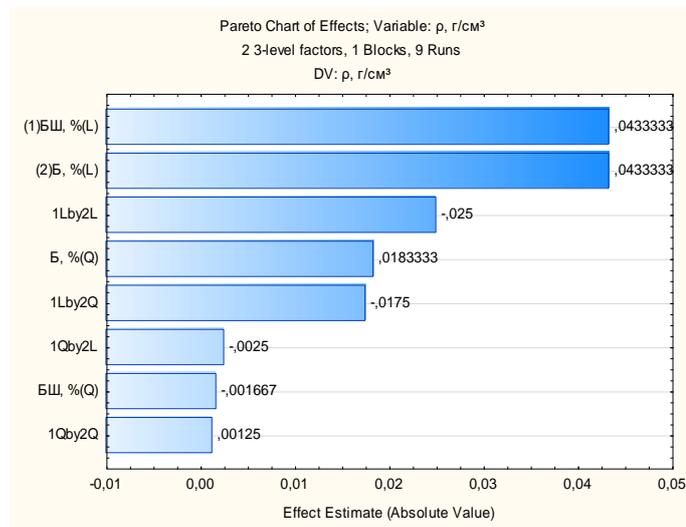


Рис. 4.5.17 Диаграмма Парето для показателя средняя плотность асфальтобетона по переменным БШУ – Битум

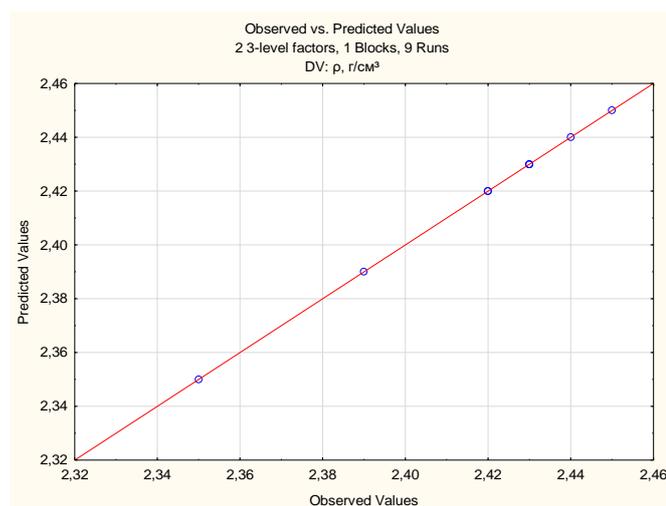


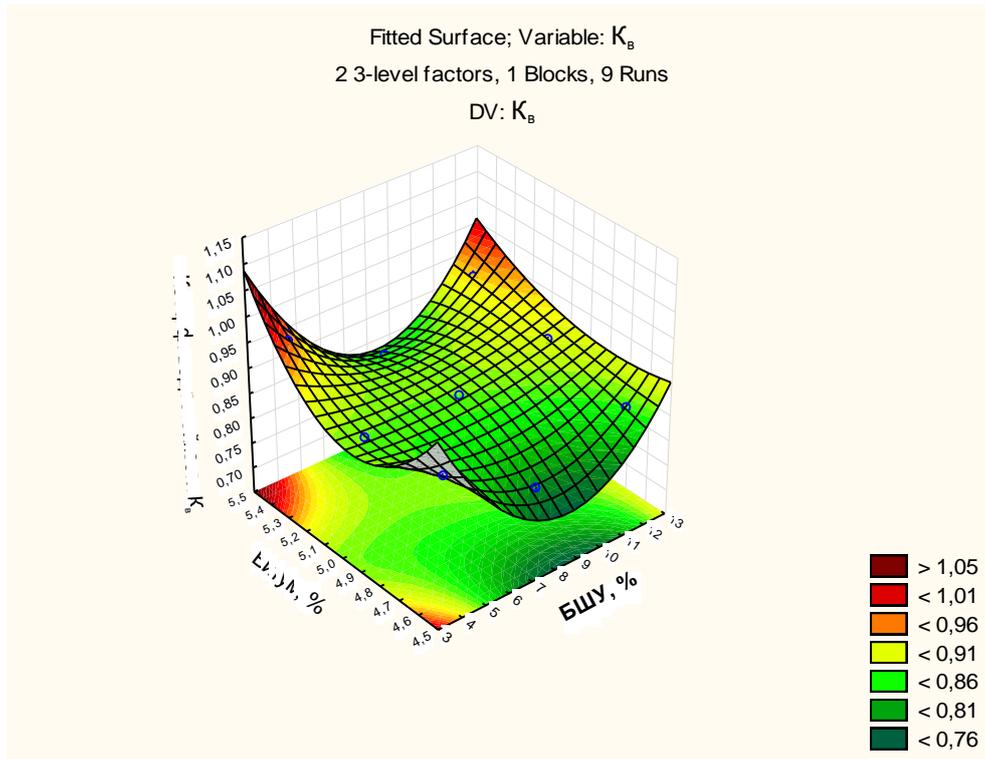
Рис. 4.5.18 Диаграмма рассеяния для показателя средняя плотность асфальтобетона по переменным БШУ – Битум.

Установлено, что значение показателя средней плотности асфальтобетона (согласно ГОСТ 9128-2013 величина не регламентируется) зависит от содержания БШУ и битума. Полученное уравнение регрессии определяющее значение показателя средней плотности асфальтобетона от содержания БШУ и битума в асфальтобетонной смеси имеет следующий вид:

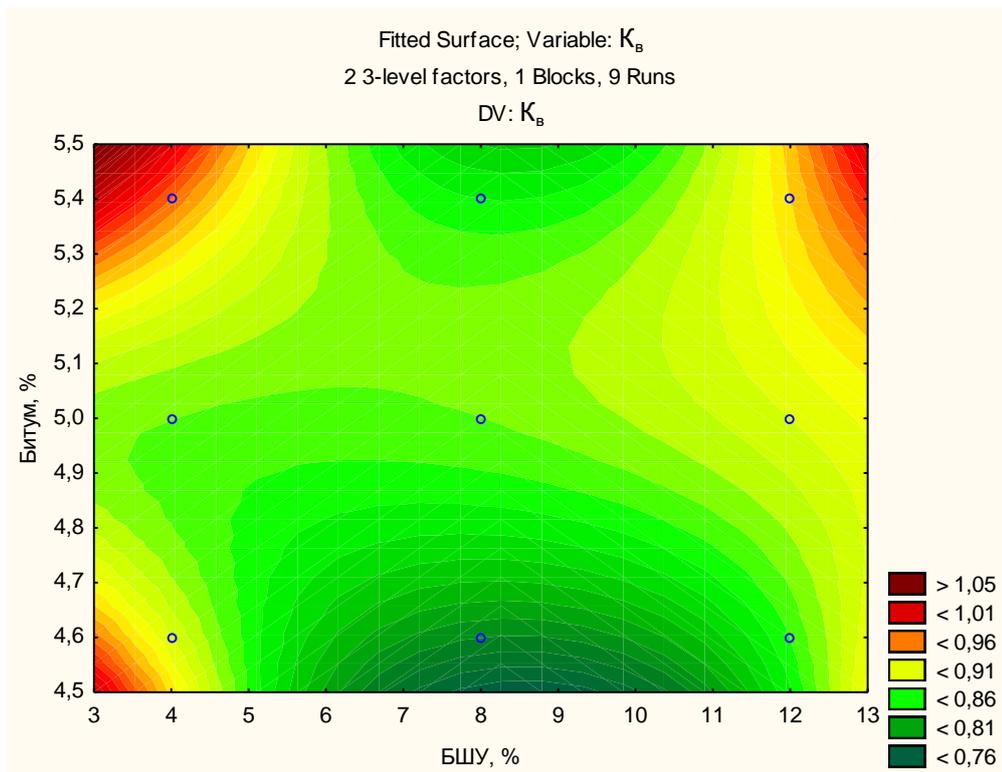
$$Y_6 = -5,308 + 0,365 * X_1 + 0,022 * X_1^2 + 2,949 * X_2 - 0,281 * X_2^2 - 0,131 * X_1 * X_2 + 0,011 * X_1 * X_2^2 - 0,009 * X_1^2 * X_2 + 0,001 * X_1^2 * X_2^2$$

Из диаграммы Парето для показателя средняя плотность асфальтобетона определено, что битум и БШУ не являются статистически значимыми (менее 0,5). Наибольшее влияние на показатель средняя плотность асфальтобетона имеет содержание БШУ.

Диаграмма рассеяния по переменным БШУ – Битум, показала, что коэффициент корреляции Пирсона равен $r = 0,98$ и является статистически значимым. Высокое значение корреляции объясняется взаимосвязью между факторами и откликом, особенностями проектирования составов асфальтобетона.



а)



б)

Рис. 4.5.19. Поверхность функции отклика показателя коэффициента водостойкости асфальтобетона, а) трехмерная поверхность, б) проекция на ось YOX .

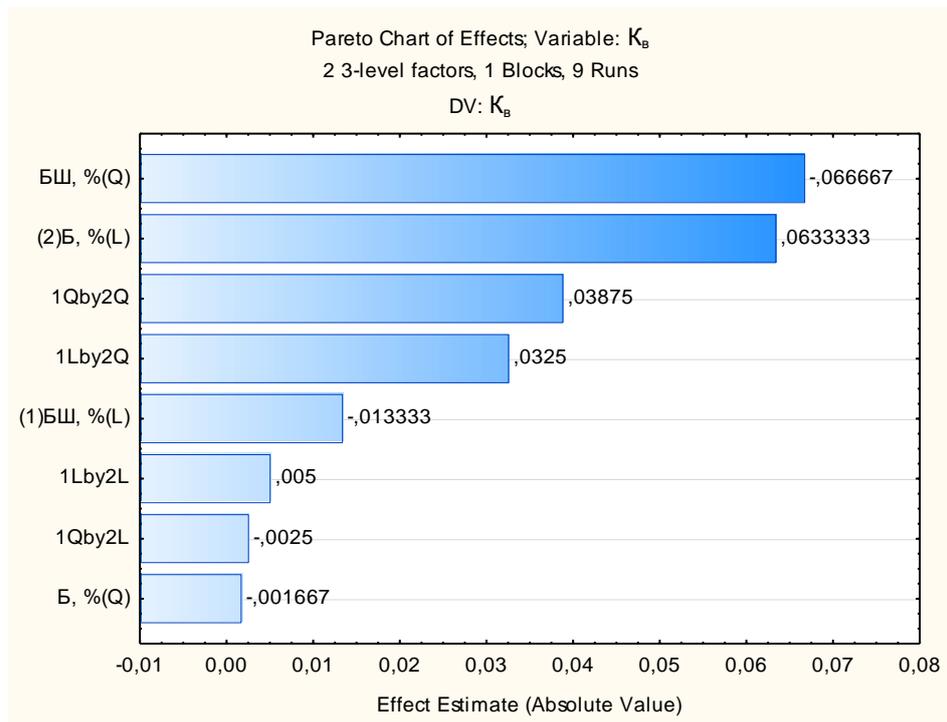


Рис. 4.5.20 Диаграмма Парето для показателя коэффициента водостойкости асфальтобетона по переменным БШУ – Битум

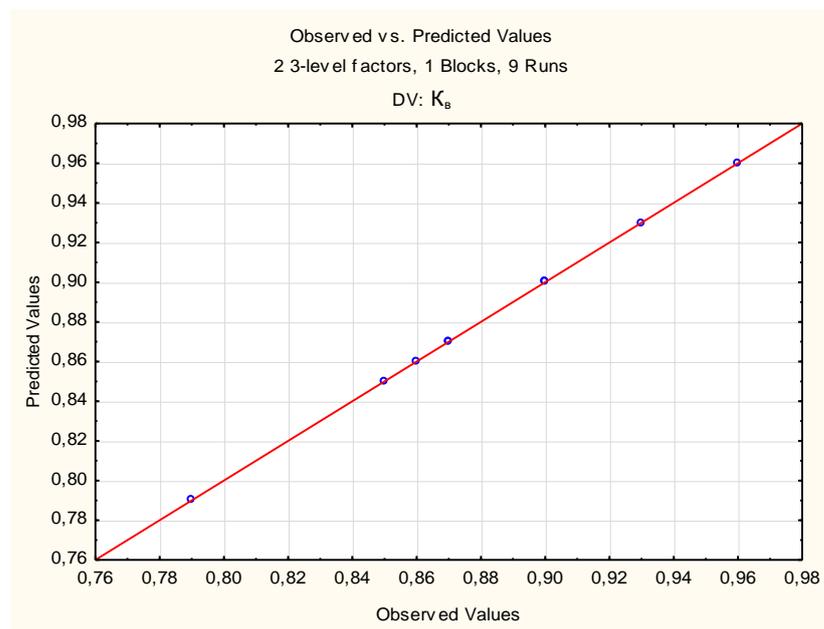


Рис. 4.5.21 Диаграмма рассеяния для показателя коэффициент водостойкости асфальтобетона по переменным БШУ – Битум.

Установлено, что значение показателя коэффициент водостойкости асфальтобетона (согласно ГОСТ 9128-2013 коэффициент водостойкости не менее 0,85) зависит от содержания БШУ и битума. Полученное уравнение регрессии

определяющее значение показателя коэффициента водостойкости асфальтобетона от содержания БШУ и битума в асфальтобетонной смеси имеет следующий вид:

$$Y_7 = 51,243 - 13,366 * X_1 + 0,755 * X_1^2 - 20,224 * X_2 + 2,031 * X_2^2 + 5,346 * X_1 * X_2 - 0,535 * X_1 * X_2^2 - 0,302 * X_1^2 * X_2 + 0,03 * X_1^2 * X_2^2$$

Из диаграммы Парето для показателя коэффициента водостойкости асфальтобетона определено, что битум и БШУ не являются статистически значимыми (менее 0,5). Наибольшее влияние на показатель средняя плотность асфальтобетона имеет содержание БШУ. Оптимальное содержание БШУ от 6 до 12%, битум от 4,8 до 5,5%

Диаграмма рассеяния по переменным БШУ – Битум, показала, что коэффициент корреляции Пирсона равен $r = 0,98$ и является статистически значимым.

Анализ трехмерных поверхностей, их седловидная форма, указывает на существование оптимального соотношения и содержания битума и БШУ. Увеличение или уменьшение битума приводит к ухудшению прочностных показателей асфальтобетона. Нахождение в оптимальных значениях может достичь необходимых прочностных характеристик асфальтобетона, способного успешно сопротивляться внешним нагрузкам.

Использование БШУ в качестве минерального порошка в составе асфальтобетона позволяет увеличить количество контактов битума с поверхностью минеральных частиц. БШУ эффективно участвует в структурообразовании асфальтобетона, что способствует обеспечению его геэкологической безопасности за счет создания прочных связей между битумом, углеводородами (БШУ) и минеральными материалами асфальтобетона, размещения опасных химических соединений БШУ в плотной, гидрофобной структуре асфальтобетона.

Полученные результаты показывают целесообразность применения БШУ в асфальтобетоне, для получения эффективных составов.

4.3 Технологическая схема производства асфальтобетона с использованием БШУ

В данном разделе приведено описание технологического процесса производства асфальтобетонной смеси с включением в ее состав БШУ. Технология подготовки БШУ для использования в составе асфальтобетонной смеси включает следующие этапы:

1. Приемка и оценка физико-механических свойств БШУ.
2. Сушка БШУ.
3. Калибровка зернового состава БШУ.
4. Измельчение крупных фракций БШУ и возврат их обратно в технологический процесс.
5. Упаковка и складирование подготовленного к использованию БШУ.
6. Транспортировка БШУ на асфальтобетонный завод (АБЗ).
7. Загрузка БШУ в бункер для минерального порошка.

Технологическая блок-схема подготовки БШУ для его использования в качестве минерального порошка представлена на рисунке 4.6.

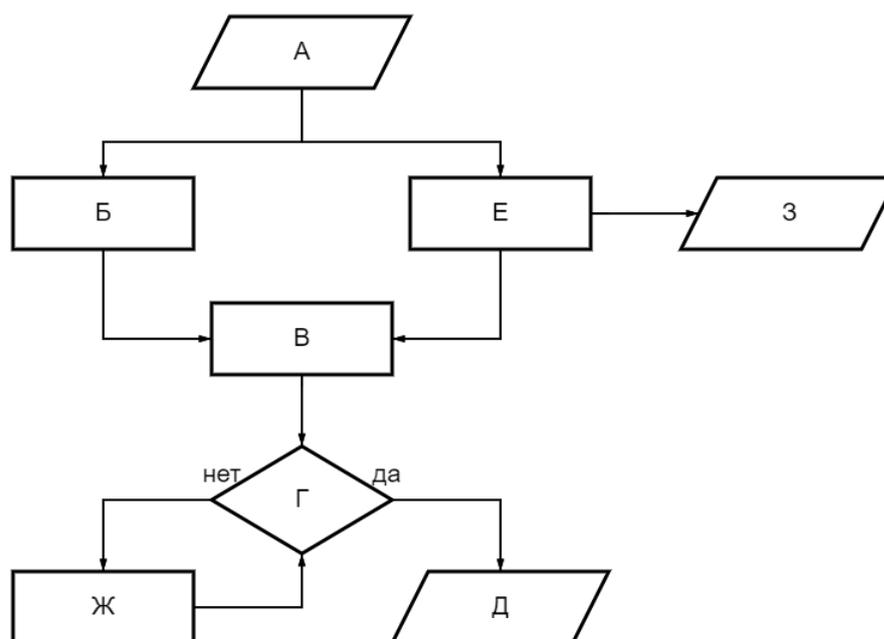


Рисунок 4.6 – Технологическая блок-схема получения минерального порошка из БШУ.

А – приемка и оценка физико-механических свойств БШУ, Б – сушка БШУ (при температуре 100-150 °С), В – фракционирование (прошло на сите диаметром 1,25 мм более 95%), Г – условие ($< 1,25$ мм), Д – готовый минеральный порошок, Е – очистка отходящего газа, Ж – измельчение БШУ, З – очищенные отходящие газы.

БШУ со шламонакопителя подается в печь кипящего слоя для доведения смеси до состояния мелкого порошка оптимальной влажности (3-5%). Температура, при которой происходит сушка смеси, составляет 100-150 °С.

В связи с тем, что при процессе сушки происходит образование пыли, и испарение легких фракций углеводородов предусмотрена очистка отходящих газов. Для очистки от пыли загрязненные газы поступают в циклон. Затем газы из циклона поступают в адсорбер с применяемым в качестве поглощающего вещества активированным углем, где происходит очистка от углеводородов. Далее очищенные газы выбрасываются в атмосферу. Пыль, образованная в циклоне, направляется в технологический процесс производства минерального порошка.

С помощью методов классификации по фракциям гранулометрический состав высушенной смеси доводят до необходимых значений, отсеянную крупную фракцию более 1,25 мм отправляют на мельницу для измельчения и дальнейшего возврата в технологический процесс. Полученный минеральный порошок через шнековый транспортер поступает на склад готовой продукции. Готовый продукт может быть применен в качестве минерального порошка в технологиях производства асфальтобетонов различного назначения.

Проведенные исследования физико-механических свойств получаемого из БШУ минерального порошка позволяют его использовать без особых технических условий. Технология приготовления асфальтобетонной смеси с использованием БШУ, в качестве минерального порошка является идентичной технологии приготовления традиционного асфальтобетона. Разработанная технологическая блок-схема получения асфальтобетона с использованием БШУ в качестве минерального порошка представлена на рисунке 4.7.

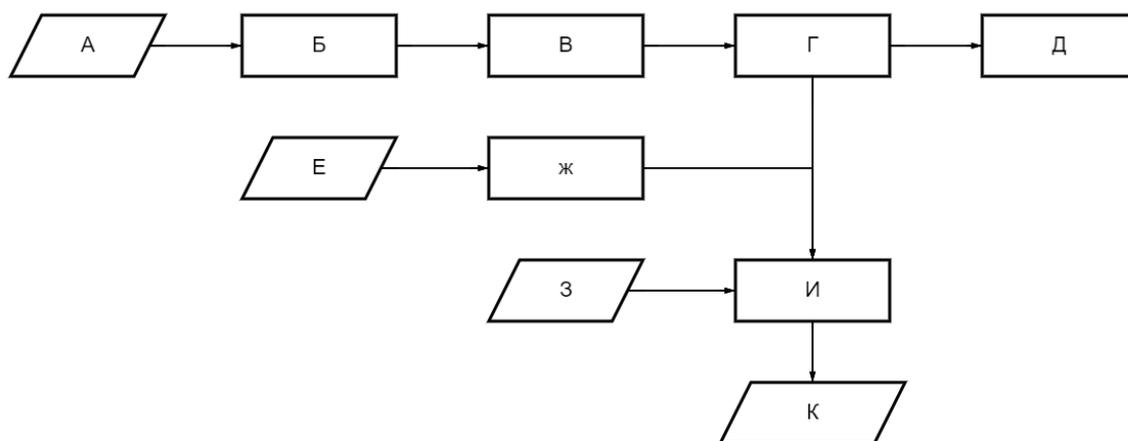


Рисунок 4.7 Технологическая блок-схема получения асфальтобетона с использованием БШУ в качестве минерального порошка.

А – песок, отсев дробления, щебень, Б – перемещение и распределение песка, отсева дробления, щебня по бункерам, В – нагревание минеральных материалов и перемешивание в сушильном барабане, Г – разделение по фракциям и нагрев минеральных материалов, Д – очистка отходящих газов, Е – битум, Ж – дозирование и нагрев битума, З – БШУ (минеральный порошок), И – смешивание минеральных материалов, БШУ и битума, нагрев, К – выгрузка готовой асфальтобетонной смеси.

На основе технологической блок-схемы получения асфальтобетона с использованием БШУ в качестве минерального порошка была разработана технологическая схема для получения плотных мелкозернистых асфальтобетонных смесей типа А и Б марок 1, 2 по ГОСТ 9128-2013 используемых для автомобильных дорог. Дополнительно можно производить: смеси для нижних слоев дорожной одежды (пористые крупнозернистые АБ смеси марок 1, 2 ГОСТ 9128-2013); смеси для благоустройства улиц, тротуаров и дворовых территорий (плотные мелкозернистые АБ смеси типа А, Б марок 1, 2; плотные мелкозернистые асфальтобетонные смеси типа В марок 2, 3; песчаные асфальтобетонные смеси типа Г марок 1, 2).

Технологическая схема разработана для асфальтобетонных заводов циклического действия производство РФ серии КДМ 206 (201, 208, 209) ДС-185, производитель УфаДорМаш, широко используемые на территории России.

АБЗ имеет в своем составе следующие технологические узлы: склады минеральных материалов; битумоплавильный узел; узел приготовления асфальтобетонной смеси. Технологическая схема приготовления асфальтобетона с использованием БШУ в качестве минерального порошка представлена на рисунке 4.8

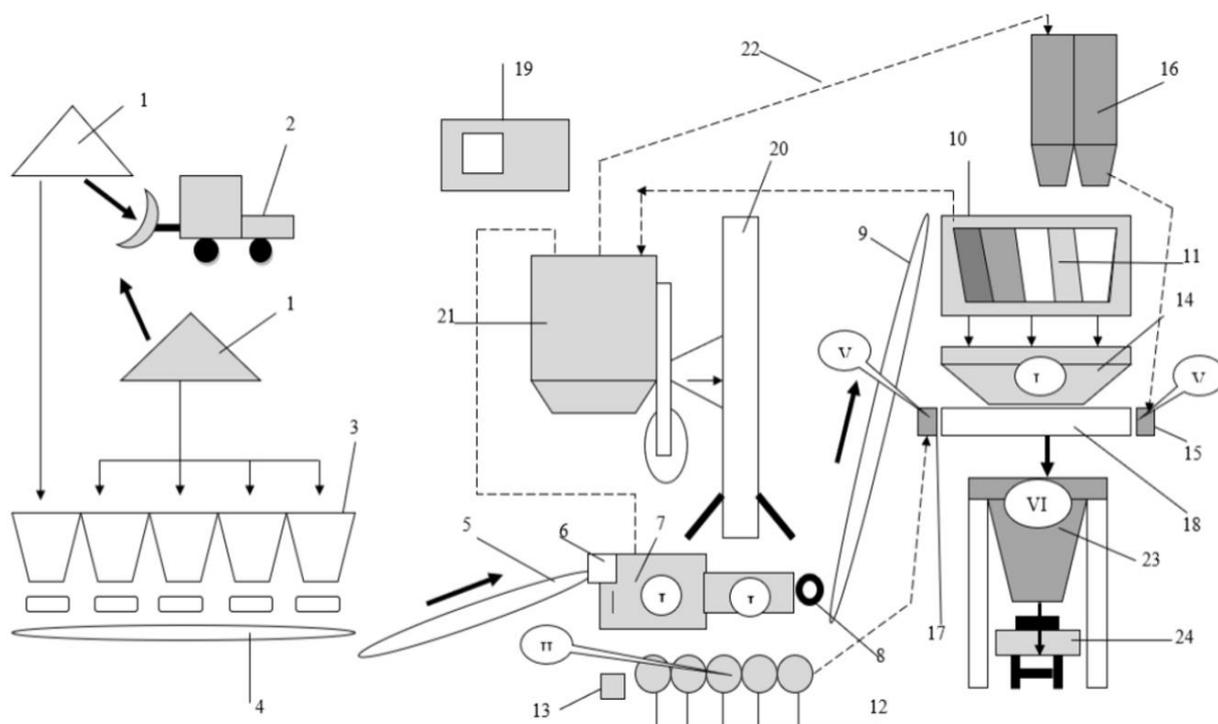


Рисунок 4.8 – Технологическая схема приготовления асфальтобетона с использованием БШУ в качестве минерального порошка.

1 – склад минеральных материалов, 2 – погрузчик, 3- бункера минеральных материалов, 4, 5, 9 – транспортер, 7 – сушильный барабан, 8 – топочное устройство, 10, 11 – дозатор, 12 – битумохранилище, 13, 19 – пункт управления, 14 – бункер, 15 – дозатор минерального порошка (БШУ), 16- бункер минерального порошка (БШУ), 17 – дозатор битума, 18 – смеситель, 20, 21 – циклон, 23 – бункер готового асфальтобетона, 24- самосвал)

Основные этапы технологической схемы приготовления асфальтобетонной смеси с БШУ на асфальтобетонном заводе:

1. Перемещение и распределение песка, отсева дробления, щебня по бункерам (1,2);
2. Нагревание минеральных материалов и перемешивание в сушильном барабане(3,4,5);

3. Разделение по фракциям и их нагрев (6-11);
4. Очистка отходящих газов и подготовка минерального порошка (БШ) (16,20,21,22);
5. Дозирование и нагрев битума (12,13);
6. Смешивание минеральных материалов, БШУ и битума, нагрев (14,15,17,18);
7. Выгрузка готовой асфальтобетонной смеси (22,23).

БШУ из расходного бункера подается отдельным элеватором в отсек «горячего» бункера. Из отсеков горячего бункера минеральные материалы (включая БШУ) подаются через весовой дозатор, полной порцией в смеситель. В смесителе $\frac{1}{4}$ части времени, от общего времени замешивания, минеральные материалы перемешиваются «на сухую» (для прогрева БШУ). После этого в смеситель дозировано подается разогретый битум. Количество минеральных материалов (включая БШУ) и количество битума зависят от физико-механических характеристик минеральных материалов и вида асфальтобетонной смеси, которое определяется лабораторией. Битум в смеситель подают в разогретом виде до температуры 150-165 °С. Температура нагрева минеральных материалов не должна превышать 220 °С нижняя граница определяется температурой выпуска асфальтобетонной смеси. Точность дозирования минеральных материалов должна составлять $\pm 3\%$, битума $\pm 1,5\%$. Время перемешивания всех компонентов асфальтобетонной смеси в смесителе составляет 120-180 сек, температура готовой смеси должна быть в пределах 150-160 °С.

Для технологии использования БШУ в качестве минерального порошка в составе асфальтобетона был составлен материальный баланс (рисунок 4.9). Материальный баланс был рассчитан для оптимального состава асфальтобетона, БШУ 8%, начальное содержание воды в БШУ составляла 50%. В качестве расчетной смеси выступала горячая плотная асфальтобетонная смесь типа Б, марки II.

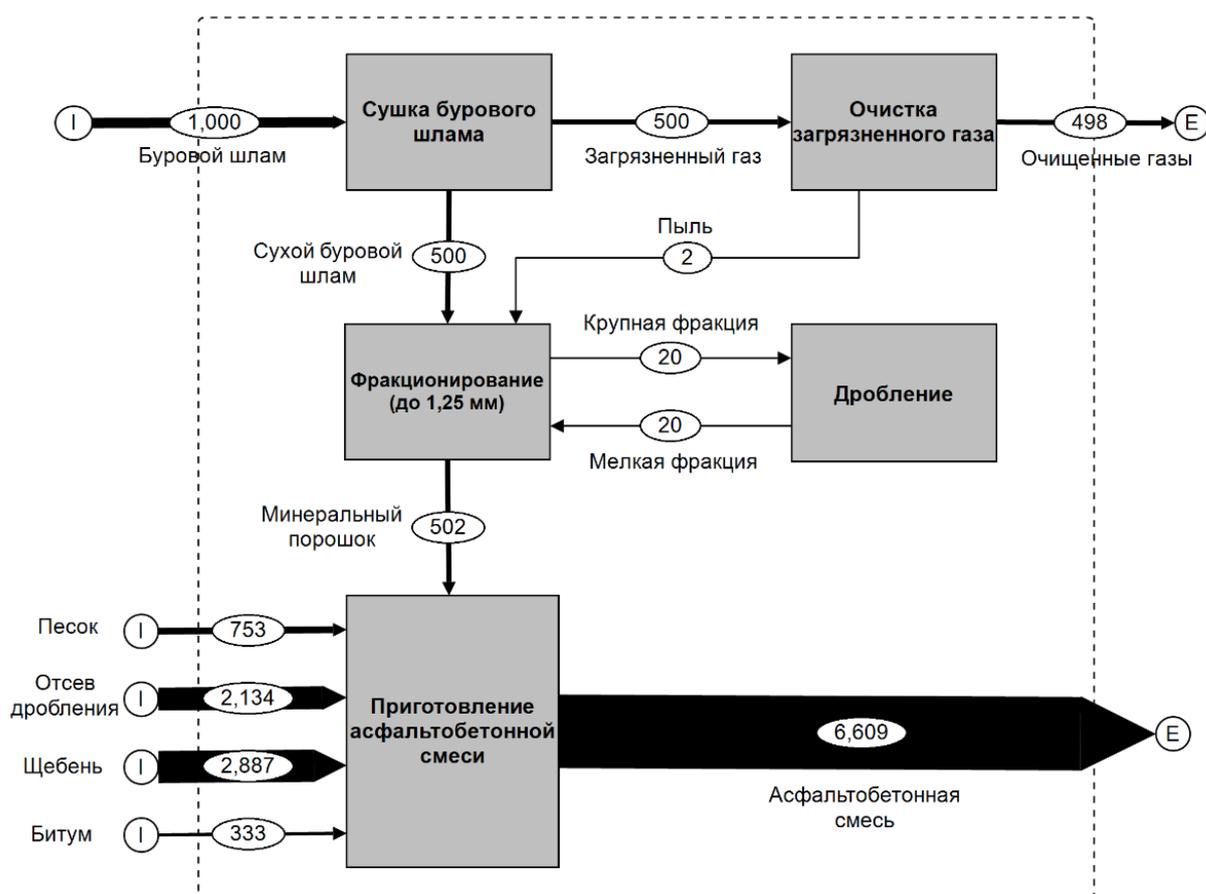


Рисунок 4.9 – Материальный баланс технологии получения асфальтобетона с использованием БШУ

Расчет материального баланса входящих и выходящих материальных потоков в технологическом процессе получения асфальтобетонной смеси, получено, что при использовании 1000 кг БШУ (начальным содержанием влаги 50%) возможно получить 6609 кг асфальтобетонной смеси с учетом того, что содержание БШУ в смеси составит 8 %.

Для реализации технологии использования БШУ в составе асфальтобетона и повышения ее эффективности можно дать несколько рекомендаций. Размещение сушильной установки для производства минерального порошка из БШУ предполагается рядом с буровой площадкой. Это позволит снизить транспортные расходы в виду транспортирования уже готового минерального порошка (без присутствия воды). Отсеянные крупные фракции БШУ более 1,25 мм помимо измельчения также рекомендуется направлять на другие технологии методов утилизации, например, в качестве замены песка. Готовый минеральный

порошок необходимо хранить в сухом, закрытом помещении. Одним из вариантов такого помещения может быть отапливаемый склад. Срок хранения минерального порошка неограничен.

При транспортировании минерального порошка необходимо обеспечивать изолированность от попадания воды и атмосферных осадков, предохранять минеральный порошок от попадания солнечных лучей и воздействия ветра. Для транспортировки минерального порошка до асфальтобетонный завод (далее АБЗ) могут быть использованы цементовозы, контейнеры, закрытые вагоны-бункеры или тары Биг-Бэг. После транспортировки на АБЗ БШУ размещают в складах, предназначенных для минерального порошка.

Выводы по 4 главе

1. Результаты гранулометрического состава показывают возможность использования БШУ в качестве минерального порошка в асфальтобетонной смеси. В качестве исследования возможности применения БШУ в качестве минерального порошка в асфальтобетоне была выбрана горячая мелкозернистая плотная асфальтобетонная смесь типа Б, марки П, широко применяемая в дорожном хозяйстве.

2. Образцы БШУ в качестве компонента асфальтобетонной смеси – минерального порошка показали удовлетворительные результаты при проведении исследований физико-механических показателей по ГОСТ 9128-2013.

3. В результате сравнения полученных результатов физико-механических показателей асфальтобетонов с применением образцов БШУ установлено, что при использовании БШУ повышаются физико-механические показатели асфальтобетона: показатель водонасыщения асфальтобетона снизился в 1,36 раз, остаточная пористость уменьшилась в 1,19 раз, коэффициент водостойкости увеличился в 1,1 раз; прочность на сжатие при 20 °С увеличилась в 1,14 раз; прочность на сжатие при 0 °С снизилась в 1,16 раза.

4. Исследование зависимостей физико-механических характеристик показало, что с увеличением содержания БШУ в составе асфальтобетонной смеси

происходит увеличение ее средней плотности, вследствие этого увеличивается средняя плотность, уменьшается показатель водонасыщения. С увеличением процентного содержания БШУ в качестве минерального порошка в асфальтобетоне происходит падение предела прочности. Избыточное количество БШУ (минерального порошка) приводит к снижению прочности асфальтобетона. Это обусловлено неоднородностью состава БШУ, из-за входящих в состав БШУ хлоридов, реагентов бурового раствора, которые способствуют ухудшению физико-механических свойств асфальтобетона.

5. Уравнения регрессии позволили определить оптимальное количество битума при использовании БШУ в качестве минерального порошка. Оптимальный состав смеси, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 9128-2013: щебень – 45-48%; отсев дробления – 35-39%; природный песок – 11-14%; БШУ 8%; битум БНД 90/130 – 4,9-5,3 % (свыше 100% смеси).

6. Технология приготовления асфальтобетонной смеси с применением БШУ, используемого в качестве замены минерального порошка является идентичной технологии приготовления асфальтобетона при использовании природных (товарных) минеральных материалов. Размещение сушильной установки для производства минерального порошка из БШУ предполагается рядом с буровой площадкой. Это позволит снизить транспортные расходы. Отсеянные крупные фракции БШУ более 1,25 мм помимо измельчения также рекомендуется использовать в качестве песка.

ГЛАВА 5. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ БШУ В СОСТАВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Для оценки геоэкологической устойчивости асфальтобетонной смеси, в составе которой использован БШУ необходимо провести оценку по физико-химическим и токсикологическим свойствам, которые должны показать насколько изменяются жизнеобеспечивающие свойства геосферных оболочек Земли при их непосредственном контакте с асфальтобетоном в состав, которого входит БШУ [90-93]. Токсикологические, санитарно-химические исследования характеристик асфальтобетонов с БШУ (содержание 12 %) проведены по методикам МУ 2.1.674-97. Водные вытяжки из образцов асфальтобетонов были получены стандартным способом (при рН=4,8 (ацетатно-аммонийного буферный раствор) и рН=6,8 (дистиллированная вода)) и с использованием натурального эксперимента, заключающегося в воссоздании естественных условий эксплуатации дорожной конструкции. Для проведения анализа биотестирования (определение токсичности) асфальтобетонов с БШУ использовали два тест-объекта разных видов: водоросли – *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb., и ракообразные – *Daphnia magna* Straus по методикам ФР. 1.39.2007.03222 и ФР. 1.39.2007.03223.

5.1 Оценка миграции загрязняющих агентов из асфальтобетона с БШУ в водные среды

Геоэкологическая устойчивость асфальтобетона с БШУ оценивалась по величине миграции загрязняющих агентов из асфальтобетона в водные среды. Водные среды были получены при размещении образцов асфальтобетона с БШУ (АБ с БШУ) и контрольного (АБ без БШУ) в дистиллированной воде (рН=6,8) и буферном растворе на срок до 60 суток, при соотношении жидкость/твердая фаза 2/1 и при моделировании условий эксплуатации автодорожной одежды (АБ с БШУ модельная среда). В качестве модели была спроектирована многослойная конструкция дорожной одежды, состоящая из слоев строительных материалов:

1. Дополнительный слой основания – природный песок из карьера «Заурчум» Пермского края, модуль крупности – 1,33. соответствует песку очень мелкому, фракция 0-5 мм в соответствии с ГОСТ 8735-2014. Высота слоя - 10 см.

2. Основание – щебень из карьера «Пашининский» Пермского края, марка по дробимости – 1000, фракция от 5 до 20 мм в соответствии с ГОСТ 8267-93. Высота слоя - 12 см.

3. Дорожное покрытие - асфальтобетонные образцы, отформованные из горячей мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси типа Б, марки П с содержанием БШУ 12%. Высота слоя - 7 см. При этом образцы были погружены в слой щебня на 5,5 и выступают над его поверхностью на 1,5 см для того, чтобы обеспечить большую площадь соприкосновения асфальта с природной средой (щебнем) и для более точной достоверности дальнейших результатов.

Была использована конструкция дорожной одежды с общей высотой конструктивных слоев равной 23,5 см (рис.5.1). После заполнения водой контейнеры были помещены в темное место общее время эксперимента 60 суток.

Имитировалось сезонное подтопление дорожной конструкции на период до 60 суток, который является максимальным в средней полосе РФ в весенний и осенний периоды эксплуатации дорожной одежды. Основная цель данного эксперимента установить влияние минеральных материалов, используемых в конструкции дорожной одежды на миграционные потоки загрязняющих веществ из асфальтобетона, полученного с добавлением БШУ [94].



а)



б)

Рис. 5.1 – Многослойная конструкция дорожной одежды, состоящая из слоев строительных материалов. а) общая высота конструкции; б) вид сверху

В качестве водной среды была использована дистиллированная вода $pH=6,8$. Уровень воды возвышался над уровнем асфальтобетона на 1 см, это

позволяет смоделировать погодных условий, при которых происходит взаимодействие воды с асфальтобетоном при его эксплуатации в естественных условиях. Так как в эксперименте использовалась дистиллированная вода, не обладающая эффектом буфера, после 7 суток рН воды поднялся до значения 6,9. Это изменение объясняется воздействием щебня (известняк) состоящим из CaCO_3 и $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ способного при технологической подготовки поднять водородный показатель до рН=12,8.

Определение хлоридов.

С временными интервалами, указанными в таблице 5.1 определено содержание хлоридов в водных вытяжках из асфальтобетонных образцов.

Таблица 5.1 – Содержание хлорид-ионов в водных средах, мг/дм³

Образец	Сутки							
	1	3	7	10	20	30	40	60
АБ без БШУ, рН=6,8	35,4	43,1	53,1	63,1	70,9	71,9	72,8	74,1
АБ с БШУ, рН=6,8	78,6	96,3	104,1	118,8	138,7	148,4	152,2	150,7
АБ с БШУ, рН=4,8	103,3	131,1	163,5	192,4	214,5	232,8	243,1	244,2
АБ с БШУ модельная среда, рН= 6,8-7,0	55,4	64,2	70,2	86,1	90	95,1	92,9	91,0
АБ без БШУ модельная среда, рН= 6,8-7,0	32,1	38,8	45,6	54,2	68,1	69,3	69,8	70,3

Концентрация хлорид-ионов не превышает нормы (ПДК = 350 мг/кг), что свидетельствует об отсутствии формирования изменения химического состава гидросферы и литосферы выше приемлемого уровня при размещении асфальтобетона с БШУ в окружающей среде.

Графики изменения концентрации хлорид-ионов в водные среды асфальтобетонных образцов с БШУ и без БШУ представлен на рисунке 5.2.

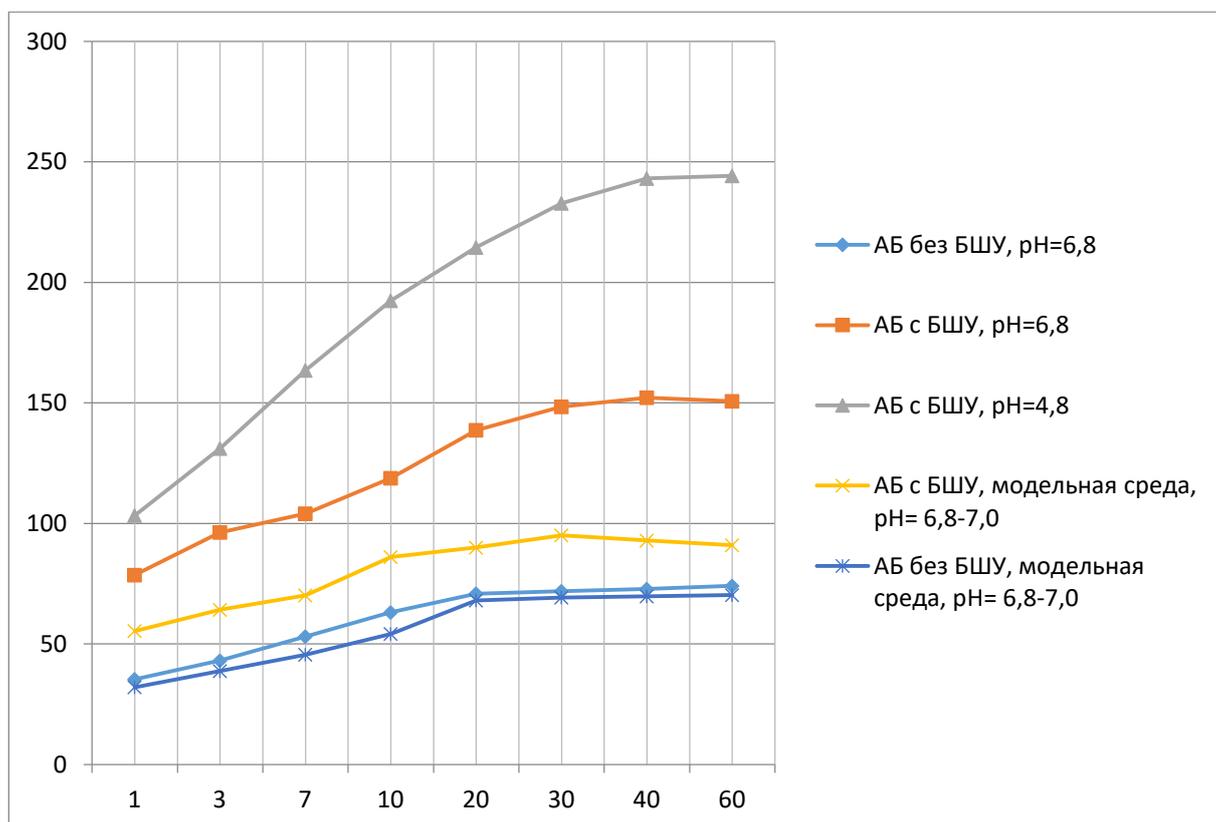


Рис. 5.2 Содержание хлоридов в водных средах, мг/дм³

Анализ графиков изменения концентрации хлоридов в модельных средах показал, что структура асфальтобетона, обладая гидрофобными и водостойкими свойствами, формирует условия для снижения миграционной активности опасных для ОС химических соединений. Это подчеркивается графиком при pH=4,8, при котором проявляются наибольшие значения эмиссий различных химических соединений, включая ТМ, но даже при этой pH содержания хлоридов в буферном растворе не достигают уровня ПДК. Стабилизация содержаний хлоридов начинается на 20 сутки, что объясняется водостойкой структурой асфальтобетона формируемую за счет битума, которая препятствует проникновению воды вглубь структуры асфальтобетона. Как следствие этого миграция хлоридов и других, опасных для ОС соединений включая ТМ происходит только с поверхности и незначительного глубинного слоя образцов асфальтобетона.

Полученные данные характеризуют асфальтобетон с БШУ как геоэкологически устойчивый строительный материал, не формирующий

химического изменения гидросферы и литосферы (педосферы) выше уровня способного нанести негативное воздействие ОС выше допустимого уровня.

Определение нефтепродуктов.

С временными интервалами, указанными в таблице определено содержание нефтепродуктов в водных вытяжках из асфальтобетонных образцов (таблица 5.2).

Таблица 5.2 – Содержание нефтепродуктов в водных средах, мг/дм³

Образец	10 суток	20 суток	30 суток	60 суток	ПДК
АБ без БШУ, рН=6,8	<0,04	0,06	0,08	0,08	0,10
АБ с БШУ, рН=6,8	<0,04	0,08	0,09	0,09	0,10
АБ с БШУ, (буферный раствор) рН=4,8	0,06	0,09	0,10	0,10	0,01
АБ с БШУ модельная среда рН= 6,8-7,0	<0,04	0,08	0,09	0,09	0,10

Значение концентрации нефтепродуктов за первые 10 суток оказалось крайне малым, а за 30 суток достигло своего максимума 0,10 мг/дм³ и оказалось на границе допустимых значений ПДК при размещении образцов в кислой среде. Учитывая, что содержание нефтепродуктов в водной вытяжке из асфальтобетона с БШУ соответствует содержанию нефтепродуктов в водной вытяжке из асфальтобетона с традиционным минеральным порошком, то отсюда следует вывод, что прямого вымывания нефтепродуктов непосредственно из БШУ нет, а накопление нефтепродуктов происходит из-за наличия в асфальтобетоне битума. Таким образом, небольшое превышение нужно считать особенностью применения органического вяжущего (битума) в составе асфальтобетона, без которого производство асфальтобетона невозможно.

Определение тяжелых металлов.

Оценка содержания ТМ в валовой форме в водной вытяжке из образцов асфальтобетона с БШУ в водные среды (при рН=4,8 буферный раствор) представлено в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Содержание тяжелых металлов в валовой форме в водной среде, мг/л

Металл	Сутки				ПДК
	10	20	30	60	
Cd	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	1

Co	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	5
Ni	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	4
Pb	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	6
Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	3
Mn	<0,07	0,1	0,2	0,25	600

В исходных БШУ превышений по содержанию тяжелых металлов в валовой и подвижной формах не было выявлено. Как следствие этого при использовании БШУ в составе асфальтобетона концентрация тяжелых металлов будет еще более низкой, и, соответственно, формирования химического загрязнения гидросферы и литосферы (педосферы) выше приемлемого уровня опасного для ОС не будет. БШУ образуя с компонентами асфальтобетонной смеси единую структуру, участвуя в процессах структурообразования не в качестве инертного заполнителя, а в качестве структурообразующего материала, что позволяет создать условия для эффективного снижения миграционных процессов ТМ из асфальтобетона при его контакте с водными объектами.

Структура асфальтобетона позволяет использовать ресурсный потенциал БШУ без формирования негативного воздействия на ОС, позволяет добиться снижения миграции ТМ: Cd в 67 раз; Co в 30 раз, Ni в 130 раз; Pb в 65 раз; Cu в 200 раз; Mn в 90 раз; хлориды в 2,4 раза. (для сравнения использованы подвижные формы указанные ранее в таблицах 3.2 и 3.4)

5.2 Биотестирование образцов асфальтобетона

Цель проведенных исследований – биотестирование образцов асфальтобетона с БШУ использованного в качестве минерального порошка с определением его токсичности. Для эксперимента были использованы асфальтобетон с содержанием БШУ 12%, как максимально возможное содержание при сохранении большинства характеристик рекомендованные ГОСТ 9128-2013.

Для биотестирования использовали методики ФР. 1.39.2007.03222 и ФР. 1.39.2007.03223. В качестве тест-объектов использованы: зеленые протококковые водоросли – *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Brebi низшие ракообразные – *Daphnia magna* Straus (рисунок 5.3 и 5.4).



Рисунок 5.3 – Биотестирование на зеленых водорослях *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb

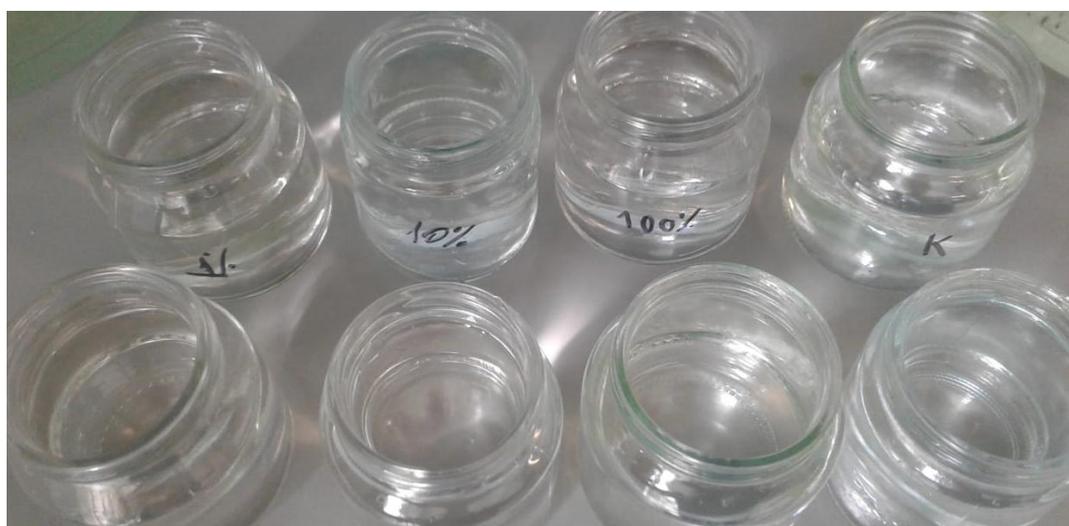


Рисунок 5.4 – Биотестирование на ракообразных *Daphnia magna* Straus

1. Биотестирование с использованием водорослей *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb.

Согласно методике ФР. 1.39.2007.03222 оценивается относительное изменение числа клеток водорослей по сравнению с контрольной группой при разном разведении вытяжки полученной из образца асфальтобетона с БШУ. Результаты исследований представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Результаты определения острой токсичности

№ п/п	Концентрации водной вытяжки, %	Процентное отклонение от контроля(I, %)	Оценка токсичности
1	100	-29,0	нет

2	10	6,7	нет
3	1	8,8	нет

В случае если отклонение (I , %) отрицательно, проявляется эффект стимуляции роста микроводорослей. В случае стимуляции пороговым значением (I , %) при котором констатируется факт наличия токсического эффекта составляет -30%. В нашем случае эффект токсичности не выявлен даже в неразбавленной вытяжке из образца.

На основании эксперимента по определению острой токсичности установлено: $ИКР_{50-72} = 0$; $БКР_{20-72} = 1$. Неразбавленная водная вытяжка из образца асфальтобетона с содержанием БШУ 12% не оказывает острого токсического действия на тест-объект – *Scenedesmus quadricauda*.

2. Биотестирование с использованием с использованием ракообразных *Daphnia magna Straus*. Результаты исследований представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Результаты определения острой токсичности водной вытяжки из образца, полученные с помощью *Daphnia magna Straus*

№ п/п	Концентрации водной вытяжки, %	Процентное отклонение от контроля (A , %)	Оценка токсичности
1	100	10	нет
2	10	0	нет
3	1	0	нет

На основании эксперимента по определению острой токсичности установлено: $ЛКР_{50-96} = 0$; $БКР_{10-96} = 1$. Неразбавленная водная вытяжка из образца по результатам биотестирования не оказывает острого токсического действия на тест-объект – *Daphnia magna Straus*.

По итогам биотестирования водная вытяжка из образца асфальтобетона с содержанием БШУ 12% в качестве минерального порошка не обладает эффектом острой токсичности тест-объект – *Daphnia magna Straus*.

На основании проведенных исследований доказано предположение о том, что использование БШУ в качестве минерального порошка, позволит минимизировать негативный эффект от БШУ путем заключения вредных веществ

в плотную среду – асфальтобетон. Следует считать, что данная технология утилизации является безопасной для геосферных оболочек Земли и загрязняющие агенты не будут оказывать негативного влияния на окружающую среду в виде изменения жизнеобеспечивающих функций.

5.3 Технико-экономическая оценка использования БШУ в качестве минерального порошка в асфальтобетонной смеси

Использование техногенных сырьевых материалов для производства асфальтобетонных смесей позволяет получить: экономию денежных средств за счет использования не товарных сырьевых материалов и снижение техногенного воздействия на объекты ОС за счет отказа от размещения отходов производства (БШУ) в ОС.

Экономический эффект заключается в сравнении стоимости производства 1000 т асфальтобетонной смеси тип Б марка II с использованием товарного минерального порошка и с использованием БШУ 8%. Дополнительно был проведен расчет стоимости укладки 1000 м² дорожного покрытия. Расчеты проведены в ценах 2021г. и представлены в таблицах 5.6 и 5.7

Таблица 5.6 – Расчет себестоимости 1000 тонн асфальтобетонной смеси

Наименование позиции	Единицы	Цена (руб.)	АБс минеральным порошком		АБс БШУ,	
			количество	сумма	количество	сумма
Отсев дробления	т	500	340	170000	340	170000
Минеральный порошок	т	2100	80	168000	-	-
Щебень 5-20	т	900	460	414000	460	414000
Битум марки БНД 90/130	т	25000	53	1325000	53	1325000
Песок	т	300	120	36000	120	36000
БШУ	т	-	-	-	80	-
Затраты на электроэнергию	руб./кВт·ч	4,25	4500	19125	4500	19125
Водоотведение	руб./м ³	31,33	40	1253,2	40	1253,2
Затраты на амортизацию оборудования	руб.	-	-	5388	-	5388
Затраты на тепловую энергию	руб./м ³	4,85	5431	26340,4	5431	26340,4
Заработная плата	руб.	-	-	64122	-	64122
Расходы на горюче-смазочные материалы	руб./л	49	390	19110	390	19110

Начисления на заработную плату (35% от з/п)	руб.	-	-	22443	-	22446
Накладные расходы при производстве(133% от з/п)	руб.	-	-	85283	-	85283
Заложенная рентабельность, 15%	руб.			353235		328035
Всего с НДС = 20 %	руб.			3249753,6		3017913,6

Таблица 5.7– Расчет стоимости укладки 1000 м² асфальтобетонной смеси толщиной 7 см

Расходы на эксплуатацию	Единицы измерения	Количество	АБ с минеральным порошком	АБ с БШУ
Себестоимость асфальтобетонной смеси	м ²	1000	552800	513400
Эксплуатация самосвалов и уплотняющей техники	м/час	5 самосвалов, 3 катка	240577	240577
Эксплуатация асфальтоукладчик	м/час	2	122336	122336
Заработная плата рабочим	ч/час	38,8	3008	3008
ИТОГО:	руб.	-	918722	879322
Накладные расходы	руб.	145% от з/п	4362	4362
Сметная прибыль	руб.	95% от з/п	2857	2857
Вахтовый метод работы	руб.	5,7 %	52367	50121
ИТОГО:	руб.		978309	936664

Производство 1000 т асфальтобетона с использованием БШУ в качестве минерального порошка позволяет экономить денежные средства в размере 231840 руб. Экономия денежных средств при укладке 1000м² асфальтобетонной смеси толщиной 7 см составит 41645 руб.

Получаемый из БШУ продукт (минеральный порошок) имеет высокую рыночную стоимость (от 2500 до 4500 руб. за тонну). Экономический эффект достигается за счет: ресурсосбережения природных сырьевых материалов; отказа от сооружения и содержания шламохранилищ; исключения оплаты за размещения БШУ в ОС.

Эколого-экономический эффект от использования БШУ в составе асфальтобетонной смеси состоит из трех составляющих, которые представлены на рис. 5.5.



Рисунок 5.5 – Эколого-экономический эффект использования БШУ в асфальтобетоне

Эколого-экономический эффект складывается из:

- разницы стоимости сырья для производства асфальтобетона из товарных продуктов и техногенных;

- сохранение природных запасов сырья идущего на производство минерального порошка;
- сокращение объемов экологических платежей за размещение и образование БШУ.

5.4 Эколого-экономическая оценка предотвращенного ущерба при использовании БШУ в качестве минерального порошка в асфальтобетоне

Для оценки эффективности использования БШУ в составе асфальтобетона используемого для дорожного строительства со стороны экологии и экономики была использована методика, основанная на «Временной методике определения предотвращенного экологического ущерба» [95]. Дополнительно был произведен расчет платы за негативное воздействие на ОС от размещения БШУ в шламовом амбаре [96]. Это позволяет в полной мере оценить экономические выгоды от внедрения разработанной технологии использования ресурсного потенциала БШУ и переход на безамбарное бурение. Расчет проведен на примере Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО).

Суммарный положительный экономический эффект с учетом экологических и экономических факторов разработанной технологии утилизации БШУ достигается за счет:

1. Предотвращение платы за деградацию почв и земель при устройстве шламонакопителя;
2. Предотвращение платы за негативное воздействие на ОС от размещения БШУ в шламовом амбаре (шламонакопителе);
3. Предотвращение затрат на содержание шламового амбара (шламонакопителя).

По данным буровых компаний ежегодные расходы на содержание и ремонт среднестатистического шламонакопителя буровых отходов составляют 0,5 млн. руб. (в ценах 2021г).

Оценка величины предотвращенного в результате природоохранной деятельности ущерба от деградации почв и земель:

$$U_{npd} = H_c \cdot S \cdot K_3 \cdot K_n, \quad (5.1)$$

где: U_{npd} - величина предотвращенного в результате природоохранной деятельности ущерба от деградации почв и земель на рассматриваемой территории, тыс.руб.;

H_c - нормативная стоимость земель ХМАО составляет 147 тыс. руб./га;

S - площадь почв и земель, сохраненная от деградации за отчетный период времени в результате проведенных природоохранных мероприятий. В среднем площадь щламонакопителя составляет 1000 м^2 ,

K_3 - коэфф. экологической ситуации и экологической значимости территории, 1,7;

K_n - коэфф. для особо охраняемых территорий ($K_n=1$);

Предотвращенный экологический ущерб от деградации почв и земель при устройстве 1 щламонакопителя составит:

$$U_{npd} = 147000 \cdot 0,1 \cdot 1,07 \cdot 1 = 15729 \text{ руб}$$

Расчет платы за негативное воздействие на ОС от размещения БШУ. Средняя глубина слоя БШУ в щламовом амбаре составляет 2 м. Средний объем БШУ в щламовом амбаре составит 2000 м^3

При утилизации БШУ будет предотвращен платеж за негативное воздействие на ОС [97]:

$$П = M_{нд} \cdot H_{пл} \cdot K_{нд} \cdot 1,08 \quad (5.2)$$

где, $M_{нд}$ – платежная база сбросы i -го загрязняющего вещества, $M_{нд} = 2000 \text{ т}$;

$H_{пл}$ – ставка платы за сброс i -го загрязняющего вещества, $H_{пл} = 663,2 \text{ руб./т}$;

$K_{нд}$ – коэффициент к ставкам платы за сброс i -го загрязняющего вещества в пределах нормативов, равный 1;

1,08 — коэффициент индексации тарифов платы за негативное воздействие на ОС на 2021 год.

Платеж за негативное воздействие на ОС:

$$П = 2000 \cdot 663,2 \cdot 1 \cdot 1,08 = 1432512 \text{ руб.}$$

С учетом индексации тарифов платы за негативное воздействие на ОС на 2021 год составляет 716,3 руб.

Совокупный эколого-экономический эффект от внедрения технологии использования материального ресурса БШУ в технологии производства асфальтобетона состоит из:

1. Предотвращенный экологический ущерб от деградации почв и земель при устройстве одного шламонакопителя составляет 15729 руб.

2. Предотвращенный платеж за негативное воздействие на ОС составляет 1432512 руб.

3. Отсутствие затрат на содержание и ремонт шламонакопителя, 500000 руб.

Таким образом, суммарный экономический эффект от применения технологии использования БШУ в составе асфальтобетона, составит 1948241 руб. в ценах 2021 года.

Проведение эколого-экономической оценки технологии использования ресурсного потенциала БШУ в составе асфальтобетона используемого для дорожного строительства позволяет сделать вывод, что в целом технология отвечает основным принципам экономики замкнутого цикла, которая основывается на использовании технологий возобновления ресурсов и переработке вторичного сырья. Разработанная технология отвечает следующим принципам экономики замкнутого цикла:

- сокращает объёмы использования первичных природных ресурсов и осуществить переход на рециркулируемые сырьё и материалы;
- продлевает жизненный цикл продукции;
- максимально использует материальный ресурс БШУ;
- имеет простую технологию подготовки БШУ и цикличное использование с минимальными затратами энергии и потерями материального ресурса;
- позволяет отказаться от сжигания и захоронения БШУ.

Технология использования БШУ в качестве минерального порошка в составе асфальтобетона отвечает принципам экономики замкнутого цикла (циклическая экономика).

Выводы по 5 главе:

1. Исследование токсикологических свойств образцов асфальтобетона полученных с БШУ показало отсутствие негативного воздействия на окружающую среду: концентрация хлоридов, тяжелых металлов не превышают установленные нормы ПДК. По итогам биотестирования водная вытяжка из образцов асфальтобетона, модифицированного БШУ не обладает эффектом острой токсичности к тест объектам, в роли которых выступали зеленые протококковые водоросли *Scenedesmus quadricauda (Turp) Breb* и низшие ракообразные *Daphnia magna Straus*.

2. Проведенное технико-экономическое обоснование производства асфальтобетонной смеси с БШУ показало, что при производстве 1000 тонн асфальтобетонной смеси экономия денежных средств составит 231840руб, а при укладке 1000 квадратных метров экономия составит 41645 руб.

3. Совокупный экономический эффект от внедрения технологии использования БШУ в качестве минерального порошка в составе асфальтобетона и предотвращения организации и эксплуатации 1 шламонакопителя, составляет 1948241 руб. в ценах 2021 года.

4. Полученные данные характеризуют асфальтобетон с БШУ как геоэкологически устойчивый строительный материал, не формирующий химического изменения гидросферы и литосферы (педосферы) выше уровня способного нанести негативное воздействие ОС выше допустимого уровня. По совокупности признаков технология использования БШУ в качестве минерального порошка в составе асфальтобетона отвечает принципам экономики замкнутого цикла (циклическая экономика).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ физико-механических, химических, токсикологических свойств БШУ показал, что для снижения водномиграционной опасности химических соединений БШУ и достижения геоэкологической устойчивости целевого продукта, возможно, использовать процессы структурообразования асфальтобетона. Структура асфальтобетона характеризуется водостойкостью, гидрофобностью, кислотостойкостью, способна образовывать прочные связи между битумом и БШУ, что обеспечивает приемлемый уровень экологической опасности при эксплуатации асфальтобетона произведенного с БШУ, сохраняя его способность к рециркуляции.

2. Регулирование характеристик асфальтобетона обеспечивается свойствами минеральной части БШУ полученной при взаимодействии бурового инструмента с горной породой в среде углеводородов при высоком контактном давлении и высокой температуре. На минеральных частицах БШУ формируется механоактивированный поверхностный слой содержащий углеводороды, который обеспечивает прочные связи между битумом асфальтобетона и минеральной частью БШУ.

3. Физико-механические свойства БШУ позволяют его использовать в качестве мелкого минерального заполнителя (минерального порошка) в составе асфальтобетона без удаления из его состава отдельных элементов. Установлен оптимальный состав асфальтобетона с БШУ: песок – 11-14%, щебень – 45-48%, отсев дробления – 35-39%, БШУ – 8%, битум БНД 90/130 – 4,9-5,1 % (свыше 100% смеси). Доказано, что при содержании БШУ 8% улучшаются характеристики асфальтобетона: показатель водонасыщения асфальтобетона снизился в 1,38 раз, остаточная пористость уменьшилась в 1,18 раза, коэффициент водостойкости увеличился в 1,1 раза; прочность на сжатие при 20°C увеличилась в 1,13 раза; прочность на сжатие при 0°C снизилась в 1,16 раза.

4. Оценка водномиграционной опасности асфальтобетонов произведенных с добавлением БШУ показала, что ее снижение достигается за счет совместного

участия нефтепродуктов и активированной мелкодисперсной минеральной части БШУ в процессах структурообразования асфальтобетона, с образованием прочных связей между БШУ и компонентами асфальтобетона. При оптимальном содержании БШУ (8%) в составе асфальтобетона достигается снижение миграции в водные среды: хлоридов в 2,4 раз; ионов тяжелых металлов в подвижной форме от 30 до 200 раз, нефтепродуктов в 14,7 раза.

5. Исследование токсикологических свойств асфальтобетона с БШУ (до 12%) показало отсутствие негативного воздействия на окружающую среду. По итогам проведения биотестирования установлено, что водная вытяжка не обладает эффектом токсичности на тест-объекты *Scenedesmus quadricauda* и *Daphnia magna Straus* при содержании БШУ в составе асфальтобетона до 12%. Полученные значения эмиссии химических соединений (хлоридов, свинца, марганца, никеля, меди), опасных для ОС, не превышают допустимые ПДК для вод и почвы.

6. Производство 1000 т асфальтобетона с использованием БШУ в качестве минерального порошка позволяет экономить денежные средства в размере 231840 руб. Получаемый из БШУ продукт (минеральный порошок) имеет высокую рыночную стоимость (до 2500 руб. за тонну). Экономический эффект достигается за счет: ресурсосбережения природных сырьевых материалов; отказа от сооружения и содержания шламохранилищ; исключения размещения БШУ в ОС.

7. Разработанные рекомендации по использованию БШУ в качестве мелкого минерального заполнителя в составе асфальтобетона, позволяют: вовлечь крупнотоннажные отходы в ресурсный цикл производства геоэкологически устойчивого безопасного для ОС способного к рециркулированию целевого продукта; реализовать ресурсосберегающую технологию производства асфальтобетона, отвечающую принципам экономики замкнуто цикла; снизить техногенное воздействие на ОС в местах добычи нефти и газа, за счет перехода на безамбарное бурение и отказа от устройства шламохранилищ.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БШУ - буровой шлам, образующийся при использовании бурового раствора на углеводородной основе.

БШ – буровой шлам

ОБР – отработанный буровой раствор

БСВ – буровые сточные воды

БШГ - буровой шлам, образующийся при использовании бурового раствора на глинистой (водной) основе

ФККО - Федеральный классификационный каталог отходов

ХМАО – Ханты-Мансийский автономный округ

ТМ – тяжелые металлы

ОС – окружающая среда

ХПК – химическое потребление кислорода

БПК – биологическое потребление кислорода

АБЗ – асфальтобетонный завод

ПДК – предельно допустимая концентрация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А.С., Пугин К.Г., Сурков А.А. Геоэкологическая оценка технологии использования отходов бурения в составе асфальтобетона // Нефтяное хозяйство. 2020. № 12. С. 139-142.
2. Ягафарова Г. Г., Барахнина В.Б. Утилизация экологически опасных буровых отходов // Нефтегазовое дело. 2006. № 2. С. 48–61.
3. Ягафарова Г.Г. Современные методы утилизации буровых отходов / Г. Г. Ягафарова, Д.В. Рахматуллин, А. Н. Инсапов, Г. М. Кузнецова, Н. Р. Мирсаитов // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 2. № 2. С. 123–129.
4. Тупицына О.В. Оценка и восстановление природно-техногенных систем, нарушенных строительной-хозяйственной деятельностью: диссертация ... доктора технических наук: 25.00.36. Самара, 2014. 323 с.
5. Мартыненко, Е.Г. Геоинженерная защита территорий с использованием материалов на основе отходов бурения: диссертация кандидата технических наук: 25.00.36. Самара, 2017. 135 с.
6. Leonard, SA., Stegemann JA. Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings: Leaching studies // Journal of hazardous materials. 2010. № 1-3 (174). pp. 484-491.
7. Булатов, А.И. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности / А.И. Булатов, П.П. Макаренко, В.Ю. Шеметов. М.: Недра, 1997. 483 с.: ил.
8. Кашников В.И. Геологический анализ техногенно-природных геосистем: автореферат дис. канд. географ. наук. Воронеж, 2007. 24 с.
9. Заиканов В.Г., Минакова Т.Б. Антропогенный фактор в геоэкологической оценке территорий // Геоэкология. Инженерная геоэкология. Гидрогеоэкология. Геокриология. 2014. № 3. С. 270-276.
10. Графкина М. В. Теория и методы оценки геоэкологической безопасности создаваемых природно-технических систем: автореферат дис. докт. техн. наук. М., 2009. 40 с.

11. Фалейчик Л. М. Методы и технологии для оценок экологического состояния природно-технических систем с использованием математического и геоинформационного моделирования: автореферат дис. канд. техн. наук. Чита, 2010. 24 с.

12. Vaisman Y.I., Vlasov A.S., Pugin K.G. Using the resource potential of drill cuttings in road construction // IOP Conference series: Earth and Environmental science. 2020. Vol. 459.

13. Суздалева А.Л., Горюнова С.В. Техногенез и деградация поверхностных водных объектов. М.: ООО ИД ЭНЕРГИЯ, 2014. 456 с.

14. Языков Е. Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: диссертация кандидата технических наук: 25.00.36. Томск, 2006. 46 с.

15. Пугин К.Г., Юшков В.С. Строительство автомобильных дорог с использованием техногенных материалов // Вестник Пермского технического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2011. № 1. С. 35-43.

16. Reuben N. Okparanma, Perez P. Araka. Towards enhancing sustainable reuse of pre-treated drill cuttings for construction purposes by near-infrared analysis: A review // Journal of Civil Engineering and Construction Technology. 2018. No 9. P. 19-39.

17. Vlasov A.S., Pugin K.G. Using the resource potential of drill cuttings in road construction // IOP Conference series: Earth and Environmental science. 2021. Vol. 1079.

18. ОСТ 51.01-06-85. Охрана природы. Гидросфера. Правила утилизации отходов бурения и нефтегазодобычи в море. М.: Мингазпром, 1985. 4 с.

19. РД 153-39-031-98. Правила охраны вод от загрязнения при бурении скважин на морских нефтегазовых месторождениях. М.: Минтопэнерго РФ, 1998. 7 с.

20. Годовой отчет ПАО «Сургутнефтегаз» за 2017 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.surgutneftegas.ru/investors/reporting/> (дата обращения 10.05.2020).

21. Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В. Исследование влияния высокотемпературного обжига на физико-механические характеристики бурового шлама на углеводородной основе для улучшения экологической ситуации в нефтяной отрасли // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2022. № 3 (306). С. 27-32.

22. Пичугин, Е.А. Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду // Молодой ученый. 2013. № 9(56). С. 122-123.

23. Гайрабеков У.Т. Экологическая оценка буровых работ на территории Чеченской и Ингушской республик: диссертация ... канд. биол. наук: 11.00.11. Махачкала, 1998. 185 с.

24. Ayati, B. Manufacture and performance of lightweight aggregate from waste drill cuttings /Ayati B., Molineux C., Newport D., Cheeseman C. // Journal of cleaner production. 2019. Т. 208. pp. 252-260.

25. Piszcz-Karas, K. Utilization of shale cuttings in production of lightweight aggregates /Piszcz-Karas K., Klein M., Hupka J., Luczak J. // Journal of environmental management. 2019. Т. 231. pp. 232-240

26. Saint-Fort, R. Effect of a water-based drilling waste on receiving soil properties and plants growth /Saint-Fort R., Ashtani S. // Journal of environmental science and health part a-toxic/hazardous substances & environmental engineering. 2014. № 1 (49). pp. 10-17.

27. Bakhtyar, S. Toxicity assessment of individual ingredients of synthetic-based drilling muds (SBMs)/ Bakhtyar S., Gagnon MM. // Environmental monitoring and assessment. 2012. № 9 (184). pp. 5311-5325.

28. Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. М.: Дело, 2006. 552 с.

29. Liu Dong-sheng, Wang Chao-qiang, Mei Xu-Dong, Chun Zhang. Environmental performance, mechanical and microstructure analysis of non-fired bricks containing water-based drilling cuttings of shale gas // Construction and Building Materials, 2018. № 183, pp. 215-225.

30. Малышкин, М.М. Геоэкологическое обоснование размещения буровых шламов в насыпи площадок скважин: диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.36. СПб., 2010. 181 с.

31. Гаевая Е.В., Тарасова С.С. Возможности утилизации бурового шлама с получением экологически безопасного инертного материала // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2020. № 4 (295). С. 53-58.

32. Гаевая Е.В. Экологическое обоснование использования техногенных грунтов на основе буровых шламов для рекультивации нарушенных земель / Гаевая Е.В., Тарасова С.С., Скипин Л.Н., Зимнухова А.Е. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2022. № 2 (305). С. 23-30.

33. Kogbara R.B., Dumkhana B.B., Ayotamuno J.M., Okparanma R.N. Recycling stabilised/solidified drill cuttings for forage production in acidic soils // Chemosphere, 2017. № 184, pp. 652-663.

34. Ягафарова Г.Г. Утилизация углеводородсодержащих буровых отходов / Г.Г. Ягафарова, А.Х. Сафаров, А.И. Мустаева, В.Р. Рахматуллин, Е.В. Бембак // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. № 2 (130). С. 105-112.

35. Сапега В.А., Захарова Е.В., Гаевая Е.В. Оценка показателей обращения с отходами различных классов экологической опасности в тюменской области // Безопасность жизнедеятельности. 2021. № 5 (245). С. 34-40.

36. Белоусова Е. Н. Агрочвоведение: электронный учебно-методический комплекс / Е.Н. Белоусова, А.А. Белоусов. Красноярск: ФГОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет, 2016. 325 с.

37. Светличная Т.В. Оценка экологической опасности тонкодисперсных фракций бурового шлама и разработка методов обращения с отходами бурения при освоении месторождений нефти и газа Дагестанского участка Каспийского моря: автореферат дис. канд. геол.-минер. наук: 25.00.36. М., 2004. 25 с.

38. Liu DS. An effective treatment method for shale gas drilling cuttings solidified body / Liu DS., Wang, CQ., Mei, XD., Qian-Huang, Ding SM. // Environmental science and pollution research. 2019. № 17. pp. 17853-17857.

39. Xu T., Wanga L., Wanga X., Lia T., Zhana X. Heavy metal pollution of oil-based drill cuttings at a shale gas drilling field in Chongqing, China: A human health risk assessment for the workers // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. № 165, pp. 160-163.

40. Доклады об экологической ситуации в Ханты-мансийском автономном округе – Югре за 2010-2017 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruge-yugre> / (дата обращения 17.02.2020).

41. Baussant T. Effects of suspended drill cuttings on the coral *Lophelia pertusa* using pulsed and continuous exposure scenarios / Baussant T., Nilsen M., Ravagnan E., Westerlund S., Ramanand S. // *Journal of toxicology and environmental health-part a-current issues*. 2018. № 10 (81). pp. 361-382.

42. Шагидуллин Р. Р. Нормирование допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах / Р.Р. Шагидуллин, [и др.] // *Георесурсы*. 2011. №5 (41). С. 2-5.

43. Пичугин Е.А., Шенфельд Б.Е. К вопросу различия буровых и нефтяных шламов // *Экология и промышленность России*. 2017. № 7. С. 14-19.

44. Тарасова С.С., Гаевая Е.В. Экологичный способ утилизации буровых отходов с получением грунтов строительных для земляных работ // *Вопросы современной науки и практики*. 2020. № 1 (75). С. 43-51.

45. Kujawska J. Potential influence of drill cuttings landfill on groundwater quality-comparison of leaching tests results and groundwater composition // *Desalination and Water Treatment*. 2016. Vol. 57. pp. 1409-1419.

46. Иларионов, С.А. Трансформация углеводородов нефти в почвах гумидной зоны: диссертация ... доктора технических наук: 03.00.16. Сыктывкар, 2006. 422 с.

47. Макаренко И.Ю. Экологическая оценка воздействия нефтегазодобывающей деятельности на водные объекты среднего Приобья: автореферат дис. канд. геогр. наук: 25.00.36. Ростов-на-Дону, 2007. 26 с.

48. Kujawska, J., Pawlowska M. Earthworms as bio-indicators of chemical pollution in soils with drilling waste // 9th conference on interdisciplinary problems in environmental protection and engineering (eko-dok 2017), Boguszow Gorce, Poland, apr. 23-25, 2017.

49. Ежов М.Ю. Влияние отработанных буровых растворов на загрязнение почв / М.Ю. Ежов, В.И. Терпелец, В.Ю. Шеметов и др. М.: ВНИИКРнефть., 1986. 10 с.

50. Кабиров Р. Р., Минибаев Р. Г. Влияние нефти на почвенные водоросли // Почвоведение. 1982. № 1. С. 86-91.

51. Гасымлы Л. Э. Биоремедиация бурового шлама в процессе химической фиксации / Л.Э. Гасымлы и др. // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». 2005. № 4. С. 86–90.

52. Leonard, SA. Stabilization/solidification of petroleum drill cuttings: Leaching studies // Journal of hazardous materials. 2010. № 1-3 (174). pp. 484-491.

53. Тарасова С.С., Гаевая Е.В. Разработка способа утилизации буровых отходов с получением инертного строительного материала // Вестник евразийской науки. 2020. Т. 12. № 2. С. 23.

54. Junttila J., Dijkstra N., Aagaard-Sorensen S. Spreading of drill cuttings and sediment recovery of three exploration wells of different ages, SW Barents Sea, Norway // Marine Pollution Bulletin. 2018. № 135. P. 224-238.

55. Оценка воздействия на компоненты окружающей среды буровых шламов, накопленных на нефтегазовых месторождениях, и прогноз изменения качества окружающей среды при их утилизации: отчет о НИР / Б.Е. Шенфельд, В.Е. Шапкин, Н.В. Костылева, М.В. Черепанов, Е.А. Пичугин и др. Пермь: ФГБУ УралНИИ «Экология», 2014. 282 с.

56. Барахнина В.Б. Основы технологии очистки отходов нефтегазового комплекса и оценка ущерба окружающей среде: учеб. пособие / В.Б. Барахнина, И.Р. Киреев, В.В. Свиначев. Уфа: РИО РУНМЦ МО РБ, 2009. 242 с.

57. Булатов А.И., Волощенко Е.Ю., Кусов Г.В., Савенок О.В. Экология при строительстве нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для студентов вузов. Краснодар: Просвещение - Юг, 2011. 603 с.

58. О Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 10.05.2016 № 868-р (ред. от 23.11.2016). – Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

59. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (с изм. от 27.12.2018). – Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс.

60. Гаевая Е.В., Тарасова С.С. Апробация технологии утилизации буровых отходов в рамках опытно-промышленных испытаний // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 1. С. 14-20.

61. Управление отходами. Механо-биологическая переработка твердых бытовых отходов. Компостирование и вермикомпостирование органических отходов: Монография; под. редакцией Я.И. Вайсмана. Пермь: изд-во Перм. национального исследовательского политехн. ун-та. Пермь, 2012. 224 с.

62. Технологический комплекс термической утилизации отходов бурения (буровых шламов) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.strommash.ru/catalog/tekhnologicheskii-kompleks-termicheskoi-utilizatsii-otkhodov-bureniya-burovykh-shlamov> (дата обращения 11.02.2020).

63. Рахматуллин, Д.В. Разработка комплексного метода утилизации буровых шламов: диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.36. Уфа, 2011. 146 с.

64. Reginald B.K, Bernard B.D., Josiah M., Reuben N.O. Recycling stabilised/solidified drill cuttings for forage production in acidic soils // Chemosphere. 2017. № 184. pp. 652-663.

65. Макаренко, П.П. Комплексное решение проблем развития газодобывающего региона. М.: Недра, 1996. 320 с.

66. Климова А.А., Язиков Е.Г., Шайхиев И.Р. Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтяных месторождений на примере объектов Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2020. Т. 331. № 2. С. 102–114.

67. Neff J.M. Composition, environmental fates and biological effects of water based drilling muds and cuttings discharged to the marine environment: A Synthesis and Annotated Bibliography // Battelle report to Petroleum Environmental Research Forum (PERF) and American Petroleum Institute. 2005. 73 p.

68. Пичугин, Е.А. Система управления нефтесодержащими отходами с использованием экологически безопасной технологии их утилизации // Экология и промышленность России. 2014. № 11. С. 32-35.

69. Neff J. M., McKelvie S., Environmental impacts of synthetic based drilling fluids // Report prepared for MMS by Robert Ayers & Associates. 2000. Vol. 64. 118 p.

70. Schaanning M., Hylland K., Lichtenthaler R., Rygg B. Biodegradation of Anco Green and Novaplus drilling muds on cuttings deposited in benthic chambers // Report no. OR-3475, Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Oslo. 1996. 90 p.

71. Schaanning M.T., Trannum H.C., Oxnevad S., Carroll J., Bakke T. Effects of drill cuttings on biogeochemical fluxes and macrobenthos of marine sediments. // Marine Ecology Progress Series. 2008. Vol. 361. pp. 49–57.

72. Mostavi E., Asadi S., Ugochukwu E. Feasibility Study of the Potential Use of Drill Cuttings in Concrete // Procedia Engineering. 2015. № 118. pp. 1015-1023

73. Об утверждении Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 25.01.2018 № 84-р. – Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

74. Тарасова С.С., Гаевая Е.В. Исследования токсичности буровых шламов и возможности их утилизации // Проблемы региональной экологии. 2021. № 3. С. 75-79.

75. Arley S.R., Marcella G.F., Marina S.P. Carlos H.A. Kinetics of microwave heating and drying of drilling fluids and drill cuttings // *Drying Technology*, 2017. Vol. 35.

76. R.K. Dhir, L.J. Csetenyi, T.D. Dyer, G.W. Smith. Cleaned oil-drill cuttings for use as filler in bituminous mixtures // *Construction and Building Materials*. 2010. № 24. 322-325.

77. Bamdad A., Chloe M., Darryl N., Christopher C. Manufacture and performance of lightweight aggregate from waste drill cuttings // *Journal of Cleaner Production*. 2019. pp. 252-260.

78. Алосманов М.С., Атаев М.Ш., Маликова А.Я., Мамедова Г.М. Разработка технологии повышения плодородия почв с использованием отходов полезных ископаемых // *Проблемы современной науки и образования*. 2018. 7 с.

79. Будников П. П., Бережной А. С., Булавин И. А., Каллига Г. П. Технология керамики и огнеупоров. М.: Госстройиздат, 1962. 706 с.

80. Vlasov A., Pugin K., Tyuryukhanov K., Rudakova L., Glushankova I., Surkov A. Development of a Method for Producing Geocologically Safe Road Building Materials based on Drill Cuttings // *Ecology and Industry of Russia*. 2020. № 24(11). pp. 19-23.

81. Власов А.С., Пугин К.Г., Тюрюханов К.Ю., Глушанкова И.С., Рудакова Л.В. Использование отходов бурения в составе дорожно-строительных материалов // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2019. № 3. С. 510-521.

82. Ягафарова Г.Г., Матвеев Ю.Г., Агзамов Ф.А. Применение утилизированного бурового шлама в качестве добавки к портландцементу // *Нефтегазовое дело*. 2011. Т. 9. № 4. С. 37-39.

83. Abbe O.E., Grimes S.M., Fowler G.D., Voccaccini A.R. Novel sintered glass-ceramics from vitrified oil well drill cuttings // *Journal of Materials Science*. 2009. № 44. pp. 4296–4302.

84. Babagana M., Christopher R.C. Use of Oil Drill Cuttings as an Alternative Raw Material in Sandcrete Blocks // *Waste Biomass Valor*. 2011. № 2. pp. 373-380.

85. Kujawska J., Pawłowska M. Effects of Soil-Like Materials Mix from Drill Cuttings, Sewage Sludge and Sawdust on the Growth of *Trifolium pratense* L. and Transfer of Heavy Metals // *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19. pp. 225–230.

86. Aleksander H., Katarzyna Piszcz-Karaś, Natalia F., Huber C., Jacek N., Mariusz M., Marek K., Krzysztof F. Structure and performance properties of environmentally-friendly biocomposites based on poly(ϵ -caprolactone) modified with copper slag and shale drill cuttings wastes // *Science of the Total Environment*. 2018. P. 1320–1331.

87. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н.Ш. Кремер. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с.

88. Гедройц К. К. Избранные научные труды: сборник научных трудов М.: Наука, 1975.

89. Некрасова И.Л. Эколого-геохимическая характеристика отходов строительства нефтяных скважин (на примере Пермского Прикамья): диссертация ... кандидата технических наук: 25.00.36. Пермь, 2003. 86 с.

90. Королев И. В. Дорожно-строительные материалы / И. В. Королев В. Н. Финашин, Фендер Г. К. М.: Транспорт, 1988. 304 с.

91. Кузнецов Д.А. Асфальтобетон с использованием минеральных материалов из кварцитопесчаника: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.05. Белгород, 2003. 184 с.

92. Пичугин Е.А. Требования, предъявляемые к шламо-песчаным смесям на основе буровых шламов для их применения в качестве экологически чистого строительного дорожного материала / М.В. Зильберман, Е.А. Пичугин, Б.Е. Шенфельд, Г.А. Козлова, В.Л. Долганов // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2013. № 6. С. 29-34.

93. Тюрюханов К.Ю. Технологические параметры получения и свойства асфальтобетона с использованием отработанной формовочной смеси: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.05. Пермь, 2019. 194 с.

94. Об утверждении Положения об оценке воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в Российской Федерации [Электронный ресурс]: приказ Госкомэкологии РФ от 16.05.2000 № 372. – Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами».

95. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба, М., 1999 г. 41 с.

96. Постановление правительства РФ «Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду» от марта 2017 года № 255. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420393404> / (дата обращения 20.02.2020).

97. Постановление правительства РФ «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» от 13 сентября 2016 г. № 913. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420375216> / (дата обращения 20.02.2020).

Приложение. Акты внедрения

Общество с ограниченной ответственностью

«Аракс»

ИНН/КПП 5948027651/590501001

614065, Россия, г. Пермь, ул. 3-я Теплопроводная, д. 11А

(342) 202-57-70

info-araks@yandex.ru

АКТ

о практическом применении результатов
диссертационной работы на соискание степени кандидата
технических наук Власова Антона Сергеевича

Диссертационная работа Власова А.С. посвящена использованию ресурсного потенциала буровых шламов в технологии получения асфальтобетона с обеспечением геологической безопасности.

Актуальным достижением диссертационной работы являются установление оптимального содержания бурового шлама в составе асфальтобетона, разработка технологической схемы получения асфальтобетона на основе буровых шламов, используемого для дорожного строительства, а также рекомендации по его применению при которых обеспечивается геологическая безопасность использования асфальтобетона при эксплуатации.

Предложенные в диссертации Власовым А.С. составы асфальтобетона с использованием в качестве минерального порошка буровых шламов на нефтяной основе позволяют:

расширить номенклатуру дорожно-строительных материалов используемых для строительства автомобильных дорог, тротуаров, придомовых территорий и дворов;

снизить экономические издержки при получении асфальтобетонной смеси;

снизить негативное воздействие на окружающую среду от воздействия буровых шламов.

Экономия денежных средств на производство 1000 т асфальтобетонной смеси может составлять составляет более 230 тысяч рублей (в зависимости от вида и марки, в ценах июль 2021г).

Разработанные составы асфальтобетонной смеси с использованием бурового шлама на нефтяной основе в качестве минерального порошка и рекомендации по применению, предложенные Власовым А.С., предполагается использовать для внедрения на ООО «АРАКС», что обеспечит снижение экономических затрат на производство асфальтобетона для дорожного строительства.

Генеральный директор ООО «Аракс»



A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Кишмирян Э.Д.", written over a horizontal line.

Кишмирян Э.Д.

ООО «МОНОЛИТ СТРОЙ»

ИНН 5904124986, КПП 590401001, ОГРН 1055901642191

Юридический адрес: 614007, г. Пермь, ул. Тимирязева, 37

Тел./Факс 8(342)298-26-28, 8(342)262-89-30; E-mail: monolitstroy59@gmail.com

АКТ

о практическом применении результатов
диссертационной работы на соискание степени кандидата технических
наук Власова Антона Сергеевича

Диссертационная работа Власова А.С. посвящена использованию ресурсного потенциала буровых шламов в ресурсосберегающих технологиях получения асфальтобетона.

Актуальным достижением диссертационной работы являются установление оптимального содержания бурового шлама образующегося при бурении скважин с использованием бурового раствора на нефтяной основе, в составе асфальтобетона, разработка технологической схемы получения асфальтобетона, а также рекомендации по его применению при которых обеспечивается экологическая безопасность эксплуатации асфальтобетона.

Разработанные Власовым А.С. ресурсосберегающие составы асфальтобетона с использованием в качестве минерального порошка буровых шламов с содержанием нефти и нефтепродуктов позволят:

расширить номенклатуру дорожно-строительных материалов используемых для строительства автомобильных дорог, тротуаров, придомовых территорий и дворов;

снизить экономические издержки при получении асфальтобетонной смеси;

снизить негативное воздействие на окружающую среду от воздействия буровых шламов.

Экономия денежных средств на производство 1000 т асфальтобетонной смеси может составлять составляет более 230 тысяч рублей (в зависимости от вида и марки, в ценах август 2021г).

Разработанные составы асфальтобетонной смеси с использованием бурового шлама на нефтяной основе в качестве минерального порошка и рекомендации по применению, предложенные Власовым А.С., предполагается использовать для внедрения на ООО «Монолит Строй», что обеспечит снижение экономических затрат на производство асфальтобетона для дорожного строительства с сохранением потребительских свойств дорожных покрытий.

Директор ООО «Монолит Строй»



/Бадоян Ш.В. /