

На правах рукописи



Бизирка Ирина Ивановна

**ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК ИЗ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ
ВОД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ
СМЕСЕЙ**

05.23.05 – строительные материалы и изделия

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

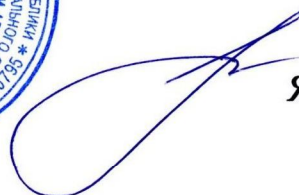
Научный руководитель:

доктор технических наук,

профессор Братчун В.И.



Идентичность всех экземпляров
диссертации ПОДТВЕРЖДАЮ:
Ученый секретарь диссертационного
совета Д 01.006.02



Я. В. Назим

Макеевка – 2017 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ	10
1.1 Роль минерального порошка в формировании структуры асфальтобетона	10
1.2 Использование побочных продуктов промышленности в качестве минеральных порошков	16
Выводы по разделу 1	26
РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ	28
2.1. Предполагаемые процессы взаимодействия на поверхности раздела фаз “органическое вяжущее – органоминеральный порошок из осадков сточных вод”	28
2.2. Программа экспериментальных исследований	35
Выводы по разделу 2	36
РАЗДЕЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	37
3.1. Основные принципы организации и проведения исследований	37
3.2. Характеристика принятых для исследования материалов	38
3.3. Принятые методы экспериментальных исследований	42
Выводы по разделу 3	50
РАЗДЕЛ 4. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД И ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С БИТУМОМ	51

4.1. Исследование осадка сточных вод как материала для производства органоминерального порошка дорожных асфальтобетонных смесей	51
4.2. Исследование поверхностных явлений в системе «битум – органоминеральный порошок»	59
4.3. Изучение адгезии нефтяного дорожного битума на поверхности органоминерального порошка.....	60
4.4. Процессы структурообразования в асфальтовяжущих веществах	66
Выводы по разделу 4.....	73
РАЗДЕЛ 5. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД	75
5.1. Экспериментальное изготовление и определение физико-механических показателей образцов асфальтобетона, содержащего в своем составе органоминеральный порошок	75
5.2. Исследование влияния органоминерального порошка на физико- механические свойства асфальтобетона	83
5.3. Влияние органоминерального порошка из осадков сточных вод на коррозионную устойчивость асфальтобетона.....	91
5.4. Исследование старения асфальтобетонов. содержащих в своем составе органоминеральный порошок.....	99
Выводы по разделу 5	106
РАЗДЕЛ 6. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА В АСФАЛЬТОБЕТОНЕ.....	108
6.1. «Рекомендации по использованию органоминерального порошка из осадка сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей»	108

6.2. Опытнo-промышленное внедрение асфальтобетонных смесей, содержащих в своем составе органоминеральный порошок из осадков сточных вод и расчет экономической эффективности	114
Выводы по разделу 6	122
ВЫВОДЫ	124
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	127
ПРИЛОЖЕНИЕ А	145
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	146
ПРИЛОЖЕНИЕ В	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Минеральный порошок – важнейший компонент асфальтобетона. Его основное назначение заключается в: переводе органического вяжущего в адсорбционно-сольватное состояние; увеличении поверхности контакта между структурообразующими частицами микро-, мезо- и макроструктуры; повышении теплостойкости битума; снижении скольжения колеса автомобиля во время торможения; повышении адгезии и когезии вяжущего, а также плотности минерального остова асфальтобетона [1].

Ежегодная мировая потребность дорожно-строительных организаций в минеральном порошке (МП) составляет 100 млн. т. [1]. Естественно, возрастает потребность в дефицитных карбонатных минеральных порошках. Нормативные документы предусматривают использование порошкообразных материалов техногенного происхождения в качестве минерального порошка. Такие отходы являются сравнительно недорогим, уже подготовленным сырьем для получения минерального порошка, что определяет снижение энергетических и материальных затрат. Таким материалом является осадок сточных вод (ОСВ).

Степень разработанности темы исследования. Анализ работ Базжина Л.И., Бахраха Г.С., Борща И.М., Братчуна В.И., Бусела А.В., Высоцкой М.А., Курнаева М.А., Ковалева Я.Н., Космина А.В., Кузмичева В.Г., Рыбалко И.Ф., Филимонова В.С., Ядыкиной В.В., Ястребовой Л.Н., Ewers N., Svetel D. и других ученых показал, что в качестве минерального порошка из техногенного сырья используются лессы, пылеватые пески, золы-уноса тепловых электростанций, пыль-уноса цементных заводов, доломитовая и колошниковая пыль, шламы станций нейтрализации сернокислотных травильных растворов сталепроволочно-канатных заводов и др. В работе Бреуса Р.В. показана целесообразность использования осадков сточных вод в качестве минерального порошка для производства асфальтобетонных смесей. Однако комплексные исследования и научное обоснование целесообразности использования органоминерального порошка (ОМП) из осадков сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей отсутствуют.

Целью исследования является теоретическое и экспериментальное обоснование использования минерального порошка из осадков сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей на основе установления закономерностей формирования структуры и свойств дорожных асфальтобетонов, отвечающих нормативным требованиям.

Задачи исследования:

- исследовать физико-химические свойства осадка сточных вод с целью использования его для получения органоминерального порошка (ОМП) для производства асфальтобетонных смесей;
- сформулировать теоретические положения о процессах взаимодействия на поверхности раздела фаз “нефтяной дорожный битум – органоминеральный порошок из осадков сточных вод”;
- исследовать асфальтовяжущее на основе органоминерального порошка;
- оптимизировать составы и изучить физико-механические свойства асфальтобетона с использованием органоминерального порошка;
- разработать «Рекомендации по использованию органоминерального порошка из осадка сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей». Выполнить опытно-промышленную апробацию результатов лабораторных исследований. Дать экономическое обоснование целесообразности применения в составе дорожных асфальтобетонных смесей органоминерального порошка из осадков сточных вод.

Научная новизна полученных результатов:

- теоретически и экспериментально обоснован способ получения из осадка сточных вод органоминерального порошка для производства асфальтобетонных смесей, представляющего собой комплексное соединение алюмосиликатных материалов с органическим гуминным веществом, связанных между собой прочными хемосорбционными связями с развитой сорбционной поверхностью вследствие слоистого строения минеральной части и пористости органического вещества;
- установлены закономерности формирования граничных слоев в системе «битум – органоминеральный порошок», которое происходит по типу комплексно-

гетерополярных соединений; тяжелые металлы с поливалентными катионами ОМП образуют с анионами органических кислот битума стойкие хелатные соединения, что приводит к повышению физико-механических характеристик асфальтобетона;

– с использованием экспериментально-статистического моделирования установлены оптимальные концентрационные соотношения в системе «нефтяной дорожный битум – органоминеральный порошок – минеральные частицы щебня и искусственного песка», что позволяет получить асфальтобетоны с физико-механическими свойствами, которые соответствуют нормативным требованиям.

Практическое значение полученных результатов.

Применение органоминерального порошка в асфальтобетоне позволяет расширить сырьевую базу минеральных порошков, используемых для производства асфальтобетонных смесей с нормативными значениями физико-механических свойств асфальтобетонов, и обеспечить более широкое использование техногенного сырья в дорожном строительстве, а также снизить затраты на строительство и эксплуатацию автомобильных дорог.

Разработаны «Рекомендации по использованию органоминерального порошка из осадка сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей».

Экспериментальная полупромышленная апробация в дорожно-строительном предприятии Краснолучского ДЭРСУ и ООО «Лугансквода» при строительстве участка объектной дороги по улице Малютин в городе Антрацит свидетельствует не только о рациональном техническом решении, но и об экономической эффективности использования органоминерального порошка в составе асфальтобетонных смесей, которая составила 2084,55 руб/т.

Результаты работы используются при подготовке специалистов в ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени В.Даля» и ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» при подготовке специалистов по направлению 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» в дисциплинах «Строительные материалы. Спецкурс» и «Физико-химическая механика строительных материалов» в разделах «Асфальто-

полимербетоны с модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой» и «Основы физико-химической механики асфальтобетонов».

Методы исследования. Стандартными методами исследованы физико-химические свойства органоминерального порошка; процессы взаимодействия на поверхности раздела фаз “органоминеральный порошок – нефтяной дорожный битум” изучены оптической и электронной микроскопией, атомно-адсорбционными и рентгеновскими методами.

Структурирующую роль органоминерального порошка в системе “битум – минеральный порошок” исследовано методом конической пластометрии; оптимальные концентрационные соотношения в асфальтобетонной смеси определяли с использованием экспериментально-статистического метода планирования эксперимента.

На защиту выносятся:

- результаты исследования физико-химических свойств осадков сточных вод и органоминерального порошка из ОСВ;
- физико-химические процессы взаимодействия органоминерального порошка с нефтяным дорожным битумом;
- результаты определения физико-механических свойств дорожных асфальтобетонов, содержащих в своем составе органоминеральный порошок;
- «Рекомендации по использованию органоминерального порошка из осадка сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: результатами экспериментальных исследований, выполненных с применением современных методов исследований; адекватностью экспериментально-статистической математической модели зависимостям физико-механических свойств асфальтобетона от концентрации битума и органоминерального порошка из осадков сточных вод; соответствием результатов эксперимента теоретическим предпосылкам.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы доложены на: Международной научной конференции «Планета – наш дом» (Алчевск, ДонГТУ, 2011 г.); Конференции «Магия науки» (Луганск,

ЛНАУ, 2011 г.); Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы промышленного, гражданского и подземного строительства» (Алчевск, ДонГТУ, 2011 г.); Ежегодной конференции студентов и сотрудников кафедры строительных конструкций и материалов (Алчевск, ДонГТУ, 2011 г.); Научно-технической конференции (Луганск, ЛНАУ, 2012 г.); Международной научной конференции «Планета – наш дом» (Алчевск, ДонГТУ, 2012 г.); II Международной научно-технической конференции «Научно-прикладные аспекты автомобильной и транспортно-дорожной отраслей» (Луцк, ЛНТУ, 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы физико-химического материаловедения» (Макеевка, ДонНАСА, 2013 г.); I региональной научно-практической конференции «Возрождение, экология, энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий Донбасса: традиции и инновации» (Луганск, ИСАиЖКХ ЛГУ им. В. Даля, 2016 г.); II региональной научно-практической конференции «Возрождение, экология, энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий Донбасса: традиции и инновации» (Луганск, ИСАиЖКХ ЛГУ им. В. Даля, 2017 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 17 научных работах, в том числе в 9 работах в рецензируемых научных изданиях (8 работ опубликованы в изданиях, входящих в перечень специализированных научных журналов, утверждённых МОН Украины; 1 – в издании, входящем в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденных ВАК РФ), 1 патент Украины, 3 – публикации по материалам конференций, 4 – в других изданиях.

Общий объем публикаций – 10,32 п.л., из которых 4,14 п.л. принадлежат лично автору.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы составляет 148 страниц, в том числе 114 страниц основного текста, 12 полных страниц с рисунками и таблицами, 18 страниц списка использованных источников, 4 страницы приложений.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

1.1 Роль минерального порошка в формировании структуры асфальтобетона

Под структурой асфальтобетона понимают пространственное взаиморасположение его составляющих и их физико-химические взаимодействия на поверхности раздела фаз “органическое вяжущее – минеральные материалы”. Размер, форма, характер поверхности и относительное расположение минеральных частиц определяет макроструктуру асфальтобетона, а под структурой битума в составе асфальтобетонной смеси понимают особенности его распределения в асфальтобетоне (соотношение содержания свободного и сорбированного битума) и сам характер строения пленок битума на поверхности минеральных зерен [3].

Исследователи [4, 5] рассматривают структуру асфальтобетона принципиально на двух уровнях: микро- и макро-. На макроуровне это структура минерального остова, представленного частицами песка и щебня, а на микроуровне – структура асфальтовяжущего вещества.

Контактная зона (зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов) является важнейшей составляющей обеих подструктур.

Разделение подструктур помогло установить взаимное влияние вяжущего и щебня на процессы формирования структуры и прочность, а также показало, что адгезионно-когезионно-эластические свойства адсорбционно-сольватных слоев органического вяжущего на поверхности минеральных материалов в значительной мере определяют физико-механические свойства асфальтобетона.

Основной структурообразующей составляющей бетонов на органических вяжущих является минеральный порошок (МП). М.И. Волков и И.М. Борщ [11] определили бинарную смесь «битум – минеральный порошок» как асфальто-вяжущее вещество.

В работах [7-12, 13-21] установлено, что адсорбционная активность минерального порошка определяется величиной удельной поверхности, химическим и минералогическим составом, количеством активных центров на поверхности МП, топографией, микрорельефом и чистотой поверхности.

В соответствии с вышеприведенными показателями качества, известно, что наибольшей структурирующей способностью обладают активные наполнители с размером частиц $(10-100) \cdot 10^{-6}$ м. При этом в составе минерального порошка должны быть частицы разных размеров, что определяется значением пустотности, которая должна быть не более 35% объёма после уплотнения порошка давлением 40 МПа. Чем меньше величина пустотности минерального порошка, тем меньше пустотность минерального остова бетона и меньший расход органического вяжущего.

По величине набухания (не более 2,5%) и значению битумоемкости, которая не должна превышать 65% косвенно судят о чистоте поверхности минерального порошка.

Порошок должен быть сухим (влажность не более 1% по массе), так как избыточная влажность снижает энергию взаимодействия между органическим вяжущим и поверхностью МП.

ДСТУ Б В. 2.7-121-2014 регламентирует показатели качества, в основном, МП из карбонатных горных пород, преобладающий заряд поверхности которых положительный (на поверхности МП повышенная концентрация катионов кальция). В свою очередь битумы содержат в своём составе асфальтогеновые кислоты, и поэтому известняковые МП интенсивно структурируют битум, возможно даже образование хемосорбционных связей с образованием кальциевых мыл.

Минеральные материалы, как адсорбенты разделяются на основные (или положительно заряженные) и кислые (или отрицательно заряженные) [22].

Высокодисперсные частицы активного минерального порошка являются структурными центрами и активными адсорбентами. Минеральный порошок асфальтобетонных смесей, подобно другим адсорбентам, показывает большие пределы адсорбционного насыщения и крутые изотермы адсорбции. Минералогический, гранулометрический и кристаллографический составы порошков обуславливают проявление этих свойств.

По энергетической способности могут быть выделены [22]:

- 1) группа минеральных порошков с высоким положительным потенциалом и большим количеством адсорбционных центров в виде катионов Ca^{+2} ; Mg^{+2} на поверхности частиц - кальцит, доломит, известняк;
- 2) группа минеральных порошков с высоким потенциалом отрицательного знака и значительным количеством адсорбционных центров в виде ионов кислорода O^{-2} – кварц, каолинит, кремистый песчаник, гранит;
- 3) минеральные порошки с пониженным потенциалом отрицательного знака в связи с наличием на поверхности частиц компенсирующих катионов разной валентности K^{+} , Na^{+} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} и прочие - полевые шпаты, мусковит, асбест, диабаз и др.;
- 4) минеральные порошки с преимущественно нейтральной поверхностью частиц – тальк, графит и др.

Минеральные порошки первого типа, которые имеют высокий положительный потенциал, являются активными по отношению к органическому вяжущему; второго типа – с высоким потенциалом отрицательного знака - инактивным. Активные функциональные группы органического вяжущего вещества при взаимодействии с активными порошками расходуются на образование соединений, прочно удерживающих органические молекулы на поверхности минерального порошка, и утрачивают свою первоначальную реакционную способность. Составляющие вяжущего типа масел могут либо адсорбироваться на поверхности (плотные минеральные порошки), либо

подвергаться капиллярной фильтрации внутрь минеральных частиц (пористые минеральные порошки).

Известняковый минеральный порошок является стандартным минеральным порошком с высокой структурирующей способностью и с большим количеством положительных адсорбционных центров (Ca^{2+}) [22]. Согласно исследованиям, наилучшими минеральными порошками являются порошки, получаемые в результате тонкого измельчения доломитов и известняков [3, 23-24]. Высокое качество этих порошков подтверждается как отечественным, так и зарубежным опытом строительства асфальтобетонных покрытий. В настоящее время из-за их дефицита часто используются порошки, полученные помолом других пород или промышленных отходов. Но сначала необходимо понять и разобраться в механизме взаимодействия между минеральным порошком и органическим вяжущим, для того чтобы использовать их в битумо-минеральных смесях без ухудшения их свойств. Так как в основном контакт происходит по поверхности раздела фаз, необходимо изучение свойств поверхностных слоев для понимания структуры и механизма взаимодействия минерального порошка с органическим вяжущим [25].

Кварцевый порошок имеет высокий энергетический потенциал, но с отрицательным знаком. В этом случае образуются хемосорбционные связи с вяжущим, осуществляемые через катионные группы. Тем не менее, таких групп в органическом вяжущем содержится немного, поэтому основной процесс в этой системе - физическая адсорбция [26].

Согласно вышеизложенному, свойства битумо-минерального материала определяются особенностями связей и зависят от свойств битума, толщины слоя, покрывающего минеральные зёрна, а также от процессов взаимодействия битума и минеральных материалов на их общей поверхности раздела, и обуславливаются деформациями, которые могут проявляться в виде повышенной хрупкости при отрицательных и повышенной пластичности при высоких положительных температурах.

На большей части территории Украины и Российской Федерации дорожное покрытие работает в условиях колебаний температур в пределах от минус 30 до плюс 60°C. Для обеспечения наибольшей долговечности дорожной одежды в этом диапазоне температур необходимо, чтобы битум был в упруго-пластичном состоянии.

Процессы химической адсорбции, происходящие на границе раздела фаз “битум - минеральный материал”, имеют наиболее важное значение при взаимодействии битума и минеральных материалов. Процессы физической адсорбции определяются природой адсорбирующегося битума и сферой действия ненасыщенных молекулярных сил поверхности твёрдого тела (минерального материала).

Адсорбция битума на поверхности минеральных материалов является в основном аполярной, физической [4]. Исследования показывают, что часто можно достичь полной десорбции “чистого” битума в асфальтобетонных смесях. Тем не менее, экспериментальные исследования подтверждают и наличие обменной гетерополярной адсорбции битума, которая характеризуется частичной необратимостью, медленно устанавливающимся равновесием, и даже хемосорбцией, при которой образуются полностью необратимые химические соединения, прочно связывающие минеральный остов с органическим вяжущим в пограничных слоях [4, 25].

Наиболее прочная связь достигается при химически фиксированной адсорбции с образованием на поверхности хемосорбционных соединений типа мыл, катион которых находится в решётке минерального материала, а анион - в составе битума [20].

Химическая адсорбция в межфазных контактах является наиболее устойчивой [20, 28]. Она возникает в результате хемосорбционных процессов при взаимодействии высокомолекулярных соединений с минеральным материалом. В работах [29-30] было подтверждено и развито это положение. Доказано, что устойчивость контакта битумных пленок с поверхностью минеральных частиц обеспечивается только при возникновении химических связей между ними. В

обычных условиях хемосорбционные процессы происходят при взаимодействии лишь некоторых минеральных материалов (преимущественно карбонатных горных пород) с активными битумами. Это объясняется тем, что при взаимодействии минерального материала, в состав которого входят катионы щелочноземельных и тяжелых металлов, и активного битума, анионы органических кислот битума соединяются с ними прочными химическими связями с образованием новых водонерастворимых соединений. При этом химическая связь полярных групп битума ориентирует углеводородные цепи от поверхности минерального материала, придавая ей гидрофобные свойства.

Взаимодействие катиона щелочноземельного (Ca^{2+} , Mg^{2+}) или тяжелого металла (Fe^{3+} , Al^{3+}), входящего в кристаллическую решетку минерального материала, с анионом высокомолекулярных органических кислот, находящихся в вяжущем материале является наиболее простым случаем хеoadсорбционной связи. Это взаимодействие приводит к возникновению хеoadсорбционной связи с образованием нерастворимого в воде поверхностного соединения типа кальциевых мыл. Влияние хеoadсорбционных взаимодействий на образование прочной и устойчивой связи минерального материала и битума было подтверждено в работах Р.А. Амброса [31], А.И. Лысихиной [32], А.С. Колбановской [33] при исследовании адсорбционного взаимодействия битумов с поверхностью минеральных материалов. Присутствие на поверхности минеральных материалов катионов тяжелых или щелочноземельных металлов и анионов кислых соединений в битуме благоприятно сказывается на образовании хеoadсорбционной связи. Таким образом, прочность сцепления определяется природой минерального материала и битума.

Исходя, из природы минерального материала и химического состава битума свойства его тонких слоев изменяются различно. На инактивной минеральной поверхности (гранит, кварц) прочность битума с уменьшением толщины слоя мало изменяется, на активной минеральной поверхности (известняк, доломит, мрамор) прочность битума в тонком слое возрастает с уменьшением его толщины [24, 34].

В первом случае прочность битумоминерального материала в значительной степени определяется когезией битума.

В случае активной поверхности с уменьшением толщины слоя битума происходят одновременно два процесса: ориентация слоя битума (или "обломков" его пространственной структуры) активной поверхностью с фиксацией в поверхностном слое, приводящая к повышению когезии и разрушению пространственной структуры битума, сопровождающееся уменьшением когезии.

В результате того, что для всех битумов на активной подложке наблюдается общее возрастание когезии с уменьшением толщины слоя, можно сделать вывод, что эффект ориентации элементов структуры битума поверхностью значительно превосходит эффект разрушения структуры.

Активность поверхности минерального материала определяется в значительной мере химическим составом битума, прежде всего наличием в его составе поверхностно-активных соединений, что проявляется в линейной зависимости меры активности от кислотного числа битума и содержания в нём асфальтенов. Активация поверхности минеральных материалов поверхностно-активными добавками, приводящая к возникновению на поверхности хеомадсорбционного взаимодействия битума и минерального материала, приводит к резкому возрастанию когезии битума с понижением толщины его слоя [33].

1.2 Использование побочных продуктов промышленности в качестве минеральных порошков

Дорожное строительство с устройством асфальтобетонных покрытий требует большого количества составляющих бетонных смесей. В связи с этим, возрастает потребность в дефицитных карбонатных минеральных порошках. Поэтому целесообразно рассмотреть исследования, направленные на изучение ряда побочных продуктов промышленности с целью использования их в качестве минерального порошка асфальтобетонов.

При нынешнем уровне потребления строительных материалов дорожным строительством имеет первостепенное значение использования и вовлечения вторичных материальных ресурсов. Комплексное использование отходов промышленности важно еще и потому, что оно связано с решением проблемы создания безотходных и экологически чистых промышленных технологий [36].

Во всем мире различные отходы производств нашли широкое применение в качестве компонентов асфальтобетонов: мелкого и крупного заполнителей, минерального порошка, вяжущих и модифицирующих добавок. Исходя из рассматриваемой научной задачи, считаем целесообразным проанализировать опыт изучения и применения побочных продуктов промышленности в качестве минерального порошка для асфальтобетонов.

В настоящее время изучены как минеральные: золы-уноса ТЭЦ, пыль-уноса цементных заводов, доломитовая пыль, распавшиеся металлургические шлаки (доменные, электросталеплавильные, ферросплавные и др.), шлам водоумягчения, фильтр-прессная грязь, содовый шлам, молотые мергели и известняки-ракушечники, отработанные формовочные смеси, серосодержащие отходы [13, 36-39, 40-55], так и органические: менилитовые сланцы, древесный гидролизный лигнин, кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида, резиновая крошка, битуминозные породы и др. [56-63].

Курнаевым М.А. было впервые предложено применение каменноугольной золы-уноса ТЭЦ в качестве минерального порошка [64]. Позже изучением зол-уноса для этих целей занимались Ястребова Л.А., Короткевич Н.Н., Ханина У.Г, [7, 16, 65] и другие учёные. Золо-уноса ТЭЦ - тонкодисперсный в основном однородного тёмного цвета порошок, иногда с примесями зёрен диаметром более $1 \cdot 10^{-3}$ м. Золо-уноса Донбасса характеризуются в среднем следующим зерновым составом: частные остатки на ситах №02 – 4-8%, №008 – 3,6-15%, остальное – менее $80 \cdot 10^{-6}$ м. Насыпная плотность 550-770 кг/м³. Содержание несгоревшего топлива от 4,9 до 38,2%. Химический состав, % мас.: SiO₂=42,5-48,2; Al₂O₃=8,3-32; CaO=1,6-4,1; MgO=0,2-3,5; Fe₂O₃=(Fe₂O)=0,8-19,8; SO₃=0,2-2,3; ппп=4,9-38,2 [37].

Невзирая на многочисленные исследования минерального порошка из зол-уноса этот материал не находит широкого применения из-за ряда отрицательных показателей качества, обусловленных химико-минералогическим составом частиц золы и ее строением. Золы состоят из частично аморфизированных и дегидратированных глинистых минералов и кварца, пустотелых шарообразных частиц глинистых минералов, частиц скоксованного или полукоксованного угля.

Повышенному расходу органического вяжущего в смеси способствуют зольные частицы, имеющие высокую внутреннюю поверхность. В частности, замена известнякового МП золой-уноса приводит к увеличению расхода битума в асфальтобетонной смеси более чем на 2,5% [38, 43].

Для улучшения физико-механических свойств асфальтобетонов с использованием золы в качестве минерального порошка предлагается: подвергать дополнительному помолу золу-унос; вводить в состав бетона не более 5-7 % от массы минеральной части; осуществлять гидрофобизацию; приготавливать смеси на жидких органических вяжущих [38, 66]. В результате помола золы ТЭЦ в шаровой мельнице битумоёмкость МП снижается с $75,5 \text{ г/см}^3$ до $65,5 \text{ г/см}^3$, а пористость уменьшается до 17,5% [38].

Целесообразность применения в качестве МП серусодержащих отходов показана в работах [67-71]. Так, применение серного шлама Горловского ОАО «Стирол», содержащего 45-75% элементарной серы, 12-40% CaO, 4-8% SiO₂, 3-7% железа и марганца в качестве минерального порошка для дёгтебетонных смесей позволило значительно повысить качество дёгтеполимербетона. Жёсткость дёгтеполимерсеробетона при 60⁰С, определённая по методу Маршалла, 11,37 кН/мм в два раза выше, чем у горячего дёгтебетона (ГОСТ 25877) 5,52 кН/мм [55]. Дёгтеполимербетон сдвигоустойчивее традиционных горячих дёгтебетонов.

Также в качестве минерального порошка используется пыль-уноса вращающихся печей цементных заводов, улавливаемая электрофильтрами. Она содержит частицы размером менее $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$ и не требует дополнительного измельчения. В составе цементной пыли содержатся следующие вещества,

% мас.: $\text{CaO}=41-45$; $\text{SiO}_2=1,5-17$; $\text{Al}_2\text{O}_3=3,5-4$; $\text{Fe}_2\text{O}_3=3,5-4,0$; $\text{MgO}=0,7-1,7$; $\text{SO}_3=1,4-2,9$; $\text{Na}_2\text{O}=0,4-0,6$; $\text{K}_2\text{O}=1,4-3,5$.

Цементная пыль обладает вяжущими свойствами. Предел прочности при изгибе 5-6 МПа, а предел прочности при сжатии цементного камня составляет 8-12 МПа. Насыпная плотность цементной пыли 680 кг/м^3 , истинная плотность - 2620 кг/м^3 . Начало схватывания 1,5 ч, конец 4-5,6 ч. Выполнены исследования пыли-уноса цементных печей как минерального порошка [37, 72-75]. Испытание на равномерность изменения объема выдерживает.

Бахрахом Г.С. выполнено более детальное изучение цементной пыли как минерального порошка [51]. В бетонах на органических вяжущих в качестве минерального порошка рекомендована цементная пыль многих заводов.

В то же время пыль-уноса цементных печей интенсифицирует процессы старения асфальтобетона, что дает возможность сделать вывод о нецелесообразности использования её в качестве минерального порошка [43]. При этом, в работе [43] отмечается, что мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), содержащий в качестве минерального порошка пыль-уноса цементных печей в количестве 8 м.ч. минеральной части характеризуется средней плотностью – 2350 кг/м^3 , водонасыщением – 1%, набуханием 0,3%, пределом прочности при сжатии при 50°C $R_{50}=1,4$ МПа, при 20°C $R_{20}=4,5$ МПа, коэффициентом водостойкости при длительном водонасыщении 0,9-1,0.

В Донбассе, ряд дорожно-строительных организаций накопили положительный опыт применения в асфальтобетонах в качестве МП – доломитовой пыли [37, 38, 43]. Доломитовая пыль – побочный продукт образующийся в процессе обжига и рассева доломита, используемого в металлургическом производстве в качестве флюса. Зерновой состав доломитовой пыли, характеризуемый частными остатками на ситах с размером отверстий $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ составляет, %: $1,25=10-11$; $0,63=14-16$; $0,315=10-13,2$; $0,14=2,2-10,9$; $0,071=6,2-12,3$; менее $0,071=40,3-91,6$. Химический состав доломитовой пыли находится в пределах, % мас.: $\text{SiO}_2=1,96-3,8$; $\text{Al}_2\text{O}_3=1,73-1,9$; $\text{Fe}_2\text{O}_3=0,33-1,82$; $\text{CaO}=37,3-50,15$; $\text{MgO}=3,92-23,0$; $\text{SO}_3=0,11-1,47$; ппп= $30,14-41,6$. Истинная плотность доломитовой пыли $2710-2840 \text{ кг/м}^3$,

средняя плотность 1610-1890 кг/м³, пористость после уплотнения под нагрузкой 40 МПа 30,2-41,4%, коэффициент гидрофильности 0,86-0,96. Физико-механические свойства мелкозернистого асфальтового бетона, который содержит в своём составе 25% доломитовой пыли следующие: средняя плотность 2190 кг/м³; водонасыщение – 2,33%; набухание – 0,32%; предел прочности при сжатии при 50⁰С R₅₀=1,5 МПа; при 20⁰С R₂₀=4,15 МПа [75, 76].

Однако без дополнительной обработки и улучшения свойств доломитовой пыли в качестве минерального порошка не позволяет получить асфальтобетон необходимого качества. При эксплуатации он разуплотняется – выкрашивается и шелушится. Причиной этого является значительное содержание в доломитовой пыли пережжённых свободных оксидов кальция и магния, которые при гидратации увеличиваются в объёме в 1,5-2 раза и вызывают большие напряжения растяжения в покрытии автомобильной дороги, ведущие к необратимым деформациям покрытия [75]. Для улучшения свойств доломитовой пыли автор считает целесообразным отказаться от использования в бетоне свежей доломитовой пыли и рекомендует домалывать её со смесью битума марки БН-II и полимеризата или других ПАВ.

Почапский Н.Ф. предлагает смешивать доломитовую пыль с золой-уноса, инертной пылью, шламом водоумягчения [38]. С целью улучшения качества доломитовой пыли предлагается её активировать канифолью [76].

В работе Базжина Л.И. [43] отмечается, что частицы доломитовой пыли представляют собой сростки кристаллов кальцита и доломита с частичным разрушением связей по плоскостям спайности в виде трещин, в которые могут проникать компоненты органического вяжущего. Ее высокая активность к компонентам битума и дёгтя обуславливается минералогическим составом доломитовой пыли, а по структуре частиц она относится к пористым МП. Асфальтобетон, содержащий в качестве МП доломитовую пыль, стареет более интенсивно, чем бетон с известняковым МП. Поэтому, для улучшения качества доломитовой пыли как МП необходимо длительно выдерживать её на открытом воздухе для гашения активных свободных оксидов СаО и MgO, либо подвергать

домолу с активацией поверхности поверхностно-активными веществами; наиболее целесообразно олигомерами – полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол и карбамидоформальдегидной смолой [77, 78].

Используемые в качестве минеральных порошков распавшиеся шлаковые частицы содержатся в отвалах металлургических заводов [79-81]. Так, в отсеве дробления отвального мартеновского шлака содержится 12-14 м.ч. с размером частиц менее $70 \cdot 10^{-6}$ м, характеризующихся следующим химическим составом, % мас.: $\text{SiO}_2=18-20$; $\text{Fe}=9,32-9,72$; $\text{Fe}_2\text{O}_3=4,09-4,41$; $\text{Al}_2\text{O}_3=4,05-4,41$; $\text{MnO}=8,12-9,14$; $\text{CaO}=36,43-38,83$; $\text{MgO}=6,82-7,89$; $\text{P}_2\text{O}_5=0,71-1,07$ [82].

Тем не менее, мелкодисперсные частицы отсева характеризуются внутриразвитой поверхностью, что приводит к неоправданному перерасходу вяжущего в составе битумоминеральной смеси. Содержание вяжущего в смеси составляет 14-14,5 м.ч. сверх 100 м.ч. отсева дробления отвального мартеновского шлака [82]. Вместе с тем, следует отметить высокую структурирующую способность распавшихся частиц шлака каменноугольного вяжущего. Это следует из рассмотрения физико-механических свойств дёгтеминерального бетона: средняя плотность 2550 кг/м^3 ; водонасыщение – 1,1%; набухание – 0%; предел прочности при температуре 0°C $R_0=10,4 \text{ МПа}$, при 20°C $R_{20}=5,0 \text{ МПа}$, при 50°C $R_{50}=1,6 \text{ МПа}$; коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении – 1,0. Таким образом, и мелкодисперсные частицы шлака необходимо подвергать дополнительному помолу с гидрофобизацией.

Данные, приведенные в работе [83] свидетельствуют о положительном воздействии домолы распавшихся порошкообразных шлаков металлургического марганца Запорожского завода ферросплавов. Шлаковый МП характеризовался следующими свойствами: частиц менее $71 \cdot 10^{-6}$ м 75%; удельная поверхность $184 \text{ м}^2/\text{кг}$; истинная плотность 2940 кг/м^3 ; битумоёмкость 81 г/100 см^3 ; набухание смеси МП с битумом 2,7%; водонасыщение 15,6%; коэффициент водостойкости 0,5. После измельчения шлакового МП до удельной поверхности $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ (количество частиц менее $71 \cdot 10^{-6}$ м более 98%) коэффициент водостойкости асфальтовяжущего составил 0,81, водонасыщение 11,4%, а битумоёмкость

повысилась до 139 г/100 см^3 . Активация же шлака двумя процентами топочного мазута привела к снижению битумоёмкости МП до 71 г/100 см^3 , пористости в уплотненном состоянии до 31%. Коэффициент водостойкости составил 0,86, а водонасыщение – 10,8%.

В качестве сырья для их производства МП целесообразно использование кремнезёмистых отходов промышленности и местного сырья: отработанные формовочные смеси (ОФС), флотохвосты, природные мелкие кварцевые пески, кислые шлаки. ОФС представляют собой кварцевые пески, прошедшие высокотемпературную обработку в процессе литья и сохранившие на своей поверхности остатки органических или неорганических связующих веществ. Профессор Я.Н. Ковалёв и А.В. Бусел внесли большой вклад в изучение отработанных формовочных смесей и практическое внедрение их в производство [39, 84-85]. Отработанные формовочные смеси относятся к мелкозернистым кварцевым пескам с модулем крупности зерен $M_K=1,1-2,2$; истинной плотностью $2500-2800 \text{ кг/м}^3$; насыпной плотностью $1300-1400 \text{ кг/м}^3$ и межзерновой пустотностью 45-50%. Они характеризуется лучшей смачиваемостью битумом, чем известняковые МП. Краевой угол смачивания на поверхности раздела фаз «отработанные формовочные смеси – битум» – 71° , а в системе «известняк – битум» – 61° при равной вязкости органического вяжущего.

В связи с тем, что осадки сточных вод являются органическими, то считаем целесообразным более детально рассмотреть органические порошкообразные отходы промышленности, а именно: кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида, менилитовые сланцы, древесный гидролизный лигнин, резиновая крошка, битуминозные породы. К тому же они характеризуются большими объёмами выхода.

Минеральные порошки, полученные из органических отходов производств, имеют широкую сырьевую базу. Они характеризуются высокой структурирующей способностью.

Кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида по структурирующей способности в 4-7 раз выше, чем традиционные МП. Предел прочности при

сжатию при 50°C дёгтебетона, содержащего в своём составе 7,5-12 м.ч. в минеральной части минерального порошка из кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида находится в пределах 4,8-7,0 МПа, в то время как дёгтебетоны, приготовленные на известняковом МП и каменноугольном дёгте равной вязкости (марка Д-6 по ГОСТ 4641-80), имеют значение предела прочности при сжатии при 50°C 0,8-1,0 МПа [60].

Кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида более интенсивно переводят в ориентированное состояние каменноугольное вяжущее вследствие возникновения на поверхности раздела «МП – каменноугольный дёготь» водородных связей между гидроксильными группами фталевого ангидрида и азотводородными пиридина, хинолина, акридина и других азотсодержащих соединений каменноугольных вяжущих, а также за счёт связывания свободных карбонильных групп с молекулами протоно-доноров дёгтя (фенол, пиролл, карбазол и др.) [63].

Особый интерес представляют исследования в области использования лигнинсодержащих отходов гидролизной и лесохимической промышленности в дорожно-строительной области [86-89].

В работе [88] приведены экспериментальные результаты исследования по получению композиционных вяжущих материалов на основе нефтяного битума и продуктов незавершенного производства лесохимической отрасли - скорлупы кедровых орехов (СКО), а также отстойной смолы пиролиза (ОСП) скорлупы кедровых орехов. Исследованы основные физико-химические свойства битума и асфальтобетонов, полученных с использованием указанных добавок.

Исследования модифицированного асфальтовяжущего с добавками СКО (1-10% по массе) показали, что введение скорлупы кедровых орехов в состав битума уменьшает его пенетрацию (при 25°C – 82 – 110 мм и 0°C – 17 – 32 мм), растяжимость (при 25°C – 51-88) и заметно повышает температуру размягчения вяжущего (48 – $53,5^{\circ}\text{C}$). Оптимальное содержание добавки СКО - 4-6%.

Физико-механические свойства асфальтобетона, который содержит в своём составе 6% СКО следующие: средняя плотность 2400 кг/м^3 ; водонасыщение –

1,76%; набухание – 0,45%; предел прочности при сжатии при 50°C $R_{50}=1,8$ МПа; при 20°C $R_{20}=3,8$ МПа.

Изучение физико-химических свойств битума с добавками отстойной смолы пиролиза (ОСП) скорлупы кедровых орехов показало, что добавка ОСП к битуму в количествах 1-4 % по мас. снижает его вязкость (при 25°C - 46 – 47,5°C) и приводит к повышению пенетрации (при 25°C-114 – 120 мм). Это свидетельствует о том, что добавки ОСП в данном случае выполняют роль пластификатора.

Физико-механические свойства асфальтобетона, который содержит в своём составе 1-4% ОСП следующие: средняя плотность 2450 кг/м³; водонасыщение – 2,01%; набухание – 0,42%; предел прочности при сжатии при 50°C $R_{50}=1,2$ МПа; при 20°C $R_{20}=3,3$ МПа.

Гидролизный лигнин представляет собой опилкоподобную массу с влажностью 65-70% [90]. По своему составу это комплекс веществ, в который входят собственно лигнин растительной клетки 40-88%, часть полисахаридов 13-45%, группа веществ лигногуминового комплекса 50-19%, зольные и другие вещества 0,5-10%.

Исследования гидролизных лигнинов показали, что состав их характеризуется в среднем следующим содержанием фракций: размером больше 250 мкм - 54-80%, меньше 250 мкм – 17-46%, меньше 1 мкм - 0,2-4,3%.

Он имеет истинную плотность 1,1-1,4 г/см³, насыпную плотность 0,3-0,4 г/см³, крупность от 0 до 40 мм, содержание кислот (в пересчете на серную кислоту) 0,5-1,5%, влажность 40-70%. Асфальтобетон, содержащий гидролизный лигнин характеризуется коэффициентом водостойкости – 0,96-1; плотностью – 2,33-2,40 г/см³; пределом прочности при сжатии при 20°C – 2,35-3,17 МПа, при 50°C – 1,20-1,82 МПа, при 0°C – 5,19 – 6,28 МПа; набухание, % по объему – 0,15 – 0,56.

Недостатками гидролизного лигнина являются также существенные (20-40%) потери лигнина за счет сгорания и экологическая опасность. Гидролизный лигнин содержит от 0,5 до 1,5% серной кислоты, поэтому в процессе даже его

частичного сгорания образуются летучие соединения серы, загрязняющие атмосферу. Кроме этого, получаемый на основе такого минерального порошка асфальтобетон имеет недостаточно высокую прочность при 50°C (предел прочности при сжатии при 50°C составляет 1,2-1,4 МПа) и недостаточно высокий коэффициент водостойкости.

Порошкообразный лигнин используется в качестве структурирующей добавки для активированного минерального порошка [91]. Активированный минеральный порошок содержит 4-15% гидролизного лигнина и 0,970 кг кварцевого песка. Пористость такого порошка составляет 27,4 – 28,2%; набухание – 0,6 – 0,9%; показатель битумоемкости – 41-51 г. Асфальтобетон характеризуется коэффициентом водостойкости при длительном водонасыщении – 0,97-1; пределом прочности при сжатии при 20°C – 3,1-3,5 МПа, при 50°C – 1,3-1,5 МПа, при 0°C – 8,3-9,0 МПа.

Недостатком этого способа является высокая стоимость асфальтобетонной смеси, связанная с большими энергозатратами на стадии приготовления активированного минерального порошка. При приготовлении минерального порошка требуется поддержание высокой температуры (180-200°C) в сушильном барабане и длительное пребывание минерально-лигнинной смеси в нем, так как требуется, чтобы сгорело не менее 20-40% введенного лигнина. Кроме того, после выхода из сушильного барабана полученный материал подвергается длительному измельчению в шаровой мельнице. Недостатками этого способа являются также существенные (20-40%) потери лигнина за счет сгорания и загрязнение окружающей среды.

Также в качестве минерального порошка, для асфальтобетонных смесей, могут быть использованы продукты водоочистки – осадки сточных вод (ОСВ).

Первые попытки использования осадка сточных вод в качестве минерального порошка были предприняты в Беларуси в конце XX столетия для производства асфальтобетонных смесей, в частности холодных смесей [91-94]. При производстве холодных асфальтобетонных смесей осадок использовался в натуральном виде и характеризовался влажностью 50-65%, а иногда 80%.

Истинная плотность ОСВ – $2,29 \text{ г/см}^3$, насыпная плотность – $0,75 \text{ г/см}^3$. Физико-механические свойства асфальтобетона следующие: предел прочности при сжатии при 20°C $R_{20}=1,3-1,6 \text{ МПа}$, коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении – $0,69-0,75$.

Наиболее полно вопросы утилизации осадков сточных вод в производстве асфальтобетонных смесей освещен в работе Бреуса Р.В. [2]. Им показана возможность использования этого органоминерального отхода в качестве компонента (аналога минерального порошка) горячего асфальтобетона. Истинная плотность ОСВ – $1,90-2,43 \text{ г/см}^3$, насыпная плотность – $0,74 - 0,75 \text{ г/см}^3$. Физико-механические свойства асфальтобетона, который содержит в своём составе ОСВ следующие: водонасыщение – $0,55-1,20\%$; набухание – $0,06-0,18\%$; предел прочности при сжатии при 50°C $R_{50}=1,65-3,3 \text{ МПа}$; при 20°C $R_{20}=6,1-8,0 \text{ МПа}$. Однако комплексные исследования в качестве минерального порошка использования органоминерального порошка из осадков сточных вод в составе асфальтобетонной смеси не выполнялись.

Выводы по разделу 1

1. Анализ работ И.М. Борща, В.И. Братчуна, Л.Б. Гезенцева, А.С. Колбановской, В.В. Ядыкиной, Т.И. Рыбьевой и др. показывает, что минеральный порошок является активной структурообразующей составляющей асфальто-бетонов и обеспечивает высокую сорбционную и энергетическую активность поверхности к органическому вяжущему. Это обусловлено высокой удельной поверхностью, химическим и минералогическим составом, количеством активных центров на поверхности МП, топографией, микрорельефом и чистотой поверхности.

2. В качестве минерального порошка применяются многие порошкообразные побочные продукты промышленности: золы-уноса ТЭЦ, доломитовая пыль, пыль уноса цементных печей, серусодержащие отходы, кубовые остатки

дистилляции фталевого ангидрида, отстойные смолы пиролиза, гидролизный лигнин и др. Однако, эти порошкообразные продукты уступают по качеству известняковому минеральному порошку. Большинство из них увеличивает расход органического вяжущего, имеют недостаточное сцепление с вяжущим, малую удельную поверхность или наоборот высокоразвитую внутреннюю поверхность и тем самым снижают долговечность покрытий нежестких дорожных одежд. Литературные данные о комплексных исследованиях и научном обосновании использования органоминерального порошка из осадков сточных вод в составе асфальтобетонной смеси не достаточны.

РАЗДЕЛ 2

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Предполагаемые процессы взаимодействия на поверхности раздела фаз “органическое вяжущее – органоминеральный порошок из осадков сточных вод”

Процессы взаимодействия на поверхности раздела фаз “органическое вяжущее – органоминеральный порошок из осадков сточных вод” являются решающим фактором структурообразования в битумоминеральных системах.

В структурообразовании контактных слоев особую роль играет микрогеометрия поверхности частиц [95, 96]. Наличие на поверхности частиц ребер, пиков, острых граней, а для физической адсорбции - “ям”, углублений, микротрещин является более благоприятным для хемосорбционных процессов.

В результате процессов выветривания и технологической переработки осадка, в зернах ОСВ появляется сеть трещин, направленная вдоль кристаллических осей, что способствует повышению энергетического потенциала сырья.

Указанные изменения, произошедшие в процессе метаморфизма, не могли не отразиться на состоянии и свойствах поверхности частиц осадка сточных вод, а именно на концентрации активных поверхностных центров, на которых, как известно [95, 97], происходят процессы адсорбции вяжущих.

ОСВ является многокомпонентной системой, состоящей из минеральных и органических компонентов. Поэтому при соприкосновении двух несмешивающихся фаз, наряду с адсорбцией могут происходить и другие поверхностные процессы [98, 99].

Исходя из химического состава лежалых осадков видно, что, они содержат два основных типа веществ: неорганические соединения, количество которых составляет около 79%, и органические соединения – около 21% [2].

Неорганические соединения осадков представлены преимущественно алюмосиликатами (монтмориллонит, каолинит), карбонатами, кварцем и кремнеземом.

В качестве органических веществ в ОСВ могут присутствовать: – жироподобные вещества (из жироловок); – трудно разрушаемые растворители и углеводороды особенно с гетероциклическими атомами или конденсированными ядрами; – трудно разрушаемые фосфорорганические соединения; – различные моющие средства, мыла общей формулы $R\text{-COONa}$, алкил-, арилсульфонаты – $R\text{-SO}_3\text{Na}$, мылонафты, соли нафтенных кислот типа на основе которых создаются синтетические моющие средства (СМС) [100].

Например, в технике широко использовались моющие средства, которые биологически не усваиваются: ОП-7, ОП-10, ОПС-Б, ОСС-М, ССБ, лигнин, лигносульфонаты и другие жесткие высокомолекулярные соединения (ВМС).

Строение гуминовых кислот очень сложное (рис. 2.1 [101]).

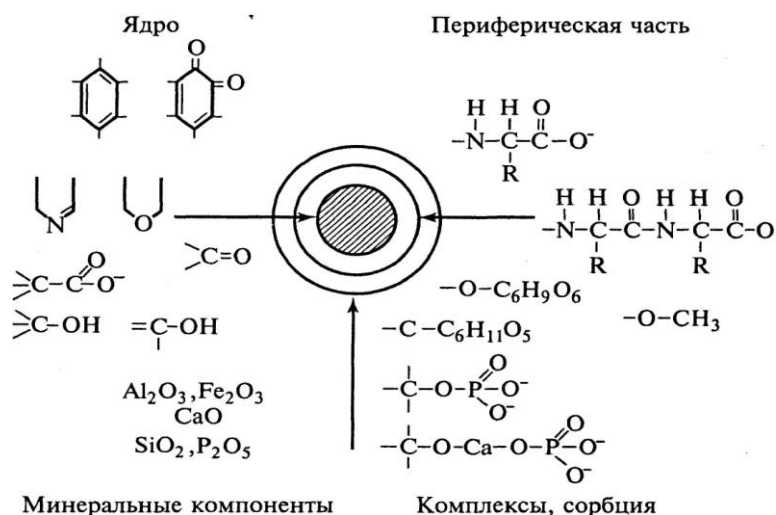


Рис. 2.1. Блок схема строения гуминовой кислоты

В состав гуминовых кислот входит ядро, представленное ароматическими шестичленными кольцами. Кольца несут хинонные и карбоксильные группы. Ядро окружено периферическими алифатическими цепями. За счет комплексо-

образования и сорбции гуминовая кислота содержит такие минеральные компоненты как железо, алюминий, кальций, фосфаты.

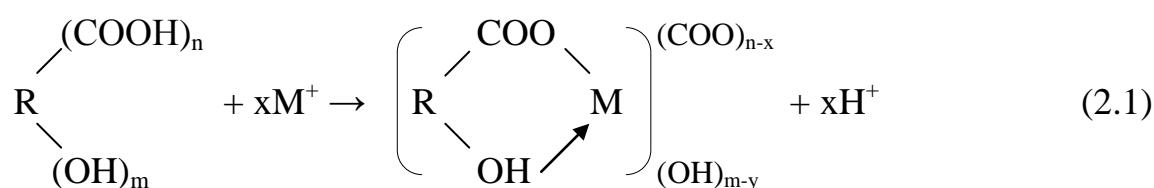
Как было сказано выше, органические вещества хорошо совмещаются с битумом. Особое внимание следует обратить на остатки синтетических моющих веществ, которые включают в себя алкил-, арилсульфонаты, лингинсульфонаты, углеводороды с гетероциклическими атомами или конденсированными ядрами, а также плохо разрушаемые фосфорорганические соединения и гуминовые вещества. К ним также относятся жесткие ПАВ катионного и анионного типа. Как указано в [100] «биологически жесткие» ПАВ удаляются в отстойниках не более чем на 40%. По этой причине очень велика вероятность нахождения таких ПАВ в ОМП. К их числу можно отнести такие анионные ПАВ:

- лецитин, биологическая разлагаемость (БР) $\approx 30\div 40\%$;
- нафталисульфонаты, к которым относятся смачиватель НБ (натрий бутилнафталин сульфонат $C_4H_9C_{10}H_6SO_3Na$), БР = 30% (10 мг/л); смачиватель СВ-101 (смесь натрия моно-, ди- и трибутил-1-нафталисульфонат $(C_4H_8)_n C_{10}H_6SO_3Na$, где $n = 1\div 3$, БР $\approx 30\%$;
- алкилароматические сульфокислоты и их соли: раствор ДС-РАС, БР $\approx 30\div 40\%$; пенообразователь ПО-1, БР $\approx 60\%$; ПО-1Д, БР $\approx 35\div 40\%$ (натриевые соли алкилароматических сульфокислот на основе керосина $C_nH_{2n+1}ArSO_3Na$, где $n = 8\div 12$); контакт Петрова (смесь сульфокислот), БР $\approx 35\div 40\%$ и т.д;
- сульфонаты карбоновых кислот, обладающие высокой БР $\approx 90\div 92\%$; алкилсульфаты, БР $\approx 90\%$ («Прогресс», оксанол-Л-3С, неотол ПФВ-3НС); мыла (карбоновые кислоты и их соли).

Вышеперечисленные ПАВ вполне могут принимать участие в образовании различных гетерополярных солей гумусовых кислот, комплексно-гетерополярных солей, адсорбционных комплексов [102].

Анализ элементного состава ОСВ показывает, что наибольшее количество составляют цинк, хром, медь, никель, свинец. В настоящее время установлено, что железо, алюминий и некоторые другие металлы образуют с гумусовыми

кислотами комплексные соединения хелатного типа [103]. В этих соединениях металл входит в состав анионной части молекулы и не способен к реакциям ионного обмена, а образует хелаты, реагируя одновременно с двумя группами гуминовых кислот, т.е. с образованием бидентатных хелатов. Л.Н. Александровой [104], показано, что взаимодействие ионов железа, хрома, цинка или алюминия с гуминовыми кислотами приводит к образованию комплексной соли, в которой металл входит в анионную часть молекулы по схеме:



где $\text{M} - \text{Fe}(\text{OH})_2^+, \text{Fe}(\text{OH})^{2+}, \text{Al}(\text{OH})_2^+$ или $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$.

Гумусовые вещества образуют соли и комплексные соединения как с алюминием, железом, кальцием, магнием, натрием, калием, но также с переходными металлами, которые выступают в ОСВ в роли микроэлементов или относятся к токсичным элементам, загрязняющих почву: хром, цинк, медь, никель.

Кроме этого, катионы тяжелых металлов участвуют в образовании адсорбционных комплексов непосредственно за счет межмолекулярных связей (собственно адсорбция) и за счет ионных или комплексных связей (хемосорбция).

Известно, что наличие даже небольших количеств алюминия повышает адсорбционную и химическую активность поверхности осадка, приводит к возникновению на нем чрезвычайно активных участков для адсорбции органических оснований [101]. Это является дополнительным свидетельством способности осадка активно взаимодействовать с битумом, так как в его состав входит 10,5% Al_2O_3 .

Среди возможных механизмов взаимодействия и образования соединений лигнинно-гумусных веществ со слоистыми силикатами ведущая роль принадлежит поливалентным катионам, особенно Fe^{3+} и Al^{3+} , способным одновременно образовывать связь и с анионом гумусовой кислоты, и с отрицательно заряженными группами на поверхности алюмосиликатов. На рис. 2.2 показана схема образования таких соединений посредством катионных мостиков [101]. Образующий мостик катион, может быть непосредственно связан полной связью с отрицательно заряженными группами (рис. 2.2 а) или одна из координированных катионов молекул воды образует водородную связь с кислородом карбонильной группы адсорбированного аниона (рис. 2.2 б).

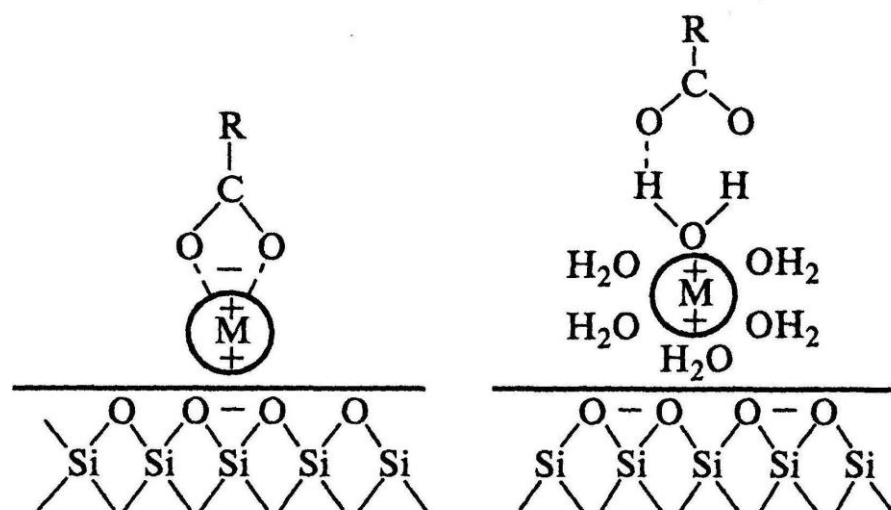


Рис. 2.2. Образование минералоорганических соединений посредством катионных мостиков

По влиянию на адсорбцию гумусовых кислот, катионы, образующие мостики, располагаются в ряд [101]:



В природных условиях формирование органоминеральных соединений происходит с участием различных видов связей [101-105]. При этом значительную роль играет собственно химическая связь, обуславливающая образование химически устойчивой многоатомной системы.

На рис. 2.3 приведена схема образования устойчивого органоминерального глиногумусового комплекса групп монтмориллонита, гидрослюд и каолинита с хемосорбционной и адгезионной связями [104].

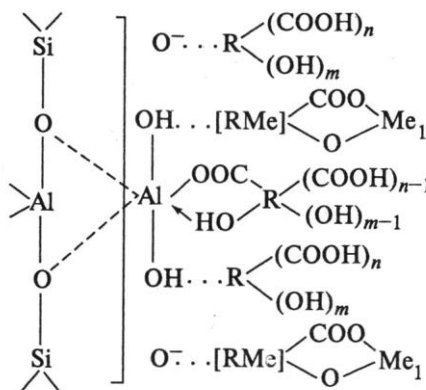
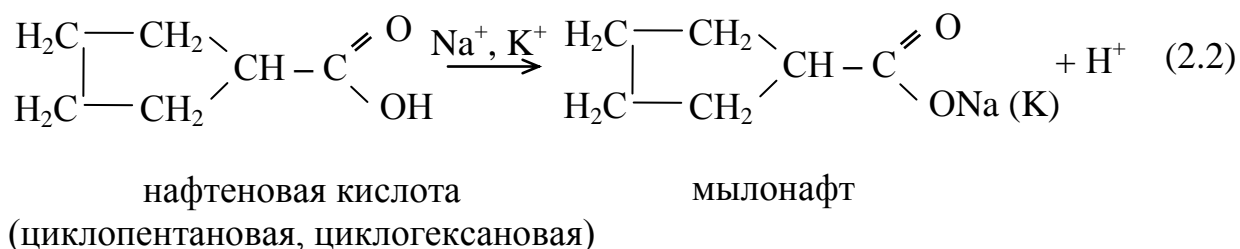
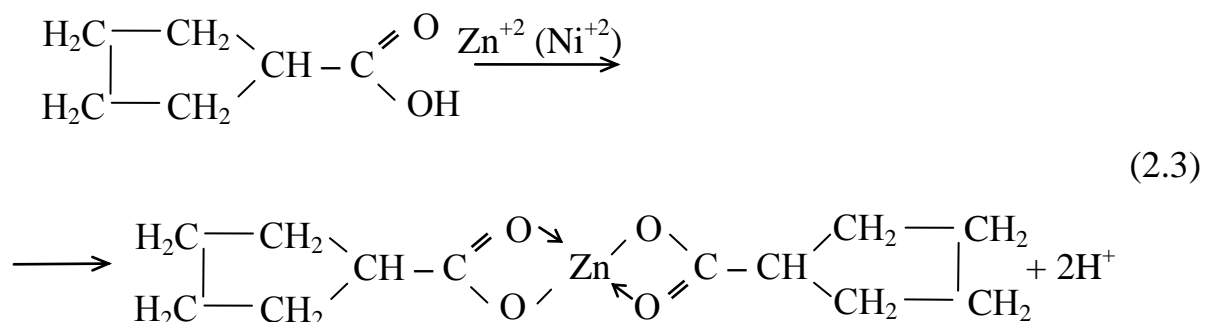


Рис. 2.3. Хемосорбционная (-) и адгезионная (...) связи органоминерального соединения

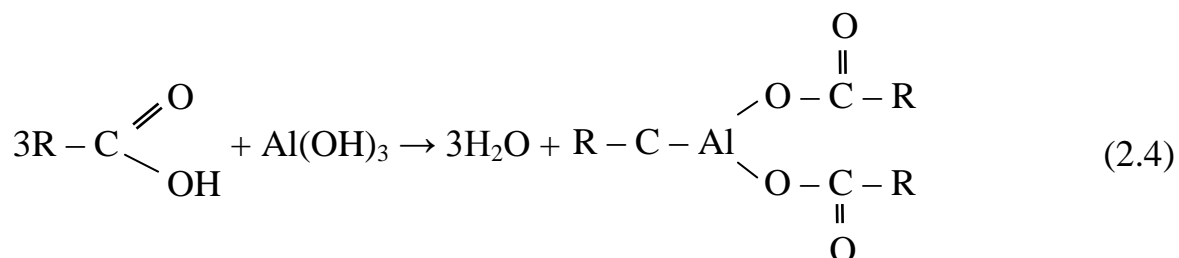
Соединения с металлами, исходя из минералогического состава ОСВ, а также с учетом состава битумной системы, могут выглядеть таким образом (на примере цикlopентановой или циклогексановой кислоты):



Вместо натрия, калия могут быть любые другие металлы, к которым можно отнести цинк, никель, хром, образующих внутрикомплексные соли с нафтеновыми кислотами, образование которых происходит [106] как за счет главной, так и за счет побочных валентностей, и не содержащие, кроме указанных адендов, никаких других групп, т.е. являющиеся не электролитами.



Кроме этих реакций, возможно образование элементоорганических веществ по схеме:



где R (C₅H₉- или C₆H₁₁-).

Таким же образом могут образовываться элементоорганические соединения Fe(OH)₃, Ni(OH)₂, Pb(OH)₂.

Из выше изложенного можно сделать вывод, что возможно достаточно интенсивное взаимодействие битума с поверхностью ОСВ, так как на границе раздела могут быть реализованы механические, физические, химические процессы, что обеспечит возникновение прочных и устойчивых адгезионных связей на границе раздела «битум - ОМП» и положительно отразится на свойствах асфальтобетона.

На основании анализа литературных данных [107-111, 112-114] можно сделать следующее заключение. Образованию тонких битумных пленок на минеральной поверхности предшествует ее смачивание битумом, величина которого определяется главным образом природой ОСВ и поверхностным натяжением на границе раздела фаз. Адгезия битумов с минеральной

поверхностью будет зависеть в основном от содержания высокомолекулярных ПАВ и условий их адсорбции на межфазной поверхности «битум–органика–минеральный материал» [115]. Адсорбция высокомолекулярных асфальтенов на межфазной поверхности выше, чем других соединений битума, причем она возрастает с увеличением их молекулярной массы. Кроме того, высокая адсорбционная способность асфальтенов по сравнению с другими компонентами битума, также объясняется их более ароматическим характером [116-119].

Улучшение свойств битума в обычных условиях достигается использованием дополнительных дорогостоящих ПАВ, усложняющих не только технологию приготовления асфальтобетонной смеси, но и повышающих ее стоимость. В случае же использования ОСВ, подобный эффект обеспечивается, за счет присутствия ПАВ в составе осадка сточных вод, и значительно удешевляется технология приготовления асфальтобетонной смеси. Следовательно, использование ОМП на базе ОСВ можно рассматривать как экономичный и ресурсосберегающий способ производства асфальтобетонных смесей.

2.2. Программа экспериментальных исследований

Для подтверждения высказанных теоретических предпосылок и экспериментальной проверки закономерностей структурообразования в органо-минеральном вяжущем веществе, оптимизации состава органоминерального вяжущего вещества, определения физико-механических свойств асфальтобетонов, получаемых на основе осадка сточных вод принята следующая программа исследований.

2.2.1. Обосновать материалы и методы исследований.

2.2.2. Исследовать физико-химические свойства осадка сточных вод с целью использования его в качестве органоминерального порошка.

2.2.3. Исследовать асфальтовяжущее на основе органоминерального порошка.

2.2.4. Оптимизировать и исследовать составы асфальтобетона с органоминеральным порошком.

2.2.5. Выполнить опытно-промышленную апробацию результатов лабораторных исследований.

Выводы по разделу 2

1. Органоминеральный порошок из осадков сточных вод представляет собой комплексное соединение алюмосиликатных минералов с органическим гумино-лигнинным комплексом, связанных между собой прочными хемосорбционными связями, имеет развитую сорбционную поверхность вследствие слоистого строения минеральной части и пористости органогенного вещества. Содержание в сорбированном состоянии на поверхности частиц тяжелых металлов обуславливает образование основных потенциальных центров, способных к активному взаимодействию с анионоактивными компонентами вяжущего.

2. Химическое взаимодействие на границе раздела “органоминеральное вещество – битум” происходит по типу комплексно-гетерополярных соединений, которые содержат металл в анионной части молекул и в виде способного к диссоциации катиона, что обеспечивает более высокое сцепление и адгезионную устойчивость.

3. Для подтверждения высказанных теоретических предпосылок и экспериментальной проверки закономерностей структурообразования в органоминеральном вяжущем веществе, оптимизации состава органоминерального вяжущего вещества, определения физико-механических свойств асфальтобетонов, получаемых на основе осадка сточных вод разработана программа экспериментальных исследований.

РАЗДЕЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Основные принципы организации и проведения исследований

Исследования проводились в следующих направлениях:

1. Натурные обследования иловых площадок и буртов складирования осадков сточных вод в г. Луганске (объемы, способы содержания ОСВ);
2. Изучение химического и минерального составов лежалых (депонированных) ОСВ, содержание в них ионов тяжелых металлов, радиоактивность, класс опасности;
3. Выполнение лабораторных исследований физико-химических свойств ОСВ и сравнение их с нормируемыми требованиями и свойствами минеральных порошков;
4. Изучение процессов взаимодействия минеральных порошков из осадков сточных вод с нефтяным дорожным битумом;
5. Исследование свойств асфальтовяжущих с порошковым наполнителем из ОСВ, золой из ОСВ (без органической составляющей), кварцевого МП и сравнение со свойствами известнякового минерального порошка;
6. Разработка составов асфальтобетонов с органоминеральным порошком и исследование их свойств и сравнение с аналогами на известняковом минеральном порошке;
7. Сравнительные исследования физико-механических характеристик асфальтобетонов на органоминеральном и известняковом минеральных порошках в зависимости от вида заполнителя (известняк и гранит);
8. Исследование коррозионной стойкости асфальтобетонов с использованием органоминерального порошка;
9. Опытно-промышленное внедрение асфальтобетона на органоминеральном порошке в дорожном покрытии и проведение наблюдений за ним.

3.2. Характеристика принятых для исследования материалов

Для проведения исследований использовались следующие материалы:

1. Осадок сточных вод г. Луганска (табл. 3.1);

Таблица 3.1

Результаты химического анализа ОСВ в отвалах станций биологической очистки (СБО) г. Луганска

Вид ОСВ		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
		содержание, %, масс									
ОСВ Октябрьской СБО г. Луганска	1	46,42	10,14	9,06	0,41	6,00	2,00	1,83	0,95	0,80	1,61
	2	46,30	10,05	9,25	0,40	6,10	1,94	1,84	0,95	0,80	1,60
	3	46,51	10,20	9,12	0,40	6,14	1,92	1,83	0,93	0,78	1,62
ОСВ Вергунской СБО г. Луганска	1	43,02	10,20	9,06	0,38	7,28	1,60	2,14	1,20	0,70	1,85
	2	42,98	10,15	9,00	0,35	7,20	1,40	2,13	1,20	0,70	1,80
	3	42,95	10,00	9,10	0,38	7,30	1,45	2,14	1,25	0,72	1,86

Для ОСВ Октябрьской СБО г. Луганска потери после прокаливания (п.п.п.) в среднем составляют 21,07% и pH = 7,29, а для ОСВ Вергунской СБО г. Луганска п.п.п. – 23,61% и pH = 7,17.

Затрудняющими факторами использования ОСВ при изготовлении образцов асфальтобетона в естественном виде, является их влажность 20-40%, загрязненность остатками растительности и мусора, а также слипание мелкодисперсных частиц при высушивании. Поэтому перед использованием в экспериментальных целях, ОСВ подвергали рассеву, сушке при постоянной температуре 105⁰С и измельчению, а затем уже использовали как органоминеральный порошок при производстве асфальтобетонной смеси.

2. Щебень и отсев дробления известняка (Мокрянское месторождение Запорожской обл.);

Таблица 3.2

Характеристики минеральных материалов

Характеристика	Показатель
1	2
Щебень 5-20	
Марка	1200
Место происхождения	Мокрянский карьер, Запорожская обл.
Дробимость, %	11,3
Истираемость, %	26,0
Содержание глинистых и пылеватых частиц, %	0,7
Содержание зерен лещадной формы, %	20,0
Песок из отсевов дробления щебня	
Марка	1200
Место происхождения	Мокрянский карьер, Запорожская обл.
Содержание глинистых и пылевидных частиц, %	0,21
Набухание, %	0,68
Модуль крупности, %	2,9

3. Щебень и отсев дробления гранита (Кораньское месторождение Донецкой обл.);

4. Порошковые материалы: известняковый минеральный порошок, органоминеральный порошок из ОСВ, зола ОСВ, кварцевый порошок (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Гранулометрический состав используемых материалов для изготовления образцов асфальтобетона

Наименование материалов	Содержание зерен, % мельче, мм (частные остатки)										
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Щебень фракции 5-20	19	не опр.	62	17	1	0	не опр.	0	1	0	0
Песок из отсева дробления щебня	—	—	1	5	31	17	10	12	12	7	5
Осадок сточных вод из отвала №12 КОС г. Луганска	—	—	—	—	—	—	1	1	26	34	38

5. В качестве вяжущего использовались битумы: БНД 60/90, БНД 90/130 и БНД 130/200 [120]. Испытывали образцы асфальтобетона одного гранулометрического типа В, а именно: щебень – 35%, песок из отсеков дробления щебня – 59%, порошок ОСВ – 6%. Согласно полученным результатам (табл. 3.4), принят битум БНД 60/90.

Таблица 3.4

Физико-механические свойства образцов асфальтобетона, приготовленных на минеральном порошке из ОСВ, содержащие битум различных марок

Вид минерального порошка	Марка битума	Плотность, кг/м ³	Водонасыщение, %, по объему	Набухание, %, по объему	Предел прочности при сжатии, МПа	
					R ₂₀	R ₅₀
1	2	3	4	5	6	7
ОМП	БНД 60/90	2270	1,22	0,18	3,8	1,5
	БНД 90/130	2240	2,98	0,36	3,6	1,4
	БНД 130/200	2200	4,65	0,70	3,1	1,2
Известняковый минеральный порошок [147]	Для всех	—	1,0÷3,5	0,5÷0,85	2,2÷2,6	1,1÷1,3

Битум БНД 60/90 Лисичанского НПЗ, удовлетворяет требованиям ДСТУ 4044-2001 “Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия”. Данные показателей качества битума БНД 60/90 приведены в табл. 3.5.

Свойства применяемого битума

Показатели	Требования ДСТУ 4044	Фактически
1	2	3
Глубина проникания иглы, 0,1 мм при 25 ⁰ С	61-90	63
Растяжимость при 20 ⁰ С, см	55, не менее	72
Растяжимость при 0 ⁰ С, см	3,5, не менее	5
Температура размягчения, ⁰ С	47, не ниже	48
Температура хрупкости, ⁰ С	-15, не выше	-17
Изменение температуры размягчения после прогрева, ⁰ С	5, не более	3
Индекс пенетрации	от -1,0 до +1,0	-0,4
Массовая доля водорастворимых соединений, %	0,30, не более	0,15

3.3. Принятые методы экспериментальных исследований

Аналитические исследования массового содержания солей тяжелых металлов в осадке сточных вод выполнено на спектрографе СТЭ-1 с приставкой УСА-6 [121-122], а также на атомно-абсорбционном спектрометре «САТУРН-2».

Потери при прокаливании определяли гравиметрическим методом. По величине потерь при прокаливании осадка судили о суммарном содержании в пробе гидратной и кристаллизационной воды, карбонатов, органических веществ, а также об алгебраической сумме различных прибылей и убылей в массе, происходящих при окислительно-восстановительных процессах.

рН среды осадков, определяли по ГОСТ 27979-88 [123] и ГОСТ 26483-85 [149] потенциометрическим методом. Определяли электродвижущую силу, которая возникает при опускании в суспензию осадка (водной или солевой вытяжки) двух различных электродов: измерительного и электрода сравнения.

Вытяжка готовилась при взаимодействии осадка с водой (водная) или с 1М раствором KCl (солевая) при отношении пробы осадка к раствору 1:2,5.

Рентгенофазовые характеристики ОСВ получены на рентгенустановке ДРОН-3 при следующих параметрах: напряжение 40 кВ, ток накала 30 мА, скорость повышения температуры 4 град/мин, катод Cu-23. Расшифровка рентгенограмм выполнена по [124, 125].

Для определения макросостава ОСВ использовали объемные, фотометрические, весовые способы определения в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-247:2010 [126]. Результаты сравнивали с аналогичными характеристиками минерального порошка согласно ДСТУ Б В.2.7-121-2014 [127].

Структуру порошкообразных осадков сточных вод изучали микроскопическими методами. Электронно-микроскопические исследования выполнены на растровом электронном микроскопе JSM-T300 (Япония) с рентгеновским энергодисперсионным микроспектроанализатором Link 860-500 (Англия), при ускоряющем напряжении 20 КВ и силе тока $3,0 \times 10$ А (увеличение от 50 до 3500 раз) и последующей компьютерной обработкой результатов. Для получения снимков образцы готовились следующим образом: на подложку, с помощью токопроводящего клея (на основе серебра), наносился исследуемый материал – порошок ОСВ и сверху него наносился токопроводящий слой золота (1-2 монослоя).

Щебень из горных пород испытывали в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-75-98 “Будівельні матеріали. Щєбінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови”. Отсевы дробления известняка и гранита испытывали по ДСТУ Б. В.2.7-76-98 “Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт із відсівів подрібнення скельних гірських порід гірничо-збагачувальних комбінатів України. Технічні умови” и ДСТУ Б В.2.7-232:2010 “Песок для строительных работ. Методы испытаний”.

Минеральный порошок испытывали в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-121-2014 “Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови”. Битум испытывали по ДСТУ 4044-2001 “Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови”.

Для определения физико-механических характеристик согласно ДСТУ Б В.2.7-319:2016 образцы из асфальтобетонной смеси приготавливали из смеси непрерывного гранулометрического состава (табл. 3.6), подобранного в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-119-2011.

Таблица 3.6

Составы асфальтобетонных смесей, принятые для исследования

Тип смесей	Содержание фракций размером зерен, мм, мельче									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
В	-	100	98	67	52	39	25	18	13	8
Г	-	-	-	95	68	49	34	24	16	9

Минеральные материалы предварительно рассеивались для обеспечения постоянного гранулометрического состава асфальтобетонных смесей, а затем для каждой партии смеси из этих отдельных фракций составлялись минеральные части смеси. При испытаниях использовался битум БНД 60/90 Лисичанского НПЗ.

Образцы асфальтобетона изготавливали и подвергали испытаниям согласно принятым методикам ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [128]. Результаты испытаний сравнивали с требованиями ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [129].

При производстве асфальтобетонных смесей на АБЗ и строительстве экспериментальных участков, руководствовались инструкциями и нормативными документами, применяемыми при проектировании и устройстве дорожных одежд – ВБН В.2.3-218-186-2004, ДБН В.2.3-4-2015, НПАОП 63.21-1.01-09 [130-132]. Все технологические процессы осуществлялись на традиционном парке оборудования [133, 134].

Для получения достоверных экспериментальных данных результаты опытов обработаны методами математической статистики [135-138].

Значение адсорбции минеральными порошками битума из бензольных растворов определяли по следующей методике: в стеклянные колбы с притертыми пробками емкостью 200 мл помещали навески по 10 г испытуемых порошков,

которые заливали 100 см³ бензольным раствором принятых концентраций и встряхивали на специальной установке в течение одного часа.

Растворы битума готовились на химически чистом неполярном бензоле трех различных концентраций: 1 г/литр, 3 г/литр, 6 г/литр.

После встряхивания колбы с содержимым оставляли в покое на 24 часа, затем из каждой колбы отбирали часть раствора и центрифугировали до полного оседания частиц порошка. Из центрифугированных растворов отбирали пробы, для которых определяли концентрацию битума с помощью фотометра марки КФК - 3.

Величину адсорбции вычисляли по формуле:

$$q = \frac{C_1 - C_2}{m} \cdot \frac{\bar{V}}{g} \frac{\text{мг красителя}}{\text{г материала}}, \quad (3.1)$$

где C_1 – исходная концентрация, мг/мл;

C_2 – равновесная концентрация, мг/мл;

V – объем раствора, мл;

m – навеска материала, г.

По разности величин адсорбции и десорбции адсорбированного битума определяли количество битума, химически связанного с поверхностью порошков. Десорбцию производили в аппарате Сокслета чистым бензолом до полного осветления растворителя. О химическом взаимодействии минеральной поверхности и вяжущего судили по количеству битума оставшегося на поверхности минеральных частиц после десорбции.

Этот метод дает представление о процессах взаимодействия, происходящих на их общей границе раздела, однако не характеризует сцепление между битумом и минеральным материалом в сложных природных условиях, например, при воздействии воды. Поэтому, по методу адсорбции красителя — метиленового голубого А.С. Колбановской [24, 33], и весовому методу были определены показатели сцепления битума с поверхностью минеральных материалов.

При определении адсорбции красителя навеску материала помещали в стеклянную коническую колбу, заливали раствором красителя и встряхивали на встряхивающем столике ЭКРОС – 6410м.

Раствор отделяли от минерального материала центрифугированием и с помощью фотометра КФК-3 определяли его равновесную концентрацию.

После этого, по адсорбции красителя метиленового голубого определяли начальную поверхность, покрытую битумом, и поверхность, покрытую битумом после выдерживания образцов в кипящей воде в течение 30 мин.

Для минеральных материалов, не обработанных битумом, были приняты навески по 8 г, для минеральных материалов, обработанных битумом, величину навески выбирали исходя из содержания битума и смеси по формуле: масса минерального материала плюс масса битума, и составляла 8,56 г. Исходная концентрация красителя - 0,02 мг/мл, количество раствора 100 мл.

В работе [33] установлено, что сорбция красителя наиболее интенсивно происходит в первые минуты опыта и достигает максимального значения в течение первых 30 минут, поэтому для достижения условного адсорбционного равновесия с учетом особенностей исследуемых материалов битумо-минеральный материал и раствор красителя встряхивали 30 минут. По формуле 3.1 была рассчитана адсорбция красителя.

Отношение величины адсорбции красителя поверхностью битумированного материала q_n к величине адсорбции поверхностью исходного минерального материала q_0 дает долю “открытой” поверхности $S_0 = q_n / q_0 \cdot 100\%$. Отсюда относительная поверхность, покрытая битумом, $S_n = 100 - S_0$.

В определении способности вязкого битума удерживаться на предварительно покрытой им поверхности минерального материала при воздействии воды заключается весовой метод определения сцепления битума с минеральными материалами. Битумо-минеральную смесь, предварительно взвешенную с точностью до пятого знака, помещали в кипящую дистиллированную воду и выдерживали в течение 30 минут. Битум, отделившийся от смеси и всплывший на поверхность воды в процессе кипячения, снимали фильтровальной бумагой. Испытуемый материал по

окончании кипячения помещали в стаканы с холодной водой, где выдерживали в течение 3-5 минут, после этого смеси переносили на фильтровальную бумагу до полного высыхания. Сухой испытанный материал снова взвешивали. По результатам взвешиваний определяли коэффициент сцепления.

Сдвигоустойчивость. Сдвигоустойчивость асфальтобетона была определена исходя из максимальной нагрузки и соответствующих предельных деформаций стандартных цилиндрических образцов типа Г при двух напряженно деформированных состояниях: при одноосном сжатии и при сжатии по схеме Маршалла. После этого, был рассчитан лабораторный показатель сцепления при сдвиге асфальтобетонных образцов на исследуемых материалах.

Для каждого образца, испытанного на одноосное сжатие и на сжатие по образующей по схеме Маршалла, вычисляли работу A , Дж, затраченную на разрушение, коэффициент внутреннего трения асфальтобетона $tg\varphi$, лабораторный показатель сцепления при сдвиге C_l , МПа, по формулам 3.2 - 3.4.

$$A = \frac{Pl}{2}, \quad (3.2)$$

где P – разрушающая нагрузка, кН;

l – предельная деформация, мм.

$$tg\varphi = \frac{3(A_m - A_c)}{3A_m - 2A_c}, \quad (3.3)$$

где A_m , A_c – средняя работа деформирования образцов асфальтобетона при испытании соответственно по схеме Маршалла и при одноосном сжатии, Дж.

$$C_l = \frac{1}{6} R_c - 2tg\varphi R_c, \quad (3.4)$$

где R_c – предел прочности при одноосном сжатии, МПа.

Коррозионная стойкость. Коррозионную устойчивость асфальтобетона оценивали по длительной водостойкости - до 360 суток водонасыщения, и морозостойкости - до 50 циклов замораживания – оттаивания.

По ДСТУ Б В.2.7-319:2016 выполнены испытания длительной водостойкости и морозостойкости на асфальтобетонах типов В и Г. В качестве минеральной части использовались щебень и отсеvy дробления гранита, и известняка. Коэффициенты длительной водостойкости определялись через 15, 30, 60, 90, 180, 360 суток водонасыщения. Потерю прочности при сжатии после попеременного замораживания - оттаивания - через 5, 10, 20, 35 и 50 циклов.

В работах [29, 139, 140 и др.] показано, что кислые минеральные материалы ускоряют интенсивность процессов старения битума, поэтому представляет интерес изучение старения асфальтобетона на исследуемом минеральном материале, которое косвенно характеризует и процессы взаимодействия битума с поверхностью минерального материала.

Весьма сильное влияние на свойства асфальтобетона оказывает окисляемость битума в процессе формования образцов. Реологические характеристики битума после кратковременного пребывания его в зоне высоких температур при объединении с минеральным материалом изменяются значительно интенсивнее, чем после последующей девятнадцатилетней эксплуатации в дорожном покрытии, где температура не превышает 70°C. В исследованиях образцы формовались после 10, 20, 40 и 60 мин. выдерживания при температуре 155±5°C.

Также изучалось старение битума в асфальтобетоне в результате длительного термостатирования образцов при 160°C, так как этот метод испытаний, по мнению ряда исследователей, в том числе А.С. Колбановской и В.В. Михайлова [24] является наиболее жестким.

По изменению физико-механических показателей и динамического модуля упругости, определяемого акустическим методом, судили о старении битума. Для определения динамического модуля упругости были использованы образцы - балочки 4x4x16 см, которые испытывались ультразвуковым методом. После выдерживания образцов в течение одних суток были определены скорости

прохождения ультразвуковых колебаний (УЗК), затем образцы были прогреты при температуре 90°C до 450 часов и вновь определены скорости прохождения ультразвуковых колебаний. Измерения проводились с помощью ультразвукового прибора УКБ - 1М. По скорости УЗК рассчитывали динамические модули упругости и сопоставляли их значения.

Скорость прохождения продольных упругих волн в твердом теле зависит от двух его основных параметров — модуля упругости (E) и плотности (ρ), и выражается зависимостью:

$$E = v^2 \rho, \quad (3.5)$$

где E — динамический модуль упругости, МПа или кгс/см²;

v — скорость прохождения ультразвуковых волн, м/с;

ρ — плотность асфальтобетона, г/см³.

Также проводили апробацию результатов при строительстве автомобильной дороги. Были подвергнуты испытаниям асфальтобетонная смесь из смесителя и вырубки, отобранные через 10 дней, 1 и 2 года из асфальтобетонных покрытий на опытных участках автомобильной дороги, где в качестве минерального материала применялся щебень и песок из отсева дробления гранита. Оценку качества асфальтобетонного покрытия проводили как визуально, так и по результатам лабораторных испытаний.

Методом конической пластометрии выполнено исследование структурирующей роли минерального порошка, которое основано на кинетике погружения конуса в исследуемый материал под действием постоянной нагрузки. Определялось предельное напряжение сдвига.

При погружении конуса в испытуемый материал под влиянием нагрузки (P) происходит постоянное изменение напряжения сдвига. Оно изменяется от максимального в начальный момент погружения конуса, когда скорость его также

наивысшая, а вязкость материала наименьшая, что отражает наиболее высокую степень разрушения структуры. На завершающей стадии погружения, когда давление конуса полностью уравнивается реактивным напряжением, а скорость перемещения конуса практически равна нулю ($v \rightarrow 0$), действующее напряжение сдвига является минимальным, а вязкость наивысшей и характерной для этого материала при полностью сохранившейся его структуры.

Выводы по разделу 3

1. В качестве объектов исследований приняты: осадок сточных вод г. Луганска, предварительно подготовленный (рассев, сушка при постоянной температуре 105°C и измельчение); щебень и отсев дробления известняка Мокрянского месторождения Запорожской области, отвечающие требованиям ДСТУ Б В.2.7-75-98 и ДСТУ Б В.2.7-32-95 соответственно; щебень и отсев дробления гранита Караньского месторождения Донецкой области, отвечающие требованиям ДСТУ Б В.2.7-75-98 и ДСТУ Б В.2.7-32-95; известняковый минеральный порошок, отвечающий требованиям ДСТУ Б В.2.7-121-2014; битум БНД 60/90 Лисичанского НПЗ, отвечающий требованиям ДСТУ 4044-2001.

2. Испытания материалов, а также асфальтобетонной смеси выполнены в соответствии с нормативными требованиями.

Рентгенофазовый состав ОСВ определяли на установке “ДРОН-3”, структуру порошков исследовали на растровом электронном микроскопе ISM-M300. Показатели качества минерального порошка определяли в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-121-2014. Образцы асфальтобетона изготавливали и испытывали по ДСТУ Б В.2.7-319-2016, ДСТУ Б В.2.7-119-2011. Сдвигоустойчивость асфальтобетона определяли на приборе Маршалла. Коррозионную стойкость оценивали по ДСТУ Б В.2.7-319-2016 для асфальтобетона типа В и Г с крупным заполнителем из гранитного и известнякового щебня.

РАЗДЕЛ 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД И ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С БИТУМОМ

4.1. Исследование осадка сточных вод как материала для производства органоминерального порошка дорожных асфальтобетонных смесей

Осадки сточных вод – это конечный продукт очистки сточных вод. Они относятся к отходам IV класса опасности, обрабатываются на иловых площадках и складировются на специальных полигонах очистных сооружений. Общий объем накопленных отходов в Украине оценивается в пределах 0,5-1,0 млрд.т., который дискретно размещен по территории страны в пригородных районах [2]. Отличительной особенностью данного вида отходов является содержание в нем минеральной и органической составляющих, а также присутствие небольших количеств тяжелых металлов, которые и определяют токсикологическую опасность отходов.

Химический состав осадков городских сточных вод практически идентичен для различных городов и стран (табл. 4.1) [141, 142].

Данные таблицы 4.1 свидетельствуют о том, что основными химическими соединениями в составе ОМП, являются диоксид кремния – 35,7÷56,2%, оксид алюминия – 7,3÷12,1%, оксид железа (III) – 7,2÷13,9% и оксид кальция – 6,1÷13,2%, обуславливающие наличие на поверхности частиц, в основном, положительно заряженных ионов Fe^{+3} , Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} и отрицательных O^{2-} . Преобладающее количество указанных выше ионов определяет суммарный положительный и отрицательный заряды поверхности минеральных частиц. На этом основано разделение минеральных материалов по активности к битуму [143].

Таблица 4.1

Химический состав минеральной части осадков сточных вод

Город	Состав минеральной части, %									п.п.п. (органическая составляющая)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	ΣТМ*	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<u>Украина</u>										
Луганск	46,3	10,5	6,1	9,3	2,0	0,8	1,8	1,6	0,06	22
Макеевка	35,7	7,3	11,9	13,9	4,3	1,5	2,1	2,0	0,08	22
Донецк	43,8	8,9	12,5	7,2	3,6	1,8	2,4	1,8	0,07	20
<u>Россия</u>										
Новосибирск	56,2	10,4	6,4	6,0	4,5	-	4,5	2,7	0,05	≈10
Омск	54,6	9,6	13,2	6,8	3,4	1,7	-	-	0,06	≈10
Москва	55,3	12,1	7,6	6,5	3,9	1,2	2,2	1,7	0,07	≈10

*Примечание: ΣТМ – сумма тяжелых металлов: Hg, Pb, Cu, Mn, Ni, Cr, Co, Cd, Zn и др.

Депонированные осадки сточных вод (ОСВ) в естественном состоянии на площадках складирования имеют темно-бурый цвет, характеризуются естественной влажностью 18-60%, реакция солевой вытяжки $pH=6,95-7,55$. В высушенном при $105^{\circ}C$ осадки имеют показатель истинной и насыпной плотности: $\rho_0=2,1...2,31г/см^3$ и $\rho_n=0,75г/см^3$ соответственно.

Сухие осадки – полидисперсная система с содержанием частиц различных фракций, приведенных в табл. 4.2 и на рис. 4.1.

Таблица 4.2

Фракционный состав ОСВ

Размер фракций, мм	Количество, %
>50	0,15-0,5
50-0,1	2,45-46,15
0,1-0,05	0,21-41,44
0,05-0,01	15,81-55,6
0,01-0,005	0,88-25,29
<0,005	4,42-25,08

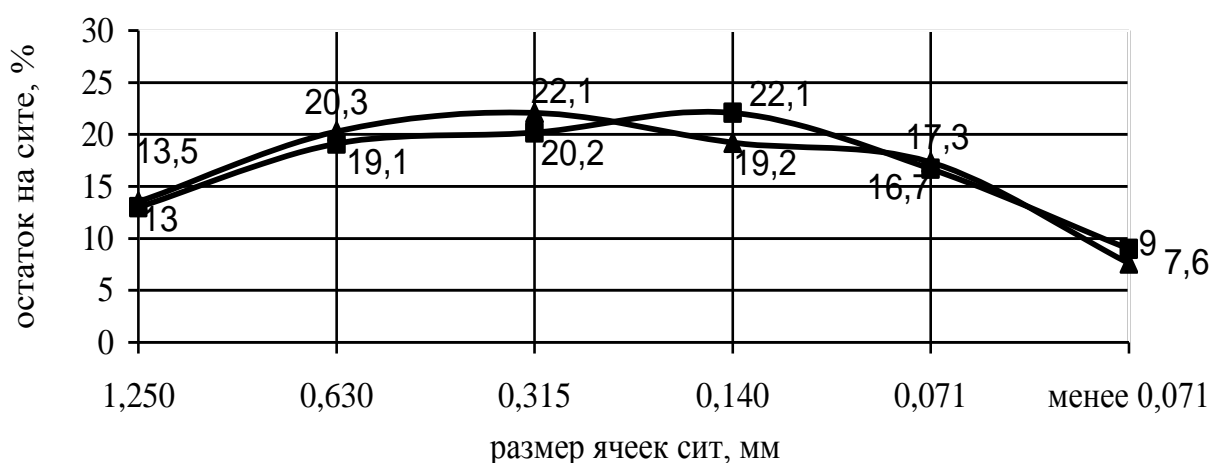


Рис. 4.1. Гранулометрический состав сухого осадка КОС г. Луганска:

—▲— ОСВ на иловых площадках —■— ОСВ в отвалах.

Подготовка осадков сточных вод заключалась в его сушке при 105°C и просеве через сито № 08, для получения порошкового материала, аналогичного минеральному порошку (МП) (рис. 4.2).

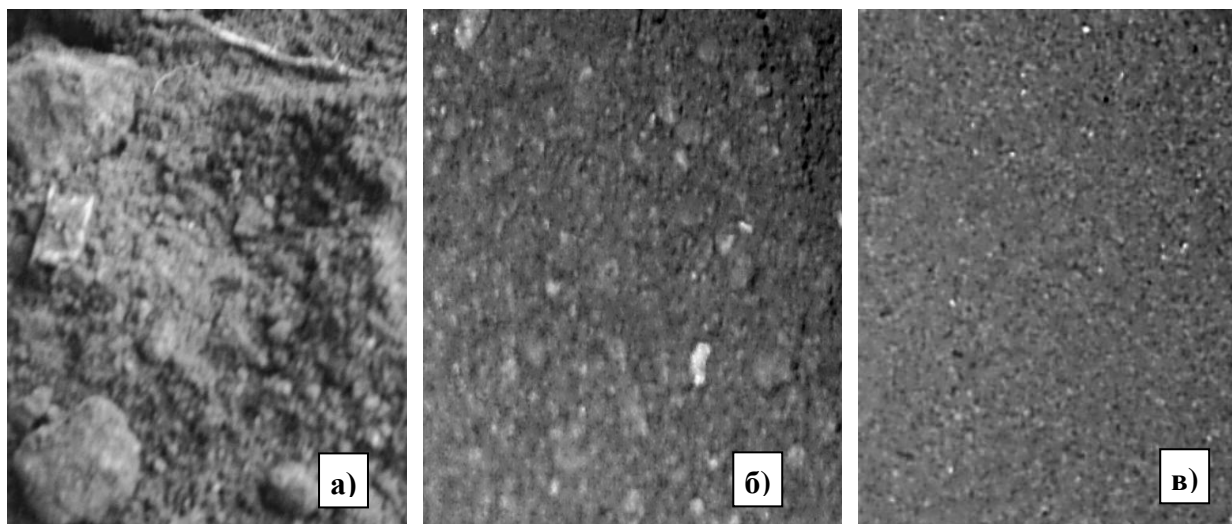


Рис. 4.2. Внешний вид ОСВ на различных этапах подготовки

а) в естественном виде; б) просеянный через сито 0,8 мм; в) полученный порошковый материал

Фазовый состав депонированного осадка приведен на рис. 4.3 и в табл. 4.3.

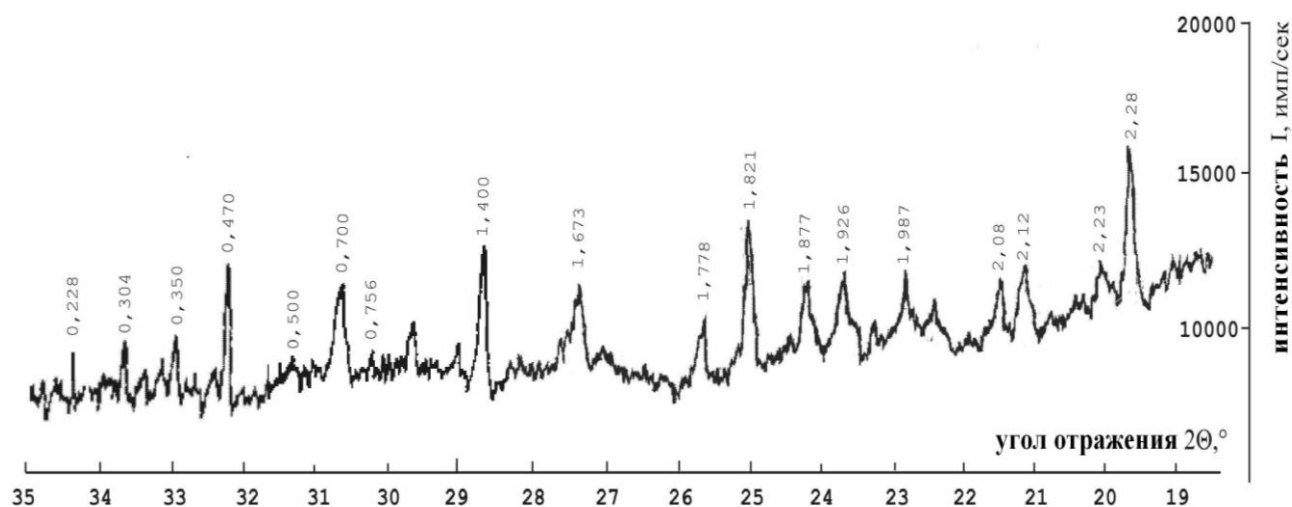


Рис. 4.3. Рентгенограмма минеральной составляющей ОСВ.

Результаты обработки рентгенограммы рис.4.3

Минерал	Формула	Межплоскостное расстояние d
Монтмориллонит	$(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Na} \dots)(\text{Al}, \text{Mg})_2 \times$ $\times (\text{OH})_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}] \times n\text{H}_2\text{O}$	1,40; 0,70; 0,47; 0,35
Кварц	SiO_2	1,87; 2,12; 2,28
Гидрослюда (иллит)	$(\text{Ca}, \text{Mg} \dots)(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}) \times$ $\times (\text{OH})_2[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}] \times 4\text{H}_2\text{O}$	1,673; 1,987; 1,821
Каолинит	$\text{Al}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	1,877; 1,926; 2,08
Кальцит	CaCO_3	0,28; 0,304; 0,756

Как следует из данных рентгенофазового анализа, минеральная часть осадков представлена преимущественно алюмосиликатами (монтмориллонит, каолинит, гидрослюда), карбонатами, кварцем и кремнеземом, то есть типичным набором элементов глинистых грунтов [144].

Растровая электронная микроскопия порошкового осадка (рис. 4.4, 4.5) дает представление о его частицах как о землистых агрегатах, что характерно для осадочных пород. Алюмосиликатные частицы (монтмориллонит, каолинит, гидрослюда) имеют отрицательный заряд (табл. 4.4), то есть обладают кислыми свойствами [101, 142, 144].

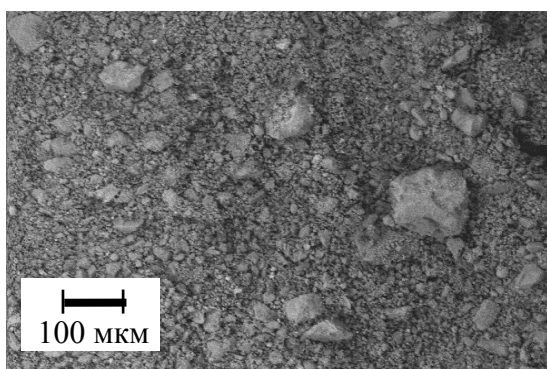


Рис. 4.4. Электронная микрофотография известнякового минерального порошка.

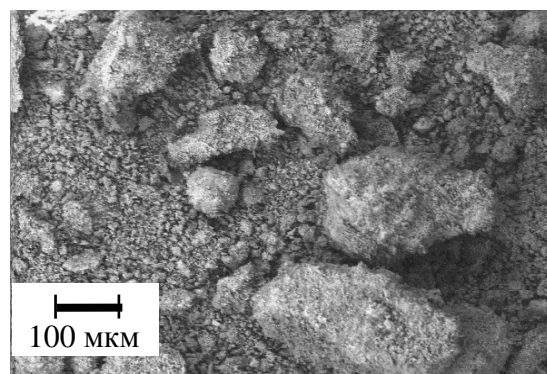
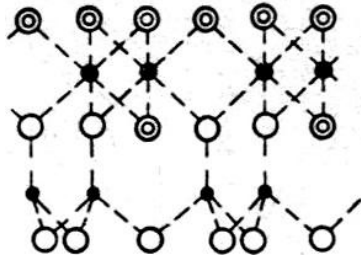
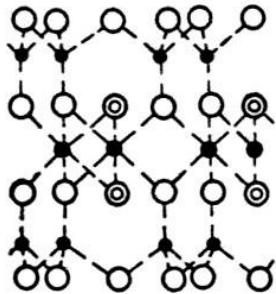
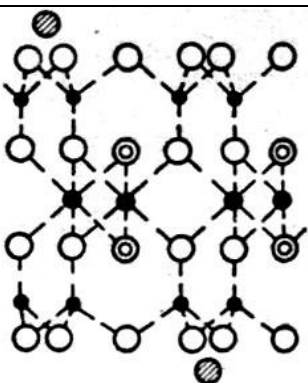
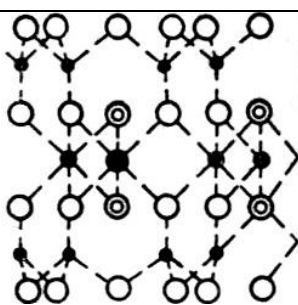


Рис. 4.5. Электронная микрофотография порошка из осадков сточных вод.

Структура и заряд алюмосиликатов

Наименование	Структура	Формула	Заряд
1	2	3	4
Каолинит		6 O 4 Al 4 O + 2 OH 4 Si 6 O	-12 +12 -10 +16 -12
Монтмориллонит		6 O 4 Si 4 O + 2 OH 4 Al 4 O + 2 OH 4 Si 6 O	- 12 +16 -10 +12 -10 +16 -12
Слюда (иллит)		1 K 6 O 3 Si + 1 Al 4 O + 2 OH 4 Al 4 O + 2 OH 3 Si + 1 Al 6 O 1 K	+1 -12 +15 -10 +12 -10 +15 -12 +1
Монтмориллонит замещенный		6 O 4 Si 4 O + 2 OH 3 Al + 1 Mg 4 O + 2 OH 4 Si 6 O	- 12 +16 -10 +11 -10 +16 -12

Как следует из таблицы 4.1, на долю органического вещества депонированных (лежалых) осадков приходится примерно 22%. Органическая составляющая представлена преимущественно сложным гумусо-лигнинным комплексом [101].

Вероятно присутствие и других органических веществ, являющихся трудно разлагаемыми и биологически не усвоенными.

В почвоведении продукт взаимодействия органического и минерального вещества называют органоминеральным соединением или органоминеральным веществом. На основании этого техногенный порошковый отход – осадок сточных вод, состоящий из комплекса минеральных и органических веществ и набора химических элементов в виде металлов назван в диссертационной работе, органоминеральным порошком (ОМП).

На рис. 4.6 – 4.9 приведены микрофотографии частиц органоминерального порошка.

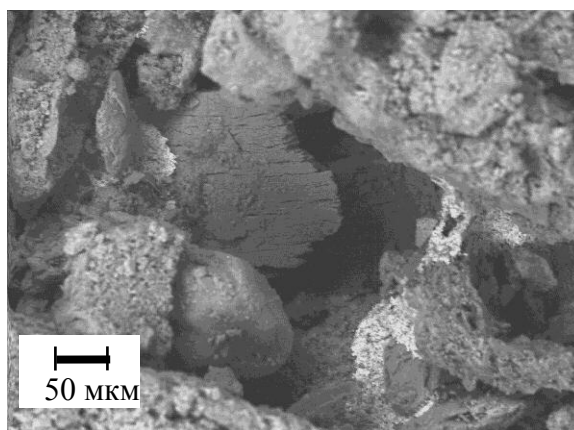


Рис. 4. 6. Частицы органогенного вещества осадка сточных вод в сухом состоянии – увелич. 200^x.

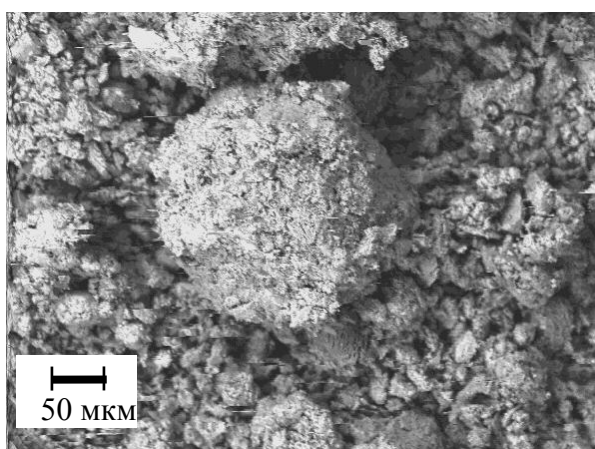


Рис. 4.7. Частицы органогенного вещества осадка сточных вод после прокаливания (зола) – увелич. 200^x.

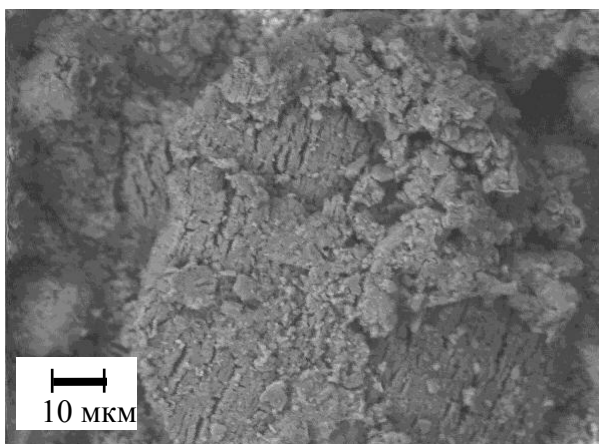


Рис. 4.8. Частицы органогенного вещества осадка сточных вод фрагмент поверхности частицы с адсорбированным веществом, увелич. $1000\times$.

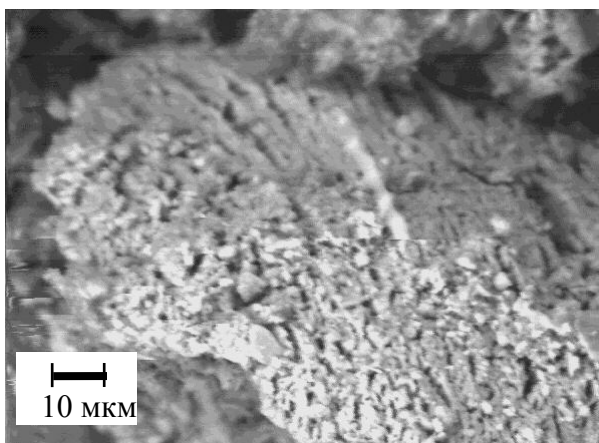


Рис. 4.9. Частицы органогенного вещества осадка сточных вод фрагмент поверхности золы – увелич. $1000\times$.

На микрофотографиях (4.6, 4.7) четко просматривается сорбированное органическое вещество на поверхности частиц, которое имеет развитую микропористость. После прокаливания осадка (рис. 4.8, 4.9) органическое вещество выгорает с обнажением губчатой поверхности минеральных частиц, что свидетельствует о том, что органическое вещество также находилось в каналах и порах минеральной частицы.

4.2. Исследование поверхностных явлений в системе «битум – органоминеральный порошок»

Взаимодействие битумных вяжущих и минеральных материалов является решающим фактором структурообразования в битумоминеральных системах. ОМП это многокомпонентная система, состоящая из минеральных и органических компонентов, поэтому при взаимодействии двух несмешивающихся фаз, наряду с сорбцией могут происходить и другие поверхностные процессы [13, 102].

На рис. 4.10 приведены результаты исследования изменения температуры размягчения битума структурированного известняковым минеральным и органоминеральным порошками.

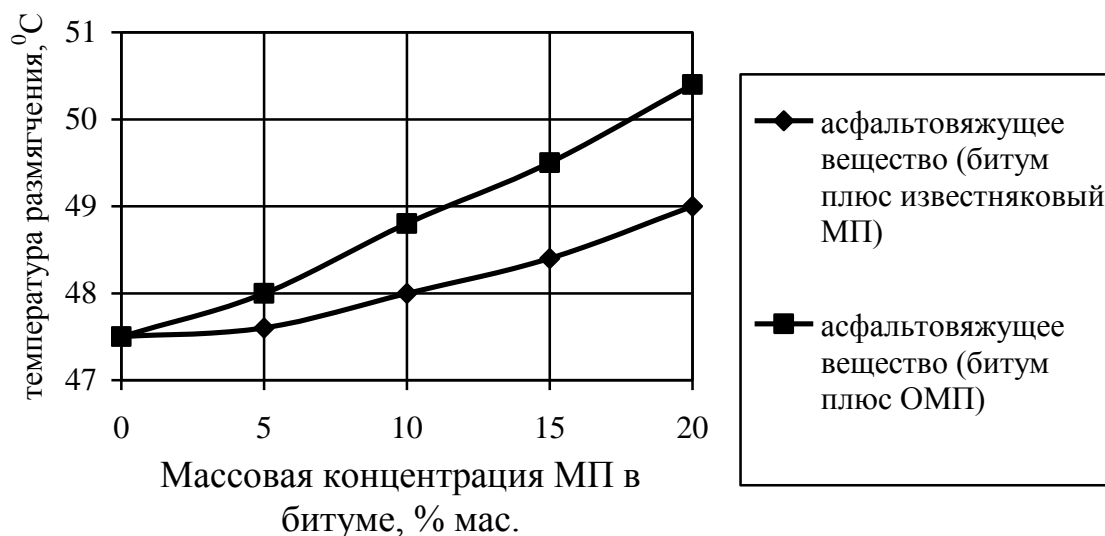


Рис. 4.10. Зависимость температуры размягчения асфальтовяжущего вещества от массовой концентрации минерального порошка

Как следует из рис. 4.10, температура размягчения битума при структурировании порошком из ОСВ выше, чем известняковым минеральным порошком.

4.3. Изучение адгезии нефтяного дорожного битума на поверхности органоминерального порошка

Для исследования приняты четыре вида минеральных порошков, полученных из органоминерального осадка сточных вод г. Луганска, из природного кварцевого песка, из золы ОСВ и молотого известняка, а также битум БНД 60/90.

Все исследуемые порошки имели, одинаковую удельную поверхность – около $400 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Величины адсорбции и десорбции битумов исследуемыми минеральными порошками приведены на рис. 4.11.

Разный характер, происходящих адсорбционных процессов, объясняет различие в сорбционной способности минеральных порошков органического вяжущего.

Высокая сорбционная способность известнякового минерального порошка объясняется его химическим взаимодействием с битумом, вследствие высокого содержания в нем карбоната кальция (CaCO_3) [145]. Хемосорбционное взаимодействие между битумом и минеральным материалом обуславливает более высокое сцепление сорбированной пленки органического вяжущего с поверхностью минерального материала, чем в том случае, когда имеет место лишь физическая адсорбция.

Величина адсорбции битума минеральными порошками из осадка сточных вод, золы и кварцевого песка ниже, чем у известняка. В то же время, для ОМП из осадков сточных вод эти показатели значительно выше, чем для других кислых материалов, что характеризует более активное его взаимодействие с битумом.

Предположение о неодинаковом характере физико-химических процессов между минеральными материалами и битумами подтверждается полученными данными по десорбции.

Одним из основных признаков, отличающих процессы физической адсорбции от хемосорбционных взаимодействий, является термодинамическая обратимость сорбированного слоя [145].

Из зависимости десорбции битума видно, что часть битума отслаивается растворителем (рис. 4.11). Это указывает на то, что насыщенный адсорбционный слой битума на поверхности минеральных порошков состоит из химически и физически прочно связанного битума.



Рис. 4.11. Зависимость количества битума, сорбированного на минеральных частицах, от содержания битума в бензольном растворе:

— - первоначальная адсорбция битума на поверхности;
 - - - - - после десорбции бензолом.

Характерно, что на поверхности органоминерального порошка из осадков сточных вод после десорбции битума бензолом осталось 61% первоначально адсорбированного вяжущего, а на поверхности кварцевого песка – 28%.

Результаты исследований адсорбции и десорбции битума на поверхности минеральных материалов показывают, что из всех исследуемых минеральных порошков, имеющих кислую природу, наиболее интенсивно взаимодействует с битумом ОМП из ОСВ, по сравнению с золой и кварцевым МП. Данные результаты по десорбции показывают возможность образования хемосорбционных связей битума с поверхностью ОМП.

Метод определения адсорбции битума на поверхности минерального материала дает представление о процессах взаимодействия, происходящих на их общей границе раздела. Однако он не характеризует адгезию между битумом и минеральным материалом в сложных природных условиях, при воздействии воды.

Вода избирательно смачивает открытую поверхность минерального материала, стремится проникнуть сквозь пленку битума и вытеснить ее с поверхности минерального материала. При недостаточной адгезии битум отслаивается и обнажает минеральные частицы. Смещение пленки облегчается при движении воды, например в условиях встряхивания. В этом случае к влиянию воды присоединяется механическое трение битумированных частиц между собой и о воду. С повышением температуры уменьшается вязкость битума и облегчается отрыв его от поверхности частиц. При температуре кипения воды вязкость битума еще более снижается, кроме того, при движении облегчается проникновение воды через “дефектные” места пленки и диффузия ее сквозь пленку, а также усиливается механическое трение о частицы.

Для оценки сцепления минерального материала и битума были определены показатели сцепления методом избирательной адсорбции красителя [24]. Результаты приведены в таблице 4.5. В качестве красителя был выбран метиленовый голубой, так как он практически не адсорбируется на битуме. Адсорбция этого красителя, носит сложный характер и является одновременно ионной и молекулярной [146].

Сцепление битума с поверхностью минеральных материалов зависит от их дисперсности. Поэтому представляет интерес изучение адгезии битума к поверхности минерального материала разного гранулометрического состава.

Разница в значениях показателя сцепления для исследуемых размеров частиц минерального материала обусловлена неоднородностью минералогического состава указанных фракций.

Наиболее высокий коэффициент адгезии у известняка. Из кислых материалов наиболее устойчивые связи наблюдаются у ОМП.

Таблица 4.5

Результаты исследования адгезии битума методом красителей

Минеральный материал	Фракция, мм	Марка битума	Площадь поверхности минерального материала, покрытая битумом		
			до кипячения	после кипячения	коэффициент адгезии
1	2	3	4	5	6
ОСВ	0,63-1,25	БНД 60/90	77	65	0,84
Зола	0,63-1,25	-//-	76	46	0,60
Песок	0,63-1,25	-//-	62	30	0,48
Известняк	0,63-1,25	-//-	84	74	0,88
ОСВ	0-0,63	-//-	84	74	0,88
Зола	0-0,63	-//-	76	46	0,60
ОСВ	0,63-5,0	-//-	77	62	0,80
Зола	0,63-5,0	-//-	76	45	0,59
ОСВ	0-0,63	БНД 40/60	85	73	0,86
Зола	0-0,63	-//-	78	48	0,61
ОСВ	0,63-5,0	-//-	80	65	0,81
Зола	0,63-5,0	-//-	78	47	0,60

Из данных табл. 4.5 следует, что из всех кислых минеральных материалов наибольшую площадь поверхности, покрытую битумом, определенную после объединения битума с минеральным материалом разной дисперсности (до испытаний в кипящей воде), имеет ОМП, наименьшую – кварцевый песок. Подобная зависимость наблюдается и при определении сцепления после воздействия кипящей воды. Такие результаты подтверждают более высокую интенсивность взаимодействия с битумом поверхности ОМП, чем золы и, особенно, природного кварцевого песка.

Устойчивость адгезионных связей характеризовалась коэффициентом адгезионной устойчивости. Он показывает, насколько изменилась площадь

материала, покрытая битумом, непосредственно после объединения с вяжущим и после выдерживания в агрессивной среде.

Сцепление битума с поверхностью ОМП зависит от его гранулометрического состава (табл. 4.5). Сцепление битума с более мелкими фракциями ОМП (до 0,63мм) характеризуется более высокими показателями (84% – до кипячения, 74% – после кипячения). Это происходит в результате взаимодействия асфальтогеновых кислот вяжущего со щелочноземельными металлами с образованием водонерастворимых связей, а также связано с повышенным содержанием Al_2O_3 и Fe_2O_3 , которые также способствуют образованию устойчивых связей на границе раздела битум – минеральный материал.

Существенно влияет на прочность сцепления битума с поверхностью минерального материала его вязкость. Консистенция вяжущего одновременно может служить и характеристикой сцепления из-за того, что повышенная вязкость битума оказывает более высокое сопротивление отслаиванию его от поверхности минеральных частиц под действием воды.

Количественная оценка влияния вязкости битума на показатель сцепления с поверхностью минерального материала представляет большой интерес.

Битумами различной вязкости обрабатывали ОМП и золу ОСВ (размер частиц 0,05...0,63мм и 0,63...5,0мм). Из данных (табл. 4.5) видно, что показатель сцепления битума с поверхностью минерального материала возрастает с увеличением вязкости битума. Характер зависимости показателя сцепления от вязкости одинаков для различных видов минерального материала. Повышение показателя сцепления с увеличением вязкости битума, по-видимому, можно объяснить двумя обстоятельствами: 1 – с повышением вязкости битума при условии полного смачивания им поверхности увеличивается приходящееся на единицу поверхности минерального материала количество активных групп и высокомолекулярных соединений битума, обеспечивающих создание прочной связи между битумом и минеральной поверхностью в результате адсорбции и хемосорбции; 2 – трудность смещения (например, водой) с поверхности

минерального материала плотного слоя вязкого битума по сравнению с менее плотным слоем битума с меньшей вязкостью.

Аналогичные результаты получаются и при исследовании показателя сцепления битума с минеральными материалами по методу Колбановской А.С. [24], определенным весовым методом (рис. 4.12).

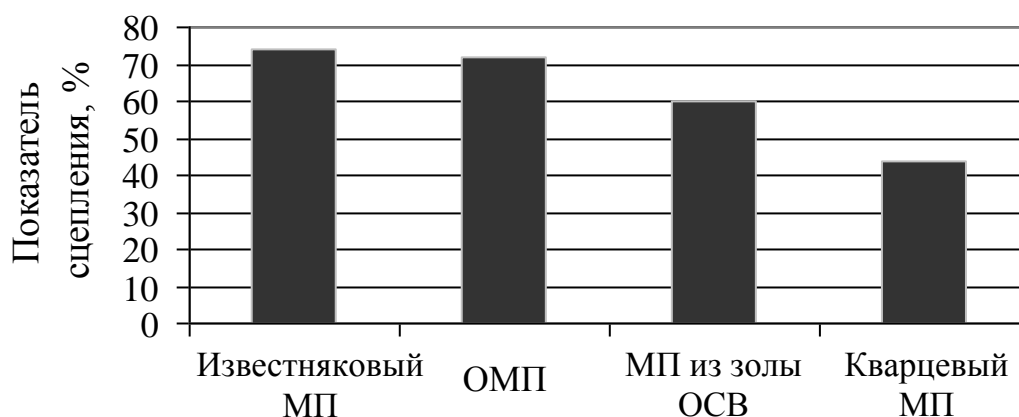


Рис. 4.12. Показатель сцепления битума с минеральными порошками, определенный весовым методом.

Полученные данные позволяют выявить тенденцию уменьшения коэффициента сцепления битума с минеральными материалами в направлении: известняк – ОМП – зола из ОСВ – кварцевый МП.

Результаты исследований взаимодействия минеральных материалов с битумом свидетельствуют о хорошей адгезии битума к поверхности ОМП. Это возможно благодаря наличию органических веществ в составе осадка сточных вод и их сродству по отношению к вяжущему, обусловленного наличием большого количества адсорбционных центров и примесей металлов на нем. Полученные данные позволяют предположить получение асфальтобетонов при использовании в их составе ОМП высокого качества.

4.4. Процессы структурообразования в асфальтовяжущих веществах

Взаимодействие минеральных и вяжущих материалов является важнейшим элементом структурообразования в асфальтобетоне. Характер образующихся сольватных оболочек, особенности взаимодействия минерального материала и органического вяжущего, количество адсорбированного и свободного битума определяют такие важнейшие свойства как прочность, плотность, деформативность, водо-, морозостойкость и другие показатели качества МП [147].

Большое влияние на качество асфальтобетона оказывают свойства асфальтовяжущего вещества – “битум – минеральный порошок”. Изучение свойств асфальтовяжущего позволяет получить наиболее полное представление о взаимодействии битума и исследуемого минерального материала, а также прогнозировать свойства асфальтобетона на этих материалах. Характер взаимодействия, при прочих равных условиях, определяется химико-минералогическим составом, характером поверхности, структурными особенностями и формой зерен минерального порошка.

С целью изучения взаимодействия органоминерального порошка из осадков сточных вод с битумом и прогнозирования свойств асфальтобетона, приготовленного с использованием исследуемого материала, были выполнены испытания асфальтовяжущего вещества.

При приготовлении асфальтовяжущего вещества в качестве минеральной составляющей были использованы кварцевый МП, зола из ОСВ, органо-минеральный порошок из осадков сточных вод и известняк размолотые до удельной поверхности $400 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Известняковый минеральный порошок принят для сравнения вследствие резкого различия его природы поверхности по сравнению с кислыми минеральными материалами, к которым относятся кварцевый МП зола из ОСВ и органоминеральный порошок из осадков сточных вод.

Для получения достоверных сопоставимых результатов испытаний все исследуемые минеральные порошки готовились примерно одного зернового

состава и одинаковой удельной поверхности, что обеспечивалось выбором определенного времени помола. Помол производился в шаровой мельнице. Удельная поверхность контролировалась с помощью прибора ПСХ-2.

Результаты исследования физико-механических свойств асфальтовяжущего вещества (табл. 4.6) показывают, что наиболее высокие показатели имеют смеси, где в качестве минерального порошка используется и ОСВ, что объясняется их химико-минералогическим составом.

Свойства асфальтовяжущих, приготовленных на кислых минеральных порошках, по прочности и водостойкости при длительном водонасыщении уступают аналогичным свойствам асфальтовяжущих, приготовленных на органоминеральном порошке и на известняке (табл. 4.6.).

Таблица 4.6

Физико-механические свойства асфальтовяжущего вещества

Наименование показателей	Минеральный порошок			
	ОМП из ОСВ	зола из ОСВ	кварце- вый	известня- ковый
1	2	3	4	5
Водонасыщение, %	1,33	1,55	1,95	0,95
Предел прочности при сжатии, МПа, при 0 ⁰ С	3,9	3,0	2,7	4,0
Показатель битумоемкости, г	60	65	63	57
Предел прочности при сжатии, МПа, в водонасыщенном состоянии при 0 ⁰ С	3,5	2,2	1,9	3,3
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	0,90	0,73	0,70	0,83

Так, асфальтовяжущее на органоминеральном порошке из осадков сточных вод практически по всем показателям превосходит асфальтовяжущее на других кислых материалах. Причем, при использовании кварцевого минерального порошка асфальтовяжущее имеет самые низкие характеристики. Физико-механические характеристики асфальтовяжущего на золе имеют промежуточные значения между показателями асфальтовяжущего на органоминеральном порошке и кварцевом песке. Уменьшается, также набухание образцов с использованием

органоминерального порошка из осадков сточных вод.

Для исследования свойств асфальтовязущего (температура размягчения, пенетрация, растяжимость, сцепление) с использованием различных видов минеральных порошков использовали порошки с удельной поверхностью 400 м²/кг:

- известняковый (в химсоставе преимущественно CaCO₃; основные свойства);
- кварцевый минеральный порошок (в химсоставе преимущественно SiO₂; кислые свойства);
- органоминеральный порошок из осадка сточных вод (полиминеральный состав 79% + органическое вещество 21% + тяжелые металлы 0,06%);
- зола ОСВ (аналогична по составу ОМП, но не имеет органической составляющей).

Асфальтовязущее готовили с использованием битума БНД 60/90.

Концентрация минерального порошка в битуме составляла 5, 10, 20, 40, 50%. Изучали пенетрацию по ГОСТ 11501; температуру размягчения по кольцу и шару (ГОСТ 11506), растяжимость (дуктильность) по ГОСТ 11505, сцепление битума и асфальтовязущего со стеклом (ДСТУ Б.В.2.7.-81-98) [141].

Температура размягчения асфальтовязущих приведена в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Температура размягчения асфальтовязущего вещества

Вид минерального порошка	Температура размягчения по кольцу и шару асфальтовязущих, °С, содержащих минеральный порошок:					
	Исходный битум БНД 60/90	Битум +5% МП	Битум +10% МП	Битум +20% МП	Битум +40% МП	Битум +50% МП
1	2	3	4	5	6	7
Известняковый порошок	47,5	47,5	48	49	54	58
ОМП	47,5	48	49	50,5	55	60
Зола ОСВ	47,5	47,5	48	50	51	52
Кварцевый	47,5	47,5	47,5	48	50	51

В таблицах 4.8 и 4.9 приведены данные по растяжимости и пенетрации асфальтовяжущих веществ.

Таблица 4.8

Растяжимость (см) битума и битума, наполненного МП при 25⁰С

Вид минерального порошка	Исходный битум, БНД 60/90	Битум + 5% МП	Битум + 10% МП	Битум + 20% МП	Битум + 40% МП	Битум + 50% МП
1	2	3	4	5	6	7
Известняковый	94	83	78	57	40	23
Органоминеральный	94	82	74	52	36	19
Зола ОСВ	94	87	83	55	44	26
Кварцевый	94	87	82	56	45	27

Таблица 4.9

Глубина проникновения иглы при 25⁰С, 0,1мм

Вид минерального порошка	Исходный битум БНД 60/90	Битум + 5% МП	Битум + 10% МП	Битум + 20% МП	Битум + 40% МП	Битум + 50% МП
1	2	3	4	5	6	7
Известняковый	61	57	53	47,5	40	31
Органоминеральный	61	58	55	49,5	38	30
Зола ОСВ	61	59	57	54	46	38
Кварцевый	61	60	59	56	48	40

Исследование асфальтовяжущего вещества наполненного ОСВ, известняковым и кварцевым минеральными порошками, а также золой ОСВ от 5 до 50% по массе показали, что во всех случаях введение этих добавок независимо от качественного состава уменьшает пенетрацию и растяжимость при 25⁰С и повышает температуру размягчения вяжущего (таблицы 4.7-4.9).

В таблице 4.10 приведены данные исследований по сцеплению асфальто-вяжущего со стеклом.

Таблица 4.10

Сцепление асфальтовяжущего вещества со стеклом

№ п/п	Состав асфальтовяжущего вещества	Ср. значение сцепления вяжущего со стеклом, % (по ДСТУ Б.В.2.7-81-98)
1	2	3
1	Битум БНД 60/90 (100%)	27,13
2	Битум (80%)+ОМП (20%)	91,57
3	Битум (50%)+ОМП (50%)	92,28
4	Битум (80%)+известняковый порошок (20%)	97,18
	Битум (50%)+известняковый порошок (50%)	92,67
5	Битум (80%)+ зола ОСВ (20%)	88,88
	Битум (50%)+зола ОСВ (50%)	90,00
6	Битум (80%)+ кварцевый МП (20%)	81,20
	Битум (50%)+кварцевый МП (50%)	85,43

Данные таблицы 4.10 свидетельствуют о том, что наличие в составе асфальтовяжущего вещества известнякового минерального порошка увеличивает адгезию асфальтовяжущего вещества к стеклу в сравнении с чистым битумом, а ОМП по данному показателю соответствует минеральному известняковому порошку в сравнении с золой и кварцевым песком.

Минеральный порошок с тонкими структурированными плёнками битума образует пространственную структурированную сетку. Пластичность асфальто-бетона зависит от: толщины битумной пленки, склеивающей минеральный остов, взаимодействия битума и минерального материала, температуры, гранулометрии минеральных материалов.

На механические свойства смесей с битумом большое влияние оказывает структура минерального порошка. Если при взаимодействии с битумом минеральные порошки изменяют групповой состав битума и при определенных концентрациях создают упругие пленки его, то и смеси проявляют достаточно высокие показатели пластической прочности. Если же минеральный порошок не

вызывает подобных изменений в битуме, то и смеси имеют низкую пластическую прочность.

При одинаковых количествах битума и минерального порошка количество контактов и их поверхность будут величинами практически постоянными. Тогда структурно-механическая прочность асфальтовязущего вещества будет зависеть, во-первых, от величины адсорбционной способности единицы поверхности минерального порошка, во-вторых, от свойств вяжущего на поверхности контактов минеральных зерен.

Графическая зависимость изменения предельного напряжения сдвига от содержания порошка (рис. 4.13) показывает, что введение минерального порошка в битум в сравнительно небольшом количестве в результате сорбции и увеличения трения приводит к повышению вязкости прямо пропорционально введенному объему порошка. В этом случае структурно-механические свойства системы определяются в основном вязкостью самого битума.



Рис. 4.13. Зависимость предельного напряжения сдвига асфальтовязущего вещества от вида и содержания минерального порошка:

—◇— Известняковый, —◆— ОМП, —□— МП из золы ОСВ, —■— Кварцевый МП.

При дальнейшем увеличении содержания порошка в асфальтовязущем расстоянии между отдельными зернами, окруженными адсорбционно-сольватными

оболочками, уменьшается, и при структурообразующей концентрации минерального порошка происходит образование пространственного каркаса, нового качественного состояния, при котором реологические свойства асфальтовяжущего будут зависеть от свойств адсорбционно-сольватных оболочек в местах контакта и количества таких контактов. При этом прочность системы повышается в несколько раз. Нижний предел этой области соответствует началу структурообразования, а верхний - образованию наиболее плотной системы.

Дальнейшее повышение содержания порошка в битуме выше количества, отвечающего максимально упрочненной системы, приводит к разрушению системы, так как битума будет недостаточно для равномерного обволакивания всех частиц порошка. При этом возможен их контакт без битумных прослоек.

Как видно из рис. 4.13, наиболее интенсивно структурирует битум известняковый минеральный порошок, затем органоминеральный порошок, далее МП из золы ОСВ и кварцевого МП.

При взаимодействии битума с известняковым порошком происходит образование структурных связей в виде битумных оболочек из фракционно сорбированных компонентов битума [14, 18]. На тонкопористых известняках возможна фильтрация низкомолекулярных компонентов вглубь минерального зерна, в результате чего, слои битума на поверхности материала обедняются маслами, и увеличивается его когезия.

Структурирующие свойства органоминерального порошка из осадков сточных вод заметно выше, чем у золы из ОСВ и, особенно, кварцевого минерального порошка. Структурирующее действие органоминерального порошка из осадков сточных вод становится заметным уже при содержании его 40% в асфальтовяжущем веществе. Наиболее резкое увеличение пластической прочности асфальтовяжущего вещества с известняковым минеральным порошком наблюдается при его содержании более 40%. Для органоминерального порошка эта концентрация составляет более 45%, тогда как для МП из золы ОСВ и кварцевого МП – более 50%. Такие результаты можно объяснить более интенсивным взаимодействием поверхности органо-инерального порошка с

битумом благодаря свойствам его поверхности, обусловленным более высоким содержанием активных центров, концентрации в мелких фракциях щелочноземельных металлов, присутствием примесей алюминия.

Таким образом, исследования асфальтовяжущего позволяют прогнозировать более высокое качество асфальтобетона при использовании в качестве минерального материала осадка сточных вод и показывают, что при взаимодействии органоминерального порошка из осадков сточных вод с битумом на поверхности раздела фаз интенсивно происходят процессы формирования адсорбционно-сольватного слоев.

Выводы по разделу 4

1. Содержание в мелких фракциях органоминерального порошка (до 0,63мм) повышенного количества минералов с оксидами щелочных, щелочноземельных и тяжелых металлов, а также алюминия и железа, способствуют повышению сцепления ОМП с битумом.

2. Взаимодействие минеральных порошков с битумом свидетельствует о хорошей адгезии битума к поверхности ОМП. Методом красителя [23, 24] установлено, что наибольшую площадь поверхности, покрытую битумом имеет ОМП (84% - до кипячения, 74% – после кипячения).

Подобные значения получены при исследовании адгезии битума весовым методом. Наибольшее сцепление имеет известняк (73%), затем ОМП (71%), зола из ОСВ (60%) и кварцевый МП (43%). Это свидетельствует о более интенсивном взаимодействии поверхности ОМП с битумом, благодаря структуре и свойствам его поверхности.

3. Установлено, что наиболее высокие показатели имеют асфальтовяжущие вещества в которых в качестве минерального порошка используется известняк и ОМП. Снижается, также набухание образцов с использованием органоминерального порошка из осадков сточных вод. Асфальтовяжущее вещество при массовой концентрации ОМП от 5 до 50% характеризуется более высокой пенетрацией и температурой размягчения.

4. Методом конической пластометрии установлено, что структурирующие свойства порошка из органоминерального порошка заметно выше уже при 40%, чем у золы из ОСВ и, особенно, кварцевого минерального порошка.

РАЗДЕЛ 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

5.1. Экспериментальное изготовление и определение физико-механических показателей образцов асфальтобетона, содержащего в своем составе органоминеральный порошок

Экспериментально изготавливались и испытывались образцы асфальтобетона для определения физико-механических свойств с разным содержанием добавок ОМП. Исследования осуществлялись в соответствии с [128], результаты которого приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Физико-механические свойства асфальтобетона с разным содержанием ОСВ

№ п/п	Состав асфальтобетона (плотный, тип В)	Водо- насы- щение, %, по объему	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре		Коэффициент водостойкости при дли- тельном водо- насыщении
			20 ⁰ С	50 ⁰ С	
1	2	3	5	6	8
1	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня - 63%; Органоминеральный порошок – 2%; Битум БНД 60/90 – 5,8%, сверх 100% минеральной части.	1,50	3,1	1,3	0,88
2	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня – 61%; Органоминеральный порошок – 4%; Битум БНД 60/90 – 6,2%, сверх 100% минеральной части.	1,30	3,4	1,4	0,89

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6
3	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня – 59%; Органоминеральный порошок – 6%; Битум БНД 60/90 – 6,4%, сверх 100% минеральной части.	1,15	3,8	1,5	0,90
4	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня – 57%; Органоминеральный порошок – 8%; Битум БНД 60/90 – 6,8%, сверх 100% минеральной части.	1,12	4,1	1,7	0,92
5	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня – 61%; Известняковый МП – 4%; Битум БНД 60/90 – 6,2%, сверх 100% минеральной части.	1,2	3,8	1,3	0,88
6	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня – 59%; Известняковый МП – 6%; Битум БНД 60/90 – 6,4%, сверх 100% минеральной части.	1,1	4,0	1,4	0,89
7	Щебень – 35%; Песок из отсева дробления щебня – 57%; Известняковый МП – 8%; Битум БНД 60/90 – 6,8%, сверх 100% минеральной части.	1,0	4,2	1,5	0,9
8	Требования ДСТУ Б В.2.7-119-2011 (марка II, верхние слои)	не более 3,5 %	не менее 2,8	не менее 1,4	не менее 0,88

В табл. 5.1 количество щебня принималось постоянным – 35%, органическое вяжущее (битум БНД 60/90) – оптимальное содержание 5,8 – 6,8%, а менялось только соотношение песка из отсева дробления щебня к ОМП. В заданных пределах от 2 до 8%, все физико-механические показатели соответствовали ДСТУ Б В.2.7-119-2011. При введении органоминерального порошка из ОСВ в количестве 6÷8%, значительно возрастает прочность асфальтобетона.

Сопоставляя влияние ОМП и известнякового МП (пункты 3-5 и 6-8) необходимо отметить, что вид порошкового компонента – осадок и известняковый минеральный порошок по прочностным показателям R_{20} практически аналогичны.

Применяя на практике различные виды минеральных заполнителей, необходимо выполнять подбор состава и определять оптимальное количество вводимого ОМП в асфальтобетонную смесь, стремясь к максимальному, а также регулировать количество вводимого битума, влияющего на физико-механические показатели (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Значения варьируемых факторов

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Размер- ность	Интервал варьирова- ния	Уровни факторов		
					-1	0	+1
1	2	3	4	5	6	7	8
1	X_1	Количество битума	% (масс.)	1	6	7	8
2	X_2	Соотношение количества добавок песка из ОДЩ и ОМП		5,42	15,25	$\frac{59}{6} = 9,83$	3,93

В связи с тем, что совокупность факторов, действующих на структурообразование асфальтовяжущего вещества, а именно: количество битума, соотношение количества добавок из песка из отсева дробления щебня (ОДЩ) и ОМП, являются определяющими факторами, то при оптимизации данной системы применен метод экспериментально-статического моделирования. Использовался композиционный симметричный план на трех целочисленных уровнях (-1; 0; +1) [135-136, 146].

Таблица 5.3

Параметры оптимизации состава асфальтобетона с добавкой ОСВ
и их граничные условия

№ п/п	Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Размер- ность	Граничные значения функции отклика
1	2	3	4	5
1	Y_1	Предел прочности при сжатии при 20°C, R_{20}	МПа	не менее 2,5
2	Y_2	Предел прочности при сжатии при 50°C, R_{50}	МПа	не менее 1,1
3	Y_3	Водонасыщение	%	не более 3,0

Регрессионный анализ выполнен согласно методикам [135-136, 146] на ЭВМ по программе STATISTICA. Функции отклика задавались уравнением регрессии:

$$Y_1(X_1, X_2) = 10,2358 - 0,3815 \cdot x_1 + 0,1203 \cdot x_2 - 0,0165 \cdot x_1 x_2 + 0,0083 \cdot x_1^2 - 0,0072 \cdot x_2^2, \text{ коэффициент детерминации } R^2 = 0,98 \quad (5.1)$$

$$Y_2(X_1, X_2) = 9,4204 - 1,4496 \cdot x_1 - 0,047 \cdot x_2 + 0,0264 \cdot x_1 x_2 + 0,0667 \cdot x_1^2 - 0,0121 \cdot x_2^2, \text{ коэффициент детерминации } R^2 = 0,99 \quad (5.2)$$

$$Y_3(X_1, X_2) = 6,7823 - 0,9855 \cdot x_1 - 0,3039 \cdot x_2 - 0,0333 \cdot x_1 x_2 + 0,08 \cdot x_1^2 + 0,0228 \cdot x_2^2, \text{ коэффициент детерминации } R^2 = 0,86 \quad (5.3)$$

Таблица 5.4

Матрица планирования и результаты эксперимента

№ п/п	В кодированных значениях		В натуральных значениях					Y ₁ (R ₂₀), МПа	Y ₂ (R ₅₀), МПа	Y ₃ (W), %
	X ₁	X ₂	X ₁ , %	X ₂ , %	X ₁ X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²			
1	–	–	6	15,25	91,5	36	232,56	6,95	1,95	1,42
2	–	0	6	9,83	58,98	36	96,63	7,55	3,10	1,03
3	–	+	6	3,93	23,58	36	15,44	8,22	3,37	2,29
4	0	–	7	15,25	106,75	49	232,56	6,40	1,90	0,81
5	0	0	7	9,83	68,81	49	96,63	7,40	2,70	0,76
6	0	+	7	3,93	27,51	49	15,44	7,88	2,90	2,21
7	+	–	8	15,25	122	64	232,56	5,80	1,75	0,70
8	+	0	8	9,83	78,64	64	96,63	7,05	2,50	0,56
9	+	+	8	3,93	31,44	64	15,44	7,56	2,55	2,29

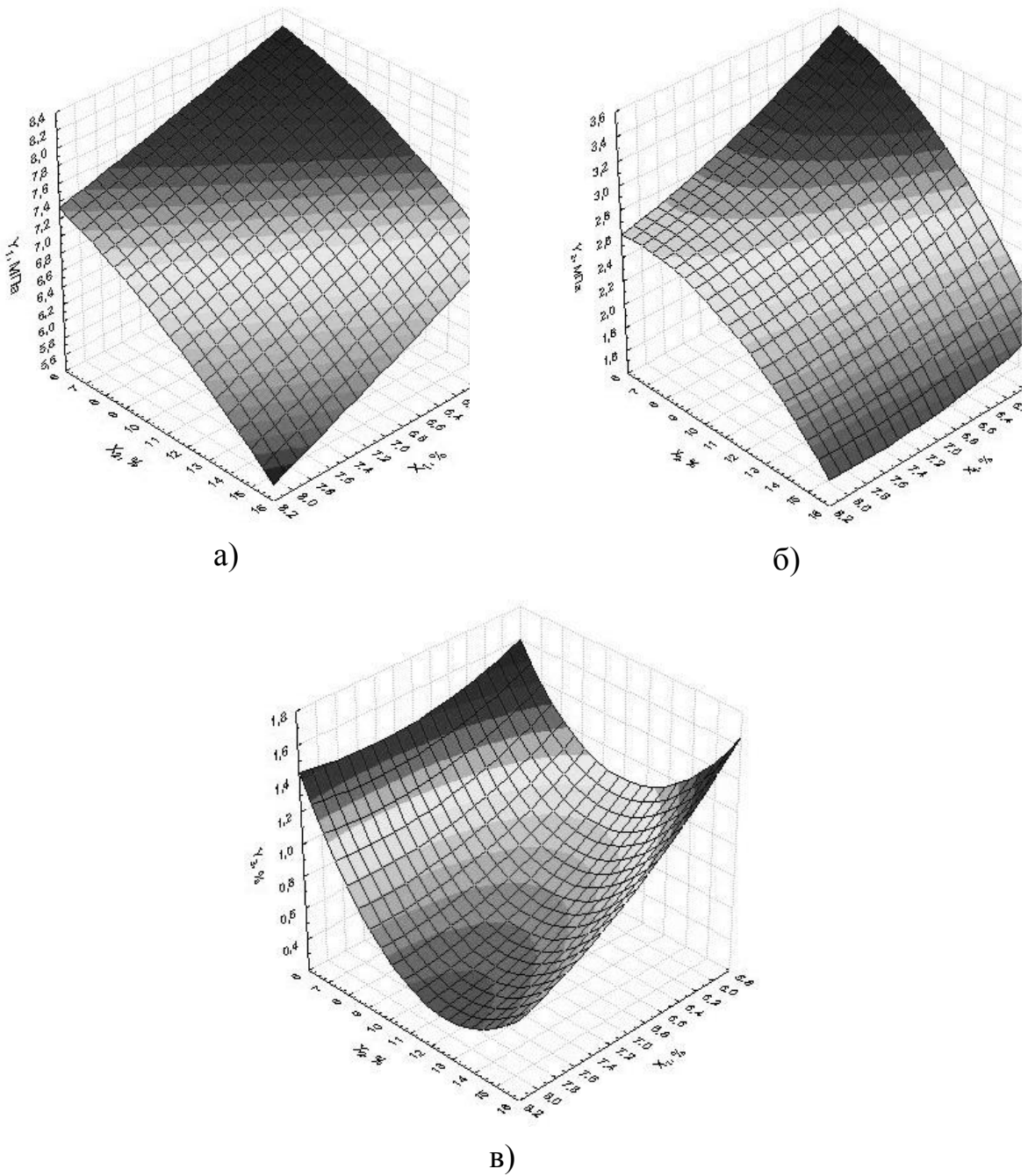


Рис. 5.1. Зависимость физико-механических параметров от влияния количества битума и вводимого органоминерального порошка из ОСВ:

- а) предела прочности при сжатии при 20°C , $R_{20}=Y_1$, МПа;
- б) предела прочности при сжатии при 50°C , $R_{50}=Y_2$, МПа;
- в) водонасыщения, $W=Y_3$, %.

Полученные уравнения регрессии (5.1-5.3) проверены на адекватность и удовлетворяют критерию Фишера.

Оптимальное количество битума и соотношение песка из ОДЩ к порошку ОМП определяли через область допустимых значений факторов X_1 и X_2 (табл. 5.3). Эти области ограничены поверхностями уровня функций отклика по каждому из параметров оптимизации (табл. 5.4).

По программе для указанных значений каждого из параметров оптимизации Y_1 - Y_3 были рассчитаны значения факторов X_1 и X_2 , удовлетворяющие уравнению функции отклика, на основе которых выделены области допустимых значений факторов системы битум – песок из ОДЩ – ОМП.

Установлено, что при концентрации органоминерального порошка из ОСВ – 4÷8%, его влияние на изменение физико-механических параметров асфальтобетона, оказывают оба задаваемых фактора. Полученные уравнения позволяют определять оптимальные составы асфальтобетонов при введении в них ОМП.

Для определения влияния количества наполнителя ОМП на свойства асфальтобетонов с другими видами заполнителей, использовался местный вид материала – щебеночно-песчаная смесь Краснодонского карьера (Луганская область) со следующим гранулометрическим составом (табл. 5.5):

Таблица 5.5

Гранулометрический состав щебеночно-песчаной смеси

Остатки	Содержание зерен, % мельче, мм									
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
частные	1,55	3,20	27,05	18,10	12,65	5,70	12,00	13,00	4,65	2,10
полные	1,55	4,75	31,80	49,90	62,55	68,25	80,25	93,25	97,90	100,0

В результате исследований получены асфальтобетоны, содержащие 6 и 8% органоминерального порошка из осадка сточных вод с характеристиками, приведенными в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Физико-механические свойства асфальтобетона с использованием
минерального заполнителя – щебеночно-песчаной смеси и отличающихся
содержанием добавок ОСВ 6 и 8%

№ п/п	Состав асфальтобетона (плотный, тип В)	Про- центное содер- жание	Водо- насы- щение, %	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре		Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении
				20°C	50°C	
1	2	3	4	5	6	8
1	Щебеночно- песчаная смесь	94%	0,65	4,0	1,6	0,86
	ОСВ из отвалов хранения	6%				
	Битум БНД 60/90	6,4%				
2	Щебеночно- песчаная смесь	92%	1,22	4,2	1,7	0,91
	ОСВ из отвалов хранения	8%				
	Битум БНД 60/90	6,8%				
3	Требования [129]		не более 3,5%	не менее 2,8	не менее 1,4	не менее 0,88

Как следует из данных табл. 5.5 в гранулометрическом составе щебеночно-песчаной смеси заметно высокое содержание зерен мелкой фракции <1,25 мм (около 50%). При введении ОМП в количестве 8%, происходит возрастание количества мелких составляющих, что нарушает формирование структуры «скелета» асфальтобетона, и из-за возрастания поверхности минеральных частиц, требуется увеличение количества вводимого битума. Поэтому при выборе вида минеральных заполнителей необходимо контролировать гранулометрический состав, а количество вводимого органоминерального порошка подбирать согласно типа асфальтобетона.

5.2. Исследование влияния органоминерального порошка на физико-механические свойства асфальтобетона

Основной задачей на данном этапе исследований явилось комплексное изучение свойств асфальтобетона, приготовленного на органоминеральном порошке (ОМП) в сравнении с асфальтобетоном на известняковом минеральном порошке (МП).

Исследование влияния порошковых материалов выполнено на плотном мелкозернистом асфальтобетоне типа В и песчаном асфальтобетоне типа Г.

Для сравнительной оценки влияния минеральных порошков на свойства асфальтобетона в качестве минеральных заполнителей использованы щебень из известняка и песок из отсева дробления известняка, а также гранитный щебень и песок из отсева дробления гранита.

Для всех гетерогенных систем, каким является и асфальтобетон, существует оптимальная структура, при которой достигаются максимальные показатели свойств [4]. На все конгломератные материалы, обладающие оптимальной структурой, распространяется действие закона прочности оптимальных структур, закона створа, которыми следует руководствоваться при проектировании оптимальных составов.

Активность взаимодействия минерального материала с битумом определяется не только химическим составом битума, но и природой минерального материала [24, 28].

Согласно данным таблиц 5.7, 5.8, асфальтобетон с использованием ОМП полностью удовлетворяет требованиям ДСТУ Б В.2.7-119-2011.

Таблица 5.7

Физико-механические показатели свойств асфальтобетона типа В

Характеристики	Требование ДСТУ Б В.2.7-119-2011	Минеральный порошок из известняка		Органоминеральный порошок из ОСВ	
		Составы смесей ($\frac{\text{щебень}}{\text{отсев дробления}}$)			
		<u>известняк</u> известняк	<u>гранит</u> гранит	<u>известняк</u> известняк	<u>гранит</u> гранит
Средняя плотность, кг/м ³	-	2300	2330	2300	2330
Пористость минерального остова, % от объема	не более 18-22	17,3	17,1	17,0	16,9
Водонасыщение, % от объема	не более 3,5	2,2	2,5	2,1	2,8
Набухание, % от объема	-	0,30	0,45	0,13	0,33
Предел прочность при сжатии, МПа, при температуре:					
0 ⁰ С, R ₀	не более 12,0	8,4	9,5	9,1	9,4
20 ⁰ С, R ₂₀	не менее 2,8	3,7	4,1	4,0	4,1
50 ⁰ С, R ₅₀	не менее 1,4	1,4	1,5	1,5	1,6
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	не менее 0,88	0,89	0,87	0,87	0,83

Таблица 5.8

Физико-механические показатели свойств асфальтобетона типа Г

Характеристики	Требование ДСТУ Б В.2.7- 119-2011	Минеральный порошок из известняка		Органоминеральный порошок из ОСВ	
		Песок из отсева дробления			
		Известняк	Гранит	Известняк	Гранит
Средняя плотность, кг/м ³	-	2325	2340	2321	2330
Пористость минерального остова, % от объема	не более 18-22	18,0	17,8	17,9	17,8
Водонасыщение, % от объема	не более 3,5	3,13	3,50	3,15	3,80
Набухание, % от объема	-	0,25	0,38	0,15	0,41
Предел прочность при сжатии, МПа, при температуре: 0 ⁰ С, R ₀ 20 ⁰ С, R ₂₀ 50 ⁰ С, R ₅₀	не более 12,0 не менее 2,8 не менее 1,6	10,5 4,1 1,6	10,8 4,3 1,7	9,8 4,0 1,7	10,0 4,2 1,8
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении	не менее 0,88	0,90	0,78	0,85	0,79

Существенным недостатком асфальтобетона является его низкая сдвигоустойчивость при высоких летних температурах и образование трещин зимой [153-163].

Одной из причин трещинообразования асфальтобетонов, может быть обеднение низкомолекулярными фракциями пленок битума на поверхности минеральных материалов в результате фильтрации компонентов органического вяжущего [155-156, 164].

Это приводит к повышению механической прочности и теплоустойчивости асфальтобетона, но в то же время приводит к снижению трещиностойкости при низких температурах и способствует интенсивному старению материала в покрытии нежесткой дорожной одежды. Повышается жёсткость покрытия. В зимний период может происходить активное низкотемпературное трещинообразование, затем начинается интенсивное разрушение покрытия, первопричиной которого является избирательная фильтрация компонентов битума в поры и капилляры минерального материала [157].

Свойства асфальтобетона с минеральной частью, состоящей полностью из известняка и гранита на ОМП, характеризуются высокими показателями, удовлетворяющими требованиям ДСТУ Б В.2.7-119-2011. Это позволяет сделать вывод о возможности производства асфальтобетонных смесей с использованием известняковых и гранитных заполнителей.

Одним из способов повышения сдвигоустойчивости является увеличение угла внутреннего трения.

Применение ОМП при производстве асфальтобетона является не менее эффективным способом повышения сцепления в минеральном остове асфальтобетона. Результаты исследований (табл. 5.7-5.8) характеризуют упрочнение коагуляционных контактов в асфальтобетоне, следовательно, при взаимодействии ОМП с битумом большее количество последнего переходит в структурированное состояние. Это также подтверждает более активное взаимодействие битума с заполнителями.

Уменьшение водонасыщения и набухания образцов асфальтобетонов, в

состав которых входит ОМП свидетельствует о том, что плёнки битума на поверхности заполнителей отличаются высокой устойчивостью к отслаиванию при воздействии агрессивной среды, что препятствует глубокому проникновению воды в поры и капилляры материала, а также диффузии воды под битумную плёнку. Диффузия воды опасна тем, что сорбированные молекулы воды могут легко мигрировать по поверхностям, вновь образуясь в деформированном материале, что приводит к его разрушению. Результаты испытаний объясняются наличием прочных адгезионных связей, обусловленных хемосорбционным взаимодействием на границе раздела фаз "битум – ОМП – поверхность заполнителя" и позволяют предполагать повышение водо- и морозостойкости асфальтобетона с использованием ОМП. Это объясняется более активным взаимодействием битума с поверхностью известняка, по сравнению с поверхностью гранита, из-за наличия на ней большого количества активных адсорбционных центров, что подтверждают результаты исследований, выполненные в главе 4.

Улучшение физико-механических свойств битумоминерального композита с использованием ОМП позволит получать асфальтобетон высокого качества, отличающихся более продолжительными сроками службы в дорожном покрытии.

Сдвигоустойчивость является одной из основных характеристик, которой должен удовлетворять асфальтобетон, работающий в условиях повышенных положительных температур. Видоизмененным уравнением Кулона характеризуется прочность при сдвиге асфальтобетона:

$$\tau = P \tan \varphi + C_c + \sum \sigma \quad (5.4)$$

где τ – прочность асфальтобетона при статическом сдвиге, МПа;

P – удельная нормальная нагрузка при сдвиге, МПа;

φ – угол внутреннего трения асфальтобетона с учетом действия битума;

C_c – взаимное зацепление крупных зерен при сдвиге асфальтобетона, МПа;

$\sum \sigma$ – сила сцепления минеральных зерен асфальтовым вяжущим.

Уравнение Кулона показывает различные возможности повышения прочности асфальтобетона при сдвиге:

- повышением угла внутреннего трения, который тем выше, чем больше щебня в смеси;
- увеличением крупности щебня, что повышает взаимное зацепление зерен минеральной части:
- увеличением внутреннего сцепления, зависящего от вязкости битума и количества минерального порошка, что обеспечивает получение асфальтового вяжущего высокой концентрации, то есть более вязкого и прочного;
- увеличением всех трех компонентов одновременно.

Из уравнения (5.4) видно, что заданная прочность при сдвиге может быть получена при различных значениях факторов, определяющих прочность и зависящих в одном случае от свойств минерального остова, в другом - от сил сцепления, обусловленных свойствами битума [147]. Сцепление зависит от когезионной прочности битумных пленок и их адгезии к поверхности минерального материала.

При объединении битума и минеральной части на границе их раздела происходят процессы физико-химического взаимодействия, которые приводят к образованию в разной степени развитого адсорбционно-сольватного слоя вокруг минеральных частиц, за которым следует свободный битум.

При уплотнении асфальтобетонной смеси происходит сближение частиц минерального остова. При этом с одной стороны, происходит контактирование минеральных частиц по адсорбционно-сольватным оболочкам, обладающим повышенной вязкостью, с другой, повышение внутреннего трения всей системы.

Силы внутреннего трения зависят от гранулометрического состава минерального остова, его плотности и главным образом от величины, формы, характера поверхности зерен.

Силы сцепления частиц минерального остова с вяжущим зависят от вязкости битума и его физико-химического взаимодействия с минеральными материалами, обуславливающими образование адсорбционно-сольватных слоев и увеличивающих вероятность контактов по связанному битуму.

При определении сдвигоустойчивости асфальтобетона и коэффициента внутреннего трения установлены максимальные нагрузки и предельные деформации стандартных цилиндрических образцов при двух напряженно деформированных состояниях: при одноосном сжатии и при сжатии специальным обжимным устройством по схеме Маршалла.

В связи с тем, что гранулометрический состав, принятых для исследований асфальтобетонов одинаков, и результаты определения основных физико-механических характеристик (табл. 5.8) показывают, что асфальтобетоны имеют практически одинаковую плотность, можно сделать вывод о том, что в данном случае коэффициент внутреннего трения будет зависеть от формы и характера поверхности зерен минеральных материалов. Результаты испытаний асфальтобетона с ОМП при двух напряженно-деформированных состояниях приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9

Результаты испытаний асфальтобетона с ОМП при двух напряженно-деформированных состояниях

Показатели	Асфальтобетон типа В				Асфальтобетон типа Г			
	Минеральный материал остова							
	Известняк		Гранит		Известняк		Гранит	
Схема разрушения	Одноосное сжатие	Схема Маршалла	Одноосное сжатие	Схема Маршалла	Одноосное сжатие	Схема Маршалла	Одноосное сжатие	Схема Маршалла
Разрушающая нагрузка, P , кН	10	18,5	8,8	16,5	3,6	7,8	3,0	6,9
Предельная деформация, l , мм	0,80	1,49	0,78	1,27	0,75	0,73	0,73	0,66
Работа, затраченная на разрушение образцов, A , Дж	0,40	13,93	3,43	10,45	1,35	2,85	1,10	2,28

Примечание: предел прочности при одноосном сжатии составляет для образцов асфальтобетона с использованием известняка типа В – 2,5 МПа, типа Г – 1,8 МПа; с использованием гранита типа В – 2,2 МПа, типа Г – 1,8 МПа при температуре 20⁰С.

Более высокое значение коэффициента внутреннего трения известняка свидетельствует о том, что его зерна образуют более стабильную пространственную структуру, чем зерна гранита.

Из результатов испытаний образцов асфальтобетона при двух напряженно-деформированных состояниях можно спрогнозировать высокую устойчивость к деформациям сдвига асфальтобетона с минеральной частью из известняка и ОМП в дорожном покрытии.

Следовательно, более длительные сроки службы асфальтобетонов в покрытии автомобильных дорог будут определяться повышением сдвигоустойчивости, тепло- и водостойкости. Замена в асфальтобетонных смесях минерального порошка, полученного из тонкомолотого известняка, органоминеральным порошком из ОСВ позволяет снизить затраты на производство смеси с обеспечением нормативных значений показателей качества.

5.3. Влияние органоминерального порошка из осадков сточных вод на коррозионную устойчивость асфальтобетона

Коррозионная устойчивость асфальтобетона в условиях изменяющегося влажностного и температурного режима является важнейшим его свойством, предопределяющим работоспособность и долговечность этого материала. Асфальтобетон, подобно большинству других пористых строительных материалов, разрушается главным образом при длительном или периодическом увлажнении, а также в результате попеременного замораживания и оттаивания.

При длительном увлажнении асфальтобетонные покрытия вследствие ослабления структурных связей могут разрушаться за счёт выкрашивания минеральных зёрен, что приводит к повышенному износу покрытий и образованию выбоин [158].

При попеременном замораживании и оттаивании особенно разрушительно действует вода. При проникновении воды в поры материала происходит

отслаивание битумных плёнок, что приводит к ослаблению структурных связей в асфальтобетоне. Расклинивающий эффект от действия воды при замерзании усиливает этот процесс. Известно, что битумные плёнки значительно изменяют свои свойства с понижением температуры - они становятся хрупкими, а вода увеличивается в объёме при замерзании, вызывает большие напряжения в стенках пор, способных привести к возникновению микротрещин. Микротрещины при оттаивании заполняются водой и в дальнейшем могут развиваться, этому способствует проникающая в них вода. Исходя из выше сказанного, асфальтобетон, при одновременном действии воды и пониженных температур находится в наиболее неблагоприятных условиях.

Значения прочности и водоустойчивости асфальтобетона в значительной степени зависят от свойств применяемых минеральных материалов.

Результаты исследований, которые приведены в разделе 5.2, свидетельствуют о высоких физико-механических характеристиках прочности, плотности, водостойкости при кратковременном воздействии воды асфальтобетона, приготовленного на известняковых минеральных материалах с органоминеральным порошком, поэтому представляет интерес изучение устойчивости структуры асфальтобетона, содержащего в своем составе ОМП, при длительном агрессивном действии воды и отрицательных температур.

Плотность асфальтобетона оказывает большое влияние на водо- и морозостойкость. Вследствие этого сравнение показателей этих свойств выполнено для материалов приблизительно одинаковой остаточной пористости.

На рисунках 5.2 - 5.7 приведены результаты испытаний водо- и морозостойкости образцов асфальтобетона.

Установлено, что водостойкость асфальтобетона на известняковых минеральных материалах выше, чем при использовании гранита, что объясняется основным характером его поверхности. Известно, что минеральные материалы, имеющие высокий положительный потенциал поверхности, при взаимодействии с битумом способны образовывать водонерастворимые соединения.

Водостойкость образцов асфальтобетона на щебне и отсеве дробления

известняка с ОМП как типа В, так и Г при длительном выдерживании в воде и при попеременном замораживании - оттаивании снижается медленнее, чем образцов, приготовленных с использованием гранита и ОМП. Так, водонасыщение образцов асфальтобетона с использованием известняка с ОМП через 15 суток водонасыщения выше на 3...8%, через 90 суток - на 7...12%, через 180 суток на 12...18%, а через 360 суток уже на 20...30% по сравнению с образцами на основе гранита. Величины набухания асфальтобетонов с известняком и ОМП меньше, чем набухание асфальтобетона с кислыми минеральными материалами (ИМП) (рис. 5.4 – 5.5). При этом, набухание и коэффициенты водостойкости образцов асфальтобетона типа В при выдерживании в воде в течение 30 суток мало отличаются и находятся на достаточно высоком уровне.

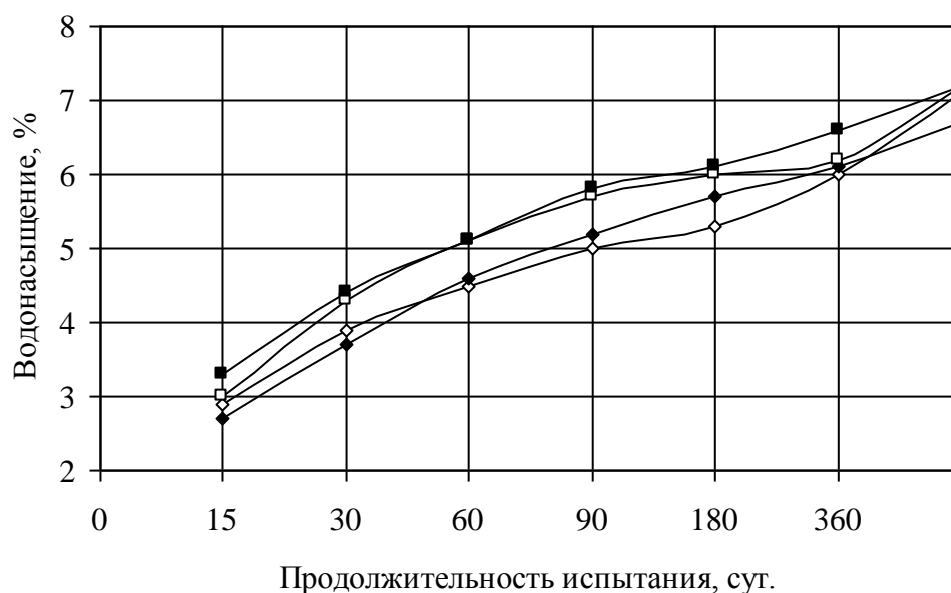


Рис. 5.2. Зависимость водонасыщения асфальтобетонов типа В, отличающихся видом минерального порошка, в зависимости от продолжительности испытания:

- | | |
|---------------------|---------------------|
| —◇— Известняк и ИМП | —◆— Известняк и ОМП |
| —□— Гранит и ИМП | —■— Гранит и ОМП |

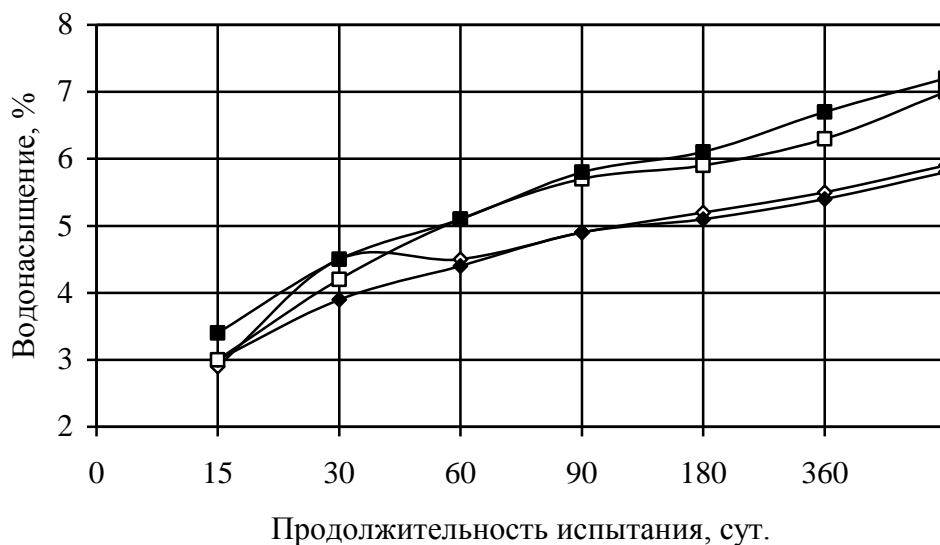


Рис. 5.3. Зависимость водонасыщения асфальтобетонов типа Г, отличающихся видом минерального порошка, в зависимости от продолжительности испытания:

- ◇ Известняк и ИМП ◆ Известняк и ОМП
 □ Гранит и ИМП ■ Гранит и ОМП

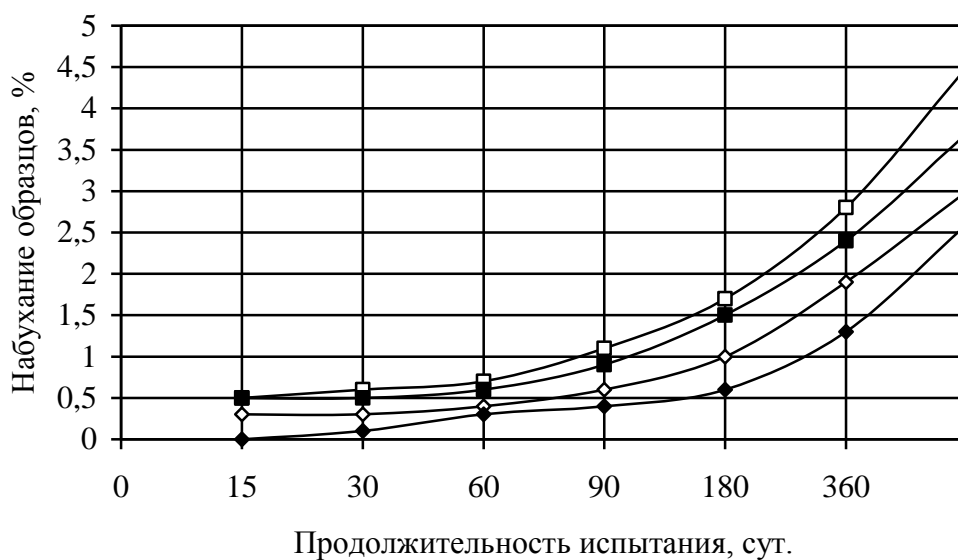


Рис. 5.4. Зависимость набухания образцов асфальтобетонов типа В, отличающихся видом минерального порошка, в зависимости от продолжительности испытания:

- ◇ Известняк и ИМП ◆ Известняк и ОМП
 □ Гранит и ИМП ■ Гранит и ОМП

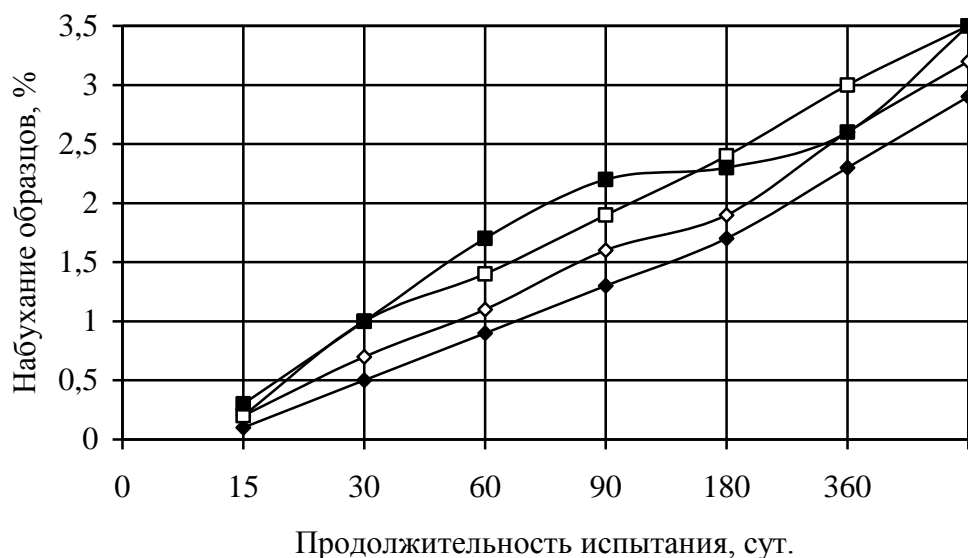


Рис. 5.5. Зависимость набухания образцов асфальтобетонов типа Г, отличающихся видом минерального порошка, в зависимости от продолжительности испытания:

- ◇— Известняк и ИМП —◆— Известняк и ОМП
 —□— Гранит и ИМП —■— Гранит и ОМП

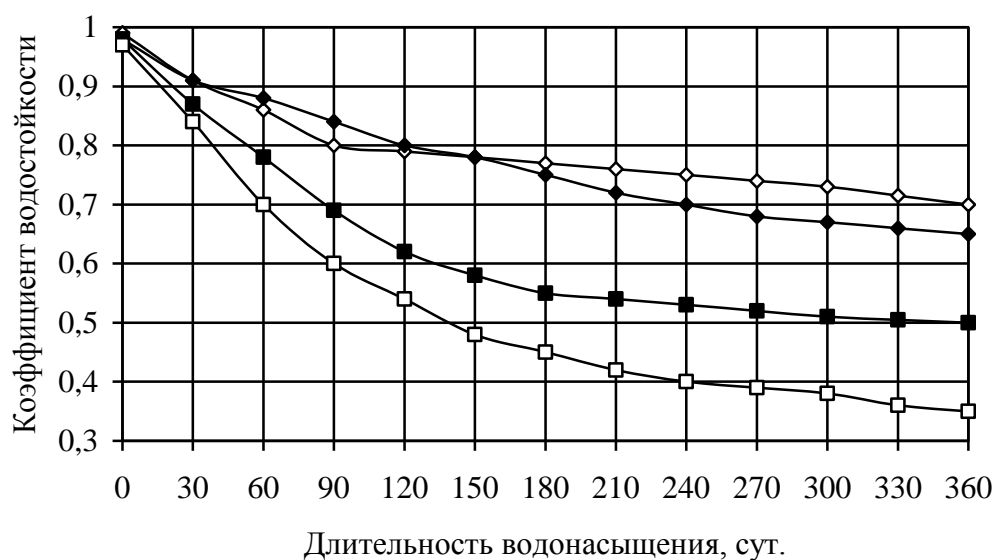


Рис. 5.6. Зависимость коэффициента водостойкости асфальтобетонов типа В, отличающихся видом минерального порошка, при длительном водонасыщении от времени:

- ◇— Известняк и ИМП —◆— Известняк и ОМП
 —□— Гранит и ИМП —■— Гранит и ОМП

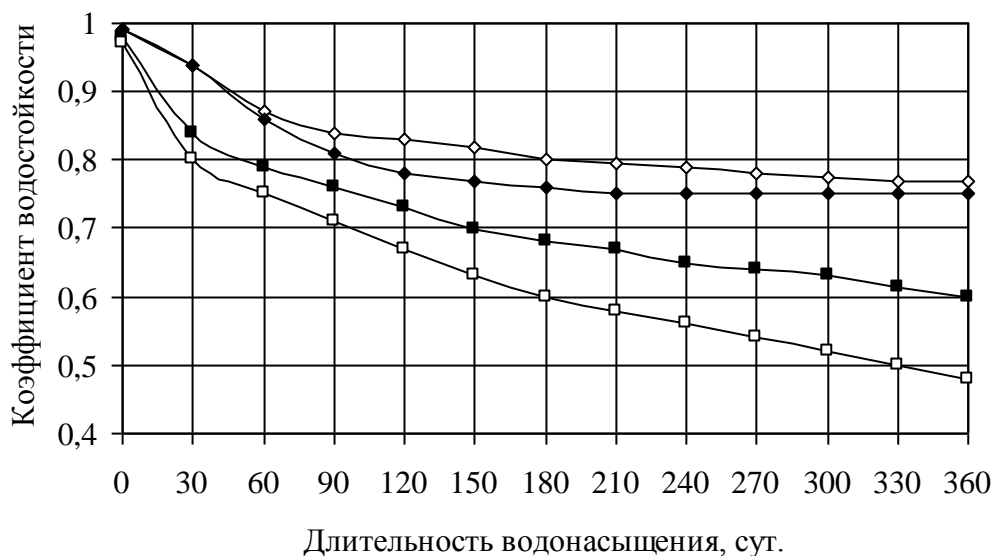


Рис. 5.7. Зависимость коэффициента водостойкости асфальтобетонов типа Г, отличающихся видом минерального порошка, при длительном водонасыщении от времени:

- | | |
|---------------------|---------------------|
| —◇— Известняк и ИМП | —◆— Известняк и ОМП |
| —□— Гранит и ИМП | —■— Гранит и ОМП |

Значения водонасыщения и набухания для асфальтобетона, которые приготовлены на известняковых минеральных материалах с ОМП значительно ниже, чем для асфальтобетонов, приготовленных на гранитных минеральных материалах с ОМП, что свидетельствует о высокой устойчивости структуры асфальтобетона с известняковым минеральным материалом с ОМП при длительном воздействии воды.

На начальном этапе исследований длительной водостойкости наблюдается более резкое снижение показателя физико-механического свойства песчаного асфальтобетона. При длительном водонасыщении эти показатели выравниваются для асфальтобетонов разных типов и в дальнейшем наблюдается более резкое падение физико-механических характеристик наблюдается для асфальтобетона типа В.

На рис. 5.8 – 5.9 приведены результаты исследований морозостойкости образцов асфальтобетона.

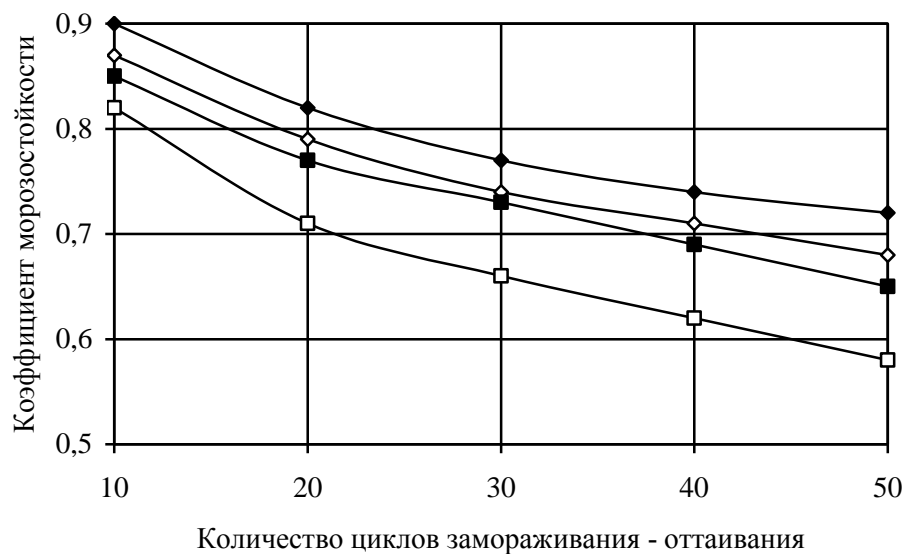


Рис. 5.8. Зависимость коэффициента морозостойкости асфальтобетона типа В на различных минеральных порошках от количества циклов замораживания-оттаивания:

- | | | | |
|-----|-----------------|-----|-----------------|
| —◇— | Известняк и ИМП | —◇— | Известняк и ОМП |
| —□— | Гранит и ИМП | —■— | Гранит и ОМП |

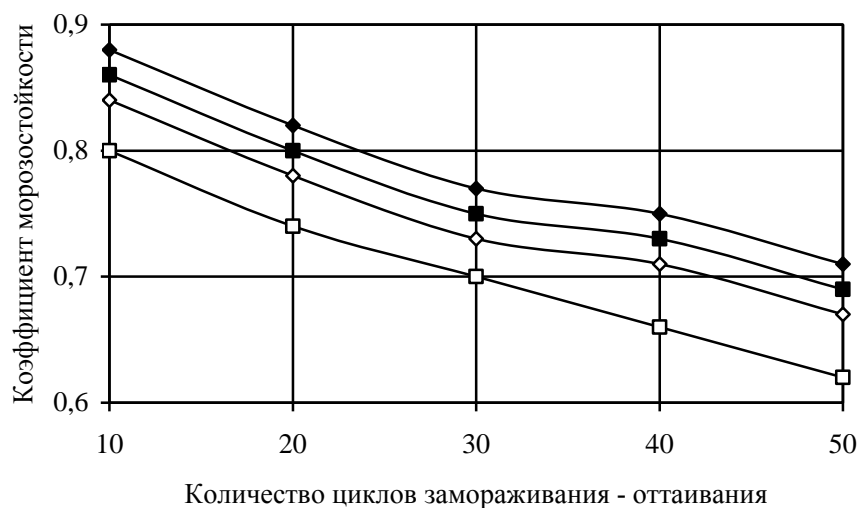


Рис. 5.9. Зависимость коэффициента морозостойкости асфальтобетона типа Г на различных минеральных порошках от количества циклов замораживания-оттаивания:

- | | | | |
|-----|-----------------|-----|-----------------|
| —◇— | Известняк и ИМП | —◇— | Известняк и ОМП |
| —□— | Гранит и ИМП | —■— | Гранит и ОМП |

Морозостойкость (коэффициент морозостойкости) асфальтобетона с минеральной частью из известняка с ОМП также как и длительная водостойкость выше, чем асфальтобетона с гранитным минеральным материалом. Для асфальтобетона на известняке коэффициент морозостойкости через 10 циклов замораживания-оттаивания составляет 0,88-0,90, а для асфальтобетона на граните – 0,0,85-86. Через 50 циклов – 0,72-0,74 и 0,67-0,69 соответственно.

Изучение водо- и морозостойкости образцов асфальтобетона подтверждают результаты выполненных ранее исследований о взаимодействии битума с поверхностью известняка с ОМП, по сравнению с гранитом.

Величина набухания асфальтобетона и соответственно потеря его прочности при водонасыщении зависит от содержания глинистых, илистых частиц в составе минеральных материалов входящих в состав асфальтобетонной смеси [145, 159].

Водостойкость асфальтобетона зависит от прочности адгезии битумной пленки к поверхности минеральных заполнителей. Возрастание интенсивности процессов физической адсорбции битума частицами из известняка способствует повышению механической прочности асфальтовых образцов, не приводя к повышению водостойкости [145].

Более высокое сцепление битума с поверхностью известнякового минерального материала отражается на увеличении водостойкости и морозостойкости асфальтобетона. Это объясняется тем, что природа связи в системе «битум – известняк» – хемосорбционная (химическая), а природа связи «битум – гранит» - физическая. Прочные хемосорбционные связи, возможны благодаря наличию на поверхности минерального материала большого количества активных адсорбционных центров, характеру поверхности известняка и наличию примесей щелочноземельных металлов и алюминия, и тяжелых металлов.

Результаты исследований характеризуют более высокую коррозионную устойчивость битумо-минерального материала с использованием органо-минерального порошка.

5.4. Исследование старения асфальтобетонов, содержащих в своем составе органоминеральный порошок

Изменение химического состава и структуры битума, то есть его старение вызвано высокими температурами и действием кислорода, при которых происходит объединение битума с минеральными материалами, условиями окружающей среды, в которых работает битум в дорожном покрытии, воздействиями, обусловленными движущимися транспортными средствами. Под старением понимается вся совокупность необратимых изменений структуры, физических и механических свойств битума, наблюдающихся при хранении, технологической переработке и эксплуатации [24]. Как правило, химические превращения в битумах приводят к образованию высокомолекулярных более конденсированных молекул. Окисление является доминирующей причиной старения битумов, как и других высокомолекулярных веществ [22, 24, 160-161]. От состава битума и, прежде всего от наличия легкоокисляющихся групп и связей в молекулах зависит его склонность к химическим превращениям.

Выполненные Лысихиной А.И., Золотаревым В.А., Михайловым В.В., Печеным Б.Г., Сергиенко С.Р. [159-163] исследования показали, что необратимые изменения свойств асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов в процессе старения обусловлены как внешними факторами (кислород воздуха, температура, ультрафиолетовое и радиационное излучение, вода), так и внутренними факторами (структурно-реологический тип и консистенция битума, химико-минералогический состав минеральных компонентов асфальтобетона, тип гранулометрии, степень уплотнения асфальтобетона).

Старение начинается в процессе производства асфальтобетонной смеси и продолжается при термостатировании, транспортировании к месту укладки смеси в конструктивные слои нежестких дорожных одежд и в условиях эксплуатации.

Снижение показателей асфальтобетона происходит за счет изменения структуры битума а, следовательно, и его свойств, на покрытии появляются деформации в виде трещин. Процессы, которые происходят на молекулярном

уровне в битуме, приводят к макроскопическим изменениям в асфальтобетоне, выражающимся в повышении хрупкости, снижении пластичности и др. [96].

Многолетние наблюдения, выполненные Сюньи Г.К. и др., а также лабораторные исследования [165-166] за службой дорожных покрытий, показали, что одной из основных причин возникновения деформаций на автомобильных дорогах с течением времени являются атмосферные факторы. Известно, что если величина внутренних напряжений, возникающих в покрытии под действием автомобильного движения, не превосходит существующую прочность покрытия, она не уменьшает долговечность асфальтобетона, а способствует даже дополнительному упрочнению, выражающемуся в первые годы службы в доуплотнении его. Значительно влияет на изменение свойств асфальтобетона совместное действие нагрузок и температуры, в зависимости, от величины которых асфальтобетон может находиться в различных реологических состояниях [167].

Процессами, вызывающими необратимые изменения состава и свойств битумов, являются; испарение легкокипящих составляющих, происходящее в поверхностном слое битума незначительной толщины и зависящее от содержания с молекулярной массой менее 300, компонентов, вязкости битума и температуры; оксиполимеризация компонентов битума, происходящая главным образом на внешней поверхности вяжущего, подвергающейся непосредственному действию света или ультрафиолетовых лучей; поликонденсация, происходящая под влиянием кислорода, и являющаяся основным процессом, изменяющим состав и структуру битума при старении [24].

В асфальтобетоне процессы старения битумов идут по тому же механизму, как и в свободном битуме, хотя имеются и некоторые особенности, обусловленные присутствием минеральных материалов.

Золотарев В.А. в своих работах [113, 160] отмечает, что адсорбционные слои по сравнению со свободным битумом имеют одно важное преимущество: молекулы битума в адсорбированных слоях имеют гораздо меньшую подвижность, чем в свободном битуме, что снижает их реакционную способность.

Это наблюдается в том, что смесь битума с минеральным наполнителем при повышенном содержании минерального порошка (например, при производстве литых асфальтобетонных смесей) перемешивают при высоких температурах, достигающих 215-230°C, при этом не наблюдается значительного окисления битумов, что обусловлено тем, что в таких смесях органическое вяжущее в основном находится в адсорбционно-сольватном состоянии на поверхности минерального порошка, удельная поверхность которого гораздо выше, чем в обычных битумо-минеральных композициях. Продлением индукционного периода цепных реакций, происходящих в битуме, можно достигнуть увеличения срока службы асфальтобетонного покрытия [24]. Это решается подбором минеральных материалов, замедляющих процессы окисления, и введением в битум ингибиторов. Например, в асфальтобетоне на минеральных компонентах из плотного известняка (щебень, отсев, минеральный порошок) вязкость битума за счёт окисления увеличивается незначительно, поскольку реакционноспособные составляющие, прежде всего, асфальтогеновые кислоты битума химически взаимодействуют с катионами кальция [159].

Установлено, что ОМП обеспечивает хорошее сцепление с битумом и позволяет получить асфальтобетон с высокой прочностью, водо- и морозостойкостью. Так как большинство исследователей [24, 168] считают, что кислые минеральные материалы ускоряют интенсивность процессов старения битума, представляет интерес изучение старения асфальтобетона на исследуемом органоминеральном материале, которое косвенно характеризуют и процессы взаимодействия битума с поверхностью минерального материала.

Как и другие процессы, происходящие в битумах, старение сопровождается структурными превращениями, основанными на изменении химической природы битума. В связи с этим, старение можно исследовать, определяя скорость взаимодействия битума с кислородом, или изучать его по изменению любого свойства, лишь бы оно изменялось достаточно заметно [24].

В условиях искусственного старения процессы происходят не только быстрее, но и качественно иначе, чем в природных условиях, так как отдельные

реакции сложного физико-химического процесса, обуславливающее старение, неодинаково активируются повышением температуры [169]. Вследствие этого результаты, полученные по искусственному старению, имеют условное значение и могут использоваться лишь для сравнительной оценки.

С целью выявления влияния различного минерального материала на процессы старения битума в асфальтобетоне были выполнены исследования по следующим методикам: в процессе производства и после длительного термостатирования по скорости прохождения ультразвуковых волн и по изменению предела прочности при сжатии.

Предел прочности при сжатии, характеризующий прочность асфальтобетонных образцов, характеризуется наименьшим коэффициентом по сравнению с другими стандартными свойствами, поэтому этот показатель является информативным при изучении старения [170].

Окисляемость битума в процессе формования образцов оказывает весьма сильное влияние на свойства асфальтобетона. Характерно, что реологические характеристики битума после кратковременного пребывания его в зоне высоких температур при объединении с минеральным материалом изменяются значительно интенсивнее, чем после последующего девятнадцатилетнего нахождения в составе дорожного покрытия, где температура не превышает 70°C [171]. Кроме того, для стандартных испытаний обычно формуется 10 - 15 образцов асфальтобетона при продолжительности их изготовления около одного часа. В течение этого времени температура смеси после перемешивания поддерживается постоянной, что должно обязательно отразиться на однородности результатов испытаний. Вследствие этого в работах ряда исследователей [171-172] уделяется большое внимание процессам старения битума при приготовлении бетонных смесей на органических вяжущих.

В диссертационной работе образцы асфальтобетона типа В на известняковых минеральных материалах с ОМП и МП формовались после 10, 20, 40 и 60 мин. выдерживания при температуре $155 \pm 5^\circ\text{C}$. На рис. 5.10 приведены результаты исследований.

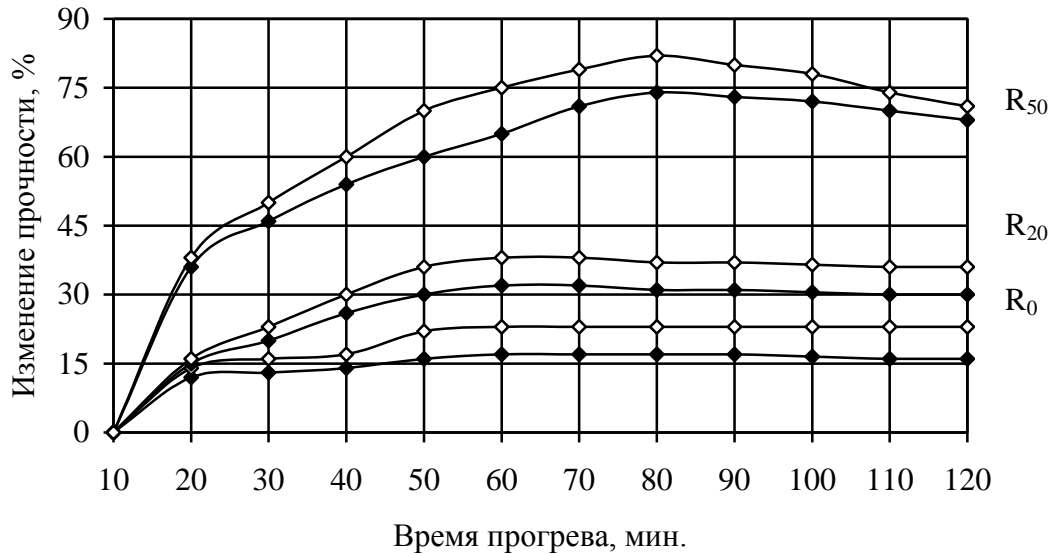


Рис. 5.10. Изменение прочности асфальтобетонных образцов типа В после прогрева смеси в процессе приготовления на известняке с ОМП и МП:

—◆— ОМП —◇— ИМП —◆— ОМП —◇— ИМП —◆— ОМП —◇— ИМП.

Согласно данным (рис. 5.10) видно, что пребывание асфальтобетонной смеси в горячем состоянии при формовании образцов приводит к значительному росту прочности, при этом изменение прочности асфальтобетона на известняковом щебне, отсева его дробления и ОМП происходит медленнее, чем образцов на известняковом МП.

Данные, приведенные на рис. 5.10, показывают, что более интенсивно, изменяются значения пределов прочности при 50°C в сравнении со значениями пределов прочности при 20°C и особенно при 0°C. Это происходит из-за изменения структуры битума, происходящего при старении, что способствует ухудшению его основных реологических свойств.

Скорость старения асфальтобетона значительно выше при прогреве смеси в рыхлом состоянии, чем уплотненных образцов. Тем не менее при этом не учитывается в должной степени влияние остаточной пористости и её структуры на скорость старения асфальтобетонного покрытия [170]. Кроме этого, из-за старения битумных плёнок ухудшается способность смеси уплотняться, что приводит к снижению плотности образцов.

Результаты исследований старения образцов асфальтобетона в процессе длительного термостатирования приведены в таблице 5.10.

Таблица 5.10

Изменение прочностных характеристик асфальтобетона с ОМП и ИМП после его термостатирования

Время прогрева, часы	Порошковый материал	Предел прочности при сжатии (в скобках прирост прочности, %)		
		При 50 ⁰ С	При 20 ⁰ С	При 0 ⁰ С
1	2	3	4	5
0	ОМП	2	5	9,9
	ИМП	1,8	4,9	11,5
40	ОМП	2,2 (13%)	5,5 (10%)	10,5 (6%)
	ИМП	2,0 (13%)	5,3 (8%)	12,2 (6%)
80	ОМП	2,5 (26%)	6,1 (22%)	11,9 (20%)
	ИМП	2,4 (32%)	6,6 (34%)	14,3 (24%)
120	ОМП	3,3 (64%)	7,4 (48%)	13,2 (32%)
	ИМП	3,1 (72%)	7,6 (55%)	16,2 (41%)

Акустический метод использовался для определения динамического модуля упругости и изменения его в процессе старения [173].

При прохождении звуковых, то есть упругих волн, в среде возникают механические колебания. Продольные колебания вызывают попеременные сжатие и расширение. Возбуждаемые при этом деформации чрезвычайно малы и не вызывают разрушения структуры асфальтобетона, и, в то же время, достаточно полно характеризуют ее состояние.

Быстрота и высокая точность определений, возможность неоднократной проверки результатов на одних и тех же образцах являются основными преимуществами ультразвукового способа испытаний.

Интенсивность старения асфальтобетона наиболее полно позволяет оценить изменение скорости ультразвука.

При испытании асфальтобетона этим методом были использованы образцы - балочки 4·4·16 см. После выдерживания образцов в течение одних суток были определены скорости прохождения ультразвуковых колебаний (УЗК), затем

образцы были прогреты при температуре 90°C. Через 150, 300 и 450 часов прогрева вновь были определены скорости прохождения ультразвуковых колебаний. Измерения выполнены с помощью ультразвукового прибора УКБ – 1М. Результаты приведены на рис. 5.11.

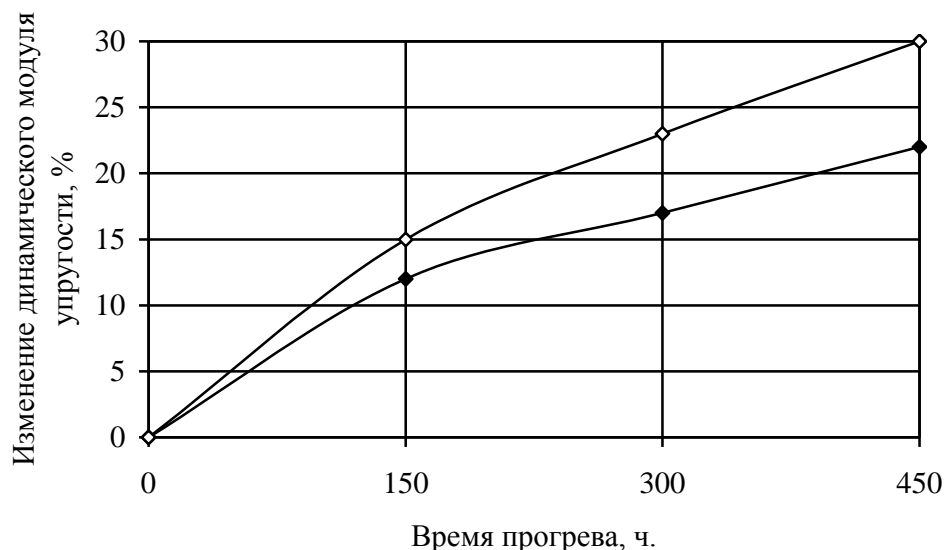


Рис. 5.11. Зависимость изменения динамического модуля упругости асфальтобетона от времени прогрева при температуре 90°C на различных минеральных порошках:

—◆— 1-ОМП —◆— 2-ИМП

По результатам испытаний (рис. 5.10 - 5.11, табл. 5.10) видно, что ОМП, по сравнению с МП, не только не ускоряет процессы старения битума в асфальтобетоне, а несколько замедляет их. Прочность (табл. 5.10) и динамический модуль упругости (рис 5.11) асфальтобетона с использованием ОМП изменяется медленнее, чем на ИМП, что свидетельствует о более замедленном процессе старения битума. Поученные результаты испытаний являются дополнительным подтверждением более активного взаимодействия битума с ОМП, чем с ИМП, т.к. известно, что чем активнее битум взаимодействует с поверхностью минерального материала, тем медленнее он будет стареть во времени [113, 160].

Результаты исследования старения подтверждают активное взаимодействие битума и ОМП с поверхностью заполнителей с возможным образованием

химической адсорбции.

Выводы по разделу 5

1. Использование ОМП позволяет получить асфальтобетон с физико-механическими характеристиками, удовлетворяющим нормативным требованиям и не уступающими характеристикам асфальтобетона на известняковом минеральном порошке. Методом экспериментально-статистического моделирования установлены оптимальные концентрации ОМП в составе асфальтобетонной смеси (4-8%).

2. При увеличении механической прочности образцов асфальтобетона типа В с ОМП при температуре испытаний 20°C ($R_{20}=3,8-4,1$ МПа), в сравнении с асфальтобетоном типа В с минеральным порошком из известняка ($R_{20}=3,8-4,2$ МПа), одновременно происходит снижение прочности при 0°C , что свидетельствует о способности частиц ОМП взаимодействовать с битумом без обеднения его пленок низкомолекулярными фракциями, и должно положительно отразиться на сдвигоустойчивости такого асфальтобетона при высоких летних температурах и трещиностойкости зимой.

3. Водостойкость образцов асфальтобетона с использованием известняка с ОМП через 15 суток водонасыщения выше на 3...8%, через 90 суток - на 7...12%, через 180 суток на 12...18%, а через 360 суток на 20...30% выше по сравнению с образцами на основе гранита. Величины набухания асфальтобетонов с известняком и ОМП меньше, чем набухание асфальтобетона с кислыми минеральными материалами. При этом, набухание и коэффициенты водостойкости образцов асфальтобетона типа В при краткосрочном выдерживании в воде (в течение 30сут.) мало отличаются и находятся на достаточно высоком уровне.

4. В результате прочного сцепления сорбированной пленки вяжущего с органоминеральным порошком и поверхностью заполнителя, возникающей из-за

происходящих на поверхности раздела хемосорбционных процессов, увеличивается водостойкость при длительном водонасыщении и морозостойкость (для асфальтобетона с содержанием известняковых щебня, песка и органоминерального порошка коэффициент морозостойкости через 10 циклов замораживания-оттаивания составляет 0,88-0,90, а для асфальтобетона на гранитных минеральных материалах с содержанием ОМП – 0,85-0,86; через 50 циклов – 0,72-0,074 с содержанием известняковых щебня, песка и органоминерального порошка и 0,67-0,69 для асфальтобетона с содержанием гранитных щебня, песка и органоминерального порошка), что позволяет прогнозировать хорошую сопротивляемость асфальтобетона агрессивным воздействиям воды и одновременному воздействию воды и отрицательных температур в покрытии автомобильных дорог.

5. При длительном термостатировании асфальтобетона при высоких температурах (около 150°C), видно, что результаты испытаний пределов прочности асфальтобетонных образцов при 50°C (R_{50}) изменяются более интенсивно, чем пределы прочности при 20°C (R_{20}) и особенно при 0°C (R_0).

6. Процессы старения битума в асфальтобетоне с использованием ОМП происходят медленнее, чем при использовании известнякового МП, что свидетельствует об активном взаимодействии битума с поверхностью ОМП и заполнителя с образованием химических связей, блокирующих свободные радикалы вяжущего.

7. Органоминеральный порошок из техногенного отхода – осадка сточных вод, несмотря на отличие от традиционного минерального порошка (многокомпонентный состав, наличие трудноразлагаемой органики, алюмосиликатный минеральный остов и тяжелые металлы) является высокоструктурирующим компонентом битумных пленок в асфальтобетоне и придает последнему малую набухаемость, повышенную температурную устойчивость и коррозионную стойкость.

РАЗДЕЛ 6

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА В АСФАЛЬТОБЕТОНЕ

6.1. «Рекомендации по использованию органоминерального порошка из осадка сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей»

ПРЕДИСЛОВИЕ

Свойства асфальтобетона – композиционного материала определяется, в первую очередь, качеством органического вяжущего и процессами взаимодействия на поверхности раздела фаз «вяжущее – минеральный материал». Необходимо отметить, что дорожные битумы характеризуются высокими температурами перехода в упруго-хрупкое состояние и низкими температурами текучести, а также неудовлетворительными адгезионно-когезионными свойствами в адсорбционно-сольватных слоях на поверхности минеральных материалов.

В «Рекомендациях» изложены требования к материалам, технологии приготовления органоминерального порошка из ОСВ, указаны технологические режимы производства, укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей.

6.1.1. Общие положения.

6.1.1.1. Асфальтобетон – это искусственный строительный материал, получаемый уплотнением перемешанной до однородного состояния при температуре 150-160⁰С рационально подобранной смеси нефтяного дорожного битума, щебня, искусственного песка и органоминерального порошка из осадков сточных вод.

6.1.1.2. Органоминеральный порошок образуется в процессе сушки и измельчения депонированного (не менее 7 лет) осадка сточных вод и представляет собой по цвету серый порошок.

6.1.1.3. Для приготовления асфальтобетонных смесей применяют нефтяные дорожные битумы по ДСТУ 4044-2001.

6.1.1.4. Минеральные материалы, предназначенные для производства асфальтобетонных смесей должны соответствовать требованиям ДСТУ Б В.2.7-119:2011.

6.1.2. Технология приготовления органоминерального порошка из осадков сточных вод.

Для эффективного использования осадка в качестве органоминерального порошка для асфальтобетонных смесей, необходимо проведение ряда подготовительных операций. Учитывая требования к влажности и фракционному составу, предъявляемые к традиционному минеральному порошку, исходное сырьё должно быть высушено и измельчено до необходимой тонкости помола. Проведение таких операций целесообразно непосредственно на очистных сооружениях, вблизи к территориям, занятыми под отвалы.

На рис. 6.1 приведена технологическая схема подготовки осадка сточных вод к утилизации.

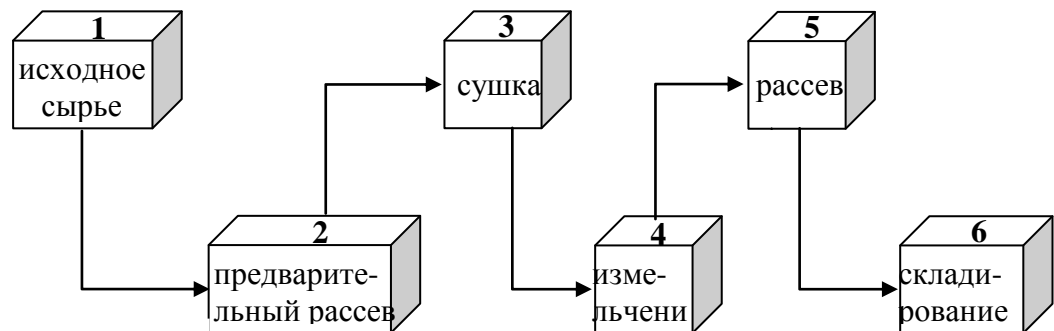


Рис. 6.1. Принципиальная технологическая схема по подготовке ОСВ к утилизации в дорожном строительстве.

1) Исходное сырье.

После прохождения цикла очистки сточных вод, образовавшийся осадок сбрасывается на иловые площадки, где согласно технологии, предусмотренной на очистных сооружениях, выдерживается не менее семи лет с целью минерализации

и достижения влажности менее 70%. Затем иловые площадки освобождаются и осадок транспортируется в отвалы, где под действием внешних факторов в нем продолжаются процессы обезвоживания и минерализации. Осадок в отвалах, с влажностью, в зависимости от погодных условий, $18 \div 40\%$ разрабатывается, с предварительным снятием верхнего слоя, погрузчиком или экскаватором с погрузкой в автосамосвалы, на которых транспортируется к месту дальнейшего технологического передела.

2) Предварительный рассев.

Предварительный рассев осадка от остатков мусора, растений и других примесей осуществляют грохочением через сито с размером ячеек 5мм. Типы грохота, различающиеся по расположению рабочих поверхностей и характеру движения просеивающей поверхности, значения не имеют. Производительность грохотов во всех случаях будет зависеть от высоты слоя материала и скорости его движения, которая в свою очередь, зависит от угла наклона грохота, частоты и амплитуды колебания сита. Рабочая просеивающая поверхность может быть изготовлена в виде проволочных сеток (сит), отдельных полос (колосники), стальных листов со штампованными отверстиями (решета). Остаток на сите отправляется на другие виды обработки или временно складывается на освобожденные от отвалов территории до достижения нормируемого гранулометрического состава.

3) Сушка.

Для дальнейшего использования осадков, необходимо высушивание полученного после предварительного отсева материала.

На практике используется множество технологий и устройств для сушки влажных материалов, в том числе осадков сточных вод, термическим способом, где в качестве сушильного агента используются: перегретый пар, горячий воздух, топочные газы. Однако все способы сушки имеют ряд недостатков: значительные энергозатраты; выжигание органических составляющих; загрязнение воздушного бассейна газообразными токсичными компонентами.

Исходя из вышеизложенного, представляет интерес на более простой и экологически чистый способ сушки осадка сточных вод. Таким представляется процесс естественной сушки осадка в специальных условиях.

Специальными условиями являются: ограждение материала от последующего увлажнения, расстиление на водонепроницаемой поверхности слоя осадка, обеспечение хорошей естественной вентиляции. Для удовлетворения этих условий, необходимо сооружение, в качестве которого могут устраиваться навесы, металлические ангары и пр., либо использовать существующие неиспользуемые объекты на территории очистных сооружений. Кроме удовлетворения условий естественной сушки, процесс обезвоживания осадка сточных вод будет проходить более интенсивно под действием повышенной температуры внутри сооружения, вследствие его нагревания от солнечного воздействия в весенне-летне-осенний период. Для ускорения процесса материал предлагается рассыпать слоем толщиной 0,1-0,4м и периодически производить рыхление, которое может осуществляться механическими рыхлителями разной конструкции, например, ДП-26С, ДЗ-141ХЛ.

4) Измельчение.

Для получения из осадка порошкообразного материала, соответствующего по фракционному составу минеральному порошку необходимо тонкое измельчение. Наиболее целесообразным способом, используемым в промышленности для подобного вида материала, является измельчение в валковых дробилках с гладкими валками, например, ДГ 400х250, ДВГ-2/500.

Для выполнения этой операции можно применять валковые дробилки самой простой конструкции, т.к. частицам и мелким комочкам осадков не требуется больших усилий для их диспергирования. Однако, при необходимости и соответствующем технико-экономическом обосновании, возможно применение более сложного высокопроизводительного оборудования, например, тарельчато-роликовых мельниц. Тарельчато-роликовые мельницы широко применяются при помоле портландцементных сырьевых материалов и угля, обладают высокой

производительностью (до 500 т/ч), простотой управления и автоматизации, низкими капитальными затратами и эксплуатационными расходами. Также в них происходит измельчение с одновременной подсушкой материала с влажностью до 15%. Например, ТРМ-1600, ТРМ-2800.

5) Рассев.

Дополнительный рассев производится тем же способом, что и предварительный рассев – грохочением. Необходимый размер ячеек сит для получения необходимой фракции – 1,25 мм.

6) Складирование.

Складирование полученного порошкообразного материала может осуществляться традиционным способом промышленного хранения путем загрузки в силосы. Однако при таком способе хранения имеет место аутогезионное взаимодействие, в результате которого возможно слеживание материала под действием собственной массы, когда вся масса превращается в монолитное тело. В результате чего возникнет необходимость периодического перемешивания материала, что приведет к дополнительным энергетическим затратам. Наиболее целесообразно хранение в расфасованном виде в бумажных или полиэтиленовых мешках по 40-50 кг. При расфасовке в таком виде материала, также снимется проблема поиска способа его доставки на асфальтобетонный завод, снижается трудоемкость дозирования при приготовлении смеси.

6.1.3. Технология производства асфальтобетонной смеси.

Подготовленный осадок транспортируют на асфальтобетонный завод, где в дальнейшем происходит производство асфальтобетонной смеси с добавкой ОСВ в качестве минерального порошка. Доставка материала осуществляется двумя способами: в цементовозах, если условием складирования готового порошка ОСВ принята загрузка в силосы, и любым грузовым транспортом в расфасованном виде материала в полиэтиленовых или бумажных мешках.

На рис. 6.2 приведена схема процесса производства двухступенчатым способом асфальтобетонной смеси с введением ОСВ.

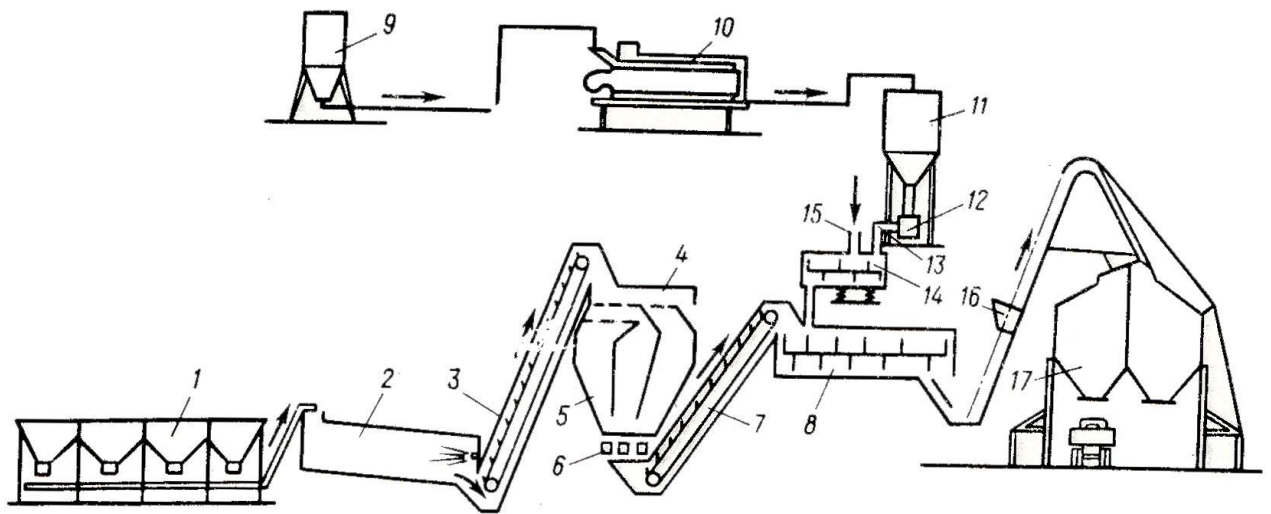


Рис. 6.2. Схема процесса производства асфальтобетонной смеси с введением ОСВ.

Песок и щебень из агрегата питания 1 по транспортеру транспортируют в сушильный барабан 2. Из сушильного барабана сухие, горячие заполнители транспортируются в элеватор 3, далее через грохот 4 в бункеры 5 и далее на непрерывные дозаторы 6, откуда элеватором 7 в смеситель непрерывного действия 8.

Линия приготовления асфальтовяжущего выглядит следующим образом: холодный органоминеральный порошок (ОМП) из силосного склада 9 поступает в сушильный барабан 10, затем из горячего бункера 11 на дозатор непрерывного действия 12 и шнеком-питателем 13 в вибросмеситель 14. Сюда же по битумопроводу подается горячий битум 15. Выгрузка готовой смеси осуществляется ковшом 16 скипового подъемника в раздаточный бункер-накопитель 17.

Продолжительность перемешивания горячей асфальтобетонной смеси (включая «сухое» перемешивание, $1/3$ от общего времени), как при стандартном, составляет 60-75 с для мелко- и среднезернистой смесей, и 20 -30 с – для крупнозернистой.

Смесь выгружается с помощью затвора, расположенного в нижней части бункера-накопителя, в автосамосвал. Температура готовой асфальтобетонной смеси, укладываемой в горячем состоянии, при выпуске из мешалки должна быть в пределах 140-150°C. В автосамосвалах асфальтобетонная смесь перевозится на объект дорожного строительства, где проходит стандартный процесс укладки на предварительно подготовленное основание под дорожное полотно.

6.2. Опытно-промышленное внедрение асфальтобетонных смесей, содержащих в своем составе органоминеральный порошок из осадков сточных вод и расчет экономической эффективности

Апробация результатов научных исследований при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием выполнено в ДЭРСУ г. Антрацита.

В период с сентября по октябрь 2010г с использованием осадка сточных вод г. Луганска в качестве органоминерального порошка, гранитного щебня и отсева дробления гранитного щебня (Караньский карьер) была выполнена реконструкция городской улицы им. Малютина в г. Антраците Луганской области (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Экспериментальная городская улица г. Антрацит

На участке автомобильной дороги по улице Малютина длиной 250м и шириной 6м (ПК0...ПК2+50) были выделены два опытных участка 250·3м – левая полоса покрытия дороги была построена асфальтобетонной смесью с традиционным известняковым минеральным порошком, а правая – асфальтобетонной смесью с ОМП, за которым установлены систематические наблюдения. Толщина покрытия составила 6см.

Подбор составов асфальтобетонных смесей необходимо выполнять в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-119-2011.

При устройстве верхнего слоя покрытия автомобильной дороги использовали горячие мелкозернистые асфальтобетоны типа В, марки I следующих составов: левая полоса - гранитный щебень Караньского карьера – 25%, отсев дробления гранита – 70%, известняковый минеральный порошок – 5%, битум БНД 60/90 Лисичанского НПЗ – 6,5%; правая полоса - гранитный щебень Караньского карьера – 25%, отсев дробления гранита – 70%, ОМП – 5%, битум БНД 60/90 Лисичанского НПЗ – 6,5%.

Таблица 6.1

Зависимость свойств асфальтобетона из переформованных вырубков из верхнего слоя покрытия, содержащего в своем составе в качестве минерального порошка осадок сточных вод

Сроки отбора пробы	Вырубки				Переформованные образцы					
	Средняя плотность, кг/м ³	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Коэффициент уплотнения	Средняя плотность, кг/м ³	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре		Коэффициент водостойкости
								20 ⁰ С	50 ⁰ С	
из смесителя					2350	2,4	0,18	3,5	2,3	0,93
10 дней	2360	3,2	0,30	0,99	2380	2,5	0,18	3,7	2,3	0,93
1 год	2370	2,4	0,28	0,99	2390	2,6	0,21	3,8	2,4	0,90
2 года	2375	2,2	0,25	0,99	2400	2,8	0,21	4,1	2,6	0,87

Таблица 6.2

Зависимость свойств асфальтобетона из переформованных вырубков из верхнего слоя покрытия, содержащего в своем составе традиционные составляющие

Сроки отбора пробы	Вырубки				Переформованные образцы					
	Средняя плотность, кг/м ³	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Коэффициент уплотнения	Средняя плотность, кг/м ³	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре		Коэффициент водостойкости
								20 ⁰ С	50 ⁰ С	
из смесителя					2340	6,5	0,38	3,3	1,2	0,9
10 дней	2335	3,4	0,60	0,99	2350	2,6	0,42	3,5	1,1	0,96
1 год	2350	3,0	0,50	0,99	2375	2,8	0,53	3,6	1,2	0,88
2 года	2370	2,8	0,47	0,99	2400	3,1	0,55	3,8	1,3	0,85

Все технологические операции по предварительной подготовке ОСВ и его использования при производстве асфальтобетонной смеси, осуществлялись согласно приведенных схем в пункте 6.1. настоящей работы. Каких-либо явных изменений и отклонений от традиционных процессов не наблюдалось.

Асфальтобетонная смесь приготавливалась в смесительной установке ДС-158 и транспортировалась к месту укладки автосамосвалами. Укладка асфальтобетонной смеси производилась асфальтоукладчиком Д-А-3, уплотнение - легкими и средними катками по общепринятой технологии.

Экспериментальное внедрение осуществлено при реконструкции ул. Малютина в г. Антрацит. Объем произведенной и уложенной в покрытие асфальтобетонной смеси составил 110т, в состав которой, входило 6,6т подготовленного осадка.

Внедрение осуществлено в сентябре-октябре 2010г в благоприятных погодных условиях. По результатам экспериментального внедрения выполнена оценка экономической эффективности предложенной технологии.

Б.1. Краткая техническая характеристика сравниваемых вариантов

Б.1.1. Базового варианта

Асфальтобетонный завод (АБЗ) Краснолучского ДЭРСУ, в основном, производит горячие асфальтобетонные смеси приготавливаемые на нефтяных дорожных битумах марок БНД 60/90, которые характеризуются низкими значениями когезии (0,020 – 0,0250 МПа), адгезии (18 – 50 %), температуры размягчения $T_p = 37 - 45^{\circ}\text{C}$, отсутствием эластичности. Это приводит к низким значениям сдвигоустойчивости, водо- и морозостойкости, а, следовательно, и низкой усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий.

Б.1.2. Новой техники.

В качестве нового варианта принята асфальтобетонная смесь, приготовленная на органо-минеральном порошке из ОСВ

Б.1.3. Преимущества новой техники по сравнению с базовой.

Применение разработанной асфальтобетонной смеси для строительства верхних слоев дорожных одежд позволит обеспечить нормативный срок службы автомобильной дороги.

Б.2. Методика расчета годового экономического эффекта.

Б.2.1. Наименование инструкции, её номер, год ввода в действие, в соответствии с которой производится расчёт экономического эффекта.

Для определения экономической эффективности применения органоминерального порошка из ОСВ в асфальтобетонных смесях выполнен технико-экономический расчёт в соответствии с Инструкцией по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений, М.: Госстрой СССР, 1979. – 65 с (СН 509-78), а также СНиП IV-2-82, т. 4.

Б.2.2. Основная формула расчёта

В связи с тем, что сравниваются варианты верхних слоев дорожных одежд автомобильных дорог, а именно асфальтобетонного (традиционный горячий асфальтобетон – базовый вариант) и асфальтобетонного с комплексно модифицированной микроструктурой (содержит органоминеральный порошок из ОСВ) – новый вариант, срок службы которых меньше срока службы всего конструктива автомобильной дороги, то расчет годового экономического эффекта \mathcal{E}_2 от создания и использования строительной конструкции (модифицированного асфальтобетонного верхнего слоя дорожной одежды) производили по формуле 6.1 (3 из СН 509-78)

$$\mathcal{E}_2 = ((Z_1 - Z_{C1}) \cdot \varphi + \mathcal{E}_3 - (Z_2 - Z_{C2})) A_2, \quad (6.1)$$

где Z_1 и Z_2 – приведенные затраты на заводское производство асфальтобетонных смесей соответственно с учетом стоимости транспортирования до строящейся автомобильной дороги по сравниваемым вариантам базовой и новой техники в гривнах на единицу измерения;

Z_{C1} и Z_{C2} – приведенные затраты на устройство покрытий из этих материалов (без учета стоимости их заводского производства) по сравниваемым вариантам базовой и новой техники в гривнах на единицу измерения;

φ – коэффициент изменения срока службы новой конструкции повышенной долговечности по сравнению со сроком службы базового варианта;

Данный коэффициент рассчитывается по формуле (6.2):

$$\varphi = \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n}, \quad (6.2)$$

где P_1 и P_2 – для смежной стоимости строительных конструкций в расчете на один год их службы по сравниваемым вариантам;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

В соответствии с данными приложения 2 СН 509-78 коэффициент φ составил:

$$\varphi = \frac{0,2796}{0,1968} = 1,421.$$

Срок службы покрытия автомобильной дороги из асфальтобетонной смеси будет выше в 1,5 раза, чем традиционного асфальтобетонного.

\mathcal{E}_3 – экономия в сфере эксплуатации сравниваемых конструкций (верхние слои дорожной одежды) за срок их службы;

A_2 – годовой объем производства модифицированных асфальтобетонных смесей в натуральных условиях.

Так как приведенные затраты на устройство покрытий по-новому и старому вариантах (Z_{C1} и Z_{C2}) имеют одинаковое значения, и экономия в сфере эксплуатации сравниваемых вариантов принимается равной нулю, то указанные величины при расчете формулы «методом на разность» сокращаются и данная формула принимает вид (6.3):

$$\mathcal{E}_2 = (Z_1 \cdot \varphi - Z_2) \cdot A = (C_1 \cdot \varphi - C_2) \cdot A_2, \quad (6.3)$$

где C_1 и C_2 – соответственно себестоимость 1 т горячей асфальтобетонной смеси и 1 т модифицированной асфальтобетонной смеси (табл. 6.3).

Подставляя в выражение (6.3) численные значения, определяем величину экономического эффекта от внедрения 1 т асфальтобетонных смесей

$$\mathcal{E}_2 = (4888,81 \cdot 1,421 - 5129,75) \cdot 1 = 1817,25 \text{ руб.}$$

Таблица 6.3

Калькуляция стоимости 1 т асфальтобетонной смеси (базовый вариант)
и 1 т модифицированной асфальтобетонной смеси (новый вариант),
приготовленных на асфальтобетонном заводе
Краснолучского ДЭРСУ (Данные АБЗ Краснолучского ДЭРСУ)

№ п/п	Наименование затрат	Ед. изм.	Базовый вариант			Новый вариант			Обоснова- ние
			Расход на 100 т	Цена за 1 т, рубле й	Сумма, рублей	Расход на 100 т	Цена за 1 т, рублей	Сумма, рублей	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Раздел 1. Затраты труда									
1.	Затраты труда на производстве	чел-ч	22,92	–	–	1,01	–	–	ФЭР-2001 Сборник 27. (редакция 2014 г).
Раздел 2. Основные материалы									
1.	Щебень гранитный фракционный 5-20 мм	т	35	1500	52500	35	1500	52500	Данные Краснолуч- ского ДЭРСУ
2.	Песок из отсева дробления щебня 0,14-5 мм	т	59	1050	61950	59	1050	61950	То же
3.	Известняковый минеральный порошок	т	6	2200	13200	-	-	-	То же
4.	Органоминеральный порошок из ОСВ	т	-	-	-	6	105	630	То же
5.	Битум БНД 60/90	т	7	11300	79100	7	11300	79100	То же
	Итого	–	–	–	206750	–	–	194180	–
	Итого с транспортно-заготовительными расходами – 2 %		–	–	210885	–	–	198064	–

Продолжение табл. 6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РАЗДЕЛ 3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ									
1.	Электроэнергия	кВт·ч	680	281,4	191352	800	281,4	225120	Данные РП «Региональная поставяющая компания» (ЛНР)
2.	Газ	м ³	2905	29,7	86279	3020	29,7	89694	То же
3.	Вода	м ³	1	8,9	8,9	1	8,9	8,9	То же
	Итого		–	–	277640	–	–	314823	–
РАЗДЕЛ 4. ОПЛАТА ТРУДА									
1.	Заработная плата на производстве	руб.	–	–	203,07	–	–	8,62	ФЭР-2001 Сборник 27. (редакция 2014 г).
	Итого		–	–	203,07	–	–	8,62	–
РАЗДЕЛ 5. ОТЧИСЛЕНИЯ НА СОЦИАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ									
1.	Отчисления в пенсионный фонд – 32 %	руб.	–	–	64,98	–	–	2,67	–
2.	Социальное страхование на случай безработицы – 2,5 %	руб.	–	–	5,08	–	–	0,22	–
3.	Страхование по временной потере трудоспособности – 2,5 %	руб.	–	–	5,08	–	–	0,22	–
4.	Социальное страхование от несчастных случаев на производстве – 1 %	руб.	–	–	2,03	–	–	0,09	–
	Итого		–	–	77,17	–	–	3,29	–
РАЗДЕЛ 6. АМОРТИЗАЦИЯ									
1.	Амортизация производства	руб.	–	–	76	–	–	76	Данные ПАО Краснолучского ДЭРСУ
	Итого		–	–	76	–	–	76	–
	Всего	руб	–	–	488881	–	–	512975	–
	Себестоимость производства 1 т смеси	руб	–	–	4888,81	–	–	5129,75	–

Экономический эффект от предотвращения оплаты за содержание отвалов и захоронение отходов.

Расчет произведен по формуле (6.4):

$$\mathcal{E}^I = H_{\delta} \times M \times k_M \times k_o \times k_{\text{инд}}, \quad (6.4)$$

где: H_{δ} – базовый норматив оплаты за размещение 1 тонны отходов, $H_{\delta} = 0,9$ руб (по данным отдела ООС КП “Лугансквода”);

M – масса утилизируемого ОСВ при внедрении, т, $M = 6,6$ т;

k_M – коэффициент учитывающий расположение места (зоны) при складировании отходов, $k_M = 3$;

k_o – коэффициент учитывающий характер оборудования места складирования отходов, $k_o = 3$;

$k_{\text{инд}}$ – коэффициент индексации, $k_{\text{инд}} = 5$.

Подставляя в выражение (6.4) численные значения, получаем величину экономического эффекта от предотвращения оплаты за содержание отвалов и захоронения отходов:

$$\mathcal{E}^I = 0,90 \times 6,6 \times 3 \times 3 \times 5 = 267,3 \text{ руб.}$$

Общий экономический эффект от утилизации осадка сточных вод в производстве 1т асфальтобетона при промышленной апробации, составляет:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_r + \mathcal{E}^I = 1817,25 + 267,3 = 2084,55 \text{ руб.}$$

Выводы по разделу 6

1. Разработаны «Рекомендации по использованию органоминерального порошка из осадка сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей», которые включают в себя требования к материалам, технологию производства органоминерального порошка из осадков сточных вод, технологию производства асфальтобетонной смеси.

2. Результаты теоретических и лабораторных исследований апробированы при устройстве экспериментального дорожного покрытия по ул. Малютина в г. Антрацит. Двухлетние наблюдения за опытным участком

покрытия подтвердили его высокое качество, не уступающее (визуально) традиционному, а по физико-механическим показателям превосходящее аналог.

3. Экономический эффект от утилизации осадка сточных вод при производстве асфальтобетона составляет 2084,55 руб/т.

4. Использование техногенного сырья – осадка сточных вод как сырья для производства органоминерального порошка при производстве асфальтобетона позволяет на практике расширить сырьевую базу для производства асфальтобетона.

ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально показана целесообразность использования техногенного сырья – депонированных осадков сточных вод, количество которых в Украине оценивается в 0,5...1,0 млрд. т., в качестве органоминерального порошка для производства дорожных асфальтобетонных смесей. Установлено, что органоминеральный порошок (ОМП) из осадков сточных вод (ОСВ) представляет собой смесь алюмосиликатных минералов (до 80%) с органическим гумино-лигнинным комплексом (до 20%), связанных между собой прочными хемосорбционными связями. ОМП имеет развитую сорбционную поверхность за счет слоистого строения минеральной части и пористости органогенного вещества. Наличие в сорбированном состоянии на поверхности частиц тяжелых металлов приводит к образованию основных потенциальных центров, способных к активному взаимодействию с анионактивными компонентами органического вяжущего.
2. Теоретически доказано, что химическое взаимодействие на границе раздела фаз “органоминеральный порошок – нефтяной дорожный битум” происходит по типу комплексно-гетерополярных соединений, которые содержат металл как в анионной части молекул, так и в виде способного к диссоциации катиона, что и обеспечивает более высокую адгезию и способность битумной пленки сопротивляться агрессивному воздействию воды и повышенным температурам в сравнении с кислыми материалами (золой и кварцевым минеральным порошком).
3. С использованием метода конической пластометрии показано, что органоминеральный порошок из ОСВ оказывает на битум значительно большее структурирующее влияние, чем минеральные порошки из золы ОСВ и кварцевого песка, что объясняется более интенсивным его взаимодействием с битумом, благодаря структуре и свойствам его поверхности. Сорбированная органика с тяжелыми металлами на поверхности алюмосиликатных частиц органоминерального порошка из осадков сточных вод способствует

увеличению активных центров, что позволяет расположить изучаемые порошковые материалы по их активности в ряд: известняковый минеральный порошок > органоминеральный порошок > зола из ОСВ > кварцевый минеральный порошок.

4. Установлено, что использование ОМП как минерального порошка в асфальтобетонной смеси приводит к обеспечению предела прочности при сжатии асфальтобетона при температурах 20⁰С и 50⁰С с одновременным снижением прочности при 0⁰С (расширение температурного интервала упруго-вязко-пластического состояния). Это свидетельствует о способности частиц ОМП взаимодействовать с битумом без обеднения его пленок низкомолекулярными фракциями, что приводит к повышению сдвигоустойчивости асфальтобетона при высоких летних температурах и обеспечению трещиностойкости зимой.
5. В результате прочного сцепления сорбированной пленки вяжущего с органоминеральным порошком и поверхностью заполнителя вследствие хемосорбционных процессов на поверхности раздела фаз “ОСВ – битум” растет водостойкость при длительном водонасыщении, водонасыщение образцов асфальтобетона с использованием известняка с ОМП через 15 суток водонасыщения ниже на 3...8%, через 90 суток – на 7...12%, через 180 суток на 12...18%, а через 360 суток уже на 20...30% по сравнению с образцами на основе гранита. Коэффициент морозостойкости асфальтобетона на известняке после 10 циклов замораживания-оттаивания составляет 0,88-0,90, а для асфальтобетона на граните – 0,85-0,86; через 50 циклов – 0,72-0,74 и 0,67-0,69 соответственно. Это позволяет прогнозировать высокую его стойкость к действию воды и отрицательных температур в покрытии асфальтобетонной дороги.
6. Процессы старения битума в асфальтобетоне с органоминеральным порошком протекают медленнее, чем с традиционным известняковым минеральным порошком. Коэффициент старения при 120 часах прогрева при температуре 90⁰С асфальтобетона с использованием органоминерального порошка

составляет $K_{ст} = R_{50}^{120} / R_{50}^0 = 1,65$, а для асфальтобетона на известняковом минеральном порошке – $K_{ст} = R_{50}^{120} / R_{50}^0 = 1,7$. Это свидетельствует о более активном взаимодействии битума с поверхностью ОМП и заполнителем с образованием химических связей, блокирующих свободные радикалы вяжущего.

7. Асфальтобетонные смеси, содержащие в своем составе органоминеральный порошок из ОСВ в количестве 110 тонн, внедрены при реконструкции городской улицы Малютина в городе Антрацит Луганской области. Экономический эффект от внедрения 1 тонны асфальтобетонной смеси составил 2084,55 руб. Результаты работы используются при подготовке специалистов в ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени В.Даля» и ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» по направлению 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» в дисциплинах «Строительные материалы. Спецкурс» и «Физико-химическая механика строительных материалов» в разделах «Асфальтополимербетоны с модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой», и «Основы физико-химической механики асфальтобетонов».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дрозд Г. Я. Техничко-екологические записки по проблеме утилизации осадков городских и промышленных сточных вод / Г.Я. Дрозд, Н.И. Зотов, В.Н. Маслак. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2001. – 340с.
2. Бреус Р.В. Зниження об'ємів накопичених відходів водоочищення – осадів стічних вод, шляхом їх утилізації в асфальтобетон: автореф. дис. на зд. наук. ст. канд. техн. наук: 21.06.01 / Р.В. Бреус. – Харків: УНДІЕП, 2007. – 21с.
3. Зубков А.Ф. Технология строительства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: Монография / А.Ф. Зубков, В.Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 2009. – 175с.
4. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ / И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 1978. – 307 с.
5. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов; під редакцією д.т.н. В. І. Братчуна. – Донецьк : Вид-во «Ноулідж» (Донецьке відділення), 2013. – 338 с. ISBN 5-7763-0351-6.
6. Илиополов С.К. Органические вяжущие для дорожного строительства / С.К. Илиополов, Е.В. Углова, О.К. Безродный. – Ростов-на-Дону: ДорТрансНИИ, РГСУ, 2003. – 428 с.
7. Ястребова Л.Н. Исследование свойств минеральных порошков и их влияние на свойства асфальтового бетона / Л.Н. Ястребова // Исследование органических материалов и физико-механических свойств асфальтовых смесей. – М.: Дориздат, 1949. –С. 82-105.
8. Пыриг Я.И. О структурирующей способности минеральных порошков / Я.И. Пыриг // Труды ХНАДУ, 2014 (67). – С.89-93.
9. Шалыт С.Я. Влияние активного наполнителя и растворителя на структурно-механические свойства битумов / С.Я. Шалыт, М.В. Михайлов, П.А. Ребиндер // Коллоидный журнал, 1957. – Т.19. – С. 244-251.

10. Терлецкая Л.С. Влияние структуры минерального порошка на свойства асфальтобетонной смеси / Л.С. Терлецкая // Труды МАДИ, 1958. – Вып.23. – С.70-74.
11. Гридчин А.М. Особенности взаимодействия битума с минеральными материалами из кислых пород / А.М. Гридчин, В.В. Ядыкина // Вестник ХНАДУ, 2008. – Вып.40. – С.13-16.
12. Волков М.И. Исследования минеральных порошков для асфальтовых бетонов / М.И. Волков, И.М. Борщ // Труды ХАДИ, 1956. – Вып. 18. – С. 12-17.
13. Короткевич Н.И. Физико-химические основы применения минеральных порошкообразных материалов для дорожного асфальтобетона и методы их испытания / Н.И. Короткевич // Минеральные порошки для асфальтового бетона.– М.: Дориздат, 1940. – С. 7-68.
14. Борщ И.М. Лесс, как минеральный порошок для асфальтового бетона: автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. к.т.н.: спец. 05.23.05 / И.М. Борщ.– Харьков, 1952. – 25 с.
15. Горелышев Н.В. Механические свойства битума в тонких плёнках / Н.В. Горелышев, Т.Н. Акимова, И.И. Пименова // Труды МАДИ, 1958. – Вып. 23. – С. 42-54.
16. Ханина Ц.Г. Исследование свойств минеральных порошков для асфальтового бетона. Под ред. В.В. Михайлова. / Ц.Г. Ханина // Минеральные порошки для асфальтового бетона. – М.: Дориздат, 1940. – С. 124-132.
17. Моисеев Д.Ф. Структурообразование в дёгтевяжущем веществе / Д.Ф. Моисеев // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1959, №4. – С. 22-27.
18. Смирнов В.М. Исследование физико-механических свойств асфальтобетона и его структурных особенностей: автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. к.т.н.: 05.23.05 / В.М. Смирнов. – М., 1954. – 19 с.
19. Об особенностях формирования граничных слоев на поверхности раздела фаз «минеральный порошок (МП) – модифицированное органическое вяжущее» / В.И. Братчун, М.К. Пактер, В.Л. Беспалов, Е.Э. Самойлова // Вісник

Донбаської державної академії будівництва і архітектури: зб. наук. праць / МОНУ: Макіївка, ДонДАБА, 2003. – Вип. 1(38): Композиційні матеріали для будівництва. – С. 3-8.

20. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур / П.А. Ребиндер. // Сб. ст. АН СССР. – М.: Наука, 1966. – С. 3-16.

21. Королев И.В. Модель строения битумной пленки на минеральных зернах в асфальтобетоне / И.В. Королев. // Известия вузов: Строительство и архитектура, 1981. – №8. – С. 63-67.

22. Скориков С.В. Асфальтобетоны на битумах, эмульгированных в процессе приготовления асфальтобетонных смесей: Монография / С.В. Скориков, Ю.Г. Лозикова. – Ставрополь: СКФУ, 2014. – 171с.

23. Оценка сцепления минеральных материалов с дорожным битумом / Н.К. Кондрашева, В.В. Васильев, А.С. Ивкин, Г.С. Гивировский. // Материалы Международной научно-практической конференции «Нефтегазпереработка – 2016» / ГУП «Институт нефтехимпереработки Республики Башкортостан: Уфа, 2016. – С. 63.

24. Колбановская А.С. Дорожные битумы / А.С. Колбановская, В.В. Михайлов. – М.: Транспорт, 1973. – 261 с.

25. Горелышева Л.А. Теоретические аспекты взаимодействия различных порошкообразных материалов с органическим вяжущим / Л.А. Горелышева. // Пути экономии материальных и энергетических ресурсов при ремонте и реконструкции автомобильных дорог / НПО Росдорнии. – М., 1989. – Вып. 1. – С. 29-35.

26. Ковалев Я.Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов (научно-практические основы) / Я.Н. Ковалев. – Мн.: Беларуская Энцыклапедыя, 2002. – 334 с.

27. Гохман Л.М. О роли органических вяжущих материалов в обеспечении работоспособности асфальтобетона / Л.М. Гохман // Автомобильные дороги, 1987. – С 19-20.

28. Алексеенко В.В. Использование модифицированных минеральных порошков при производстве горячего асфальтобетона / В.В. Алексеенко, Ю.В. Салтанова // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2016. – Т.2, №2. – С. 1-5.

29. Расстегаева Г.А. Активные и активированные минеральные порошки из отходов промышленности / Г.А. Растегаева. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2002. – 192 с.

30. Колбановская А.С. О подборе поверхностно-активных добавок, улучшающих сцепление битума с минеральными материалами / А.С. Колбановская // Автомобильные дороги, 1958. – №7. – С. 14-15.

31. Амброс Р.А. Об исследовании влияния химических добавок на сцепление битума с каменными материалами / Р.А. Амброс. // Тр. Таллинского политехнического инст.: Эстонгосиздат, 1956. – Серия А, №69. – С. 74-77.

32. Лысихина А.И. Поверхностно-активные добавки для повышения водостойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей / А.И. Лысихина. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 56 с.

33. Колбановская А.С. Метод красителей для определения сцепления битума с минеральными материалами / А.С. Колбановская. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 63 с.

34. Золотарев В.А. О взаимосвязи реологических свойств битумов и асфальтобетонов / В.А. Золотарев. // Наука и техника в дорожной отрасли, 2002. – №4. – С. 3-6.

35. Ядыкина В.В. Управление процессами формирования и качеством строительных композитов с учетом состояния поверхности дисперсного сырья: монография / В.В. Ядыкина. – Издательство: Ассоциации строительных вузов. – М.: 2009. – 373 с.

36. Гончарова М.А. Композиционные материалы для дорожного строительства с использованием техногенного сырья: Монография / М.А. Гончарова, С.А. Андриянцева. – Тамбов: изд-во Першина Т.В., 2014. – 161с.

37. Сотникова В.Н. Обобщение опыта производства и применения активированных минеральных порошков и асфальтобетонов / В.Н.Сотникова // Строительство асфальтобетонных покрытий с применением активированных минеральных материалов. Труды СоюзДорНИИ. – М., 1978. – С. 24-31.

38. Почапський М.Ф., Зінов У.Т., Немировський Р.А. Будівельні матеріали з відходів промисловості Донбасу / М.Ф. Почапський, У.Т. Зінов, Р.А. Немировський. – Донецьк: Донбас, 1968. – 80 с.

39. Бусел А.В. Эколого-технологические основы производства и применения дорожно-строительных материалов с использованием техногенных отходов: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.23.05 / А.В. Бусел. – Минск, 1996. – 36 с.

40. Козлов С.Г. Использование отходов содового производства в дорожном строительстве./ С.Г. Козлов, И.В. Вязовикова, С.А. Черный, И.В. Крепышева // Фундаментальные исследования, 2013. – №10 (Ч.12). – С. 2004-2611.

41. Kunat H., Ferrer M. Natzung von Abprodukten im Strassenbau – Flotationsabgänge als Fullstoff für Bituminöse Gemische / H. Kunat, M. Ferrer // Strasse. – 1981. – v.21. – №2. – P. 51-53.

42. Терлецкая Л.С. Исследование топливных шлаков для асфальтовых смесей: автореф. дис. ..., канд. техн. наук: 05.23.05 / Л.С. Терлецкая. – Харьков, 1956. – 15 с.

43. Базжин Л.И. Исследование влияние минералогического состава и структуры минеральных порошков на старение асфальтового бетона: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Л.И. Базжин. – Харьков: ХАДИ, 1974. – 24 с.

44. Полежаев А.В. Исследование местных минеральных порошков и поверхностно-активных веществ в горячих битумоминеральных смесях, применяемых для устройства дорожных покрытий в условиях Средней Азии / А.В. Полежаев, Е.Г. Абруцкая // Тр. СоюздорНИИ, 1969. – Вып.34. – С.169-180.

45. Губарь А.В. Серный шлам – минеральный порошок для холодного асфальтобетона, приготовленного на катионной битумополимерной эмульсии /

А.В. Губарь // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры: сб. науч. трудов. – Макеевка: ДонНАСА, 2011. – Вып. 1(87). – С. 40-44.

46. Шведова Л.Ф. Активные минеральные порошки из бокситового шлама / Л.Ф. Шведова, С.А. Мантопкин // Ускорение научно-технического прогресса, повышение производительности труда и качества дорожных работ. – М.: 1981. – С.75-76.

47. Самодуров С.И. Асфальтобетон с активированным минеральным наполнителем / С.И. Самодуров, Г.А. Расстегаева // Проектирование и строительство автомобильных дорог и мостов в Сибири. – Томск, 1992. – С. 106-112.

48. Ядыкина В.В. Влияние активных поверхностных центров кремнеземсодержащих минеральных компонентов на взаимодействие с битумом / В.В. Ядыкина // Известия вузов. Строительство, 2003. – №9. – С. 75-79.

49. Гнатейко В.З. Нефтеминеральные смеси на основе сырой тяжелой нефти и серосодержащих отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / В.З. Гнатейко. – Харьков, 1987. – 24 с.

50. А.с.1565862 СССР, МКИ⁵ C08 L 95/00. Способ приготовления асфальтобетонной смеси / В.З. Гнатейко, З.В. Демчук, В.В. Милеант и др.; ГосдорНИИ. – №4454595/23-33; Заявл. 05.07.88; Оpubл. 23.05.90; Бюл. №19. – 3 с.

51. Бахрах Г.С. Исследование пыли-уноса вращающихся печей цементных заводов как минерального порошка для асфальтобетона: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Г.С. Бахрах. – Москва, 1968. – 20 с.

52. Григорович Н.Г. Использование цементной пыли в асфальтовом бетоне / Н.Г. Григорович // Автомобильные дороги и дорожное строительство. – 1965. – Вып.2. – С. 28-30.

53. Влияние количественного содержания серы на основные свойства битума / Г.Ф. Шигапов, А.Т. Кузнецов, М.А. Валеев, А.И. Свердлов // Современные проблемы строительного материаловедения, 2001. – № 6. – С. 617-619.

54. Деформационно-прочностные характеристики дёгтеполимерсеробетон, содержащих активированные минеральные порошки / В.И. Братчун,

С.С. Поливцев, Д.В. Братчун, А.В. Полищук // Макеевка: Вестник ДГАСА, 1996. – №3(4). – С. 99-105.

55. Поливцев С.С. Дёгтеполимерсеробетоны с широким интервалом вязкоупругого поведения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / С.С. Поливцев. – Макеевка, 1998. – 17 с.

56. Рацинский Н.И. Исследование менилитовых сланцев как сырья для производства минерального порошка: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Н.И. Рацинский. – Харьков, 1969. – 27 с.

57. Сюньи Г.К. Гидролизный лигнин как порошок для дорожных бетонов / Г.К. Сюньи, Т.Ю. Химерик // Автодорожник Украины, 1977. – №1. – С.52-55.

58. Химерик Т.Ю. Исследование свойств асфальтового бетона с использованием гидролизного лигнина: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Т.Ю. Химерик. – Харьков, 1982. – 25 с.

59. Слепая Б.И. К вопросу о структурирующем влиянии порошкообразного резинового наполнителя на битум / Б.И. Слепая // Труды СоюздорНИИ. – М.: 1987. – Вып.50. – С.88-92.

60. А.с. 960139 СССР, МКИ⁴ С04В 13/30. Дёгтебетонная смесь / Братчун В.И., Почапский Н.Ф., Золотарёв В.А. и др. – №3224821/29-33; Заявл. 22.10.80; Оpubл. 23.09.82; Бюл. №35. – 3 с.

61. Гуцалюк Б.Н. Асфальтобетоны на основе киров с добавками отходов производства полиэтилена: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Б.Н. Гуцалюк. – Харьков, 1986. – 20 с.

62. Братчун В.И. Об улучшении качества каменноугольных вяжущих и бетонов на их основе отходами промышленности / В.И. Братчун, Н.Ф. Почапский, В.А. Золотарёв и др. // Автомобильные дороги, 1983. – №11. – С. 6-7.

63. Псюрник В.А. Влияние структурных особенностей дёгтебетона на его деформационно-прочностные свойства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / В.А. Псюрник. – Харьков, 1984. – 23 с.

64. Курнаев М.А. Зола каменного угля в качестве заполнителя / М.А. Курнаев // Транспорт и дороги города, 1983. – №5. – С. 47-49.

65. Короткевич Н.Н. Физико-химические основы применения минеральных порошкообразных материалов (заполнителей) для дорожных асфальтобетонов и методы их использования / Н.Н. Короткевич // Минеральные порошки для асфальтового бетона. – М.: Дориздат, 1940. – С. 3-67.
66. Palys M. Popiol lotny z wegla-kamiennego jako wypelucz do mas bitumiornych / M. Palys, W. Tokej // Drogownictwo. – 1980. – №2. – Р. 53-55.
67. Львов О.Н. Асфальтобетон на основе серосодержащих отходов промышленности / О.Н. Львов, Л.Б. Гезенцевей // Автомобильные дороги, 1984. – №1. – С. 55-61.
68. А.с. 1544746 Российская Федерация, МКИ С 04 В 26/26. Способ устройства дорожного покрытия / В.А. Веренько, А.А. Беленков, В.В. Шевчук, А.Д. Зарубин, В.Ф. Дедов. – № 4329554 ; заявл. 07.07.87 ; опубл. 07.07.87, Бюл. №9. – 4 с.
69. Asphalt in Figures 1996 // European Asphalt Pavement Assotiation, 1997 – 76 p.
70. Alama K. Mieszanki mineralno-szlakowo-asfaltowe (M-S-A) / K. Alama, D. Gayer // Prace Institutu Badaltowe Drog i Mostow, 1981. – №3. – Р. 60-79.
71. Muller J.M.Sulphur in Asphalt Paving Mixes / J.M. Muller, B. Celard, de la Taille B. Schenck P. // Materialy z Konferencji w Bordeaux, Francja, 1981. – Р. 37-39.
72. Асматулаев Б.А. Использование цементной пыли - отхода цементных заводов в дорожном строительстве / Б.А. Асматулаев, Р.Р. Ниязов // Автомобильные дороги / ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1989. – Вып. 2. – С. 29-31.
73. Руденский А.В. Перспективы расширения ресурсов порошкообразных продуктов для приготовления асфальтобетонных смесей / А.В. Руденский, Л.В. Поздняева, Н.А. Панкратова // Пути экономии материальных и энергетических ресурсов при ремонте и реконструкции автомобильных дорог. – М., 1989. – С. 21-28.
74. Кореневский В.Г. Пыль-уноса в битумоминеральных смесях / В.Г. Кореневский, М.Ф. Никишина // Автомобильные дороги, 1971. – №11. – С. 16.

75. Кузмичёв В.Г. Гидрофобный минеральный порошок из доломитовой пыли / В.Г. Кузмичёв // Автодорожник Украины, 1965. – Вып.1. – С. 32-35.
76. Пономаренко В.Г. Активация минерального порошка канифолью / В.Г. Пономаренко, Р.А. Немировский // Автомобильные дороги, 1968. – №8. – С. 43.
77. Братчун В.И. Дёгтебетоны с комплексно модифицированной микроструктурой / В.И. Братчун, В.Н. Ходун, А.Г. Доля // Автошляховик України, 1997. – №4. – С. 27-29.
78. Братчун В. И. Повышение долговечности бетонов на органических вяжущих регулированием свойств микроструктуры / В. И. Братчун // Вестник Харьковского автомобильно-дорожного технического университета. – Харьков, 2000, №12–13. – С. 141–144.
79. Волков М.И. Доменные шлаки в дорожном строительстве / М.И. Волков, И.В. Королёв, И.Г. Зинов. – Донецк: Донецкое книжное изд-во, 1962. – 70 с.
80. Лыженко И.Г. Опыт переработки и использования в дорожном строительстве отвальных сталеплавильных шлаков УССР / И.Г. Лыженко // Материалы научно-технического совещания по применению металлургических шлаков в дорожном строительстве / СоюздорНИИ. – М.: 1971. – 70 с.
81. Тулаев А.Я. Дорожные одежды с использованием шлаков / А.Я. Тулаев. – М.: Транспорт, 1986. – 221 с.
82. А.с. 1219558 СССР, МКИ С04В 26/26. Дёгтеминеральная смесь / Братчун В.И., Почапский Н.Ф., Руденский С.П., Бачурин А.Н., Повзун А.И. (СССР). – №3779323/29-33; Заявл. 14.06.84; Оpubл. 23.03.86; Бюл. №11. – 3 с.
83. Космин А.В. Минеральные порошки для асфальтобетона из шлака металлургического марганца / А.В. Космин // Автомобильные дороги, 1986. – Вып.5. – С. 157-158.
84. Ковалев Я.Н. Применение минеральных порошков из кислых горных пород в асфальтобетоне / Я.Н. Ковалев, А.В. Бусел // Автомобильный транспорт и дороги. – Мн.: Высшая школа, 1982. – Вып. 9. – С. 110-113.

85. Босхолов К.А. Асфальтобетон с применением активированных кремнесодержащих минеральных порошков: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / К.А. Босхолов. – Улан-Уде: Восточно-Сибирский государственный технологический университет, 2007. – 23 с.

86. Кисилев В. П. Исследование стабилизирующего действия лигнино-содержащих отходов для нефтебитумных композиций / В.П. Кисилев, Н.Н. Головнев // Неорганическая химия, 2004. – С. 86-89.

87. Хитров К.А. Использование возможности применения пыли-уноса асфальтосмесительных установок взамен традиционных минеральных порошков для строительства лесовозных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства / К.А. Хитров. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия, 2009. – 22 с.

88. Кисилев В. П. Комплексное использование продуктов незавершенного производства гидролизной и лесохимической отрасли в дорожном строительстве / В. П. Кисилев // Вестник ОГУ, 2005. – №6. – С.160-165.

89. Филимонов В. С. Смолы пиролиза растительного сырья как фактор биологической защиты дорожных покрытий / В. С. Филимонов, В. П. Кисилев // электронный журнал «Исследовано в России», 2002. – С. 2215-2221.

90. Пат. 2192399 Россия, МПК С04В26/26. Асфальтобетонная смесь / О.И. Дошлов; Г.А. Белинский; Б.Н. Гуцалюк; О.А. Балог; Б.Ф. Кухарев; А.О. Дошлова; В.А. Хорошилова; заявитель ОАО "Иркутскгипродорнии". – № 2001103600; заявл. 09.02.2001; опубл. 10.11.2002, Бюл. №10. – 2 с.

91. А.с. 1689341 СССР, М.Кл. С 04 В 26/26. Способ приготовления активированного минерального порошка / А.В. Бусел, Я.Н. Ковалев, В.Н. Хатько, Ю.А. Безбородов, В.М. Домненко. - № 4704353; заявл. 14.06.89; опубл. 07.11.91, Бюл. №41. – 4 с.

92. Кинчиков В.В. Качество строительства и ремонта дорожных покрытий в Беларуси / В.В. Кинчиков // Строительство и недвижимость. –1997. – № 13. (<http://www.nestor.minsk.by/sn/1997/13/sn1310.htm>).

93. Ставицкий В.Д. Асфальтобетоны, улучшенные осадком городских сточных вод / В.Д. Ставицкий, Л. А. Федоров // Городское хозяйство, 2006. – №10. – С. 12-15.
94. Новак В.А. Применение городских осадков сточных вод при выпуске асфальтобетонных смесей / В.А. Новак // Строительство и недвижимость, 2009. – № 2. – С. 8-11.
95. Кучма М.И. Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве / М.И. Кучма. – М.: Транспорт, 1980. – 191 с.
96. Королев И.В. Пути экономии битума в дорожном строительстве / И.В. Королев. – М.: Транспорт, 1986. – 149 с.
97. Сычев М.М. Роль бренстедовских кислотных центров в процессах гидратации цемента / М.М. Сычев, Е.Н. Казанская, А.А. Петухов // Известия вузов. Химия и хим. технология, 1987. – №10. – С. 85-88.
98. Кострико М.Т. Вопросы теории гидрофобизации грунтов / М.Т. Кострико. – Ленинград, 1957. – 127 с.
99. Строкова В.В. Критерии оценки энергетики кварцевого сырья / В.В. Строкова // Промышленность стройматериалов и стройиндустрия, энерго- и ресурсосбережение в условиях рыночных отношений: Междунар. конф. – Белгород, 1997. – Ч.5. – С. 245-248.
100. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества: Справочник / под ред. А.А. Абрамзона. – Л.: Химия, 1984. – 392с.
101. Орлов Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовников, Н.И. Суханова. – М.: Высшая школа, 2005. – 558с.
102. Орлов Д.С. Химия почв: Монография / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, М.С. Суханова. – М.: изд-во МГУ, 2005. – 420 с.
103. Дай К. Теоретическая неорганическая химия / К. Дай, Д. Селбин. – М.: Мир, 1989. – 224с.
104. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы в процессе его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – 280с.

105. Тейт Р. Органическое вещество почвы / Р. Тейт III; Пер. с англ. О.Д. Масаловой, Д. С. Орлова. – М. : Мир, 1991. – 399 с. – ISBN 5-03-001918-9
106. Желиговская Н.Н. Химия комплексных соединений / Н.Н. Желиговская, И.И. Черняев. – М.: Высшая школа, 1966. – 387с.
107. Савельев Г.Г. Общая химия: учебное пособие / Г.Г. Савельев, Л.Н. Смолова. // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2006. – 202 с.
108. Травень В.Ф. Органическая химия. Том 1 / В.Ф. Травень. – М.: Академкнига, 2004. – 727с.
109. Травень В.Ф. Органическая химия. Том 2 / В.Ф. Травень. – М.: Академкнига, 2004. – 582с.
110. Кононский А.И. Физическая и коллоидная химия / А.И. Кононский. – К.: «Высшая школа», 1989. – 311с.
111. Дятлова Н.М. Комплексоны и комплексонаты металлов / Н.М. Дятлова, В.Я. Темкина, К.И. Попов. – М.: Химия, 1988. – 544с.
112. Гунн Р.Б. Нефтяные битумы / Р.Б. Гунн. – М.: Химия, 1989. – 148с.
113. Руденская И.М. Органические вяжущие для дорожного строительства: Монография / И.М. Руденская, А.В. Руденский. – М.: ИНФРА-М, 2010. – 526 с.
114. Иевлев В.М. Структурные превращения в тонких пленках / В.М. Иевлев. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1988. – 324с.
115. Баринов Е.Н. Основы теории и технологии применения асфальтобетонов на вспененных битумах / Е.Н. Баринов. – Л.: ЛГУ, 1990. – 175с.
116. Цимерманис Л.Б. Термодинамические и переносные свойства капиллярно-пористых тел / Л.Б. Цимерманис. – Челябинск, Южно-Уральское кн. изд., 1971. – 202с.
117. Bischof G. Rotschlammfuller im Bitumineus Strabenban / G. Bischof // Strasse, 1981, №1, P. 27-29.
118. Borsovsky E. A pernyek toltoanyagkent valo alkalmazasa aszfaltkeverekben / E. Borsovsky, L. Gaspar, L. Howolgyi // Melyepitestud szemle, 1982, №4, P. 151-161.

119. Sar'Sam S.A. A study of mineral fillers in dense graded asphaltic concrete / S.A Sar'Sam // Indian highways, 1984, №12, P. 5-10.

120. ДСТУ 4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови : затв. Держбуд України 01.01.02 : вид. офіц. – Введ. в дію 01.01.2002. – Київ : Держбуд України, 2001. – 32 с.

121. Золотарев В.А. О вкладе составляющих асфальтобетона в его прочность / В.А. Золотарев // Повышение эффективности использования материалов при строительстве асфальтобетонных и черных покрытий: Труды Союздорнии. – М., 1989. – С. 78-84.

122. Котлярский Э.В. Структурообразование асфальтобетона и его структурно-реологические свойства / Э.В. Котлярский. // Методы и средства повышения надежности материалов и сооружений на автомобильных дорогах: Сб. научн. трудов МАДИ. – М., 2000. – С. 48-56.

123. ГОСТ 27979-88 Определение pH. Водная вытяжка. – Введ. 1990-01-01. – М.: Госстандарт России : Изд-во стандартов, 1989. – 7 с.

124. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв / Н.И. Горбунов. – М., 1978. – 230с.

125. Китайгородский А.И. Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел / А.И. Китайгородский. – М.: Госгеолтехиздат, 1952. – 440 с.

126. ДСТУ Б В.2.7-247:2010. Будівельні матеріали. Порошок мінеральний для сумішей асфальтобетонних та органо-мінеральних дорожніх. Методи випробувань: затв. Мінрегіонбуд України 16.12.10: вид. офіц. – На заміну ГОСТ 12784-78 ; введ. в дію 01.11.2011. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 32 с.

127. ДСТУ Б В.2.7-121-2014. Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови: затв. Держбуд України 01.07.03: вид. офіц. – На заміну ГОСТ 16557-78 ; введ. в дію 01.07.2003. – Київ: Держбуд України, 2003. – 16 с.

128. ДСТУ Б В.2.7-319:2016. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань: затв. Держбуд

України 13.10.99 : вид. офіц. – На заміну ГОСТ 12801-84; введ. в дію 13.10.1999. – Київ : Держбуд України, 2000. – 45 с.

129. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови: затв. Мінрегіон України 30.12.11: вид. офіц. – 2011. – 39 с.

130. ВБН В.2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: затв. Укравтодор 15.10.04: вид. офіц. – На заміну ВСН 46-83/ Минстрой СССР ; введ. в дію 01.01.2005. – Київ : Укравтодор, 2004. – 152 с.

131. ДБН В.2.3-4-2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво: затв. Мінрегіон України 21.09.15: вид. офіц. – На заміну ДБН В.2.3-4-2007; введ. в дію 01.04.2016. – Київ : Мінрегіон України, 2015. – 112 с.

132. НПАОП 63.21-1.01-09. Правила охорони праці під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг: затв. Держком України 28.12.09: вид. офіц. – На заміну ДНАОП 5.1.14-1.01-96; введ. в дію 28.12.2009. – Київ : Держком України, 2009. – 28 с.

133. Силкин В.В. Асфальтобетонные заводы: Учебное пособие / В.В. Силкин, А.П. Лупанов - М.: Экон-Информ, 2008. – 266 с.

134. Валентинов А. Мобильный асфальтобетонный завод: Монография / А. Валентинов. – Саарбрюккен: LAP LAMBERT, 2012. – 220 с.

135. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С.Н. Саутин. – Л.: «Химия», 1991. – 48 с.

136. Методические рекомендации по планированию эксперимента в технологии стройматериалов/ Полный и дробный факторный эксперимент. - Челябинск, 1973. – 40с.

137. Грищенко І.М. Основи наукових досліджень: навчальний посібник. / І.М. Грищенко, О.М. Григоренко, В.А. Борисейко. – К.: Київ. нац. торг. екон. ун-т, 2001. – 186 с.

138. Новые вещества, материалы и изделия из них как объекты изобретений: справочник. – М.: Металлургия, 1991. – 263с.

139. Ковалев Я.Н. Минеральные порошки из кислых минеральных материалов и отходов производства / Я.Н. Ковалев, А.В. Буссел / Обзорная информация ЦБНТИ Минавтодора РСФСР: М., 1987. – Вып. 6. – 52 с.

140. Морозов А.И. Пути улучшения адгезионных свойств щебня из попутно-добываемых пород КМА к вяжущим / А.И. Морозов // Автомобильные дороги. Экспресс-информация, 1987. – №5. – С. 23-28.

141. Дрозд Г.Я. Органоминеральный порошок из осадка сточных вод как модификатор асфальтобетона / Г.Я. Дрозд, И.И. Бизирка // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія “Будівництво”, 2011. – Вип. 10. – Суми: СНАУ. – С. 33-37.

142. Дрозд Г.Я. Физико-химические свойства депонированных осадков сточных вод (илов) с позиции использования их в качестве минерального порошка / Г.Я. Дрозд, И.И. Бизирка // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета, 2012. – Вып. 37. – Алчевск: ДонГТУ. – С. 225-230.

143. Иваньски М. Влияние вида минерального материала на свойства асфальтобетона / М. Иваньски // Наука и техника в дорожной отрасли, 2003. – №2 – С. 35-37.

144. Куколев Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов / Г.В. Куколев. – М.: Высшая школа, 1966. – 463 с.

145. Котлярский, Э. В. Влияние количества высокодисперсного наполнителя и вязкости битума на структурно-механические свойства асфальтобетона / Э.В. Котлярский // Методы и средства повышения надежности материалов и сооружений на автомобильных дорогах сб. науч. тр. МАДИ, 2000. – С. 86-95.

146. О технологических и физико-механических свойствах асфальтобетона с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой / В.Л. Беспалов, В.И. Братчун, Ахмет Талиб Мутташар Мутташар, М.К. Пактер, Л.В. Столярова // Актуальные проблемы физико-химического материаловедения:

сб. научных трудов ДонНАСА. Материалы международной научно-практической конференции. – Макеевка: ДонНАСА, 2013. – С. 92-99.

147. Гезенцевей Л.Б. Дорожный асфальтобетон / Л.Б. Гезенцевей, Н.В. Горелышев, А.М. Богуславский, И.В. Королев. Под ред. Л.Б. Гезенцевей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 350 с.

148. Пат. 84625 Україна, МПК C04B26/26. Мінеральний порошок для асфальтобетонних сумішей / І.І. Бізірка, Р.В. Бреус, Г.Я. Дрозд; заявник і патентовласник Донбаський державний технічний університет. – № u201305433; заявл. 26.04.2013; опубл. 25.10.2013, Бюл. №20. – 3 с.

149. Кисилев А.В. Адсорбционные и каталитические свойства кремнезема с примесью алюминия / А.В. Кисилев, Б.В. Кузнецов, Ю.С. Никитин // Кинетика и катализ, 1970. – Т.ХІ. – Вып. 2. – С. 500-512.

150. Печеный Б.Г. Оптимизация технологии приготовления асфальтобетонных смесей / Б.Г. Печеный, Е.А. Данильян // Дорожная техника, 2012. – С. 56-59.

151. Iwanski M.; Water- and Freeze Resistance of Asphalt Concrete with Quartzite Aggregate. V International Conference. Durable and Safe Road Pavements. Poland. Kielce. 11-12 May, 1999. – P. 77-84.

152. Алексеева Е.А. Влияние коллоидных пленок на зернах песка на процессы взаимодействия с битумом / Е.А. Алексеева. // Тр. Харьков. автомобильно-дорожного института, 1954. – №17. – С. 75-80.

153. Руденский А. В. Повышение трещиностойкости асфальтобетонных покрытий / А. В. Руденский, А. С. Рыльков // Дороги и мосты. – М.: РосдорНИИ, 2008. – № 18. – С. 214 – 222.

154. Железко Е.П. Повышение и оценка трещиностойкости асфальтобетонов / Е.П. Железко. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т., 1998. – 14 с.

155. Горелышев Н.В. Эксплуатационные свойства асфальтобетона / Н.В. Горелышев // Тез. докл. межгос. Асоц. исслед. асфальтобетона 27.01.2000. – М.: МАДИ, 2000. – С. 13-15.

156. Баранчиков В.В. Оценка трещиностойкости асфальтового бетона / В.В. Баранчиков // Методы и средства повышения надежности материалов и сооружений на автомобильных дорогах: Сб. научн. трудов МАДИ. – М.: 2000. – С. 108-115.

157. Лукашевич В.П. Исследование процессов структурообразования асфальтобетонных смесей, приготовленных с использованием двухстадийной технологии / В.П. Лукашевич // Изв. вузов. Строительство, 2000. - №2-3. – С. 25-31.

158. Judecki J., Jaskula P.: Badania odpornosci betonu asfaltowego na joddziaływanie wodu I mrozu. Drogownictwo 12, Warszawa, 1997, S. 374-378.

159. Лысихина А.И. О стабильности битумов и взаимодействии их с минеральными материалами / А.И. Лысихина, Р.М. Сицкая, Л.Н. Ястребова. – М.: Дориздат, 1952. – 171 с.

160. Золотарев В. А. Перспективы повышения долговечности асфальтобетона / В. А. Золотарев // Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство на рубеже 3-го тысячелетия: Материалы международной научной конференции. – Харьков: ХГАДТУ, 2000. – С. 58–61.

161. Сергиенко С. Р. Химизм процесса получения окисленных нефтяных битумов / С.Р. Сергиенко, В.А. Гарбалинский // Изв. АН Туркм. ССР (Серия физ. хим. и геолог. наук), 1963. – №1. – С. 41-44.

162. Михайлов В.В. Основы улучшения и регулирования свойств дорожных битумов и битумоминеральных материалов: автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. докт. техн. наук: 05.23.05 / В.В. Михайлов. – Москва, 1965. – 40 с.

163. Печеный Б.Г. Исследование влияния кубовых остатков СЖК и их производных на свойства битумов в асфальтовом бетоне: автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. к.т.н.: 05.23.05 / Б.Г. Печеный. – Москва, 1977. – 24 с.

164. Смирнов В.М. Структура и механические свойства асфальтового бетона / В.М. Смирнов. // Труды ХАДИ. – Харьков – 1954. – Вып. 17. – С. 59-68.

165. Сюньи Г.К. Дорожный асфальтовый бетон / Г.К. Сюньи. – Киев: Госстройиздат УССР, 1962. – 264 с.

166. Ефремов С.В. Влияние агрессивных сред на долговечность асфальтобетонов с различным содержанием вяжущего / С.В. Ефремов // Материалы междунар. науч.-практ. интернет-конф. «Современные методы строительства дорог и обеспечение безопасности движения», БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2007. – С. 120–126.

167. Руденский А.В. Исследование пластичности асфальтобетона / А.В. Руденский // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1965. – №6. – С. 33-37.

168. Морозов А.И. Повышение качества щебня из попутно-добываемых пород КМА и органоминеральных материалов на его основе: автореф. дис. ... на соиск. учен. степ. к.т.н.: 05.23.05 / А.И. Морозов. – Харьков, 1987. – 24 с.

169. Bell A.C., AB-Wahaby Y., Cristime M.E., Sosnovske D.: Selection of Laboratory Aging Procedures for Asphalt Aggregate Mixtures. Strategic Highway Research Program, Report Nr SHRP – A – 383. National Research Council, Washington D.C. 1990. – P.67-84.

170. Причины старения битумоминеральных смесей / С. В. Сукорцев, П. Б. Рапопорт, Н. А. Хухрянская, Е. Гизаева // Наука и техника в дорожной отрасли. – СПб: 2010, № 3. – С. 31 – 32.

171. Гезенцвей Л.Б. Асфальтовый бетон / Л.Б. Гезенцвей. – М.: Стройиздат, 1964. – 444 с.

172. Аррамбид Ж. Органические вяжущие и смеси для дорожного строительства / Ж. Аррамбид, М. Дюрье. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 271 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Утверждаю

Директор Краснолучского ДЭРСУ

Коротченко Т.П.



Акт

о производственном внедрении осадка сточных вод г. Луганска в качестве органо-минерального порошка при реконструкции автомобильной дороги по ул. Малютина в г. Антрацит.

Мы, ниже подписавшиеся, гл. инженер ДЭРСУ Панченко Б.С., технический директор ООО “Лугансквода” Скляров Н.К., профессор кафедры “Городское строительство и хозяйство” ДГТУ Дрозд Г.Я., зав. кафедрой АДА ЛНАУ, к.т.н., доцент Рогулин В.В., аспирант кафедры АДА ЛНАУ Бизирка И.И. составили настоящий акт о том, что в сентябре – октябре 2010 года проведено экспериментальное внедрение асфальтобетонного покрытия с использованием осадков сточных вод в качестве минерального порошка в объеме 110т.

Главный инженер
Краснолучского ДЭРСУ

Панченко Б.С.

Технический директор ООО
“Лугансквода”

Скляров Н.К.

Профессор кафедры
“Городское строительство и
хозяйство”

Дрозд Г.Я.

Зав. кафедрой АДА ЛНАУ
к.т.н., доцент

Рогулин В.В.

Аспирант кафедры АДА ЛНАУ

Бизирка И.И.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Утверждаю

Технический директор

ООО "Луганск вода"



Скляр Н.К.

Акт

внедрения технических решений
по утилизации осадков сточных вод

Мы, нижеподписавшиеся, начальник отдела водоотведения Дубровская Н.А., профессор Донбасского государственного технического университета Дрозд Г.Я. и аспирант Бизирка И.И. составили настоящий акт о том, что депонированный осадок сточных вод был использован для приготовления асфальтобетонной смеси, уложенной в дорожное покрытие при строительстве экспериментальной дороги по улице Милютин в г. Антрацит.

Н.А. Дубровская

Г.Я. Дрозд

И.И. Бизирка

ПРИЛОЖЕНИЕ В

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
«ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»**

91034 г. Луганск, кв. Молодежный, 20 а
телефон (0642) 41-22-25 факс (0642) 41-31-60

29.08.2017 № 108-115-1562/134
На № _____

Диссертационный совет Д 01.006.02
при Донбасской национальной
академии строительства и архитектуры

СПРАВКА

о внедрении в учебный процесс в Луганском национальном университете имени
Владимира Даля результатов исследований диссертационной работы
Бизирка Ирины Ивановны на тему «Органоминеральный порошок из осадков
сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей»,
представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Комиссия в составе: проректора по научно-учебной работе, д.т.н., профессора
Мирошникова В.В., директора института строительства, архитектуры и жилищно-
коммунального хозяйства, д.т.н., профессора Андрийчука Н.Д., начальника
департамента управления учебным процессом, к.т.н., доцента Серебрякова А.И.
свидетельствует, что при подготовке специалистов по направлению 08.03.01
«Строительство» по профилю «Промышленное и гражданское строительство» в
дисциплинах «Строительное материаловедение» в разделе «Асфальтобетон и другие
битумо- и дёгтемнеральные материалы» используются теоретические и
экспериментальные данные по кандидатской диссертационной работе Бизирка Ирины
Ивановны «Органоминеральный порошок из осадков сточных вод для производства
дорожных асфальтобетонных смесей».

Члены комиссии:

Проректор по научно-учебной работе,
д.т.н., профессор



В.В. Мирошников

Директор института строительства,
архитектуры и жилищно-коммунального
хозяйства,
д.т.н., профессор

Н.Д. Андрийчук

Начальник департамента
управления учебным процессом,
к.т.н., доцент

А.И. Серебряков

ПРИЛОЖЕНИЕ Г



**Министерство образования и науки
Донецкой Народной Республики**
**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры»**

86123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, тел.: (062) 340-15-80,
(0623) 22-24-67, факс (0623) 22-77-19, email: mailbox@donnasa.ru, идент. код 02070795

от 30.08.17 № 4-04-94
на № _____ от _____

Диссертационный совет Д 01.006.02 при
Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры

СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы
Бизирка Ирины Ивановны на тему «Органоминеральный порошок из осадков сточных
вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия

Комиссия в составе: проректора по учебной работе, д.т.н., профессора Зайченко Н.М., декана строительного факультета, к.т.н., доцента Алехина А.М., начальника учебного отдела, к.э.н., доцента Сухины А.А. свидетельствует, что при подготовке специалистов по направлению 08.03.01 «Строительство» по профилю «Автомобильные дороги» в дисциплинах: «Строительные материалы. Спецкурс», «Физико-химическая механика строительных материалов» в разделах «Асфальто-полимербетоны с модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой» и «Основы физико-химической механики асфальтобетонов» используются теоретические и экспериментальные данные по кандидатской диссертационной работе Бизирка Ирины Ивановны «Органоминеральный порошок из осадков сточных вод для производства дорожных асфальтобетонных смесей».

Члены комиссии:

Проректор по учебной работе,
д.т.н., профессор

Декан строительного факультета,
к.т.н., доцент

Начальник учебного отдела,
к.э.н., доцент



Н.М. Зайченко

А.М. Алехин

А.А. Сухина