ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ
им. Н.ИСАНОВА

На правах рукописи

УДК 625.023(575.2)(043.3)

ОСМОНОВА Бактыгул Жапарсадыковна

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛЫ-УНОСА ТЭЦ г.БИШКЕК ПРИ УСТРОЙСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Специальность 05.23.11 – проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Д И С С Е Р Т А Ц И Я

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
доцент Н.Ж.Маданбеков

Бишкек - 2018

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 4

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1.1 Роль минерального порошка в структурообразовании асфальтобетона..... 9

1.2 Опыт применения золошлаковых материалов в дорожном строительстве..... 23

1.3 Характеристика золы-уноса и его воздействие на окружающую среду..... 35

1.4 Цели и задачи исследования..... 49

1.5 Заключение по главе 1..... 50

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Анализ воздействия применяемого минерального порошка на реологические свойства битума и их физико-химические взаимодействия..... 51

2.2 Общая методика экспериментальных исследований и характеристика применяемых материалов..... 66

2.3 Оценка физико-механических характеристик сырьевых материалов в лабораторных условиях..... 72

2.4 Методы исследований свойств исходных материалов в лабораторных условиях..... 80

2.5 Методика определения прочностных характеристик асфальтобетона с применением минерального порошка из золы-уноса нааппарате Маршалла..... 89

2.6 Заключение по главе 2..... 95

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛЫ-УНОСА ПРИ УСТРОЙСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

3.1 Технология строительства асфальтобетонного покрытия с применением золы-уноса……. 97

3.2 Определение физико-механических показателей асфальтобетонного покрытия……. 108

3.3 Влияние коррозионных процессов на работоспособность покрытия из асфальтобетонных смесей с использованием золы-уноса…….. 115

3.4 Методика математического планирования эксперимента при оптимизации состава асфальтобетонных смесей с использованием золы-уноса…… 119

3.5 Наблюдение за экспериментальным участком..... 134

3.6 Заключение по главе 3……... 136

ГЛАВА 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ЗОЛЫ-УНОСА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

4.1 Расчет экономической эффективности применения золы-уноса в составе асфальтобетона..... 137

4.2 Экологическая целесообразность применения золы-уноса при производстве асфальтобетона..... 141

4.3 Заключение по главе 4..... 143

ВЫВОДЫ……..... 144

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ…… 145

ПРИЛОЖЕНИЯ 165

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. Одной из приоритетных задач в Кыргызской Республике является развитие транспортной инфраструктуры. Эксплуатация асфальтобетонных покрытий в условиях агрессивного воздействия внешних факторов и непрерывного роста количества транспортных средств приводит к образованию различных дефектов и как следствие, к преждевременным деформациям и разрушению автомобильных дорог. Первоначально построенные и запроектированные с учетом значительно меньших нагрузок, не превышающих разрешительного стандарта дорожные одежды, в современных условиях эксплуатации стремительно снижают такие качества дороги как, прочность, ровность и долговечность, перестают удовлетворять требованиям комфортного и безопасного движения. Немалую роль в снижении сроков службы дорожных покрытий играют невысокое качество и низкие эксплуатационные показатели дорожно-строительных материалов, несоответствие структуры и свойств асфальтобетона условиям его работы в покрытии.

Для обеспечения прочности и надежной эксплуатации автомобильной дороги необходимым условием является введение в асфальтобетонную смесь минерального порошка, свойства которого должны благотворно влиять на взаимодействие с битумом.

В связи с отсутствием сырьевой базы дефицитного и дорогостоящего известнякового минерального порошка дорожные организации вынуждены искать альтернативное сырье в виде вторичных продуктов и отходов промышленного производства.

В Кыргызской Республике имеются отходы производства, накопившиеся в отвалах и загрязняющие окружающую среду. Одним из таких отходов является зола-уноса (ЗУ) ТЭЦ г. Бишкек объемом более 450 тыс. тонн, которая может служить активным микронаполнителем в производстве асфальтобетона.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Поэтому задача расширения номенклатуры минерального порошка асфальтобетона за счет использования недорогих отходов – ЗУ ТЭЦ, способствующей высокой работоспособности дорожного покрытия в конкретных дорожно-климатических условиях, подчеркивает актуальность данного направления исследований.

Связь темы диссертации с государственными и научными программами. Работа является инициативной.

Цель исследования - разработка технологии применения минерального порошка из вторичных продуктов производства для устройства асфальтобетонных покрытий.

Задачи исследования:

- изучение состава и свойств золы-уноса с целью их использования в качестве минерального порошка для асфальтобетонной смеси;
- теоретическое обоснование возможности применения золы-уноса в качестве минерального порошка в составе асфальтобетонной смеси;
- разработка и подбор составов асфальтобетонных смесей с использованием золы-уноса с последующим изучением физико-механических характеристик асфальтобетонных покрытий;
- разработка методики математического планирования эксперимента при оптимизации состава асфальтобетонных смесей.

Научная новизна полученных результатов состоит:

- в экспериментально-теоретическом обосновании и подтверждении возможности использования золы-уноса в качестве минерального порошка для приготовления асфальтобетонных смесей;
- в установлении зависимости изменения физико-механических показателей асфальтобетона от количества применяемых материалов, заключающийся в повышении качества композита при использовании рационального содержания исследуемого наполнителя и органического вяжущего;

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

- в установлении оптимального состава асфальтобетона с применением золы-уноса в количестве 3 %, способствующее повышению прочностных характеристик асфальтобетона;
- в разработке методики математического планирования эксперимента при оптимизации состава асфальтобетонных смесей.

Практическая значимость полученных результатов:

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны оптимальные составы и технология приготовления горячих асфальтобетонных смесей на плотном заполнителе минеральном порошке из золы-уноса с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, что позволило расширить сырьевую базу минеральных порошков.

Выявлено, что асфальтобетон на основе исследуемого минерального порошка обладает более высокой релаксационной способностью при перепадах температур, что позволит снизить вероятность накопления остаточных деформаций, а, следовательно, увеличить срок службы покрытия автомобильных дорог.

Установлено, что с использованием золы-уноса, являющегося отходом местного производства, решается немаловажный вопрос – защита окружающей среды от загрязнения данного вида отхода.

Экономическая значимость полученных результатов.

Расчетный экономический эффект от снижения себестоимости укладки асфальтобетонного материала с применением золы-уноса за 1 км дороги составляет 68400 сом.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований технологии применения золы-уноса ТЭЦ в качестве минерального порошка при производстве асфальтобетона;
- зависимости показателей от количества применяемых материалов при подборе состава асфальтобетонных смесей с использованием золы-уноса;
- рациональный состав асфальтобетона с применением золы-

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

уноса в качестве структурирующих добавок, и технология его приготовления;

- методика математического планирования эксперимента оптимизации состава;
- технико-экономическое обоснование эффективности использования золы-уноса в качестве минерального порошка для асфальтобетона.

Личный вклад автора:

Личный вклад автора состоит в разработке оптимального состава и технологии приготовления асфальтобетона по системе «зола–уноса–битум–минеральные материалы», взятых в определенных соотношениях. Автор является организатором и соисполнителем работ, связанных с обработкой и отбором проб и подготовкой их к анализам.

Обработка полученных данных, выявление закономерностей, подготовка документации для практической реализации полученных результатов, разработка основных положений, выводов и рекомендаций по научным исследованиям выполнены непосредственно автором.

Реализация работы. На АБЗ « ПЛУАД №1» г.Токмок была выпущена опытно-промышленная партия дорожной горячей асфальтобетонной смеси на битуме марки БНД 60/90 с наполнителем из золы-уноса (содержание золы-уноса в наполнителе – 3 % по объему).

Опытно-промышленная партия горячей асфальтобетонной смеси с применением золы-уноса была использована на автомобильной дороге с протяженностью более 150 м. по улице Московской в селе Новопокровка Чуйской области. С момента укладки на протяжении 3 лет эксплуатации покрытия находятся в хорошем состоянии, на них отсутствует колейность и разрушения, не смотря с достаточно высокой интенсивностью движения.

Результаты работы используются в учебном процессе при изучении разделов по технологии строительства автомобильных покрытий.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на научно-практических конференциях и получили одобрение: на научно-практических конференциях Кыргызского

горно-металлургическго института им. академика У.Асаналиева (2000-2006 гг.), на международной научно-практической конференции Кыргызского государственного технического университета им.И.Раззакова «Наука и инженерное образование – ключ к процветанию Кыргызстана» (2007 г.), на международной конференции Инженерной академии Кыргызской Республики «Наука, техника и новая технология» (2010г.); на международной научно-практической конференции Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им.Н.Исанова «Инновации в области строительства транспортных сооружений: становление, проблемы, перспективы» (2016 г.).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По материалам диссертации опубликовано 17 научных работ, из них 9 статей опубликованы в научных изданиях РИНЦ, в том числе 2 в зарубежных журналах. Получен патент №2003 КР от 30.11.2017 г.

Структура и объем. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста с изложением результатов исследований, основных выводов, приложений. Объём диссертации составляет 150 страниц, в том числе 52 таблиц и 27 иллюстраций, библиография содержит 158 наименований.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1.1 Роль минерального порошка в структурообразовании асфальтобетона

Согласно современным представлениям уровень социально-экономического развития государства определяется состоянием внутренней инфраструктуры и развитостью транспортной сети. На данный момент состояние сети автомобильных дорог в нашей республике не удовлетворяет в полной мере потребностям населения, экономики, транспортной инфраструктуры, требованиям к техническому состоянию и пропускной способности. Актуальность проблемы строительства новых и ремонта существующих дорожных покрытий связана с увеличением числа автомобильного транспорта в общем потоке пассажирских и грузоперевозок.

На сегодняшний день общая протяженность автомобильных дорог в республике составляет около 34000 км.

Для решения задачи по сохранению и улучшению внутренней сети автомобильных дорог ежегодно потребуется:

- восстановить слой износа автодорог путем устройства шероховато-поверхностной обработки на протяжении свыше 300 км;

- произвести капитальный ремонт не менее 150 км автодорог с укладкой асфальтобетонного покрытия [1].

В настоящее время ученые и специалисты в области дорожного строительства уделяют особое внимание качеству строительства автомобильных дорог, проводят поиск новых эффективных решений для его дальнейшего повышения, а также увеличения безремонтного срока

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

эксплуатации твердых покрытий. Причем основным материалом устройства покрытий автомобильных дорог остается асфальтобетон.

Асфальтобетон – это искусственный монолитный материал, полученный в результате уплотнения рационально подобранной смеси, изготовленной путем тщательного перемешивания отдозированных по расчету материалов – минеральной части битума [2].

Асфальтобетон представляет собой один из наиболее сложных строительных материалов. Эта сложность обусловлена главным образом особенностями его структуры, а также большой зависимостью свойств от многообразных факторов. Асфальтобетон резко меняет свойства в зависимости от температуры. Это отличает от большинства других материалов, применяемых для устройства дорожных покрытий. Изменение температуры резко влияют на деформационные свойства асфальтобетона, которыми в основном и определяется его работоспособность в дорожном покрытии [3].

На сегодняшний день востребованность к качественному асфальтобетонному покрытию интенсивно растет, в связи с этим главной задачей отрасли дорожного хозяйства остается повышение качества и долговечности асфальтобетонного покрытия. Основным решением этой задачи является производство и применение асфальтобетона с повышенными показателями эксплуатационных характеристик и долговечностью [4].

На рисунке 1.1. приведены преимущества и недостатки асфальтобетонного покрытия.

Главными показателями разрушения асфальтобетонного покрытия являются:

- использование в составе некачественных сырьевых материалов;
- повышенное содержание битума;
- технологические нарушения при приготовлении асфальтобетона;
- несоблюдение нормы при уплотнении.

С целью повышения качества асфальтобетона к реальным условиям эксплуатации необходимо учесть ряд обстоятельств. Так, основные свойства

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

асфальтобетона – прочность, плотность и теплоустойчивость в значительной степени зависят от качества и количества наиболее дисперсной части составляющего-минерального порошка [5].

Рис.1.1. Преимущества и недостатки асфальтобетонного покрытия

Минеральный порошок в составе асфальтобетона выполняет роль активного наполнителя, образующего в смеси с битумом асфальтовяжущее вещество, которое, обволакивая более крупные минеральные составляющие, соединяет их в монолит, а также обусловливает плотность, прочность и теплоустойчивость асфальтобетона.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Минеральный порошок – является основным структурообразующим компонентом асфальтобетона. Он составляет до 95 % суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав асфальтобетона [6].

В качестве минеральных порошков обычно применяют тонкомолотые известняки, доломиты прочностью не менее 200 кг/см^2 и доменные шлаки, а также битуминозные известняки и доломиты – качество порошков в этом случае значительно выше. Тонкость помола порошков должна быть такой, чтобы при мокром рассеве сквозь сита с отверстиями 1,25 мм проходило 100 %; 0,315 мм - не менее 90 % и 0,071 мм - не менее 70 % порошка, при этом пустотность его при уплотнении в специальной форме нагрузкой в 300 кг/см^2 должна быть не более 35 % [7].

Многие исследователи и производственники длительное время полагали, что основное назначение минерального порошка в асфальтобетоне сводится лишь к заполнению межзерновых пустот, то есть к обеспечению надлежащей плотности. Однако последними исследованиями [8,13] выявлено, что основная функция минерального порошка – структурная составляющая, образующая совместно с битумом структурированную полидисперсную систему, которая и выполняет роль вяжущего материала в асфальтобетонах, сцепляющую зерна асфальтобетона.

Благодаря адсорбирующей поверхности, минеральный порошок поглощает существенную часть нефтяного битума, переводит объемный битум в тонкопленочное состояние. В таком состоянии повышается вязкость и прочность битума [3].

Другое назначение минерального порошка – заполнение мелких пор между более крупными частицами. Таким образом, присутствие необходимого количества минерального порошка способствует повышению плотности минерального остова, а, следовательно, и повышению плотности асфальтобетона. В этом смысле недостаточное количество минерального порошка связано с необходимостью увеличения количества битума для заполнения пор [9].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Особая роль минерального порошка в асфальтобетоне обуслов[illegible] большое количество исследований, посвященных этому компоненту [10]. Еще до применения нефтяных битумов асфальтовые материалы использовались в виде смесей, состоящих из естественного битума и преимущественно порошкообразных минеральных материалов. Роль последних в качестве упрочняющей битум добавки особенно возросла в связи с широким применением нефтяных битумов [11] т.е. к обеспечению надлежащей плотности.

Впервые ученый П.В.Сахаров [12] определил роль минерального порошка как структурной составляющей, образующей совместно с битумом асфальтовяжущее вещество, которое, обволакивая более крупные минеральные составляющие асфальтобетона, соединяет их в монолит. Минеральный порошок, переводя битум из объемного в пленочное состояние, способствует тому, что битум, находясь в тонких прослойках и мелких порах, попадает в область влияния молекул поверхностного слоя минеральной частицы. В результате этого свойства, битум менее изменяется под влиянием температуры.

Анализируя основную роль минерального порошка в асфальтобетоне, П.В.Сахаров предложил именовать его «асфальтирующей добавкой» к битуму и рекомендовал применять в качестве минерального порошка продукт измельчения естественных асфальтовых пород, так называемый асфальтовый порошок. Несмотря на высокое качество таких порошков и приготовляемых на их основе асфальтобетонных смесей, в настоящее время они почти не применяются. Это связано, прежде всего, с удорожанием асфальтобетона и с большой неоднородностью естественных асфальтовых пород.

Схема взаимодействия тонкой пленки битума с минеральным материалом представлена на рис. 1.2.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

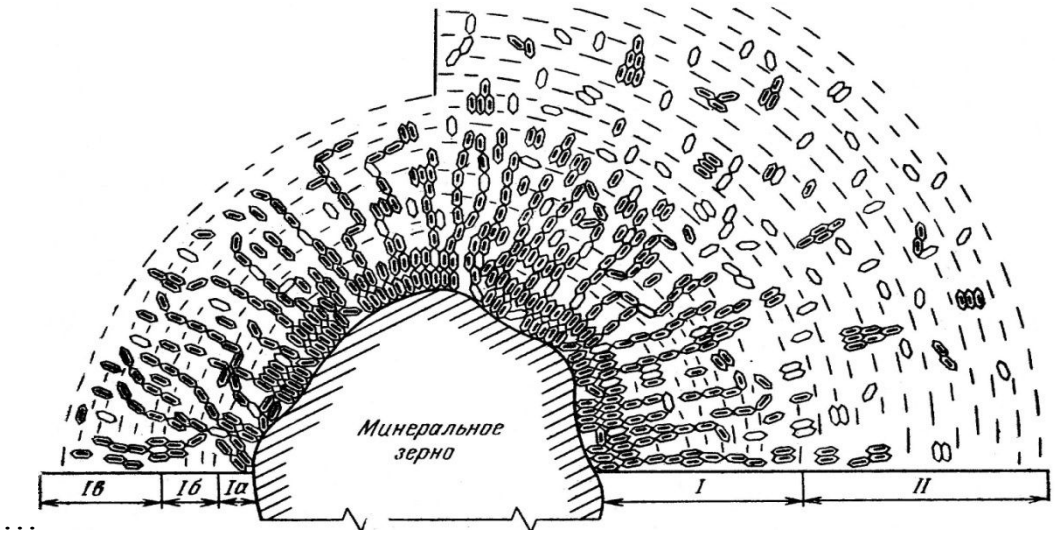


Рис. 1.2. Схема взаимодействия тонкой пленки битума с минеральным материалом: I – ориентированный слой; II – объемный битум; I а – твердообразная зона; I б – структурированная зона; I в – диффузная зона

В ориентированном слое принято различать три зоны с характерными физико-механическими свойствами: твердообразная (I а), граничащая с поверхностью минерального материала (I б), диффузную (I в). Твердообразная – зона связывается с поверхностью частиц минерального наполнителя, толщина которого не превышает долей микрометра. Структурированная зона – имеет упорядоченное расположенние высокомолекулярных соединений. Ее критическая величина – потеря клеящей способности битума. И переходная, между ориентированным и объемным – диффузионная [13].

Как показано в работах [10] изменение структурной прочности различных пленок битума происходят скачкообразно и зависят не только от температуры, но и состава материала, наличия ПАВ (поверхностно активных веществ) и размеров минеральных частиц, участвующих в процессе формирования асфальтобетона.

Следовательно, толщина битумных пленок играет основную роль в формировании структурной прочности асфальтобетона, а теплоустойчивость асфальтовяжущего повышается [14].

Следует отметить, что на практике применение даже самого

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

качественного битума не всегда может гарантировать качество и долговечн асфальтобетона, особенности свойства и состав минеральной части битумоминеральных композиций вызывают потребность в модифицировании битума с целью улучшения свойств асфальтобетона.

Количество добавок, применяемых в дорожной отрасли для модификации битума достаточно велик, их можно представить в виде неорганического и органического происхождения (рис.1.3).

Рис. 1.3. Классификация добавок для модификации битума

Однако, несмотря на то что, эти добавки могут регулировать множество свойств вяжущих, их применение приводит к значительному удорожанию битума.

В связи с этим ученые и специалисты в области дорожного строительства рассматривают возможность применения доступных материалов в качестве модифицирующих добавок [15].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Применение в составе модифицирующих добавок повышает несколь характеристик битумов и материалов на их основе: снижение вязкости, хрупкости, улучшение пластичности и сцепления с каменными материалами, структурирование битума.

В изучении особенностей и свойств при модифицировании битума путем введения добавок различного характера внесли вольшой вклад ученые, как В.В.Михайлов, А.Дж. Хойберг, А.С.Колбановская, И.В. Королев, А.П.Платонов и др. [25,17, 18, 22]

Исследованиями ученых установлено, что по доступности, экономичности и эффективности как добавка к битуму, наиболее перспективным является использование тонкодисперсных материалов. Так, применение тонкодисперсных наполнителей для модификации битумов позволяет повысить структурированность вяжущего, его вязкость, трещиностойкость, прочность дорожно-строительных композитов на растяжение и сдвигоустойчивость в процессе эксплуатации [16]. В связи с этим, использование минерального порошка из техногенного сырья в качестве модификатора битума является весьма перспективной.

Введенный в расплавленный битум минеральный порошок в качестве добавки вызывает его физико-химические изменения, зависящие от свойств поверхности минерального порошка, состава и свойств битума, определяемых в значительной мере наличием в нем активных функциональных групп [3]..

Под взаимодействием минеральных и органических вяжущих материалов следует понимать весь комплекс процессов, происходящих при длительном контакте этих материалов. К ним относятся:

- физическая адсорбция поверхностью минеральных частиц слоя битума;

- хемоадсорбционные процессы, протекающие на границе раздела битум - минеральный материал;

- избирательная диффузия компонентов битума в минеральный материал, вследствие которого могут существенно изменяться свойства адсорбированного битума;

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

- изменение свойств минеральных материалов в результате взаимодействия с битумом [14,17].

Принято считать, что наилучшее сцепление с битумом имеют основные породы, так как в вяжущем содержатся поверхностно-активные вещества с преимущественно анионного типа (асфальтогеновые и нафтеновые кислоты). К этому выводу приходят почти все исследователи, работавшие в этой области. При этом, чем сильнее выражены положительные заряды поверхности минерала, тем выше адгезия к ним органических вяжущих [18].

Анализы показывают, что битум хорошо прилипает к заполнителям из кислых горных пород и плохо к заполнителям из основных пород [14].

В работе А.И.Лысихина [19] приводится пример с кварцевым песком, который по содержанию кремнезема относился к кислым горным породам, но имея хорошее сцепление с битумом. По мнению автора хорошая адгезия битума обусловливалась наличием на этом песке тончайших пленок оксидов или гидратов оксидов железа, алюминия и аморфного кремнезема.

При взаимодействии минеральной части и битума на границе их раздела протекают сложные процессы физико-химического взаимодействия, которые ведут к образованию в разной степени развитого адсорбционно-сольватного слоя вокруг минеральных частиц, за которым следует свободный битум [21,14].

Процессы формирования битумной пленки на минеральных материалах начали изучать в 60-х годах на кафедре дорожно-строительных материалов КАДИ под руководством М. И. Волкова [20]. Так, И.М.Борщ с помощью хроматографического и люминесцентного анализов установил, что в результате взаимодействия на поверхности минеральных частиц образуются адсорбционно-сольватные слои связанного битума. Известняковые порошки образуют более развитые слои, кварцевые – менее развитые. На поверхности зерен битумная пленка перенасыщена высокомолекулярной частью, причем асфальтенов и смол в граничных слоях больше на известняковом, а не на кварцевом порошке. Как на зернах порошка известняка, так и на

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

тонкопористых зернах кварца наблюдается эффект избирательной диффу… жидких углеводородов [23].

В работе Н.В.Горелышева эти положения подтверждаются [24] по весовому количеству битума в смесях и удельной поверхности порошков была рассчитана толщина битумных слоев на минеральных зернах. В асфальтовой системе с известняком в точке максимальной прочности она равнялась 0,0816 микрона, а для кварца 0,035 микрона.

При сближении таких зерен в системе асфальтобетона в смесях с известняковыми порошками более вероятен контакт по оболочкам связанного битума, а с кварцевыми порошками – требуется более тесное сближение частиц, что не всегда возможно.

Л.А.Горелышева предлагает следующую классификацию минеральных порошков [24]:

- активные – с преимущественно положительно заряженной поверхностью частиц (известняк, кальцит и т.п.);

- инактивные – с преимущественно отрицательно заряженной и нейтральной поверхностью (кварц, порфирит, асбест, пирит и т.п.).

Рыбьева Т.Г. [26] классифицирует порошки не по активности, а по энергетической способности: минералы с преимущественно отрицательным зарядом поверхности (кварц, асбест, гипс, каолинит и т.д.), а также преимущественно нейтральной поверхностью (пирит, тальк и т.д.).

В работе А.С Колбановской [18] показано, что чем слабее выражены положительные заряды на поверхности частиц порошка, тем выше должна быть его дисперсность для получения аналогичного структурирующего эффекта. В этом случае степень структурирования органического вяжущего будет зависеть от химико-минералогического состава и энергетической активности минерального порошка, а также структуры его частиц.

Минеральные материалы должны обладать значительно большей адсорбционной активностью, которая, обеспечивая достаточную связь с битумом, не повышала бы расход последнего. Адсорбция будет повышаться с

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

увеличением удельной поверхности минеральных частиц и их поверхностной активностью. Процесс адсорбции также будет увеличиваться с повышением поверхностной активности органического вяжущего. Адсорбция происходит как на внешней поверхности минеральных материалов, так и на внутренней. Оно особенно проявляется в мелкопористых минеральных материалах, обладающих аморфной структурой и большой внутренней поверхностью. Наряду с физической адсорбцией, имеется и химическое взаимодействие, обеспечивающее более высокое сцепление с минеральными материалами. Соответственно этому должна быть оптимальной тонкость помола порошка, причем степень помола должна повышаться с понижением вязкости применяемого битума [2].

При объединении битума с минеральным порошком происходят процессы взаимодействия, в результате которых битум, сорбированный поверхностью зерен, образует тонкую оболочку [21,22]. Ее плотность, адгезионные и когезионные свойства зависят как от свойств поверхности минеральной составляющей, т.е. химико-минералогического состава, пористости, микрорельефа поверхности тонкодисперсных частиц, так и свойств битума.

Схема образования диффузной структурированной оболочки битума на минеральных зернах и взаимодействие оболочек, по Н.В.Михайлову [25], заключается в следующем: вокруг зерен минерального порошка битум образует диффузную структурированную оболочку, вязкость, плотность и прочность которой убывают по мере удаления от поверхности минерального зерна, а пластичность возрастает.

Увеличение вязкости в слое битума, контактирующем с подкладкой, отчасти может происходить вследствие поглощения каменным материалом некоторого количества масел из битума.

Когда зерна минерального порошка находятся друг от друга на расстоянии, превышающем сумму толщин структурированных оболочек, связь между ними определяется свойствами исходного битума в объемном

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

состоянии. В этом случае сила склеивания зерен мала и одинакова как в ме сближений их поверхностей, так и в паузах между ними и равна когезии объемного битума.

Сближение зерен до соприкосновения структурированных оболочек соответствует началу упрочнения системы, которое интенсивно возрастает, при дальнейшем сближении на расстояние, меньшее суммы толщин оболочек. Площадь контактов структурированных оболочек возрастает, соприкосновение их происходит по все более плотным слоям, а вместе с тем растет и сила склеивания зерен.

В этом случае битумный клей прочнее в местах контактов, он находится в виде тонкой структурированной прослойки, а в местах заполнения пустот в виде исходного, объемного битума, прочность которого значительно меньше, чем прочность тонкой оболочки.

Наибольшей прочности система достигает при сближении зерен до соприкосновения первых граничных слоев с ориентированными мицеллами предельном заполнении пустот между зернами объемным битумом, играющим в этом случае роль упругого демпферам [10].

Важным элементом взаимодействия битума с пористыми минеральными порошками, является избирательная фильтрация битума. Это явление было установлено в работах А.И.Рыбьева, И.М.Борща, Н.В.Горелышева [2,21,23]. На основе работ, проведенных в этой области, сорбционные процессы, происходящие при взаимодействии пористых адсорбентов с битумом, могут быть охарактеризованы следующим образом: асфальтены адсорбируются на поверхности минеральных частиц, смолы сорбируются в мелких порах, находящихся на поверхности частиц. Наименее поверхностно-активные и вместе с тем, наименее вязкий компонент битума – масла могут проникать по капиллярам внутрь материала [27].

Следовательно, наиболее химически активные компоненты битума находятся в смолисто-асфальтеновых образованиях, реакционная способность которых блокирована инертной масляной оболочкой. В связи с этим

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

адгезионная способность битума обычно не реализуется полностью взаимодействии его с минеральными материалами. Используется лишь часть реакционно-химического потенциала асфальтогеновых кислот и их ангидридов [28], которые хорошо взаимодействуют с минеральными материалами из основных горных пород и индифферентны по отношению к кремнесодержащим горным породам. Для интенсификации взаимодействия органического вяжущего с кремнеземсодержащими материалами необходимо вскрыть потенциальные возможности энергетической активности органического вяжущего, заключенной в его смолисто-асфальтеновых комплексах.

Таким образом, можно предполагать, что взаимодействие битума с пористыми кремнеземсодержащими минеральными материалами будет активным и завершится формированием прочных и устойчивых связей на границе раздела фаз.

По мере развития исследований в области асфальтобетона все больше выявляется роль минерального порошка как микронаполнителя, оказывающего структурирующее влияние на битум [27].

Исследованиями И.М.Борщ, М.И.Волкова, Н.В.Горелышева, И.А.Рыбьева, С.Я.Шалыт, Н.В.Михайлова, и В.М.Смирнова [10,20,23,2,29,30,31] установлено, что при определенном соотношении битум – минеральный порошок достигается наивысшая прочность структурированной дисперсной системы, образуемой этими материалами. При определенной концентрации минерального порошка резко уменьшается толщина битумных слоев на поверхности минеральных частиц, что приводит к высокой степени структурирования битума, а, следовательно, и к упрочнению контактов между зернами.

В исследованиях [10] видно, что при концентрации минерального порошка в асфальтовяжущем до 60 % свойства смеси обусловливаются преимущественно свойствами битума, влияние же минерального порошка на механические свойства асфальтовяжущего незначительно. При последующем увеличении содержания порошка расстояние между отдельными зернами,

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

окруженными адсорбционно - сольватными оболочками, уменьшается, наступает момент соприкосновения зерен порошка по их адсорбционно - сольватным оболочкам. При этом реологические свойства системы будут зависеть от свойств этих оболочек в местах контакта и их количества. И.М. Борщ указывает, что при концентрации минерального порошка в асфальтовяжущем от 60 до 80 % образуется пространственная структурная решетка с резким повышением механической прочности системы в 10 - 15 раз.

Минеральный порошок благодаря большой площади поверхности увеличивает количество контактов между минеральной частью и битумом, в связи, с чем увеличивается сила сцепления, а отсюда и прочность асфальтового бетона [32].

В.А.Золотарев в своей работе [33] предложил уравнение прочности асфальтобетона с учетом роли его структурообразующих компонентов, из которого следует, что прочность асфальтобетона не может быть больше прочности асфальтовяжущего оптимальной структуры. По его мнению, именно свойства асфальтовяжущего вещества вносят наибольший вклад в формирование физико-механических свойств асфальтобетона.

Из вышеизложенного следует, что минеральный порошок выполняет в асфальтобетоне три функции:

1. Он является тонкодисперсным наполнителем, заполняющим микропустоты между частицами щебня и песка, что повышает плотность минерального остова асфальтобетона.

2. В силу развитой удельной поверхности минеральный порошок образует асфальтовяжущее вещество и способствует формированию структурированной дисперсной системы.

3. Тонкодисперсные минеральные частицы наполнителя, взаимодействуя с органическим вяжущим, способствуют переводу объемного битума в тонкопленочное (структурированное) состояние, формируя тем самым микроструктуру асфальтобетона.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Нельзя отвергать наполнители без достаточного обоснования, так же нельзя использовать наполнитель, получаемый из местных материалов и отходов, без тщательной проверки его свойств и состава в лабораторных и производственных условиях. Особенно важно правильно оценить его влияние на долговечность асфальтобетона, на технологические свойства асфальтобетонной массы и расход битума.

Таким образом, анализ проводимых исследований показал, что ввиду того, что дорожно-строительная отрасль является наиболее крупнотоннажной отраслью промышленности, в которой, в соответствии с государственными стратегиями развития намечено увеличение темпов строительства, ремонта и реконструкции автомобильных дорог, особо остро стоит вопрос качества и доступности основных дорожно-строительных материалов, что напрямую связано с высокой материалоемкостью данной отрасли промышленности. Разведанные запасы качественного сырья, которое могло бы быть использовано в качестве составляющих асфальтобетона, неуклонно уменьшаются, поэтому необходимо проводить поиск альтернативных источников сырья для дорожно-строительных материалов и изучать возможность их модификации. В связи с этим обстоятельством, наиболее эффективно использование местных сырьевых ресурсов − отходов промышленного производства, что выступит одним из решений проблемы сырьевых материалов неорганического происхождения.

1.2 Опыт применения золошлаковых материалов в дорожном строительстве

В настоящее время использование вторичных ресурсов промышленности является актуальной задачей, в связи с расширением масштабов дорожного строительства, сопровождающейся непрерывным увеличением вовлекаемых в хозяйственный оборот сырья и материалов, что требует разработки новых месторождений. Это позволяет не только расширить сырьевую базу, но и в

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com
ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

значительной мере способствует охране окружающей среды от отрицательн воздействия промышленных отходов.

Обострение проблем охраны окружающей среды заставляет акцентировать внимание на возможности вторичного использования техногенного сырья и вовлечения его в технологический процесс, а в связи с накоплением большого количества техногенных отходов промышленных комплексов и снижением уровня содержания целевых компонентов в исходном сырье остро встает вопрос их комплексного использования [34].

Многолетние научные исследования и практика дорожного строительства показали, что одним из путей ее решения является применение вторичных ресурсов – отходов промышленности, которые можно использовать или в качестве непосредственно дорожно-строительного материала или как исходный продукт для его получения.

В связи с этим, перед учеными, занимающимися проблемами развития дорожно-транспортной инфраструктуры остро стоит вопрос о проведении ряд исследований и разработки научных основ технологии и способов применения в дорожном строительстве местных дорожно-строительных материалов и побочных продуктов промышленности.

Анализы многочисленных работ по дорожному строительству Л.Б.Гезенцвея, Н.В.Горелышева А.И.Рыбьева, Л.А.Горелышевой, А.И.Лысихиной, А.В. Бусела, [3,23, 2, 24,35, 36,] свидетельствуют о том, что в качестве минерального сырья для производства асфальтобетонных смесей лучше всего подходят материалы из основных горных пород. Стоит отметить, что в настоящее время ощущается нехватка минерального сырья для дорожного строительства, острота этой проблемы растет с каждым годом. В связи с этим, в качестве минерального сырья и добавок при производстве органоминеральных смесей находят применение побочные продукты производства предприятий промышленности: например золы-уноса и золо-шлаковых смесей тепловых электростанций, пыль-уноса цементных заводов, металлургические шлаки, отходы асбестоцементного производства и др. [37].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Ниже приведена классификация добавок различного характера в зависимости от их образования вводимых в асфальтобетонную смесь из продуктов местного и побочного происхождения (рис. 1.4).

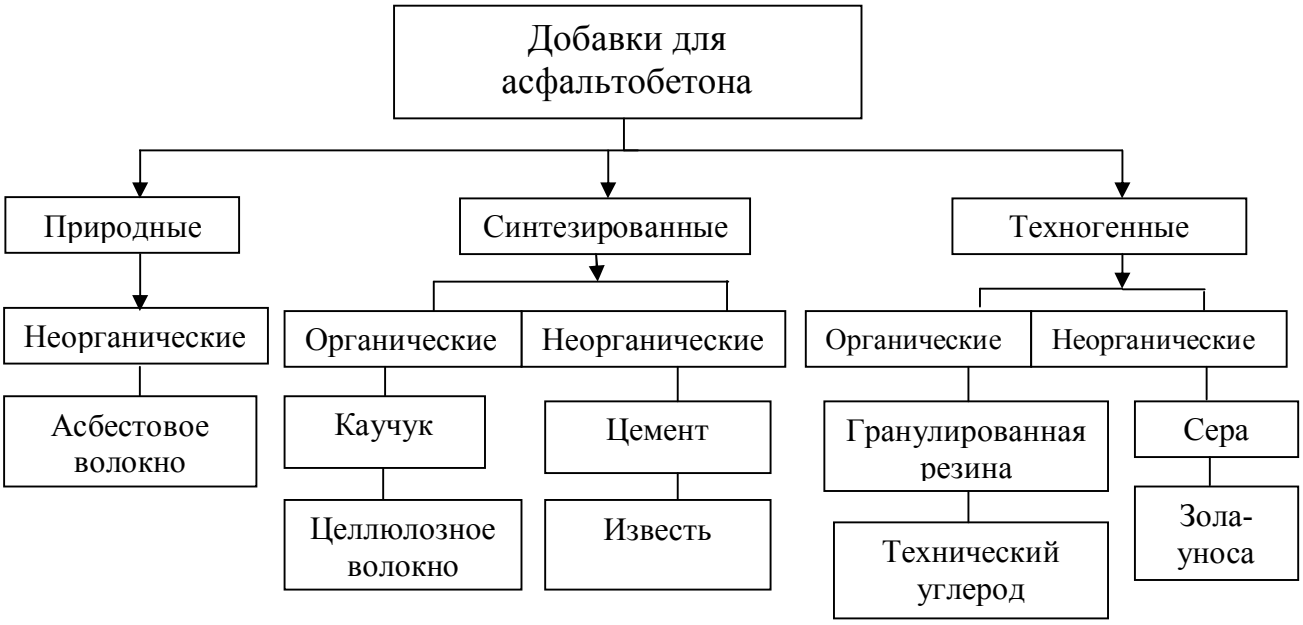


Рис.1.4. Классификации добавок, вводимых в асфальтобетонную смесь

Классификация добавок для асфальтобетонных смесей приводит их деление на три группы в зависимости от происхождения: природные, синтезированные и техногенные отходы промышленности.

Применение такого рода сырья в дорожном строительстве позволяет снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, а также энергозатраты на производство и стоимость асфальтобетонной смеси, придавая им особые свойства.

В настоящее время золоотвалы теплоэлектростанций (ТЭС) занимают значительные территории, являясь источником загрязнения воздушного и водного бассейнов и увеличивают минерализацию грунтовых вод.

В зонах воздействия золоотвалов формируются неблагоприятные экологические ситуации из-за пылеобразования, а также вымывания компонентов золы, попадания их в почву и подземные воды, что, в свою

очередь, оказывает негативное воздействия на население. Кроме того, золоотвалы являются причиной отчуждения земель, которые практически безвозвратно изымаются из полезного использования. В некоторых странах эти отвалы значительно осложнили экологическую обстановку [38].

Таким образом, утилизация золошлаковых отходов становится уже не столько вопросом экономии материальных ресурсов, сколько проблемой безопасности населения страны.

По классификации [39] отходы можно разделить на механогенные; пирогенные; хемогенные; и биогенные. При этом наибольший интерес для стройиндустрии, ввиду состава и свойств представляют пирогенные и механогенные отходы (рис. 1.5).

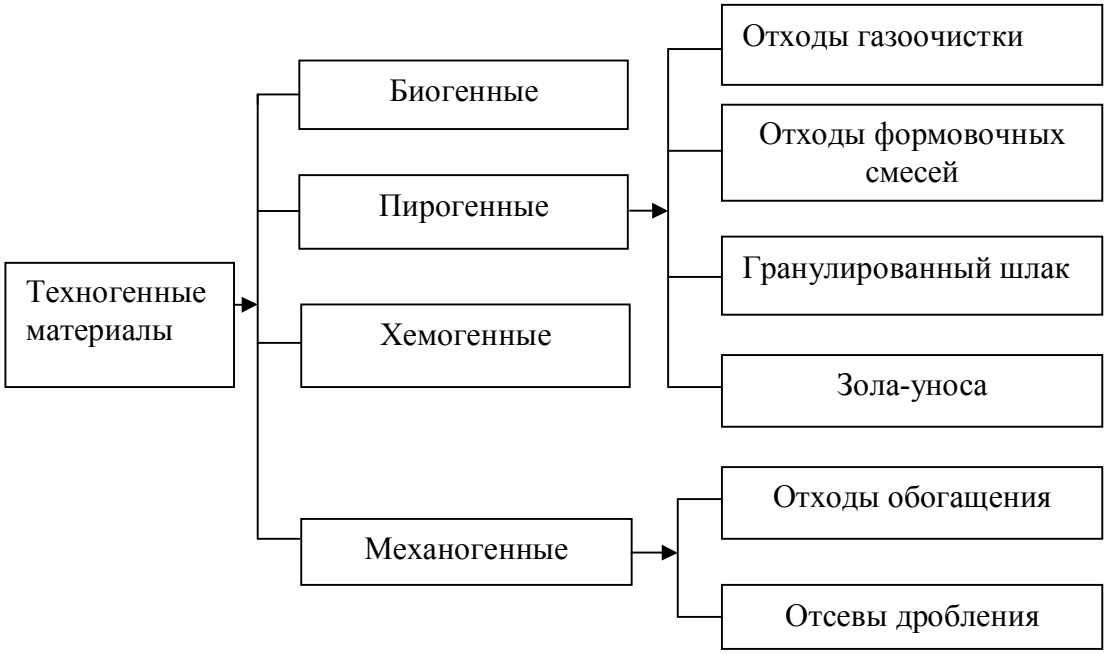


Рис.1.5. Классификация техногенного сырья

Среди техногенного сырья пирогенного происхождения одно из первых мест по объему образования занимают золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива. Это связано с тем, что основным источником для выработки электроэнергии являются топливосодержащие ископаемые (бурые и каменные угли) [40].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

В мире на угольных теплоэлектростанциях производится около 40 % общего объема электроэнергии, а в некоторых развитых – около 70 %. Предполагается, что, по меньшей мере, до 2030 года в Китае, США и многих других странах рост производства электроэнергии будет происходить за счет ещё более определяющего развития угольной энергетики [41]. В Российской Федерации около 70 % всей электроэнергии вырабатывает от сжигания твердого топлива – углей, сланца, торфа. В результате образуется около 50 млн. т. отвалов золошлаковых отходов. За сутки работы ТЭС мощностью 1 млн кВт сжигает 10 000 т угля и выделяет 1 000 т. шлака и золы. Ежегодно для такого захоронения шлаков (при его высоте 8 м) требуется более 1 га площадей.

Таким образом, отходы топливно-энергетического комплекса, образующиеся в топках тепловых электростанций, представляют собой огромные скопления золы в виде пылевидных остатков и кускового шлама, а также различные золошлаковые смеси [42]. Эти продукты высокотемпературной обработки (1200 – 1700 ºС) минеральной части топлива нашли широкое применение во многих странах мира, и, учитывая мировую тенденцию к увеличению доли вторичного рынка использования отходов.

Научные исследования и практика дорожного строительства показали, что золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива представляют собой материалы, пригодные для применения во многих отраслях народного хозяйства [43].

Золы-уноса ТЭС имеют очень низкую стоимость, поэтому относятся к одному из наиболее перспективных видов сырья, пригодного для производства широкого ассортимента материалов, которые применяются в различных отраслях строительства [46].

В строительстве золошлаковые материалы широким размахом начали применять еще в 70-х годах во время СССР. Связано это было с правительственными постановлениями по утилизации топливных отходов ТЭС. В 80-х годах научно-исследовательские работы и практическое использование

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

золошлаковых материалов были значительно активизированы. Это б связано с созданием и развитием сети автомобильных дорог странах СССР [41].

Золы-уноса тепловых электростанций СССР применялись в дорожном строительстве для таких основных целей:

- в качестве самостоятельного вяжущего материала для укрепления каменных материалов и грунтов;
- в качестве активной минеральной добавки при укреплении грунтов цементов или известью;
- в качестве дешевого заменителя минерального порошка для приготовления асфальтобетонных и битумоминеральных смесей [44].

Строительство автомобильных дорог с применением зол и золошлаковых материалов осуществлялось в основном в регионах России, особенно в районах, испытывающих дефицит традиционных дорожно-строительных материалов (щебня, песка, цемента) [45]. В связи с этим было уделено внимание ученых на изучение золошлаковых материалов с целью применения их в строительстве дорожной отрасли.

Большой вклад в решение проблемы практического использования топливных зол и шлаков внесли исследования крупные советские ученые, как В.В.Суровцев, М.А.Бахмутова, С.А.Бернштейн и Д.И. Латыш, Л.С.Коган, Ю.М.Бутт, , Г.М.Рущук и Е.Г. Егерева, Л.Я.Гольдштейн, В.Н.Манцурова, Г.М. Сиверцев, П.П.Будников, Н.В. Юнг, А.В.Волженский и др.

В результате проведенных исследований не только разработана технология получения различных золосодержащих материалов, но и научно обоснованы способы наиболее рационального использования тех или иных зол.

В.В.Суровцев впервые в своей работе отметил, что известково-зольный бетон состава 80 % золы и 20 % известки при испытании состава 1:3 проявил активные свойства [47].

В 1943 г. С.А.Бернштейн и Д.И.Латыш опубликовали результаты исследования золы-унос Красногорской ТЭЦ с целью использования ее замены

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

портландцементом. Замена 20-30 % портландцемента золой показала испытании хорошие результаты [48].

В 1947 г. Л.С.Коган указал на целесообразность использования в цементной промышленности топливных зол в качестве добавки при помоле клинкера на портландцемент [49].

В 1950 г. С.А.Бернштейн представил результаты использования золы в строительстве промышленных и жилых зданий и сооружений [48].

Г.М.Рущук и Е.Г.Егерева в 1961 г. опубликовали результаты исследований золы-унос Иркутской ТЭЦ в качестве добавки к портландцементу [50].

В 1973 г. И.Л. Горячков [51] анализировал об эффективности использования золы ТЭС в сочетании с цементом или известью для укрепления несцементированных обломочных, песчаных и супесчаных грунтов. Золы могут быть использованы также для устройства различных укрепленных слоев дорожных одежд в качестве самостоятельного вяжущего или активного компонента комбинированного вяжущего в сочетании с добавками цемента или извести.

Володько В.П. в 1974 г. представил результаты исследований и опыт применения в дорожных хозяйствах различных видов зол-уноса, а также расчеты их экономической эффективности [52]

А.В.Волженский и др. показали возможность использования золы как основного сырья в дорожном строительстве как: самостоятельное вяжущее для укрепления местных каменных материалов и грунтов, активная минеральная добавка при укреплении каменных материалов и грунтов цементом или известью; заменитель минерального порошка для изготовления асфальтобетонных и битумоминеральных смесей [53].

Анализы показывают что, утилизация золошлаковых отходов в России составляет около 10 %; в ряде развитых стран – около 50 %, во Франции и в Германии – 70 %, а в Финляндии – около 90 % их текущего выхода. Там применяются в основном сухие золы, и проводится государственная политика,

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

стимулирующая их использование. В Польше повышена цена на землю золоотвалы, поэтому ТЭЦ доплачивают потребителям с целью снизить собственные затраты на их складирование. В Китае золы доставляются потребителям бесплатно, а в Болгарии сама зола бесплатна. В Великобритании действуют пять региональных центров по сбыту зол [54].

В Англии 60-х годах зола-уноса была применена как материал для возведения насыпей, исследовании показывают, что зола является пригодным для сооружения насыпей и устройства нижних слоев основания дорожной одежды, которые должны находится на глубине не менее 40 см от поверхности покрытия в связи с их недостаточной морозоустойчивостью [55].

При устройстве дорожных одежд и для укрепления подстилающих слоев, в жестком укатываемом бетоне было использовано зола-уноса. Образцы бетона с добавкой 42 % золы в возрасте 28 сут. показали большую прочность, чем обычного.

Зола применяется в растворах как активная минеральная добавка, пластификатор и микронаполнитель, улучшающий структуру и качество растворов:пластичность, водоудерживающую способность и прочность [56].

В производстве зола используется в качестве заменителя части цемента при изготовлении бетона и железобетона. Это оценивается как одна из первостепенных задач как с точки зрении экономии цемента, так и в отношении технической целесообразности рациональной утилизации данного вида отходов ТЭС. При этом зола может вводиться в состав бетона или раствора как непосредственно при их приготовлении, так и в цемент при его производстве на заводе [57].

В США на замещение части цемента в бетоне идет 500 тыс.т. золы в год, на приготовление цемента с золой – 25 тыс.т. и используется в качестве сырья для портландцемента 150 тыс.т. Во Франции из 23 млн.т. цемента, выпускаемого в год, около одной трети содержит золу ТЭС. В Англии имеется целая система организаций под названием «Пульверизованная топливная зола»

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

(Pulverised Fuel Ash), в которую входят заводы, предприятия и строительные фирмы, использующие золу в разных направлениях [52].

В больших количествах зола используется в обычных конструктивных бетонах для частичной замены цемента (20-30 %) или частичной замены цемента и песка (20-30 % по массе или объему). Это дает вполне удовлетворительные результаты [58].

Анализы исследований показывают, что правильно спроектированный состав бетонной смеси с золой по многим характеристикам может превосходить бетон на портландцементе и прежде всего в отношении лучшей удобоукладываемости и повышенной прочности бетона.

В Японии зола широко вводилась в бетон при возведении целых ряд плотин, таких как Огоучи, Тагокура, Мива, Судагай, Окутодами и др. [59].

Золу используют в качестве добавки к цементу в Венгрии, Польше, Турции и других странах [57]. В организации «Днепроэнергостройиндустрия» отработано технология производства железобетонных конструкций из бетона марки 400, при этом 15 % портландцемента марки 500 заменено золой бурого угля Александрийских ТЭЦ; при этом требования по прочности, жесткости и трещиностойкости не были снижены [60].

Золошлаковые материалы успешно используются в дорожном и аэродромном строительстве.

Объем потребления золы в США из года в год возрастает. Главным потребителем золы являются заводы по производству легковых заполнителей. Второе место по количеству используемой золы занимает дорожное и аэродромное строительство.

В отличие от европейских стран в США зола широко применяется в качестве добавки к дорожным бетонам. В частности в штате Алабама из такого бетона уже построено 274 км дорожных покрытий с четырьмя полосами движения и 48 км покрытий шестиполосных дорог. В применяемых для этого бетонных смесях до 20 % песка заменяется с золой, которая заметно улучшает удобоукладываемость смесей. Кроме того, добавка золы повышает прочность

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

бетона при изгибе, а также его устойчивость к воздействию сульфатных [61].

Ведущее место в проведении исследований по оценке физико-механических свойств и по разработке технологии применения отходов тепловых электростанций и внедрение его в практику в дорожном строительстве занимали институты СоюздорНИИ, ГосдорНИИ и Ленфилиале ГипродорНИИ, БелдорНИИ и Миндорстрое УССР.

Научно-исследовательские работы по применению золы-уноса в дорожном строительстве проводились коллективами научных работников ВНИИстрома, НИИНСМа, НИИСМИ и его филиалов [62].

На основе исследований и апробации в реальных условиях был разработан ГОСТ 9128-97 [63], который применяется для приготовления дорожного бетона. Изданы рекомендации и временные технические правила устройства дорожных оснований из золы-уноса.

Все эти мероприятия способствовали увеличению применения золы-уноса в дорожном строительстве.

Многолетний опыт эксплуатации показывает хорошее качество дорожных одежд, устроенных из золы-уноса и был признан хорошим дорожно-строительным материалом [42].

В ограниченном количестве зола-уноса тепловых электростанций используются дорожными хозяйствами в качестве заменителя минерального порошка при приготовлении асфальтобетонных и битумоминеральных смесей.

Впервые применение каменноугольной золы-уноса в качестве минерального порошка для приготовления горячего асфальтобетона было предложено М.А.Курнаевым [64]. Позже изучением пригодности золы-уноса для приготовления различных асфальтобетонных и битумоминеральных смесей занимались многие специалисты [52, 65,67, 68].

Отечественная и зарубежная практика утилизации золы в бетонах отдает предпочтение использованию низкокальциевых (CaO до 10 %) зол, образующихся при сжигании на ТЭС каменного угля. Эти золы менее

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

гидравлически активны, чем высококальциевые, имеют относительно бо… стабильный и однородный химический и зерновой состав и не оказывают отрицательного влияния на равномерность изменения объема смешанного вяжущего вещества [64].

С другой стороны, высококальциевые золы, имеющие более высокую гидравлическую активность, а в отдельных случаях и обладающее самостоятельными вяжущими свойствами (прочность до 10,0-15,0 МПа в 28-суточном возрасте), считаются менее пригодными к применению. Недостаткам высококальциевых зол являются их неоднородный химический состав и повышенное количество свободного оксида кальция, как правило, в пережженнном состоянии [68].

Невысокая гидравлическая активность золы приводит также к замедленному, несколько ускоряющемуся во времени связыванию свободного оксида кальция, выделяющегося в бетоне при гидратации цемента и соответственно к дополнительному нарастанию прочности и плотности (водонепроницаемости) бетона за счет структурных новообразований, что, в свою очередь, благоприятно сказывается на коррозийной стойкости бетона с золой к действию мягких и сульфатных вод.

Наибольшую стойкость бетону придают золы, имеющие в своем составе суммарное содержание кремнезема и глинозема более 80 % [69]. Свойства отходов ТЭС, определяющие их использование в качестве минерального порошка, зависят, прежде всего, от химико-минералогического состава, дисперсности, пористости, формы и текстуры поверхности частиц. Основное назначение золы в составе асфальтобетона состоит в повышении адгезионных свойств битума и заполнении порового пространства, образованного щебеночно-песчаным каркасом. В работах зарубежных ученых [70] установлена возможность применения золы-уноса в качестве наполнителя органических битумных вяжущих в составе асфальтобетонной смеси для укладки слоев покрытия автомобильных дорог. В работах доказано [71,72,73], что введение тонкодисперсного минерального порошка позволяет улучшить

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

стабильность битума в составе смеси, прочностные характеристики, водостойкость и сдвигоустойчивость асфальтобетонных смесей, что в свою очередь позволяет говорить о повышении стойкости к остаточным деформациям и снижении колеебразования покрытия в процессе эксплуатации.

Также значительный вклад в решении вопроса по использованию зол Бишкекской ТЭЦ в строительстве занимались отечественные ученые, как Т.Дж. Джороев, А.Н. Ильин, С.Г.Краханиди, Т.У. Абеков, Т.С. Сыдыков, М.К. Сартбаев. и др.

Т.Дж. Джороев [74] в 1978 году своей работе отметил об эффективности применения золы-уноса в дорожном строительстве, результаты которого подтверждаются производственным опытом дорожно-строительных организаций Эстонской ССР, РСФСР, УССР, Казахской ССР, Киргизской ССР и других республик.

Анализы исследований [75,76,77,78,79] показывают, что зола-уноса ТЭЦ в качестве минеральной добавки в составе асфальтобетона, по активности отвечает требованиям.

В 1986 г. А.Н.Ильин [75] предложил состав вяжущего для дорожных бетонов, в котором до 30 % портландцемента заменятся золой Фрунзенской ТЭЦ что, достигнут экономический эффект от использования новых составов бетона в технологии строительства дорог и тротуаров.

В 1990 г. С.Г.Караханиди [73] опубликовал результаты исследований золы Фрунзенской ТЭЦ как вторичного сырья в строительстве. Результаты исследований которого свидетельствуют о том, что добавка золы положительно влияет на механические свойства цементного раствора и что замена 15-30 % клинкера золой не вызывает заметного снижения прочности.

В работах [77,78,79] были проведены ряд исследований по изучению отходов промышленности нашей республики с целью замены минерального порошка для асфальтобетона, в том числе золы-уноса ТЭЦ, что остаются до сих пор актуальными и не до конца изученными.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Однако для получения представительной выборки с целью повышения степени достоверности необходимо проведение дополнительных исследований для оценки возможности применения золы-уноса в качестве наполнителя асфальтобетонной смеси. Для этого необходимо изучить влияние золы-уноса на свойства конечного продукта – асфальтобетона и оценить значимость состава и отдельных свойств золы-уноса на улучшение показателей асфальтобетонного покрытия.

1.3 Характеристика золы-уноса и его воздействие на окружающую среду

Зола-уноса является одним из многотоннажных продуктов ТЭС, образующееся при сжигании топлива, который выносится дымовыми газами из топки котла и улавливается золоуловителями. Она представляет собой тонкодисперсный материал из частиц размером 3-315 мкм, образующийся из минеральных примесей топлива при полном его сгорании и осажденный из дымовых газов золоулавливающими устройствами [80].

В камерных топках тепловых электростанций образуются два вида отходов: зола-уноса и шлак. Размер зерен шлака составляет 1-50 мм и он образуется в результате слипания размягченных частиц золы в объеме топки или на ее стенках, накапливаясь в шлаковом бункере под топкой. Топливный шлак - это материал, скапливающийся в нижней части топочного пространства тепловых агрегатов и удаляемый в жидком или спекшемся состоянии. При совместном удалении золы и шлака гидротранспортом на тепловых электростанциях образуется золошлаковая смесь [81].

Размер частиц золы менее 0,3 мм. Она удаляется из топки с дымовыми газами и улавливается при их очистке в циклонах и электрофильтрах. Улавливается зола золоуловителями. Существует золоулавливание сухое на электрофильтрах (зола-уноса) и мокрое на скрубберах с трубами Вентури (зола гидроудаления) [82]. При сухом способе крупные частички улавливаются

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

циклонами, мелкие – электрофильтрами, при этом определенная фракция з улавливается на определенном поле электрофильтра.

После улавливания электрофильтрами из состава дымовых газов зола-уносана правляется специальным пневмотранспортом в силосные склады, либо складируется в золосборники для дальнейшей реализации потребителям.

При очистке золосборников с помощью воды зола и шлак в виде золопульпы удаляется в отвалы. Формирования золы-уноса различны по способу образования и технологиям получения основной продукции [83].

Содержание золы при сгорании топлива различно: в каменных и бурых углях – от 1 до 45 %, в горючих сланцах – от 50 до 80 %, в топливном торфе – от 2 до 30 % [81].

Химический и минерально-фазовый составы, строение и свойства золошлаковых материалов (ЗШМ) зависят от состава минеральной части топлива, его теплотворной способности, режима сжигания, способа их улавливания и удаления, места отбора из отвалов. Факторы, влияющие на состав и строение зол-уноса представлен на рис. 1.6.

Рис. 1.6. Факторы, влияющие на состав и строение золы-уноса

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

При высоких температурах (1200-1600°С) сжигания топ… минеральные примеси претерпевают изменения; в них протекают сложные физико-химические процессы: выделяется химически связанная вода силикатов и алюмосиликатов; разлагаются карбонаты; идут реакции в твердой фазе; происходят плавление, кристаллизация, силикатообразование, стеклообразование и др. Поэтому золы и шлаки ТЭЦ имеют сложный химический и минералогический составы.

В золах может содержатся от 0,5 до 20 % а иногда более несгоревших частиц твердого топлива, это зависит от вида углей и условий их сжигания [81].

Повышенное содержание несгоревших частиц угля в золе приводит к увеличению водопотребности цементных растворов и бетонов, соответственно это явление ухудшает их важнейшие технические свойства – т.е. прочность, морозостойкость и т.д.

При затворении водой зола-уноса с высоким содержанием силикатов и алюмосиликатов кальция, проявляют способность к гидравлическому твердению. Такие золы принято называть активными.

Золы-уноса, которые при затворении водой не способны к гидравлическому твердению, называются неактивными. Способность к гидравлическому твердению этот вид зол приобретает только после добавления определенного количества извести. К золам этой группы относятся в частности, золы от сжигания антрацитовых и каменных углей [84].

Зола классифицируется по виду и качеству топлива, на несколько видов, т.е. содержание золы при сгорании топлива различно. Зола подразделяется на угольные, сланцевые и торфяные. Угольные, в свою очередь, подразделяются на антрацитовые, каменные и золы бурых углей, рис. 1.7.

По классификациям зола-уноса Бишкекской ТЭЦ является каменно- и буроугольной, так, как она получается из 60 % карагандинских каменных углей и 40 % местных ташкумырских углей.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

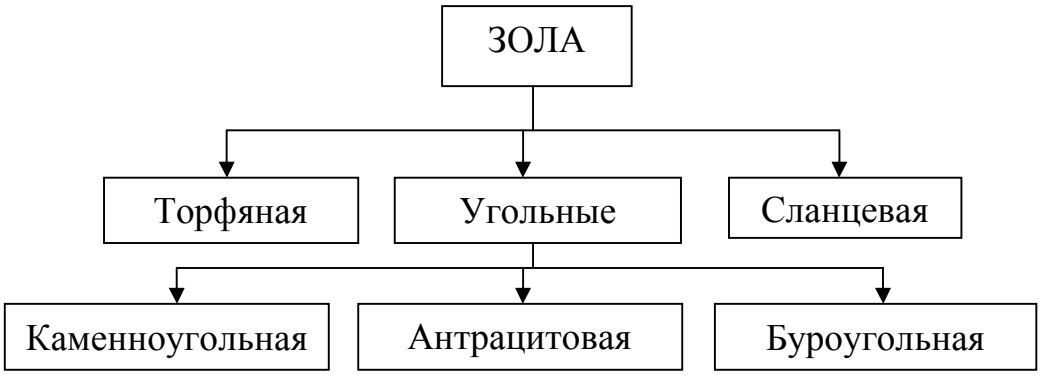


Рис. 1.7. Классификация зол в зависимости от вида топлива

В зависимости от вида подготовки и условий сжигания топлива различают золы пылевидного сжигания и слоевого. Если исходить по этому признаку, то зола Бишкекской ТЭЦ относится к золам пылевидного сжигания [76].

Состав образующихся при сжигании углей золы-уноса ТЭЦ зависит от природы используемого сырья и от добавлении мазута, температуры обжига, конструкции печей и может изменяться в широких пределах.

Анализы многих авторов показывают, что при сжигании пылевидного топлива вследствие различной температуры и скорости движения частиц в топке последние подвергаются различной степени метаморфизации. Вследствие воздействия высокого давления, температур в нижней части топки котла происходит уплотнение, перекристаллизация, изменение структуры и текстуры без существенного изменения химического состава [85].

Одной из важнейших особенностей золы является то, что частицы ее имеют различные размеры, которые находятся в диапазоне от 1-2 до 60 мкм и более.

Химический состав золы твердого топлива разнообразен.

Проектным топливом ТЭЦ г.Бишкек служит рядовой уголь Карагандинского месторождения, промпродукт мокрого обогащения и отсевы Ташкумырского угля.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Основная характеристика сжигаемых углей ТЭЦ г. Бишкек приведен… табл.1.1.

Таблица 1.1 – Характеристика сжигаемого топлива ТЭЦ

Наименование топлива	Теплотворность, ккал/кг	Зольность, %	Содержание влаги, %	Содержание серы, %
Карагандинский	4882	38	9,0	0,8
Каракичинский	4020	13,4	16,5	1,15
Ташкумырский	4166	33,3	10,0	0,9

Расчет выброса веществ энергокотлами производится по формуле 1.1 (количество золы на 1 кг сожженного топлива кг/кг):

$$G=\alpha_{ун}\frac{A^{p}}{100}\left(1+\frac{\Gamma_{ун}}{100-\Gamma_{ун}}\right) \qquad (1.1)$$

A^{P} - зольность топлива – 33,5 %;

$\alpha_{ун}$ - доля твердых частиц уносимых из топки с дымовыми газами;

$\Gamma_{ун}$- содержание горючих в золе-уноса, %.

На Бишкекской ТЭЦ зола в основном улавливается в электрофильтрах, и транспортируется пневматическим и гидравлическим способом.

1.3.1 Химический состав топливных зол

Зола сжигаемых на ТЭС каменных углей различных месторождений состоит в основном из SiO_2 и Al_2O_3, содержание в них CaO обычно не превышает 5 %.

Химический состав золы-уноса различных углей Бишкекской ТЭЦ представлен в табл.1.2.

Содержание несгоревших частиц топлива в исследуемых золах ТЭЦ колеблется от 4,32-5,74 %, такое колебание потерь при прокаливании указывает на неравномерность режима сжигания топлив ТЭЦ, что осложняет использование золы [76].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 1.2 – Химический состав зол: Карагандинского, Каракичинского и Ташкумырского месторождений

Наименование месторождений углей	Содержание окислов в процентах											Гигроскопическая влага
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	п.п.п.	
Карагандинский №1	48,56	18,99	2,58	0,86	0,59	1,40	0,69	0,01	1,06	0,12	6,74	0,06
Каракичинский №2	54,50	23,51	5,57	0,57	0,79	2,30	1,23	0,92	1,72	0,42	8,88	0,29
Ташкумырский №3	44,56	33,74	9,91	1,95	1,01	4,15	0,90	1,00	0,16	0,05	2,95	0,81

1.3.2 Особенности зол пылевидного топлива

Золы пылевидного топлива образуются в результате сжигания углей в пылевидном состоянии в топках при температуре от 1100 до 1500 ^{0}C. Сжигание углей особенно его неорганической части в зависимости от температуры сжигания сопровождается расплавлением, частичным спеканием вспучиванием неорганических примесей, содержащихся в топливе; в большинстве случаев отдельные составляющие золы оплавляются, покрываясь стекловидной поверхностью. По анализам О.А. Гершберга, вследствие быстрого сжигания пылеугольной смеси, содержащаяся в минеральных остатках окись кальция не может полностью войти в соединение с кремнеземом и глиноземом. Следует полагать, что в этих условиях не могут образоваться многокальциевые силикаты и алюминаты, присущие обычным цементам. О.А.Гершберг считает, что часть извести остается свободной и, вследствие быстрого остывания газовых продуктов, вместо кристаллов образуются оплавленные частицы извести и однокальциевых силикатов [86].

М.П.Элинзон [87] полагает, что во время сжигания пылевидного топлива при температуре 1300-1500 ^{0}C происходит образование алитов 3CaO x SiO_2, как известно, являющихся составной частью цемента. Есть основание полагать, что

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

образование трехкальциевых силикатов возможно при довольно высоком содержании окиси кальция в неорганической части углей. Очевидно, наличие в некоторых золах алитов придает этим золам цементирующее свойство.

В большинстве золы состоят из спекшихся или остеклованных частиц.

Данные петрографического анализа трех различных видов зол свидетельствуют о том, что в золах № 1, 2 и 3 (для удобства наименования № зол в тексте соответствуют золам порядковых номеров, принятых в табл. 1.2.) в значительном количестве встречаются неоднородные агрегатные зерна в виде бесцветных или окрашенных в желтевато-бурый цвет шариков силикатного стекла; светопреломление этих стекловидных составляющих колеблется в широких пределах от 1,580 до 1,684, что свидетельствует о неоднородности их химического состава.

Основная масса окислов железа содержится в неагрегированном магнезите и поэтому она свободно отделяется при помощи магнита; кроме того, окись железа находится также и в составе силикатного стекла. Многие зерна кварца покрыты пленочками стекла, что свидетельствует о высокой температуре их обжига.

Особенностью золы № 1 является значительно меньшее содержание агрегатных неоднородных зерен, т.е. сплавленных из различных минералов.

Золы №2 и 3 в большей степени имеют оплавленные зерна силикатного минерала.

Обобщая данные петрографических исследований трех различных видов зол, можно заключить, что на различие в составах изученных зол влияет в основном разница содержащегося в них стекла и оплавленных остеклованных частиц кварца.

Поэтому по данным химического анализа золы нельзя рассматривать весь кремнезем или глинозем как активные составляющие [88]. Очевидно, что частично остеклованный или полностью стекловидный SiO_2 и Al_2O_3 не могут быть активными при воздействии на них гидрата окиси кальция; только та

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

часть кремнезема и глинезема, которые лишены оплавленно взаимодействует с известью и образует кристаллические новообразования в виде гидросиликатов и гидроалюминатов кальция.

Эта точка зрения находит подтверждение в проведенном микроскопическом анализе этих же зол. При рассмотрении структуры зол под микроскопом выявлено заметное различие их по содержанию стекловидных частиц и структуры построения частиц.

Последующие анализы приготовленных на различных золах показали, что при всех прочих одинаковых условиях объемный вес и прочность образцов при сжатии различна (табл.1.3).

Таблица 1.3 – Результаты показателей объемного веса и прочности образцов

№ золы	Объемный вес в $т/м^3$	Прочность* при сжатии в $кг/см^2$
1	1,42	92
2	1,32	196
3	1,4	165

* Прочность после твердения в автоклаве при давлении 8 *атм.*

Заметная разница в прочности образцов не может явиться следствием только различия в химическом составе этих зол, хотя бы потому, что содержание в них основных составляющих SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 имеет незначительное отклонение.

Решающим фактором, влияющим на прочность образцов, является низкое содержание активных частиц золы, т.е. иными словами, сказывается степень остеклованности, которая препятствует взаимодействию составляющих золы с известью. Частицы золы не могут проявить активных свойств, особенно при низких температурах тепловой обработки, и являются как бы инертным заполнителем.

Таким образом, все золы имеют больший или меньший процент остеклованных частиц. При этом все они имеют круглый, шарообразный вид. Такое состояние частиц особенно характерно для золы № 2; зола № 3 почти не имеет остеклованных шариков, и основная ее масса представлена в виде

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

остроугольных хлопьев. На рис.1.8 показаны три вида зол, увеличенных микроскопом в 90 раз.

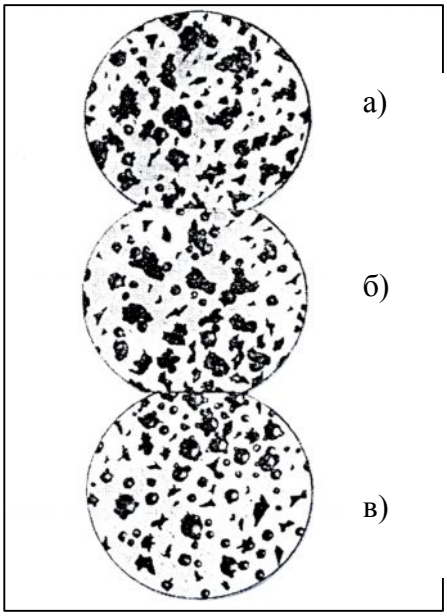


Рис.1.8. Внешний вид (под микроскопом) частиц зол, полученных от сжигания различных углей

а – образец № 1(Карагандинкий уголь);

б – образец № 2 (Каракичинский уголь);

в – образец № 3 (Ташкумырский уголь).

Как петрографический, так и микроскопический анализы трех различных видов зол подтверждают различное соотношение оплавленных частиц в указанных золах.

Известно, что во многих топках сжигание угля в пылевидном состоянии происходит при различных температурах от 1100 до 1500 ^{0}C; стало быть, степень оплавленности зол будет различной.

Кроме того, нельзя рассматривать золу, полученную после сжигания топлива при температуре 1400-1500 ^{0}C, как полностью оплавленную и лишенную гидравлической активности. Дело в том, что в топках даже при этой температуре сжигания не все частицы угля, вдуваемого с воздухом, подвергаются воздействию столь высокой температуры. Какая-то часть угля сгорает в топке со значительно более низкими температурами, при которых зерна золы не только не оплавливаются, сохраняя гидравлическую активность, но и отдельные частицы угля в золах достигает от 3 до 35 %. Этому способствует еще и относительно быстрое прохождение угольной пылью зоны высоких температур топки.

Таким образом, есть все основания утверждать, что даже в топках с высокой температурой сгорания угля – зола имеет и оплавленные, лишенные гидравлической активности зерна, а также и частицы, не имеющие указанной оплавленности, способные с известью. С этой точки зрения, золы разнятся между собой количеством вступать во взаимодействие оплавленных и стекловидных частиц, определяющих степень активности золы.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

1.3.3 Значение помола золы

Помол золы положительно сказывается на прочности золобетонов. Опытами установлено, что даже частичный помол золы в 2-3 раза повышает прочность золобетонов. Последнее объясняется нарушением остеклованной поверхности частиц золы при помоле; частицы золы как бы освобождаются от остеклованной оболочки и наряду с увеличением удельной поверхности приобретают повышенную активность к взаимодействию с известью, иначе говоря, освобождаются от непроницаемой для извести оболочки и из инертной превращаются в активную часть золы.

Для определения влияния помола золы на повышение прочности золобетонов были взяты различные золы: зола № 3 с малым содержанием оплавленных частиц и зола № 2 с высоким содержанием оплавленных и стекловидных частиц (табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Влияние помола золы на увеличение прочности при сжатии образцов из известково-зольных бетонов (состав бетона по весу: зола 85 %, известь 15 %, $CaCl_2$ 2 %)

№ золы	Результаты испытаний образцов			
	без помола золы		с помолом золы	
	объемный вес в *т/м*^{3}	прочность ** при сжатии в *кг/см*^{2}	объемный вес в *т/м*^{3}	прочность ** при сжатии в *кг/см*^{2}
1	1,38	78	1,37	113
2	1,41	76	1,40	122
3	1,25	152	1.24	173

* Зола мололась в шаровой мельнице 10 мин.

** Прочность после тепловой обработки в пропарочной камере при нормальном давлении.

Из табл. 4. видно, что помол золы по-разному влияет на увеличение прочности образцов. Так, для зол №1 и 2, имеющей большой процент остеклованных частиц, помол повысил прочность образцов при сжатии на 60 %, а для мелкодисперсной золы № 3 с малым содержанием остеклованных

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

частиц – лишь на 13 %. Из этого следует, что решающим для повыше прочности явилось разрешение остеклованной поверхности золы, увеличившее ее активность.

Исследование зол позволяет сделать вывод о различных особенностях свойств зол и их влиянии на физико-механические показатели золобетонов. Поэтому нельзя рассматривать золы как однородный материал, а необходимо детальное изучение каждого вида золы, используемой в строительстве, в частности, изучение химического и гранулометрического составов, а также специфических свойств золы, связанных с режимом сжигания углей и методом золоудаления [89].

1.3.4 Воздействия золы-уноса на окружающую среду

Основной злободневной проблемой, связанная с угольными ТЭЦ – это золоотвалы. Отвалы золошлаковых материалов занимают большие площади, а их содержание требует значительных эксплуатационных затрат, которые влияют на повышение себестоимости производства энергоносителей. Они являются источником загрязнения окружающей среды, представляют опасность для здоровья населения и угрозу растительному и животному миру близлежащих районов [90].

Для полного представления образования золошлаковых выбросов в зависимости от сжигания вида применяемых материалов представлена таблица 1.5.

Как видно из приведенных данных, с увеличением доли угля (от 45,4% до 93,3 %) увеличивается выброс золошлаковой смеси на 26 %.

Источниками вредных выбросов в атмосферу являются неорганизованные и организованные выбросы.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 1.5 – Зависимость выброса золошлаковой смеси от состава смешанного топлива

Год, потреб-ляемого сырья	Наименование вида сырья	Количество сырья	Содержание угля в смешанном топливе, %	Выброс золошлаков в зависимости от содержания угля, %
2000	уголь каменный, тыс.т. газ, млн.м^3 мазут, тыс.т.	558,0 311,9 6,2	45,4	56,6
2009	уголь каменный, тыс.т. газ, млн.м^3 мазут, тыс.т.	796,7 23,9 65,9	79,4	70,84
2010	уголь каменный, тыс.т. газ, млн.м^3 мазут, тыс.т.	655,4 47,9 10,6	86,4	72,13
2011	уголь каменный, тыс.т. газ, млн.м^3 мазут, тыс.т.	735,8 33,3 23,7	86,9	76,72
2012	уголь каменный, тыс.т. газ, млн.м^3 мазут, тыс.т.	799,7 40,5 20,5	87,8	91,75
2013	уголь каменный, тыс.т. газ, млн.м^3 мазут, тыс.т.	726,4 9,8 8,3	95,8	98,16
2014	уголь каменный, тыс.т. газ, млн.м^3 мазут, тыс.т.	1030,8 41,9 3,8	92,8	99,13
2015	уголь каменный, тыс.т. газ, млн.м^3 мазут, тыс.т.	1276,5 55,9 0,6	93.3	102,12

К неорганизованным источникам относятся: мазутное хозяйство, склад угля, золошлаковые отвалы, установки сбора сухой золы.

К организованным выбросам относятся дымовые трубы.

Всего основных источников выбросов на ТЭЦ – 5, из них 2 источника – неорганизованных. Все энергетические котлы ТЭЦ оборудованы установками очистки дымовых газов от вредных выбросов. Это – мокрые золоуловители, марок МВУО ОРГРЭС – 3100 в количестве 12 штук, электрофильтры, марок УГ 2-4-37, ЭГА 1-20-9 в количестве 6 штук [83]. Производительность золоуловителей равна $302 \cdot 10^3$ м^3/час, электрофильтров $378 \cdot 10^3$. Использование

систем очистки позволяет значительно сократить зону загрязне
окружающей среды выбросами золы (рис.1.9.).

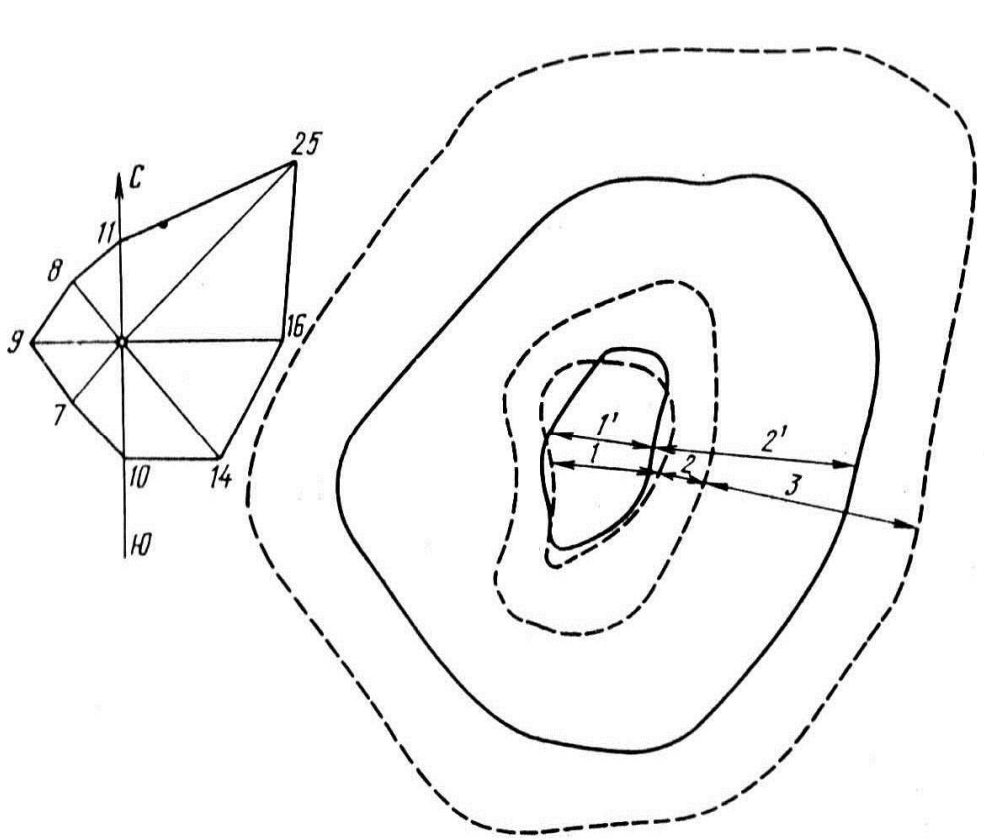


Рис.1.9. Зоны загрязнения воздушного бассейна выбросами золы:
средняя концентрация в зоне, мг/м^3: *1*-0,36; *2*-0,26; *3*-0,19; *1'* -0,26; *2'* -0,19;

- ---------- без мероприятий по сокращению выбросов золы
- ———— после внедрения мероприятий

Как видно из представленной карты зоны загрязнений после внедрения мероприятий по сокращению выбросов золы значительно снизилась [91].

На основании расчета ущерба от выбросов ТЭЦ в атмосферу были определены: средний показатель опасности загрязнения атмосферного воздуха в зоне активного загрязнения, внутренняя и внешняя границы зоны данные по ТЭЦ приведены в табл.1.6.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 1.6 – Параметры дымовых труб Бишкекской ТЭЦ и зоны активного загрязнения

№	Исходные величины	Труба №1	Труба №2	Труба №3
		H = 150 м.	H = 180 м.	H = 300 м.
1.	Средний показатель опасности загрязнения воздуха в зоне активного загрязнения	5,2	5,1	4,21
2.	Площадь зоны активного загрязнения, км/ч.	60,2	272,3	644,7
3.	Внутренняя граница зоны, км.	0,44	0,936	1,44
4.	Внешняя граница зоны, км.	4,4	9,36	14,4

Как видно из таблицы, показатели опасности загрязнения воздуха окружающей среды зависит от высоты труб, чем выше высота труб, тем и возрастает зона рассеивания выбросов [92].

По оценочным данным последние годы ТЭЦ г.Бишкек в год сжигает от 600 тыс.т. до 1200 тыс.т. твердого топлива, в воздушный бассейн ежесуточно выбрасывается значительное количество золы, сернистого газа, окислов азота.

В настоящее время в золоотвалах Бишкекской ТЭЦ накопилось более 450 тыс.тонн., которая занимает более 192,7 га плодородной земли, а ежегодное их накопление интенсивно растет.

Необходимо учитывать, что для гидроудаления 1 т. золы в отвалы расходуется 50-77 $м^3$ воды и 30-40 кВт ч. электроэнергии.

Таким образом, если зола не будет направляться в гидроотвалы, а сразу же поступит в дело, открывается возможность экономии названных ресурсов, электроэнергии, а также пресной воды [93].

Можно отметить, что утилизация золы-уноса выгодна, в первую очередь, энергетической промышленности, поскольку от этого снизятся накладные расходы по эксплуатации электростанций и стоимость электроэнергии.

Не менее важны результаты, достигнутые в охране окружающей среды. При использовании золы-уноса в дорожном строительстве освобождаются

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

большие площади и полигоны, а также защищается почва, воздух и вода от воздействия вредных загрязняющих веществ.

В работе ставятся задача, увеличение экологичности, путем применения золы-уноса, являющегося техногенным отходом местного производства сырья в составе асфальтобетона.

1.4. Цели и задачи исследования

Целью исследуемой работы является разработка и обоснование технологии применения золы-уноса в качестве минерального порошка в составе асфальтобетона.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование свойств наполнителя из золы-уноса, механизма его взаимодействия с минеральным материалом и битумом, обоснование возможности его использования в качестве минерального порошка в составе асфальтобетонных смесей;

- изучение влияния исследуемого минерального порошка на физико-механические характеристики, трещиностойкость, теплоустойчивость, коррозионную устойчивость и интенсивность процессов старения дорожного композита;

- экспериментально выявить целесообразность применения золы-уноса в качестве минерального порошка в составе асфальтобетона;

- технико-экономическое обоснование применения топливного отхода промышленности в дорожном строительстве.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Заключение по главе 1

1. Одной из основных проблем, возникающих при приготовлении асфальтобетонной смеси, выступает отсутствие запасов модифицирующих добавок со структурирующим эффектом на территории республики, а, следовательно, возможное удорожание стоимости смеси за счет привозных ее составных компонентов. Решением данной проблемы является использование некондиционного материала, предполагая возможность частичной или полной замены традиционных составляющих асфальтобетонной смеси, путем применения тонкодисперсного минерального порошка из техногенного сырья для производства асфальтобетона.

2. Номенлатура методов и материалов, используемых для повышения качества асфальтобетона для дорожного строительства достаточно широк. С точки зрения доступности, экономичности и эффективности наиболее перспективным является использование тонкодисперсных материалов. В свою очередь, использование золы-уноса в качестве минерального порошка весьма перспективно, имеется зарубежный опыт применения золы-уноса в качестве минерального порошка.

3. В Кыргызской Республике имеется достаточное количество техногенного сырья пригодного для вторичного использования, в том числе при строительстве дорожных одежд. В этой связи перспективными являются отходы топливно-энергетических предприятий в виде золы-уноса ТЭЦ, при использовании которых увеличивается экологичность и защита окружающей среды от воздействия данного вида отхода.

4. Для получения представительной выборки с целью повышения степени достоверности необходимо проведение дополнительных исследований для оценки возможности применения золы-уноса в качестве минерального порошка для асфальтобетонной смеси.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Анализ воздействия применяемого минерального порошка на реологические свойства битума и их физико-химические взаимодействия

Благодаря высокоразвитой поверхности, адсорбирующей значительную часть битума, минеральный порошок является составной частью асфальтового вяжущего и оказывает большое влияние на реологические особенности асфальтобетона. Интенсивность движения и нагрузки автомобильного транспорта приводят на дорогах образованию колеи, которое является одной из важных проблем для покрытий, устроенного из композиций битума. Битум, применяемый в дорожном строительстве, является главным представителем вязкоупругого материала, которого зависит от времени действия транспортной нагрузки и температуры.

Известно, что, понятие о вязкоупругом материале на основе битума появился достаточно давно. Теорию о вязкоупругом материале впервые ввел великий физик Дж.К.Максвелл, сущность которого заключается в том, что битум ведет себя как вязкая жидкость – при постоянной длительной нагрузки, а в приложении кратковременной нагрузки – как упругое тело.

Исследование этих свойств асфальтобетона относятся к группе колебательных измерений, которое дает возможность прогнозировать устойчивости асфальтобетона к колееобразованию, противостоящую к усталости повторным транспортным нагрузкам. Измерения деформации дорожного полотна зависит от напряжения сдвига, т.е. времени гармонических колебаний синусоидальной формы (рис.2.1).

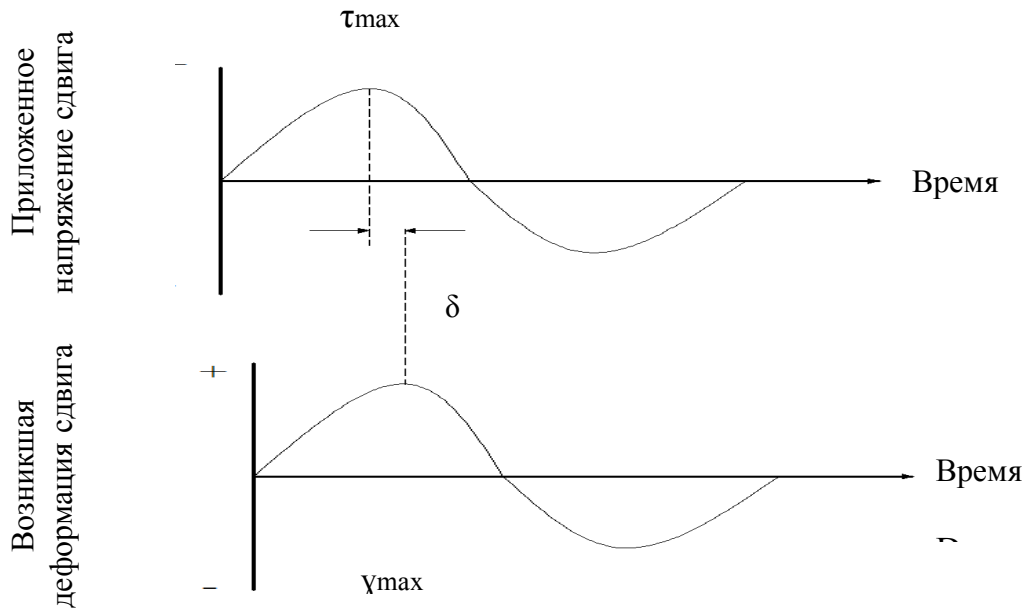


Рис.2.1. Кривые приложенных напряжений сдвига и возникающих деформаций

Основной величиной измерения для анализа вязкоупругих свойств, являются деформация - ɣ, круговая частота измерений - ω, амплитуда напряжений сдвига - ъ и угол сдвига - δ между деформацией и напряжением сдвига.

Параметры асфальтобетона рассчитываются на основании полученной кривой (рис.2.2):

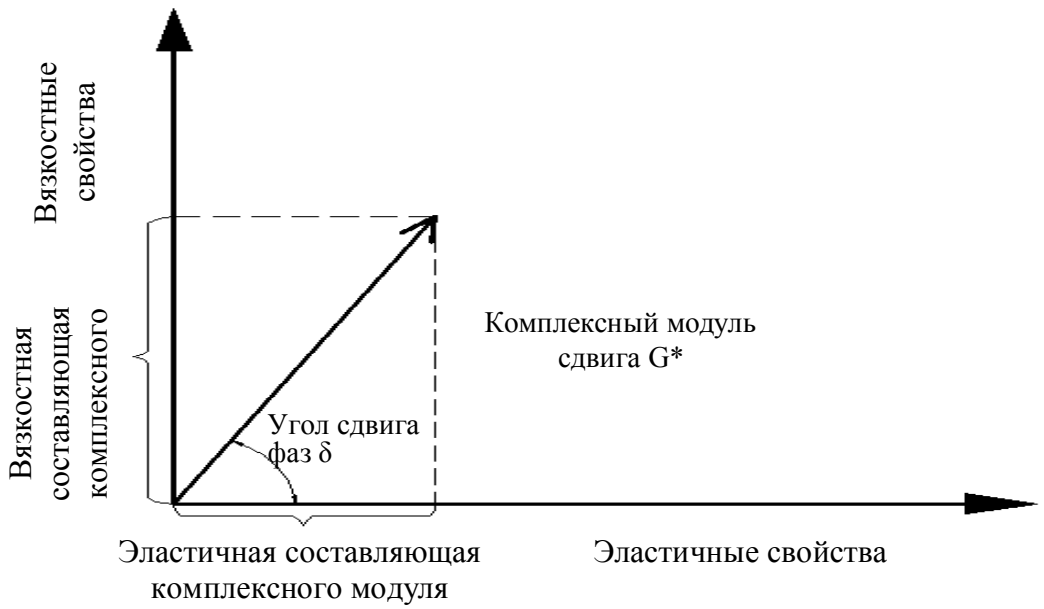


Рис.2.2. Схема-интерпретация комплексного модуля сдвига

- комплексный модуль, G*(параметр колееобразования) $G^*=\frac{\tau max}{\gamma max}$;

- модуль накопления – эластичная составляющая комплексного модуля G′:

$$G' = G^* x \cos \delta;$$

- модуль потерь – вязкостная составляющая комплексного модуля G′′:

$$G'' = G^* x \sin \delta;$$

- комплексная вязкость, η*:

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega};$$

- действительная часть вязкости (деформационная вязкость), η′:

$$\eta' = \eta^* x \sin \delta;$$

- мнимая часть вязкости (остаточная вязкость) η′′:

$$\eta'' = \eta^* x \cos \delta.$$

Вязкость материала определяется от угла сдвига фаз. Значение упругого материала равнана 0^0, вязкого материала 90^0.

В работе [5] проведено исследование на реологические свойства битума с модифицированными минеральными порошками с использованием методики Superpave с диапазоном температур от +46 до +76 ^{0}C. Исследования проводился с помощью колебательного измерения, при этом задавая напряжение сдвига в виде функции времени гармонических колебаний синусоидальной формы, измеряли получаемое в результате деформации во времени.

Результаты проведенных исследований показали что, при использовании высококальциевых зол в количестве 5 % от массы битума с целью структурирующей добавки битума дали нецелесообразные результаты, при этом увеличение к колееобразованию происходило только на 46 ^{0}C, с увеличением температуры наблюдались снижение параметра. Это влияние высококальциевых зол объясняется с содержанием в их составе оксида кальция, способствующие хемосорбционным процессам при взаимодействии с битумом.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Анализы результатов показали что, при использовании представите низкокальциевых зол параметры значений к колееобразованию начальном этапе испытания превышали на 120 % значения исходного битума. Это влияние объясняется значительным содержанием в составе золы хорошей сферической формы, имеющую развитую поверхность, содержанием углерода в составе, а также высокой пористостью – 46 % [5].

Также, в работах [94] проведены исследования с целью изучения влияния минеральных порошков на реологическое свойства битума с использованием минеральных порошков (активированного и неактивированного) (табл. 2.1). Была измерена температура размягчения по КиШ, так, например, вязкость неактивированного минерального порошка и битума (с процентным содержанием 30:70) составила по КиШ 70 %, а активированного минерального порошка и битума (с процентным содержанием 50:50) составила 69 %.

Таблица 2.1 – Определение температуры размягчения асфальтовяжущего вещества

Виды асфальто-вяжущего вещества	% содер-жание	«Коль-цо» и шар	% содер-жание	«Коль-цо» и шар	% содер-жание	«Коль -цо» и шар	% содер-жание	«Коль -цо» и шар
Активирован-ный мин. порошок	30	59	40	65	50	69	60	82
Битум	70		60		50		40	
Неактивирован -ный мин. порошок	30	70	40	79	50	85	60	97
Битум	70		60		50		40	

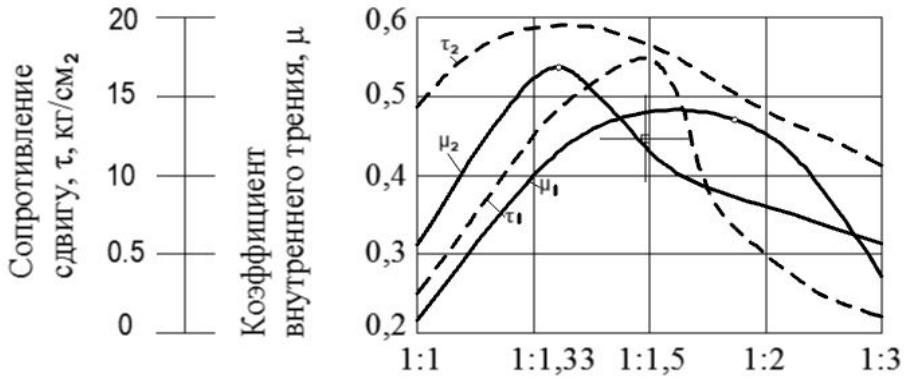
Результаты проведенных исследований показывают что, повышенная вязкость асфальтовяжущего вещества с 30 % содержанием неактивированного минерального порошка по сравнению с 50 % содержанием активированного минерального порошка объясняется тем, что в первом случае происходит избирательная фильтрация компонентов битума в глубину зерен неактивированного минерального порошка, в результате чего компонентный состав битума существенно изменяется в адсорбционных слоях, покрывающих

минеральные зерна порошка, и за счет объединения с его низкомолекулярными компонентами битум становится более вязким по сравнению с исходным.

Это явление позволяет констатировать тот факт, что введение в асфальтовяжущее вещество неактивированного минерального порошка способствует повышению вязкости битума [94].

Одной из причин появления колееобразования асфальтобетонных покрытиях является неправильное дозирование вяжущего в смеси. Рассмотрев влияние количество битума на сопротивление асфальтобетона к колееобразованию и коэффициенту внутреннего трения (рис.2.3.), можно отметить, что эта зависимость носит экстремальный характер.

а) смесь с активированными порошками



б) смесь с неактивированными порошками

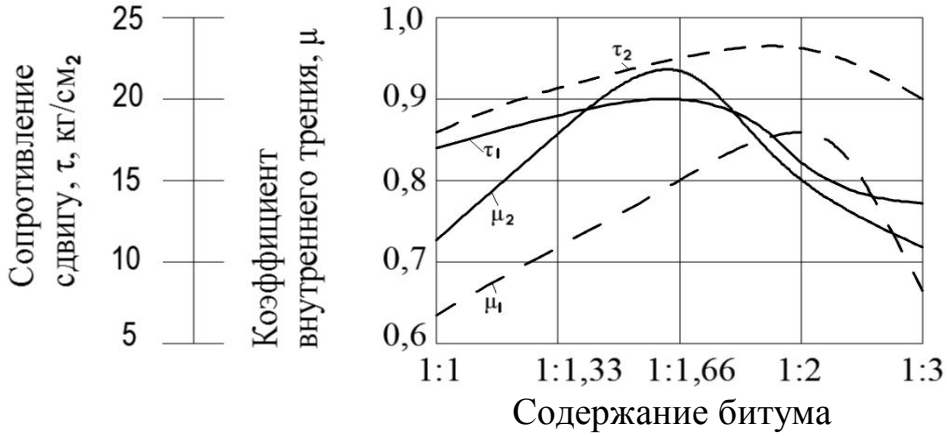


Рис.2.3. Влияние содержание битума и минерального порошка в смеси на реологические свойства и коэффициенту внутреннего трения: $\tau - \mu$ - содержание щебня в смеси

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Неправильное дозирование вяжущего в смеси, является одной причиной колееобразования в асфальтобетонных покрытиях.

Так, недостаточная вязкость битума в смеси снижает сопротивления к колееобразованию и внутреннего трения асфальтобетона, из-за недостаточной уплотняемости, высокой пористости и уменьшения пощади контактов поверхностей скольжения. Указанное позволяет констатировать тот факт, что введение в асфальтовяжущее вещество неактивированного минерального порошка и в особенности золы-уноса, способствует повышению вязкости битума.

Как показывают анализы результатов, реологические исследования асфальтовяжущих веществ, свидетельствуют о том, что вязкость асфальтовяжущих веществ существенно зависит от вязкости применяемого битума. Исследование реологического свойства битума дает возможность прогнозировать качество и устойчивость покрытия к образованию колеи и противостоящую способность асфальтобетона к повторным транспортным нагрузкам.

Расход битума при одинаковой вязкости асфальтовяжущего вещества по КиШУ с неактивированным порошком по сравнению с активированным снижается в среднем на 40-45 %, и это помимо экономии битума, что является немаловажным фактором, означает уменьшение пластичности системы в целом.

Таким образом, изучение реологического свойства битума с использованием техногенного сырья в виде золы-уноса с требуемой концентрацией от массы битума позволяет сделать вывод о том, что зола-уноса является эффективной добавкой способствующее сохранению упруго-вязко-пластических свойств битума в асфальтобетоне, моделируя условия работы покрытия в летний период времени.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2.1.2 Физико-химические взаимодействия золы-уноса с битумом и минеральным материалом

Асфальтобетонное покрытие вступая в непосредственный контакт с шинами автомобиля интенсивно подвергаются истиранию с интенсивностью, зависящей от скорости движения, давление в шинах и других климатических факторов природной среды, разрушающих его. Характер разрушения асфальтобетона также зависит от температуры: при отрицательных температурах он хрупкий, при высоких положительных – вязкопластичный. Поэтому, асфальтобетон должен обладать важными определенными свойствами, чтобы быть прочным и долговечным, противодействующими вышеперечисленным факторам.

При высоких температурах нагрева асфальтобетонного покрытия (летом до +60 - +75 ^{0}C) процессы его старения идут быстрее вследствие ускорения окислительной реакции вяжущего в асфальтобетоне с кислородом, а при низких температурах нагрева покрытия процессы его замедляются, поскольку окислительная реакция битума с кислородом происходит более медленно.

При окислении битумов асфальтобетонной смеси в молекулах углеводородов вяжущего происходит окислительная реакция замещения, вследствие которой цепи углеводородов рвутся в местах их замещения кислородом, и поскольку при эксплуатации асфальтобетонного покрытия в битуме продолжается дальнейший процесс его окисления и этот фактор становится причиной и очагом разрушения покрытия. Как следствие, в этом случае асфальтобетонное покрытие становится менее эластичным, и при температурных деформациях оно начинает растрескиваться и теряет свои эксплуатационные свойства.

Битум – главный основополагающий компонент асфальтобетонной смеси, эксплуатационные свойства и содержание которого определяют прочность и долговечность покрытия.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Структура асфальтобетона представляет собой наличие грубозернис смеси, специально выбранным вяжущим веществом сцементированный в прочный искусственный конгломерат. Как известно, вяжущее вещество характеризует собой бинарную систему битум – минеральный порошок [133].

Минеральный порошок, использующийся как асфальтовяжущее вещество в качестве тонкодисперсного наполнителя в асфальтобетонных смесях, значительно улучшает свойства асфальтобетонных покрытий [129].

Из теории поверхностных явлений известно что, тонкие слои вязко-жидких и жидких материалов, нанесенные на твердую поверхность между соединяемых тел в виде клеющей смазки, образуют между ними прочную связь [136]. При этом «склеивающая» прочность минерального остова асфальтобетона вместе с битумом образует место под воздействием оптимальной толщины битумной пленки. Это толщина битумной пленки образуется при введении в состав минеральной части соответствующего минерального порошка.

Как известно, минеральный порошок имеет высокую адсорбционную способность и большую удельную поверхность, это свойства минерального порошка образуя асфальтовяжущее вещество, прочно связывает частицы каменого остова. Также, минеральный порошок способствует переводу объемного битума в пленочное состояние, при этом битум, находясь в мелких порах и в тонких прослойках, попадает в область влияния молекул поверхностного слоя минеральной части асфальтобетона [138].

Мелкие частицы минерального порошка играют роль узлов, в структурообразовании асфальтовяжущего вещества, обеспечивая сцепление между компонентами состава и адсорбирующими асфальто-смолистые составляющие битума [140].

Как известно, большое влияние на механические свойства бинарной смеси оказывает структура минерального порошка. Смесь асфальтобетона может проявлять высокие показатели пластичной прочности, т.е. минеральные порошки, взаимодействуя с органическим вяжущим изменяют групповой

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

состав битума и при определенных соотношениях образуют упругие пленки его поверхности. Если же минеральный порошок не оказывает определенного рода изменений в вяжущем, то и смеси асфальтобетона могут иметь низкую пластическую прочность [144].

В связи с этим структурирующими называют применения различного рода добавок по функциональному назначению. Применение различного рода дисперсных материалов в качестве добавок в составе вяжущего, структурируя битум, повышает его вязкость.

Учитывая следующие особенности составов добавок по виду взаимодействия с битумом, в том числе из отходов топливно-энергетической промышленности:

- физико-механические;

- физико-химические;

- морфоструктурные - их следует относить к физико-химически модифицирующим добавкам.

С введением же в битум даже небольшого количества полимерных добавок, в частности таких как «стирол – бутадиен – стирол» (СБС), его качество значительно улучшается, из чего следует, что для повышения надежности и долговечности работы асфальтобетонных покрытий рекомендуется использовать битумы, модифицированные полимерами техногенного характера.

Применение полимеров изменяет физико-химическую структуру и реологию битума, придавая ему вязко-пластичные свойства.

В модифицированном битуме повышается свойства как:

адгезия, вязкость, растяжимость, устойчивость к высоким и низким температурам.

Использование модифицированного битума применительно к асфальтобетону предопределяет условия для:

- защиты покрытия от образования колейности;

- защиты покрытия от образования трещин;

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

- уменьшение толщины покрытия;

- шумоподавления покрытием.

Таким образом, можно констатировать, что модифицированные битумы увеличивают сопротивление асфальтобетонных покрытий разрушению от усталостного трещинообразования, приводит к повышению эластичности смеси при низких температурах и устойчивости при высоких температурах.

Небольшое содержание модификатора в маловязких бтумах (в пределах от 3 до 5 %) объема уже способствует достижению наибольшей эффективности.

Модифицированные битумы приобретают широкое использование вместо обычных битумов, этому дает объяснение их улучшенные свойства.

Битумы полимерного происхождения имеют большой диапазон рабочих температур.

Битумополимерное вещество в составе асфальтобетонной смеси обнаруживает хорошую долговечность, устойчивость к старению и сохраняет эластичность с течением времени.

Приготовленный асфальтобетон с использованием полимерного битума, имеет достаточно высокую устойчивость к внешним деформациям за счет высокой эластичности применяемых битумов, это свойство битума в свою очередь замедляет процесс старения асфальтобетона.

На практике известно что, экономически целесообразными модификаторами для органического вяжущего являются те, которые недороги и доступны [153].

С точки зрения техники для создания композиционных материалов на основе битумов с требуемым свойством могут применяться те модификаторы, которые:

- совместимы с органическим битумом при различных температурах и при процессе смешения на традиционном и обычном оборудовании;

- повышают способность сопротивления битумов дорожного покрытия к воздействию сдвиговых напряжений в летний период времени, без увеличения вязкости при низкой температуре в покрытии;

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

- химически и физически стабильны;

- при переработке и хранении, а также в различных условиях работы в составе дорожного покрытия присуще сохраняют необходимые им свойства.

Так, с целью повышения качества используемого битума применяют различного рода синтезированных добавок. Эти добавки имеют высокую стоимость, что соответственно приводит к удорожанию прменяемого битума и битумоминеральных композиций, получаемых на его основе [141, 144].

Однако состав и свойства золы-уноса применяемый в качестве наполнителя, а также их концентрация в составе вяжущего оказывает влияние на величину параметра устойчивости покрытия к колееобразованию при разных температурах, которых имеет тенденцию к повышению в сравнении с исходным битумом.

Таким образом, при изучении реологического характера битума с применением вторичного сырья, можно сделать вывод что, зола-уноса в качестве модификатора битума является целесообразной и экономически эффективной добавкой в составе асфальтобетона.

Результаты анализов свидетельствуют о взаимодействии процессов активного характера минерального порошка из золы-уноса с органическим вяжущим. Исходя, из этих положительных показателей взаимодействия можно предположить что, на основе исследуемого минерального порошка из техногенного сырья можно получить асфальтобетон достаточно высокого качества.

2.1.3 Оценка воздействия минерального порошка на коэффициент сцепления при скорости движения автомобиля

Деформативные свойства асфальтобетона существенно зависят от температуры нагрева покрытия, а также от интенсивности движения и осевых нагрузок автомобилей. Известно [65] что транспортные средства контактируют с дорожным покрытием через колеса. Коэффициент сцепления с

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

дорогой оценивается от сцепного качества дорожного покрытия, которое зависит от состояния дорожного покрытия. Колесная нагрузка автомобильного транспорта (легкового, грузового, пассажирского) на асфальтобетонных покрытиях обычно оценивается с учетом интенсивности движения.

При расчете дорожных одежд учитывается, что на контактной площади между колесом автомобиля и покрытием создается напряженное состояние от действий усиленной вертикальной нагрузки порядка от 0,23 до 0,66 Мпа и горизонтальных нагрузок в среднем от 0,12 до 0,44 Мпа. Из-за эластичности шин колес эти усилия распределяются неравномерно – в центре контактной площади они бывают больше почти в 5 раз, а по краям – значительно меньше [104].

Наличие выступов на поверхности способствует повышению этих усилий примерно на 30 %. Вертикальные усилия от автомобиля вызывают контактирование и прижатие резины по поверхности покрытия, продавливая поверхностный слой асфальтобетона. Горизонтальные же усилия вызывают сдвиг резины поверхности покрытия, образуя возникновения трения когезии и трения скольжения, в результате которых образуется волны и наплывы [104].

В местах, где больше торможений или разгон транспортных средств образуются поперечные волны, которые нарушают плавный режим движения колес автомобилей, уменьшая сцепление шин с покрытием.

При наличии таких волн на крутых поворотах дороги возможен боковой занос автомобилей.

Под действием колес автомобилей с покрытием возникают вертикальные и радиальные сжимающие, а также касательные сдвигающие напряжения.

Сдвигающие напряжения в покрытии дорог, происходящие в основном при торможении и трогании автомобиля с места обычно вызывают поперечные волны, и в этом случае преимущественное влияние на покрытие горизонтальных нагрузок бывает больше, чем вертикальных. А также летние деформации, вызываемые под воздействием внешних сил при высоких (+50-

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

76^0) летних температурах нагрева асфальтобетонного покрытия оказыв… негативное влияние на свойства асфальтобетона [86] т.е. покрытие резко снижает прочностные характеристики на сжатие и сдвиг. Особенно в этот период, увеличивается смешение покрытия на перекрестках, на подъемах и спусках и на горизонтальных кривых (поворотах).

Пластические деформации под влиянием внешних факторов также проявляются в виде волн, наплывов и трещин на асфальтобетонных покрытиях, что предопределяет необходимость разрабатывать мероприятия и предусматривать пути повышения сопротивления асфальтобетонных смесей процессам деформации.

На рисунке (рис.2.4) представлена схема системы факторов влияния на возникновение пластических деформаций на покрытия дорог.

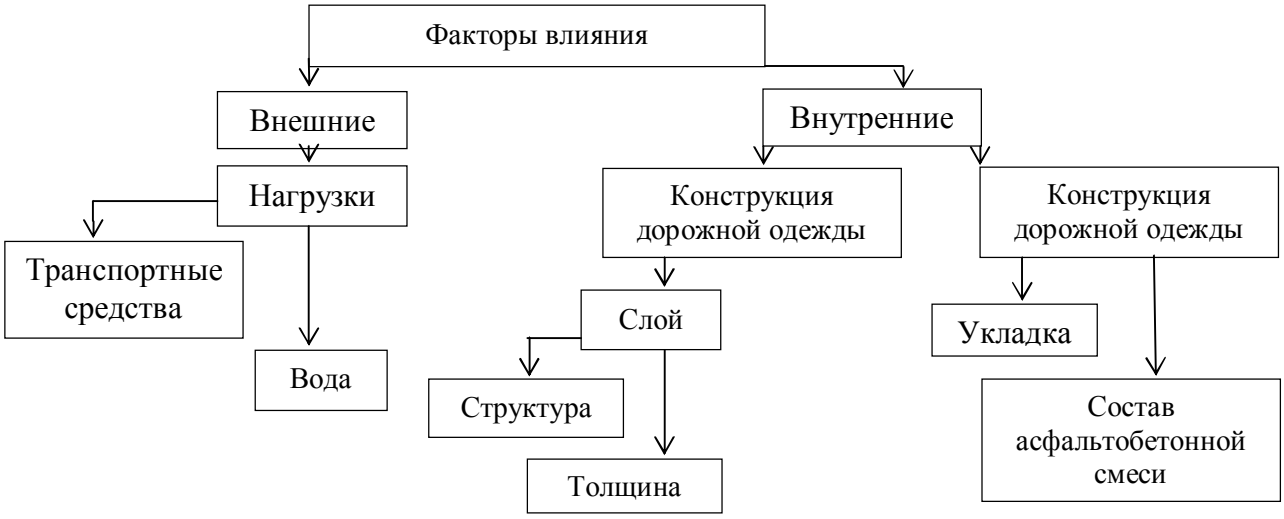


Рис.2.4. Система факторов влияния на возникновение пластических деформаций на покрытия дорог

Деформативные свойства асфальтобетонных покрытий и оснований дорожных одежд зависят от величины транспортных нагрузок, дорожно климатических условий района строительства, от конструкции самих дорожных одежд и, особенно от состава и свойств используемого асфальтобетона.

Причинами деформаций, как правило, являются несоответствия между минеральными компонентами и вяжущими в составе асфальтобетонной смеси

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

и в первую очередь, явный избыток в составе смеси асфальтовяжущ. вещества.

При определении физико-механических свойств бинарной смеси главным показателем является степень шероховатости поверхности покрытия.

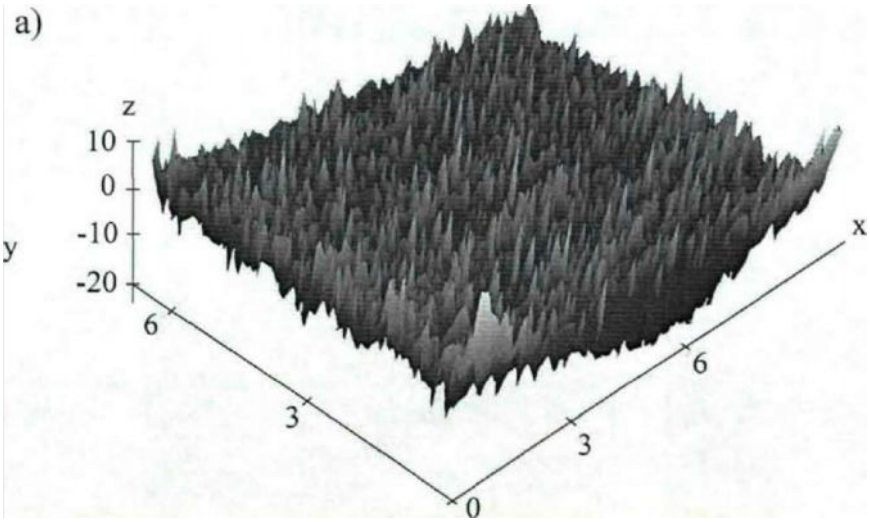
Известно [72], при использовании равных соотношений, степень шероховатости наполнителей способствуют повышению внутреннего трения асфальтобетона деформированию, способствуя повышению давления контакта в шинах автомобилей. Чем больше уровень шероховатости частиц, тем больше увеличивается внутреннее трение.

На рисунках (рис.2.5) представлена степень шероховатости асфальтобетона с содержанием оптимального количества битума на традиционном и исследуемом минеральных порошках.

Полученные результаты дает возможность предполагать что, асфальтобетон с применением пористого наполнителя является более устойчивым к восприятию транспортным нагрузкам, из-за высокого показателя коэффициента внутреннего трения.

В этой связи указанное предопределяет условия, при которых деформативная устойчивость асфальтобетонных покрытий должна в первую очередь обеспечиваться благодаря внутреннему трению минеральных материалов в составе асфальтобетонной смеси.

На основании вышеизложенных можно отметить что, совокупность применяемого пористого наполнителя в асфальтовых покрытиях дает увеличение коэффициента трения между колесом автомобиля и дорожным покрытием, это возможность позволяет сократить тормозной путь автомобиля на ≈ 1,5 м, что снижает степень аварийных ситуаций. Также минеральный порошок в составе асфальтобетона увеличивает расчётную величину на сжатие, на изгиб и на разрыв покрытия.



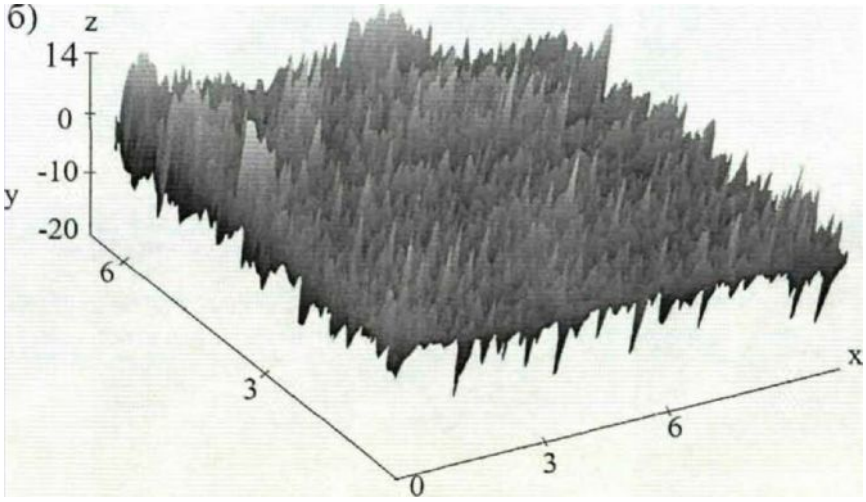


Рис. 2.5 Степень шероховатости поверхности асфальтобетона с оптимальным содержанием битума с минеральными порошками: а - традиционный, б - пористый

Это явление асфальтобетона позволяет выдерживать без разрушения большегрузных автомобилей, а на перекрестках дорог избежать волновых деформаций покрытия, что имеет место в летнее время на перекрестках, т.к. асфальт с битумом плохо сопротивляется горизонтальным тормозным воздействиям от автомобиля.

Таким образом, можно отметить, что исследования асфальтобетонного покрытия свидетельствуют о том, что применение в асфальтобетонных смесях более вязких битумов и требуемого содержания в них минерального порошка

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

является целесообразным направлением, которое положительно влияет на коэффициент сцепления при скорости движения автомобиля.

2.2. Общая методика экспериментальных исследований и характеристика применяемых материалов

Обеспечение долговечности дорожного покрытия во многом зависит от исходных материалов – применяемых в дорожном строительстве. Поэтому необходимо знать роль этих материалов в структуре асфальтобетона и требования к ним.

Так, экспериментальные исследования, проведенные в условиях лаборатории и на производстве были обоснованы решению основного вопроса – обоснованию и разработке технологии применения минерального порошка из золы-уноса являющегося техногенным сырьем, для приготовления исследуемого асфальтобетона.

Проверка соответствия показателей физико-механических свойств минеральных материалов стандартным требованиям осуществлялась по методике AASHTO (Американская ассоциация руководителей дорожных и транспортных служб штатов) [94].

Опытно-производственное исследование по подбору оптимального состава асфальтобетонной смеси с применением золы-уноса, физико-механические свойства асфальтового бетона и определение оптимального количества вяжущего проведены в сертифицированной испытательной лаборатории проектного института (ПИ) «Кыргыздортранспроект» г.Бишкек.

Для приготовления требуемого содержания асфальтобетонной смеси использованы стандартные минеральные материалы и органические вяжущие, широко используемые в дорожном строительстве.

Были использованы следующие минеральные материалы, как щебень, пыль от дробления, полученные из высевок Токмокского асфальтобетонного завода.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Расчет состава асфальтобетона с использованием золы-уноса, как правило, произведено поэтапно в следующей последовательности:

- определение качество исходных материалов в соответствии с требованиями технических условий;
- расчет гранулометрического состава минеральной смеси по принципу минимума пустот;
- определение оптимального содержания битума;
- определение физико-механических свойств рассчитанных смесей.

2.2.1 Характеристика применяемого минерального порошка из техногенного сырья

С целью исследования возможности применения техногенного сырья в роли минерального порошка при производстве асфальтобетона исследована зола-уноса тепловой электростанции г.Бишкек.

Зола-уноса является одним из многотоннажных продуктов ТЭЦ, образующееся при сжигания топлива, которое образуется при выносе дымовых газов улавливающиеся золоуловителями из топки котла, представляет с собой - порошок серого, темно-серого цвета, с бурым оттенком близкий к цвету цемента, объемный вес которого колеблется в пределах 0,7-1,2 г/см^3. Зола ТЭЦ имеет начало деформации (изменения межатомных расстояний) 1200-1300 ^{0}С, размягчения 1225-1340 ^{0}С, t жидкоплавного состояния 1320-1460 ^{0}С. Интервал плавкости золы 120-140 ^{0}С. При сжигании топлива основная часть минеральных составляющих переходит в летучую золу, которая уносятся дымовыми газами.

Зольность используемых углей ТЭЦ колеблется в пределах 10-55 %. Соответственно изменяется и запыленность дымовых газов, достигая до высокозольных углей 60-70 г/м^3 [80].

В центральной лаборатории Министерства природных ресурсов – Кыргызской Республики был определен химический состав золы-уноса по

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

методике рентгено-спектрального микроанализа, результаты которо представлены следующими элементами (табл.2.2).

Таблица 2.2 – Химический состав золы-уноса Бишкекской ТЭЦ, %

№	Содержание окислов в процентах												
	SiO_2	FeO	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	п.п.п.	SO_3	P_2O_5
1	45,00	1,08	4,80	1,30	0,20	28,80	3,80	0,90	0,90	0,80	9,00	0,25	0,65

Из таблицы видно, что зола-уноса в основном состоит из SiO_2 и Al_2O_3 присутствующее главным образом в виде двухвалентного и трехвалентного оксида и CaO в нем составляет 3,80 %.

Кроме того, в состав оксидов входят также Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O, TiO_2, SO и др. [80].

При сжигании угля образуется плав, который попадая воду, приводит к образованию сферических гранул, которое свидетельствует круглая форма шлака. Гранулы, светящиеся на микрофотографии (рис.2.6) свидетельствует о наличии магнитной фракции в составе золошлаков (хром, марганец, оксиды железа и ванадия).

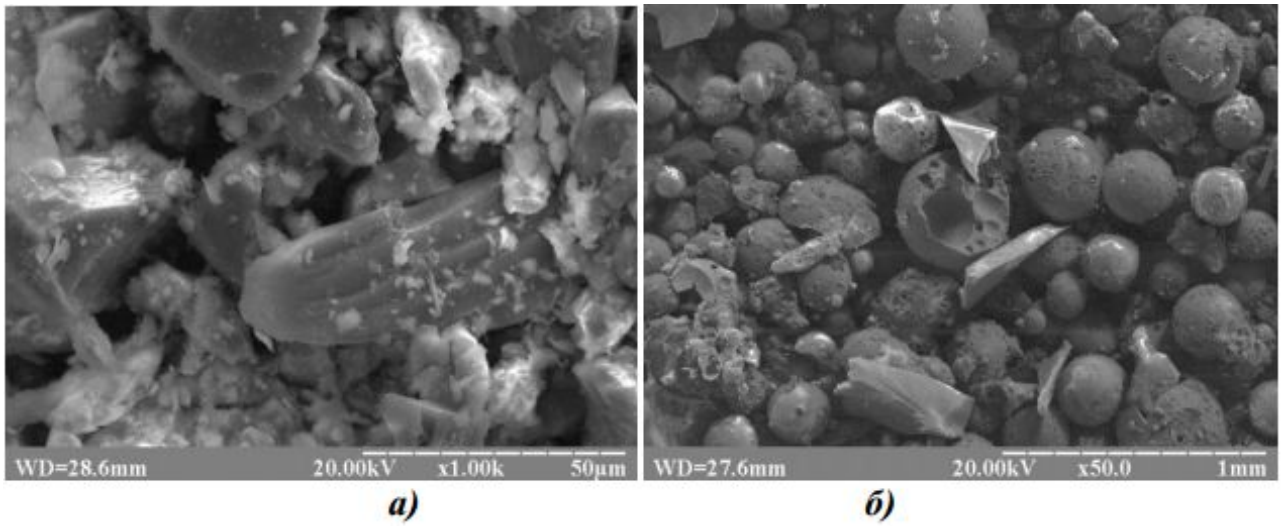


Рис. 2.6. Микроскопические фотографии угля (а) и золошлаковых отходов (б) Бишкекской ТЭЦ

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Частички золы имеют определенную сферическую форму и структуру вытянутой игловатой формой, имеющую развитую поверхность.

Элементный состав золы-уноса представляет несгоревшую часть органического топлива и характеризуется с достаточно высоким содержанием в нем углерода, что определено путем потери при прокаливании, которое составляет 9 %.

Следует отметить, что присутствие в составе значительного количества углерода повлияет лишь положительно на взаимодействие с битумом. Это явление происходить: во-первых – из-за значительного содержания родственного битуму углерода, позволяющего образовать прочные связи в структуре золобитумного вяжущего; во-вторых, позволяет интенсифицировать адсорбционные процессы битума, структурируя его в большей степени.

При строительстве с применением золы-уноса часто возникает вопрос о радиоактивности данного вида отхода, при этом были учтены на соответствия стандарту о нерадиоактивности золы-уноса.

Анализы изученные Департаментом Государственного санитарно-эпидемиологического надзора Кыргызской Республики на удельную эффективную активность естественных радионуклидов золы-уноса ТЭЦ показывает, что по содержанию естественных радионуклидов (ЕРН) исследуемая зола-уноса относится ко II классу строительных материалов и может использоватся в строительстве в соответствии с ГОСТом 30108-94 «Материалы и изделия» [95].

В качестве важнейших свойств золы-уноса можно выделить: гранулометрический состав, насыпная плотность и истинная плотность, водонасыщение, которое важны для оценки возможности вторичного использования в составе асфальтобетона [96].

Физико-механические характеристики золы-уноса определены в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52129–2003 [97]. Данный документ

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

выбран в качестве нормирующего физико-механические характеристики зо… уноса в качестве минерального порошка.

2.2.2 Характеристика применяемого битума в составе асфальтобетона

Битум является главным компонентом асфальтобетонных смесей, характеристика эксплуатации и содержаниеприменяемого вяжущего играет важную роль при сохранении прочности и долговечности асфальтобетона, способствуя ровному распределению нагрузки на покрытии.

Для приготовления асфальтобетонных смесей в основном применяют нефтяные битумы. Они склеивают применяемые минеральные составляющие в единый конгломерат, способствующий выдерживать воздействию внешней нагрузки [98]. Наряду с качествами вяжущего материала, битум должен обладать также и свойствами, обеспечивающими несущую способность дорожных одежд. Он должен предопределять возможности сопротивления покрытия одежд воздействию повторных приложений осевых нагрузок в климатических условиях, в диапазоне работ покрытий, от – 25 ^{0}C до + 75 ^{0}C. Помимо этого битум, как вяжущее, должен обеспечить наиболее широкое и возможное распределение напряжений в покрытиии таким образом, чтобы имели место только обратимые и упругие деформации. Он должен также оказывать максимальное сопротивление усталостным разрушениям и быть устойчивым к воздействию суточных и сезонных температурных циклов.

При этом используемый битум в дорожном строительстве, должен быть детально изучен, с применением стандартных методик определяя его качество и с целью прогнозирования работы вяжущего в покрытии.

В дорожном строительстве к применяемым как модифицированным, так и исходным битумам предьявляется некоторые требования, нормируемые по ГОСТ 22245–90.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Для приготовления асфальтобетона использовался дорожный нефтя... битум марки БНД 60/90, соответствующее требованиям ГОСТ 22245–90 «Битумы нефтяные дорожные вязкие» [99].

Глубина проникания используемого битума определено по ГОСТ 11501-78 [100], температура битума размягчения по кольцу и шару по ГОСТ 11506-73 [101, 102].

Таблица 2.3 – Характеристика применяемого битума марки БНД 60/90

№ п/п	Наименование показателя		Требование НД	Факт.		Методы испытаний
1	Глубина проникания иглы, 0.1мм:	при 25°С	61-90	64	64	ГОСТ 11501-78
				60		
				66		
				64		
				65		
		при 0°С, не менее	20	21	22	
				25		
				21		
				22		
				22		
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже		47	50.1	50.2	ГОСТ 11506-73
				50.3		
				50.2		
				50.3		
3	Растяжимость. см, не менее	при 25°С	55			ГОСТ 11505-75
				не опр.		
		при 0°С	3.5			
				не опр.		
4	Температура вспышки, °С, не ниже		230	не опр.	не опр.	ГОСТ 4333-87
5	Индекс пенетрации		от -1.0 до +1.0		-0.6	ГОСТ 22245-90

Результаты испытуемого образца битума по своим характеристикам: - глубина проникания при 25 °С – 64 [99] при температуре 0°С – 22; по температуре размягчения – 50,2 [100]; по индексу пенетрации – 0,6 соответствует марке БНД 60/90 [101].

В целом по результатам лабораторных испытаний проба соответствует заявленной марке битума БНД 60/90 [103].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2.3 Оценка физико-механических характеристик сырьевых материалов в лабораторных условиях

Известно, что дорожные одежды более чем на 95 % состоят из минеральных материалов. Их качество решающим образом влияет на срок службы дорожных покрытий. Для строительства автомобильных дорог широко применяются природные каменные материалы, которое качество асфальтобетонной смеси во многом зависит от их физико-механических свойств, а все это, в свою очередь, влияет на прилипаемость битума к минеральным материалам. На основании этого, важным моментом является изучение гранулометрического состава применяемых минеральных материалов.

Так, гранулометрический состав минеральной части асфальтобетонных смесей оказывает большое влияние на эксплуатационный срок службы асфальтобетонных покрытий. Это влияние, как правило, рассматривается в трех аспектах:

- плотность (или пористость) минеральной смеси, которая, в свою очередь, определяет количество необходимого битума, и степень его структурирования в асфальтобетонной смеси;
- внутреннее трение асфальтобетонного покрытия, которое определяет его прочность и деформационное поведение;
- сцепление поверхности асфальтобетонного покрытия с шинами автотранспортных средств.

Плотность (пористость) различных минеральных смесей является одним из важнейших параметров, определяющим условия долговечности эксплуатации асфальтобетонных покрытий [104].

Важную роль в практике дорожного строительства играет правильный подбор гранулометрического состава минеральной смеси, состоящей из подобранных материалов.

Одним из важнейших факторов, обеспечивающих требуемое качество асфальтобетона, является зерновой состав его минеральной части, цель подбора

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

которого призвано облегчить установку частиц минеральных материалов в пространстве структурообразования минеральной смеси с последующим уменьшением количества пустот между этими частицами до предварительного ожидаемого уровня.

Задача подбора состава асфальтобетонной смеси заключается в назначении типа асфальтобетона в правильном выборе минеральных и вяжущих материалов вместе с минеральным порошком и установлении наиболее их рациональных соотношений.

Для приготовления асфальтобетонных смесей использовались минеральные составляющие: из высевок Токмокского асфальтобетонного завода (АБЗ). Высевки получены путем дробления гравийного материала и отсева крупных фракций щебня.

В качестве минерального порошка в составе асфальтобетона выступала зола-унос Бишкекской ТЭЦ. Для сравнительного анализа золы-уноса из техногенного сырья в качестве минерального порошка использовался пыль от дробления минерального материала Токмокского АБЗ.

В качестве вяжущего материала применялся битум нефтяной дорожный марки БНД 60/90, соответствующий требованиям ГОСТ 22245-90 «Битумы нефтяные дорожные вязкие».

Проведенные в лабораторных условиях анализы гранулометрического состава золы-уноса и минеральных материалов показаны в табл.2.4 и 2.5 [105].

В таблицах видно что, применяемые материалы отвечают требованиям: зола-уноса по гранулометрическому составу соответствует требованиям спецификаций AASHTO T37, 5.5.1.1 [106], щебень относится к 1-классу прочности и пригоден для приготовления асфальтобетонных смесей типа Б, применяемых для устройства верхнего слоя покрытий автомобильных дорог I,II,III технической категорий.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 2.4 – Гранулометрический состав золы-уноса (AASHTO T27)

Номер пробы	Дата отбора пробы	Место отбора	Гранулометрический состав, процент прохождения										Удельный вес, г/см3	Объемный вес, г/см3
			размер сит в мм											
			14	10	6,3	4	2,0	1,0	0,425	0,300	0,150	0.075		
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4-1	27.11.2013г	ТЭЦ г.Бишкек	100	100	100	100	100	100	100	99,7	91,6	76,1		
4-2	27.11.2013г	ТЭЦ г.Бишкек	100	100	100	100	100	100	100	99,5	90,7	70,0		
4-3	27.11.2013г	ТЭЦ г.Бишкек	100	100	100	100	100	100	100	100	92,7	77,1		
Ср.			**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**99,7**	**91,7**	**74,4**	**2,172**	**2,172**

Таблица 2.5 – Смешанный гранулометрический состав минеральных составляющих

Материал	Процент прохождения через сито, мм												% смешения
	28	20	14	10	6,3	4	2	1	0,425	0,3	0,15	0,075	
Фракционированный щебень 10-20 мм	100,0	98,7	26,6	1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	12
	12,0	11,8	3,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Фракционированный щебень 5-10 мм	100	100	100	76,1	22,4	2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4	33
	33,0	33,0	33,0	25,1	7,4	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	
Мытый отсев дробления 0-5мм	100	100	100	100	99,1	97,5	71,5	55,9	29,7	24,5	14,7	11,6	52
	52,0	52,0	52,0	52,0	51,5	50,7	37,2	29,1	15,4	12,7	7,6	6,0	
Зола уноса	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,7	91,7	74,4	3
	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,8	2,2	
Получаемая смесь	100,0	99,8	91,2	80,2	61,9	54,4	40,4	32,3	18,7	16,0	10,6	8,3	100

Материал		Процент прохождения через сито, мм										
	28	20	14	10	6,3	4	2	1	0,425	0,3	0,15	0,075
Требование Спецификаций Верхний слой АБП	100	100	100	90	75	63	43	38	25	22	16	10
	100	100	90	70	55	42	33	23	14	12	8	5

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

В результате проведения испытаний на устойчивость асфальтобетона к колееобрзоанию получены данные, которые сведены в табл. 2.6 и построены диаграммы (рис.2.7), проанализирован характер изменения кривых в зависимости от температуры изменения и концентрации золы-уноса в составе асфальтобетонной смеси.

Таблица 2.6 – Показатели устойчивости асфальтобетона к колееобразованию с применением минерального порошка из золы-уноса

T^0	Пыль от дробления	Зола-унос, %				
		1	2	3	4	5
46	30900	18000	19000	32100	13500	19000
49	19000	13000	13600	22100	9900	8100
52	11700	9100	9200	13500	7000	5050
55	8000	6000	6100	8600	5100	3900
58	5000	4000	4050	5100	3500	2700
61	3500	2900	2700	3000	2200	2000
64	2000	2000	1500	2100	1500	1200
67	1500	1500	1300	1500	700	600
70	1000	1000	900	1000	500	400
73	500	450	400	500	300	200

Как видно из таблицы, количественное соотношение используемого золы-уноса в качестве минерального порошка оказывает влияние на величину параметра устойчивости покрытия к колееобразованию при разных температурах.

В общем виде кривые имеют следующий характер: с повышением температуры снижается способность вяжущего сопротивляться напряжению сдвига.

Однако концентрация, используемого золы-уноса в качестве минерального порошка оказывает влияние на величину параметра устойчивости покрытия к колееобразованию при разных температурах.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

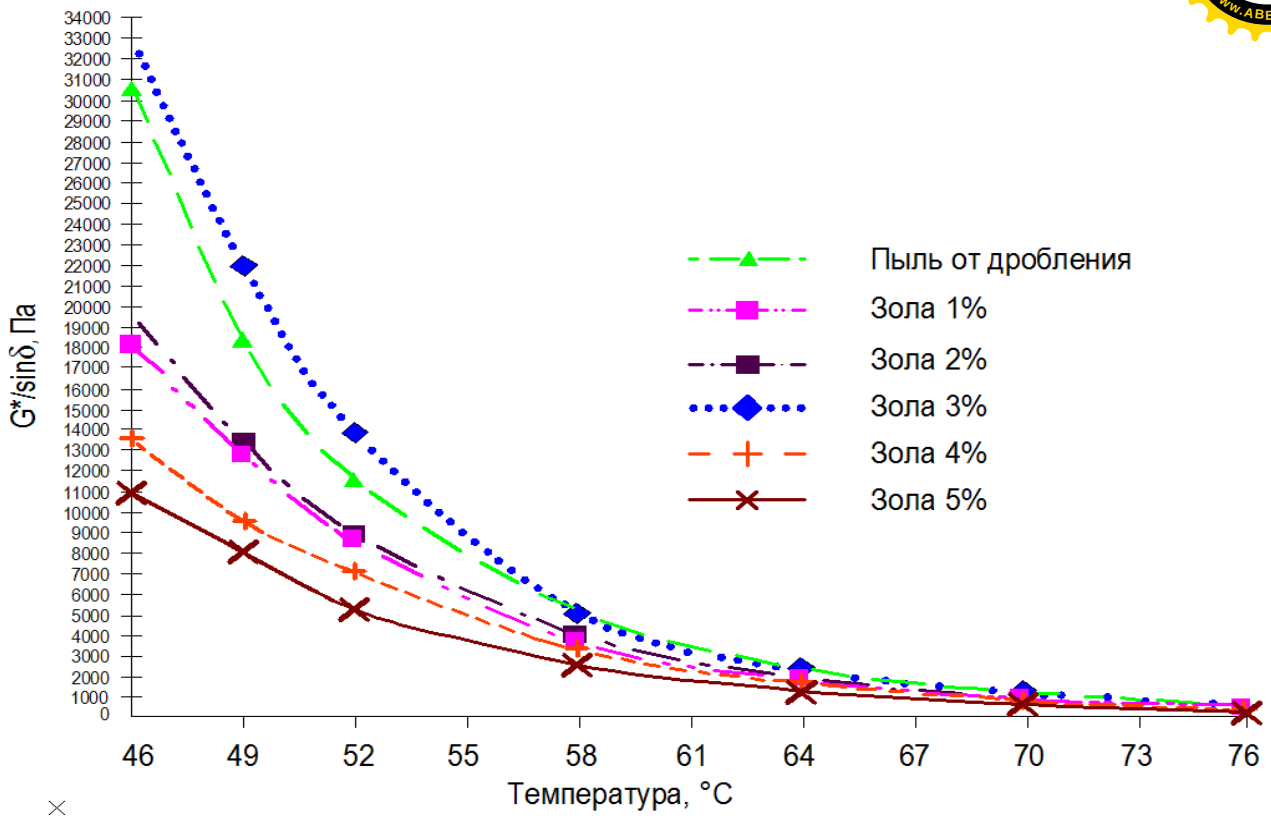


Рис. 2.7. Показатели устойчивости асфальтобетона к колееобразованию с применением минерального порошка из золы-уноса

При этом зола-уноса в количестве 3 % имеет высокие показатели по сравнению с остальными концентрациями, что соответствует спецификациям AASHTO п.5.6, табл. 5.6.2.1/2 [106] и ГОСТ 9128-2009 [118].

В работе подбор состава минеральной части асфальтобетонной смеси определено по предельным кривым зерновых составов.

Материалы для асфальтобетона вместе с минеральным порошком подбирались таким образом, что кривая состава проектируемой смеси находилась между требуемыми предельными кривыми и была, по возможности плавной, без резких переломов. Состав смеси рассчитывался в зависимости от содержания принятых компонентов и их зерновых составов.

График состава и кривые построены по методике AASHTO T245 [116], табл. 2.7, рис. 2.8.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Как видно из рисунка, кривая данного гранулометрического состава входит в пределы рекомендуемого гранулометрического состава.

Исследования свойств асфальтобетона с применением золы-уноса проводились с использованием асфальтобетона Тип I, верхний слой, фракции 0-14 мм.

Таблица 2.7 – Проект смеси минеральных агрегатов для верхнего слоя асфальтобетонных покрытий (фракции 0-14мм).

Размер диаметра сита (мм)	Щебень 12 %		Щебень 33 %		Пыль от дробления 52 %		Зола-уноса 3 %	
	20-10мм	Проц. сод-е	10-5мм	Проц. сод-е	5-0мм	Проц. сод-е	Наполнитель	Проц. сод-е
28,0	100,0	12,0	100,0	33,0	100,0	52,0	100,0	3,0
20,0	98,7	11,8	100,0	33,0	100,0	52,0	100,0	3,0
14,0	26,6	3,2	100,0	33,0	100,0	52,0	100,0	3,0
10,0	1,1	0,1	76,1	25,1	100,0	52,0	100,0	3,0
6,3	0,1	0,0	22,4	7,4	99,1	51,5	100,0	3,0
4,0	0,1	0,0	2,0	0,7	97,5	50,7	100,0	3,0
2,0	0,1	0,0	0,7	0,2	71,5	37,2	100,0	3,0
1,0	0,1	0,0	0,7	0,2	55,9	29,1	100,0	3,0
0,425	0,1	0,0	0,7	0,2	29,7	15,4	99,6	3,0
0,300	0,1	0,0	0,7	0,2	24,5	12,7	99,1	3,0
0,150	0,1	0,0	0,7	0,2	14,7	7,6	91,8	2,8
0,075	0,1	0,0	0,4	0,1	11,6	6,0	75,0	2,3
дно	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Размер диаметра сита (мм)	Среднее	Мин. предел	Макс. предел	% Микс дизайна
	Спецификация			
28,0	100,0	100	100	100,0
20,0	100,0	100	100	99,8
14,0	95,0	90	100	91,2
10,0	80,0	70	90	80,2
6,3	65,0	55	75	61,9
4,0	52,5	42	63	54,4
2,0	38,0	33	43	40,4
1,0	30,5	23	38	32,3
0,425	19,5	14	25	18,7
0,300	17,0	12	22	16,0
0,150	12,0	8	16	10,6
0,075	7,5	5	10	8,4
дно				

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

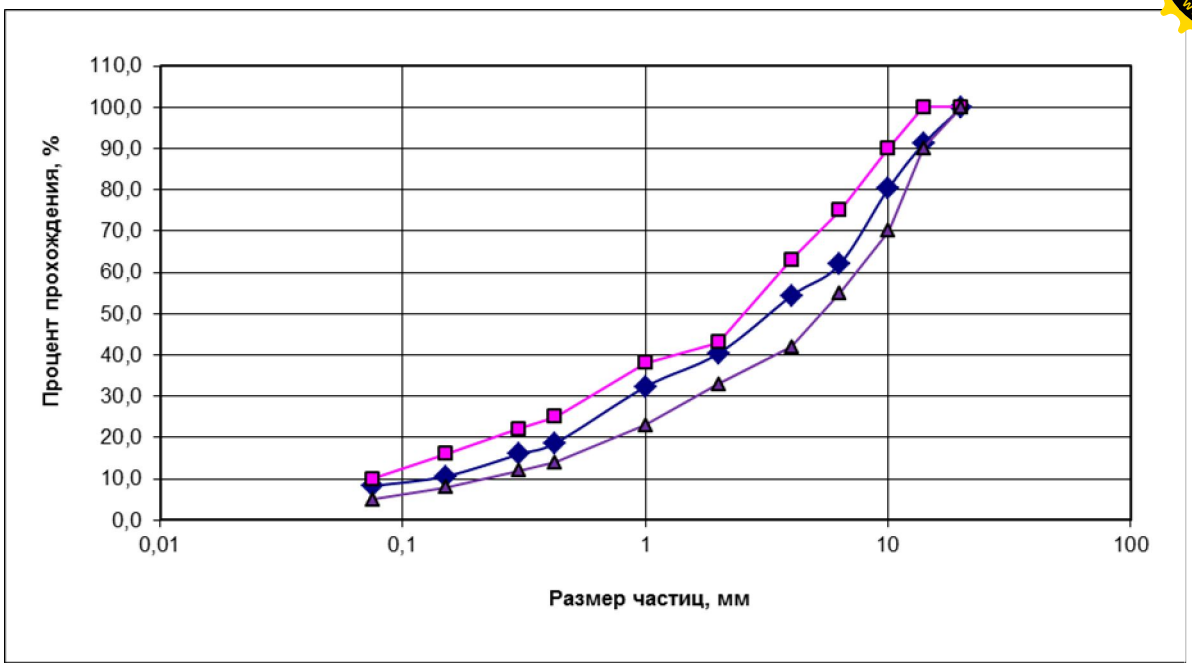


Рис.2.8. Предельная кривая зерновых составов:
- ■ - верхний предел;
- ♦ - получаемая смесь;
- ▲ - нижний предел.

На основании результатов лабораторных исследований была приготовлена рецептура асфальтобетонной смеси с применением минерального порошка из золы-уноса, представленные следующими соотношениями в табл. 2.8.

Таблица 2.8 – Проект состава для приготовления асфальтобетона с применением золы-уноса

Материалы для приготовления асфальтобетона	Процент смешения
Щебень 10-20 мм	12%
Щебень 5-10 мм	33%
Пыль от дробления0-5мм	52%
Зола-унос	3%

Исходные данные для приготовления образцов (подбор смеси фракций минеральных агрегатов) приведены в табл. 2.9.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 2.9 – Исходные данные для приготовления образцов асфальтобетона

Размер сита, мм	% прохождения	% остатка	Частные веса данной фракции, гр	В том числе минеральный агрегат	В том числе зола (3%)
28	100	0	0		
20	99,8	0,2	2,4	2,4	
14	91,2	8,6	103,2	103,2	
10	80,2	11,0	132,0	132	
6,3	61,9	18,3	219,6	219,6	
4	54,4	7,5	90,0	90,0	
2	40,4	14	168,0	168,0	
1	32,3	8,1	97,2	97,2	
0,425	18,7	13,6	163,2	163,2	
0,3	16,0	2,7	32,4	32,4	
0,15	10,6	5,4	64,8	64,8	
0,075	8,4	2,2	26,4	19,2	7,2
дно		8,4	100,8	72,0	28,8
Общий вес смеси минеральных агрегатов для формирования образцов			1200	1164,0	36,0

2.3.1 Определение оптимального количества битума для состава асфальтобетона с применением золы-уноса

Ориентировочное количество битума в асфальтобетоне с применением золы-уноса определено расчетом.

Расчетная формула для определения ориентировочного содержания битума в смеси данного состава (комбинации минеральных агрегатов):

$$P = 0{,}035 \cdot a + 0{,}045 \cdot b + K \cdot c + F,$$

где P - приближенное содержание битума в смеси (% от веса смеси); a - процент минеральных агрегатов, остающихся на сите 2,36 мм (2мм), a = 59,6 %; b - процент минеральных агрегатов, проходящих сито 2,36 мм (2мм) и остающихся на сите 0,075 мм, b=32,0 %; c - процент минеральных агрегатов проходящих сито 0,075 мм, c = 8,4 %; K = 0,18 для прохождения сита 0,075 мм от 6 до 10 %; F - добавка на абсорбцию (F=0,7 при отсутствии данных).

$$P = 0{,}035 \cdot 59{,}6 + 0{,}045 \cdot 32{,}0 + 0{,}18 \cdot 8{,}4 + 0{,}7 = 5{,}7\ \%$$

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Образцы асфальтобетонной смеси готовились с содержанием битума, отличающимся на 0,5 %. При этом не менее 2-х образцов должно быть с содержанием битума менее выше приведенного расчетного (5,7 %) и не менее 2-х с содержанием битума выше расчетного, табл. 2.10.

Таблица 2.10 – Расчетное количество битума добавляемого к смеси

Градации содержания битума, %				
5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Количество добавляемого битума в граммах к смеси минеральных агрегатов (1200гр)				
63,16	69,84	76,60	83,40	90,32
Вес смеси в образце, гр				
1263,16	1269,84	1276,60	1283,40	1290,32

Количество битума, содержащегося в асфальтобетонной смеси, образцы которой имеют наилучшие результаты испытания и отвечают требованиям норматива, считается оптимальным.

Оптимальное количество битума в составе минеральной смеси устанавливалось на основании испытаний опытных образцов асфальтобетонной смеси по методу Маршалла [103].

Асфальтобетонная смесь должна содержать оптимальное количество битума, чтобы была обеспечена долговечность асфальтобетонных покрытий, а также чтобы битум мог служить в качестве смазки при уплотнении смеси с целью улучшения трения между частицами, но излишки битума не допускается, чтобы сохранить устойчивость асфальтобетона к образованию колеи.

2.4 Методы исследований свойств исходных материалов в лабораторных условиях

На основании подобранных материалов приготавливали асфальтобетонную смесь с применением золы-уноса. Предварительно высушенные в печи (рис. 2.9 а) минеральные материалы в заданных по составу количествах отвешивали в емкостях и положили такое количество проб

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

каждого размера фракций, чтобы в результате его хватило полу- уплотненный образец высотой 63,5 ±1,27 мм (примерно 1200 гр. табл. 2.9.)

Материалы были высушены и нагреты, чтобы они смешивались при температуре 130-170 ^{0}C. Периодически помешивая в заданной температуре, добавляли требуемое количество нагретого минерального порошка из золы-уноса и нагретого в отдельной емкости битума. Потеря частиц смеси во время размешивания и последующего переноса смеси не допускается. Смеси минеральных материалов помешивали вручную до полного и равномерного обьединения всех компонентов. При этом все зерна минеральных материалов с золой-уноса равномерно покрывались битумом, в готовой асфальтобетонной смеси не наблюдались сгустки битума. После размешивания смеси асфальтобетона было выдержано температура примерно 110 ^{0}C и выше, чем температура для уплотнения.

2.4.1 Приборы для изготовление образцов.

Для определение физико-механических свойств асфальтобетона с применением минеральных порошков были использованы приборы:

- Формы для образцов, опорные плитки и удлиняющие кольца;
- Стальной экстрактор, в форме дискас диаметром не менее 100 мм и толщиной 12,7 мм для извлечения уплотненного образца из формы с использованием удлиняющего кольца;
- Молоток для уплотнения имеющую плоскую, круглую ударную поверхность, со скользящим весом 4536±1,524 мм.

Формы представляют собой стальные цилиндры диаметром 101,6 мм и высотой 76,2 мм, в которых уплотнение смесей должны обеспечиваться за счет приложения двусторонней нагрузки, которое смесь уплотняется с оба стороны образца с помощью падающего груза.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2.4.2 Уплотнение образцов с помощью уплотняющего штампа

Образцы асфальтобетона уплотняли ударами падающего груза по методу Маршалла.

Устройство для уплотнения представляет собой стальную раму с опорной плитой укрепленной на стойке и уплотняющего штампа со штангой и грузом. Рама укреплена в вертикальном положении а опорная плита – в строго горизонтальном положении (рис.2.9, б) .

а

б

Рис. 2.9. а - нагрев и сушка материалов в печи, б - уплотнитель образцов

На приготовленные формы загружали небольшими порциями заранее взвешенную и нагретую в печи (рис.2.9) асфальтобетонную смесь, равномерно распределяя его штыкованием внутри формы. Далее на дно формы положив кусочек фильтрующей бумаги, загружали заранее приготовленную нагретую и взвешенную асфальтобетонную смесь, равномерно распределяя её штыкованием внутри формы. Слегка придавая выпуклую форму на поверхности смеси, устанавливали на неё нагретый штамп с грузом. Для уплотнения наносено 75 ударов груза массой 0, 455 МПа, падающего с высоты 457.2 мм по образцу (частота ударов – 1 удар в секунду). Ось уплотняющего молотка во время уплотнения должна находиться перпендикулярно основанию подставки. Затем перевернув образец, наносили такое же количество ударов по другой стороне образца.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

После уплотнения, снимая нижнее основание, устанавливали экстра[illegible] на образце. Затем освобождая образец, поставили его отстояться при комнатной температуре в течение ночи.

Из уплотненных образцов определены следующие характеристики [110], результаты которых сведены в табл.2.11:

- прогревание и высушивание образцов в сушильном шкафу;
- измерение толщины со штангенциркулем;
- взвешивание в воздухе;
- взвешивание образцов в воде;
- взвешивание веса в воздухе поверхностно-сухого образца.

Таблица 2.11– Результаты определения физических свойств образцов

No.	**Содержание битума (%)**	**Толщина (мм)**	**Вес в воздухе (г)**	**Вес в воздухе поверхностно-сухого образца (g)**	**Вес в воде (г)**	**Объем (см3)**	**Плотность (г/см3)**	
							Объемная плотность	**Удельная плотность**
		A	B	C	D	E	F	G
с пылью от дробления								
1	5,00	69,0	1247,0	1250,5	698,5	552,0	2,259	
2	5,00	68,9	1253,5	1251,5	707,0	544,5	2,302	
3	5,00	68,7	1258,0	1263,0	714,0	549,0	2,291	
ср	**5,0**	**68,9**					**2,284**	**2,560**
1	5,50	67,1	1245,0	1246,0	708,5	537,5	2,316	
2	5,50	68,2	1244,0	1245,5	706,5	539,0	2,308	
3	5,50	68,8	1247,5	1250,5	703,5	547,0	2,281	
ср	**5,5**	**68,0**					**2,302**	**2,466**
1	6,00	67,0	1260,5	1261,0	724,5	536,5	2,349	
2	6,00	63,4	1252,0	1252,0	725,0	527,0	2,376	
3	6,00	67,6	1265,0	1266,5	725,5	541,0	2,338	
ср	**6,0**	**66,0**					**2,354**	**2,410**
1	6,50	67,6	1279,5	1280,0	735,5	544,5	2,350	
2	6,50	67,7	1281,5	1282,5	737,0	545,5	2,349	
3	6,50	67,2	1259,0	1259,5	721,0	538,5	2,338	
ср	**6,5**	**63,2**					**2,346**	**2,376**
1	7,00	68,3	1282,0	1282,5	733,0	549,5	2,333	
2	7,00	67,2	1269,5	1270,5	729,0	541,5	2,344	
3	7,00	66,9	1264,0	1264,5	726,5	538,0	2,349	
ср	**7,0**	**67,5**					**2,342**	**2,351**
с золой-уноса								
1	5,00	64,0	1249,0	1253,5	709,5	544,0	2,296	
2	5,00	64,9	1255,5	1257,5	710,0	547,5	2,293	
3	5,00	65,7	1258,0	1261,0	711,5	549,5	2,289	
ср	**5,0**	64,9					2,293	2,445
1	5,50	65,1	1261,5	1262,5	717,0	545,5	2,313	

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2	5,50	66,2	1254,0	1255,5	712,5	543,0	2,309	
3	5,50	64,8	1257,0	1259,5	715,5	544,0	2,311	
ср	**5,5**	65,4					2,311	2,427
1	6,00	65,0	1264,5	1266,0	722,5	543,5	2,327	
2	6,00	65,4	1262,0	1263,5	720,0	543,5	2,322	
3	6,00	66,6	1266,5	1267,5	719,5	548,0	2,311	
ср	**6,0**	65,7					2,320	2,410
1	6,50	65,6	1273,5	1274,0	728,5	545,5	2,335	
2	6,50	64,7	1268,5	1269,5	724,5	545,0	2,328	
3	6,50	65,2	1271,0	1272,5	723,0	549,5	2,313	
ср	**6,5**	65,2					2,325	2,393
1	7,00	64,3	1282,0	1282,5	729,5	553,0	2,318	
2	7,00	66,2	1279,5	1280,5	727,0	553,5	2,312	
3	7,00	66,9	1274,0	1274,5	724,5	550,0	2,316	
ср	**7,0**	65,8					2,315	2,376

2.4.3 Методы испытания на удельный вес и абсорбцию

Этот метод предназначен для определения общего удельного веса и абсорбции мелкозернистого заполнителя [111].

Удельный вес – это соотношение массы (или веса во взвешенном состоянии) единицы объема материала к массе воды такого же объема, при указанных температурах.

Общий удельный вес – это характеристика, используемая для вычисления объема, занимаемого заполнителем в смесях содержащих заполнитель, которые составляются или анализируются исходя из абсолютного объема.

Общий удельный вес, определенный по насыщенному поверхностно сухому состоянию заполнителя, используется если заполнитель влажный, то есть, если абсорбция была удовлетворена.

Абсорбция – увеличение веса заполнителя в звязи с заполнением водой пор материала но, не включая воду, остающуюся на поверхности частиц, выражается в процентах от сухого веса.

Величины абсорбции используются для вычисления изменения веса заполнителя в зависимости от воды, абсорбированной в порах составных частиц, по сравнению с сухим состоянием, когда предполагается, что заполнитель находился в соприкосновении с водой достаточное время для

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

удовлетворения потенциала абсорбции. Лабораторная спецификация абсорбции устанавливается путем помещения в воду сухого заполнителя приблизительно на 15 часов. Заполнители, добываемые из слоев ниже уровня воды, при использовании имеют более высокий уровень абсорбции, если им не дать возможность просохнуть. Напротив, некоторые заполнители, при их использовании могут содержать меньше абсорбированной влаги, чем пропитавшиеся в течение 15 часов.

Величины абсорбции используются для вычисления изменения веса заполнителя в зависимости от воды, абсорбированной в порах составных частиц, по сравнению с сухим состоянием, когда предполагается, что заполнитель находился в соприкосновении с водой достаточное время для удовлетворения потенциала абсорбции.

2.4.4 Определение удельного веса и абсорбции мелкозернистых заполнителей (песка, золы-уноса)

Результаты определения плотности и абсорции песка и золы испытано по стандартной методике AASHTO T 84-93 [112].

`Сущность метода заключается в определении плотности асфальтобетонной смеси без учета уменьшающихся в ней пор.

Для анализа испытуемых материалов использованы весы, соответствующие требованиям AASHTO M231 [113], класса G2, пикнометр – в которую можно поместить испытываемый образец мелкозернистого заполнителя, с помощью которого можно определить объем содержимого с точностью $\pm$ 0,1 см ^{3} . Колба Ле Шателье 500 мл для измерения объема со встроенным в крышку пикнометром для 500 г образца самого мелкозернистого заполнителя. Форма – отливная форма, в виде усеченного конуса со следующими размерами: 40$\pm$3мм внутренний диаметр верхней части, 90 $\pm$3мм внутренний диаметр нижней части и 70 $\pm$3 мм по высоте, с толщиной металла не менее 0,8 мм.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Металлическая трамбовка весом 340 ±15 г с полоской круглой ударной поверхностью диаметром 25 ±3мм.

Последовательность определения плотности и абсорбции пикнометрическим методом:

- взвешивание пикнометра;
- взвешивание пикнометра с образцом;
-добавление растворителя;
-темперирование в течение 2-2.5 часа при 25±1 ^{0}C.
-сушка изаполнение с растворителем. Масса колбы с навеской.

Результаты определения истинной плотности образцов асфальтобетона вычисленные с точностью до 0,01 г/см^3.

Последовательность операций для определения плотности и абсорбции асфальтобетонной смеси были испытаны строго по требованию методики AASHTO T84-93, ASTM:C128-88 [112].

Результаты определения плотности и абсорбция песка и золы показаны в таблице 2.12. Испытанием установлено, что минеральные материалы по физико-механическим свойствам отвечает требованиям AASHTO.

Таблица 2.12 – Плотность и абсорбция мелких агрегатов (песок, зола) (AASHTO T84)

Обозначение	Описание	Материал	
		0-5 мм	Зола
A	Масса высушенного в печи образца на воздухе, гр	493,4	492,3
B	Масса поверхностно-водонасыщенного образца на воздухе, гр	500,0	500,0
C	Масса флакона/пикнометр+вода, гр	674,8	674,8
D	Масса флакона/пикнометр+вода+образец, гр	981,3	940,5
Вычисления			
Абсорбция ,%	(B-A)*100/A	1,338	0,662
Удельный вес, гр/см^3	A / A-(D-C)	2,640	2,172
Плотность, г/см^3	A / B-(D-C)	2,550	
Плотность поверхностно-водонасыщенного образца, г/см3	B / B-(D-C)	2,584	

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2.4.5 Определение удельного веса и абсорбции крупнозернистого заполнителя (щебня)

Результаты определения плотности и абсорции щебня испытано по стандартной методике AASHTO T 85-91 [114].

Это методика предназначена для определения удельного веса и абсорбции крупнозернистого заполнителя.

Удельный вес заполнителя и абсорбция рассчитывается на основании пребывания заполнителя под водой для пропитывания в течение 30 минут для заполнения пор водой. Далее доставленные из воды образцы высушивали и взвешивали (рис. 2.10).

а

б

Рис.2.10. а - просушивание образцов в печи, б - взвешивание образцов

Таким образом, используя полученные значения образцов, высчислили удельный вес и абсорбция щебня по формуле [115].

Уд.в. м.=A/(B-C), Общ.уд.в.=B/(B-C), где: A - вес просушенного в печи испытываемого образца во взвешенном состоянии, г.; B – вес насыщенного поверхностно-сухого испытываемого образца в подвешенном состоянии, г; C – вес насыщенного испытываемого образца в воде, г. Результаты расчетов сведены в табл. 2.13.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 2.13 – Плотность и абсорбция фракций щебня (AASHTO T85)

Обозначение	Описание	Фракции щебня	
		20-10мм	10-5мм
A	Масса высушенного в печи образца на воздухе, гр	2000	2000
B	Масса поверхностно-водонасыщенного образца на воздухе, гр	2009,28	2013,24
C	Масса образца в воде, гр	1247,7	1249,8
Вычисления			
Абсорбция ,%	(B-A)*100 / A	0,464	0,662
Удельный вес, гр/см3	A / A-C	2,673	2,666
Плотность, г/см3	A / B-C	2,626	2,620
Плотность поверхностно-водонасыщенного образца, г/см3	B / B-C	2,638	2,637

2.4.6 Определение характеристик асфальтобетона

По результатам расчетов удельного веса минеральных материалов составлена табл. 2.14.

Таблица 2.14 – Определения удельного веса минеральных составляющих

№	Процентное содержание		Удельный вес	
1.	Фракции 10-20мм в смеси	12 %.	фракции 10-20мм	2,673т/м^3
2.	фракции 5-10мм в смеси	33 %.	фракции 5-10мм	2,666т/м^3
3.	фракции0-5мм в смеси	52 %.	фракции 0-5мм	2,640т/м^3
4.	наполнителя в смеси	3 %.	пыль от дробления	2,675т/м^3
5	наполнителя в смеси	3 %	зола-уноса	2,172

Расчетная формула для определения удельного веса смеси минеральных наполнителей:

$$Gsb = 100/(P1/G1+P2/G2+P3/G3+P4/G4);$$

Решение: $Gsb = 100/(12/2,673+33/2,666+52/2,640+3/2,675) = 2,656$т/м^3

$Gsb = 100/(12/2,673+33/2,666+52/2,640+3/2,172) = 2,568$т/м^3

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Результаты расчетных данных показывает, что удельный вес (Gsb) минеральных наполнителей: пылью от дробления и золы-уноса отличается на величину 0,088 т/м^3.

На основании результатов испытаний объемной плотности и удельной плотности образцов, определены следующие характеристики асфальтобетона с минеральными наполнителями: воздушные поры, объем пор в минеральном агрегате и объем пор заполненных битумом сведены в табл. 2.15.

Таблица 2.15 – Результаты характеристик асфальтобетонной смеси верхнего слоя покрытия

Содержание биту-ма, % Pb	Плотность уплотн. смеси Gmb	Макс. плотность смеси Gmm	Расчетные характеристики		
			Воздушные поры	Объем пор в минеральном агрегате	Объем пор заполненных битумом
			Va=100*(Gmm-Gmb)/Gmm	VMA=100-100*((Gmb/Gsb)*(100/100+Pb))	VFA=100*((VMA-Va)/VMA)
			Требования		
			3-5%	Минимум 13%	Минимум 65-75%
отсев от дробления					
5.0	2.284	2.560	10.8	13.0	61.1
5.5	2.302	2.466	6.7	13.1	71.8
6.0	2.354	2.410	2.3	13.3	81.4
6.5	2.346	2.376	1.3	13.7	88.2
7.0	2.342	2.351	0.4	13.9	90.0
зола-уноса					
5.0	2.293	2.445	5.9	15.2	61.0
5.5	2.311	2.427	4.5	15.0	69.8
6.0	2.32	2.410	3.5	15.1	76.8
6.5	2.325	2.393	2.6	15.3	82.7
7.0	2.315	2.376	2.4	16.2	85.3

По результатом лабораторных данных видно, что расчетные характеристики: воздушные поры, объем пор в минеральном агрегате и объем пор заполненных битумом соответствует требованиям спецификации.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2.5 Методика определения прочностных характеристик асфальтобетона с применением минерального порошка из золы-уноса на аппарате Маршалла

Определение физико-механических характеристик асфальтобетона с применением пылью от дробления и золой-уноса лабораторным методом производилась при помощи Маршалл аппарата (AASHTO T245) [116].

Для испытания приготовленного асфальтобетона на прочность и деформируемость при сжатии осуществлялась с помощью испытательной машины с механическим приводом (рис.2.11). Машина снабжена силоизмерителем, позволяющим определять разрушающую нагрузку.

а)

б)

Рис.2.11. Испытание образцов на устойчивость Маршалла: а - водяная баня для темперирования образцов; б - испытательная машина Маршалла с механическим приводом.

До начало испытания образцы асфальтобетона выдерживали по требуемой температуре в течение одного часа в водяной бане емкостью 10-15 литров (рис. 2.11).

Пропитанные водой образцы асфальтобетона взвешивали на воздухе и в воде и снова поместили на 30-40 минут в воду, температура которой составила в пределах 60 ^{0}C, термостатированные в воде образцы перед испытанием обтирали мягкой тканью. Затем, извлеченные из водяной бани образцы

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

устанавливали в центре плиты нижнего захвата аппарата Маршалла. Ик включили основной электромотор испытательной машины с механическим приводом и начинали нагружение.

В процессе испытания асфальтобетонного образца по аппарату Маршалла наблюдают за силоизмерителем, следя за стрелкой, и её максимальные показатели можно принимать за нагрузку. Анализы результатов экспериментальных данных на прочность на сжатие по Маршаллу (N), на плотность (г/см3) и деформируемость (текучесть, мм) испытуемых образцов и кернов (количество опытов – 5, повторность – 3 раза) представлены в табл. 2.16.

В таблице видно, что из пяти различных содержаниях битума в асфальтобетоне прочность и текучесть состава с традиционным минеральным порошком и золой-уноса дали результаты соответствующие нормативному требованию. Зола-уноса в качестве минерального порошка не отличается от традиционного минерального порошка. Этому дает объяснение что, частицы золы-уноса заполняя пустоты между зернами щебня и песка, уменьшили толщину пленок битума, при этом повысился плотность и прочность асфальтобетона [110].

Сравнительные лабораторные показатели испытания на устойчивость Маршалла проекта асфальтобетонной смеси с минеральным порошком (пылью от дробления) и проекта асфальтобетонной смеси с золой-уноса приведены в табл.2.17.

Анализ таблицы 2.17 свидетельствует, что сравнительные результаты Проекта асфальтобетонной смеси с пылью от дробления и с золой-уноса соответствуют требованиям специфики для смесей Тип I, верхний слой, фракции 0-14 мм. Асфальтобетонная смесь с использованием золы-уноса показывает высокие прочностные характеристики во всем температурном диапазоне, также наблюдается пониженная температурная чувствительность и устойчивость к сдвиговым деформациям, с длительной водостойкостью [158].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 2.16 – Результаты испытаний образцовна устойчивость Марша, AASHTO T245

№ п	Содержание битума в асфальтобетоне (%)	**Плотность (г/см3)**		**Прочность (N)**				**Текучесть (мм)**
		Объемная плотность Gmb	Удельная плотность Gmm	Показание по шкале	Измеренная прочность	Поправочный коэффициент	Прочность (исправленная)	
		F	G	L	M	N	O	P
образец с пылью от дробления								
1	5,00	2,259		780	9734	0,89	8664	4,15
2	5,00	2,302		920	11482	0,93	10678	3,10
3	5,00	2,291		810	10109	0,89	8997	3,25
ср	5,0	2,284	2,560				9446	3,50
1	5,50	2,316		895	11170	0,93	10388	3,90
2	5,50	2,308		970	12106	0,93	11258	3,60
3	5,50	2,281		675	8424	0,89	7497	3,20
ср	5,5	2,302	2,466				9714	3,57
1	6,00	2,349		870	10858	0,93	10098	4,80
2	6,00	2,376		940	11731	0,96	11262	3,20
3	6,00	2,338		872	10883	0,93	10121	3,60
ср	6,0	2,354	2,410				10493	3,87
1	6,50	2,350		825	10296	0,93	9575	4,00
2	6,50	2,349		780	9734	0,93	9053	3,80
3	6,50	2,338		765	9547	0,93	8879	3,80
ср	6,5	2,346	2,376				9169	3,87
1	7,00	2,333		743	9273	0,89	8253	3,80
2	7,00	2,344		760	9485	0,93	8821	4,10
3	7,00	2,349		700	8736	0,93	8124	4,40
ср.	7,0	2,342	2,351				8399	4,10
образец с золой-уноса								
1	5,00	2,296		710	8861	0,93	8241	2,15
2	5,00	2,293		830	10358	0,89	9219	3,15
3	5,00	2,289		810	10109	0,89	8997	2,95
ср	5,0	**2,293**	**2,445**				**8819**	**2,75**
1	5,50	2,313		875	10920	0,93	10156	3,60
2	5,50	2,309		910	11357	0,93	10562	3,10
3	5,50	2,311		775	9672	0,93	8995	3,40
ср	5,5	**2,311**	**2,427**				**9904**	**3,37**
1	6,00	2,327		930	11606	0,93	10794	3,60
2	6,00	2,322		990	12355	0,93	11490	3,20
3	6,00	2,311		882	11007	0,89	9797	4,10
ср	6,0	**2,320**	**2,410**				**10694**	**3,63**
1	6,50	2,335		945	11794	0,93	10968	3,90
2	6,50	2,328		880	10982	0,93	10214	4,20
3	6,50	2,313		815	10171	0,89	9052	3,70
ср	6,5	**2,325**	**2,393**				**10078**	**3,93**
1	7,00	2,318		850	10608	0,89	9441	4,00
2	7,00	2,312		960	11981	0,89	10663	4,30
3	7,00	2,316		830	10358	0,89	9219	4,60
ср	7,0	**2,315**	**2,376**				**9774**	**4,30**

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

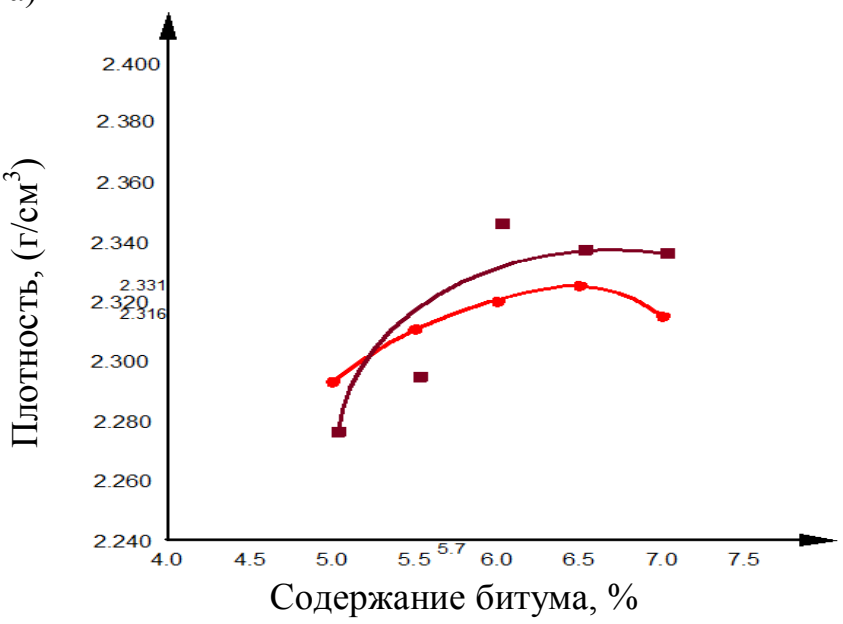
Таблица 2.17 – Сравнительные результаты показателей асфальтобетонной смеси для верхнего слоя покрытия (пыль от дробления, зола-уноса).

Описание	Спецификации	Проект смеси	
		с пылью от дробления	с золой
Плотность по Маршаллу (г/см3)		2,331	2,450
Прочность (Н)	9000 (мин)	9719	10120
Текучесть (мм)	2-4мм	3,6	2,8
Воздушные поры (%)	3-5 %	4,1	4,0
Объем пор в минеральном агрегате (%)	13 (мин)	13,2	15,0
Объем пор заполненных битумом (%)	65-75 (мин)	70	73
Содержание битума (%)		5.7*	5.7*
Пропорции смещения минеральных агрегатов	10-20 мм 5-10 мм 0-мм наполнители	12% 33% 52% 3%	12% 33% 52% 3%

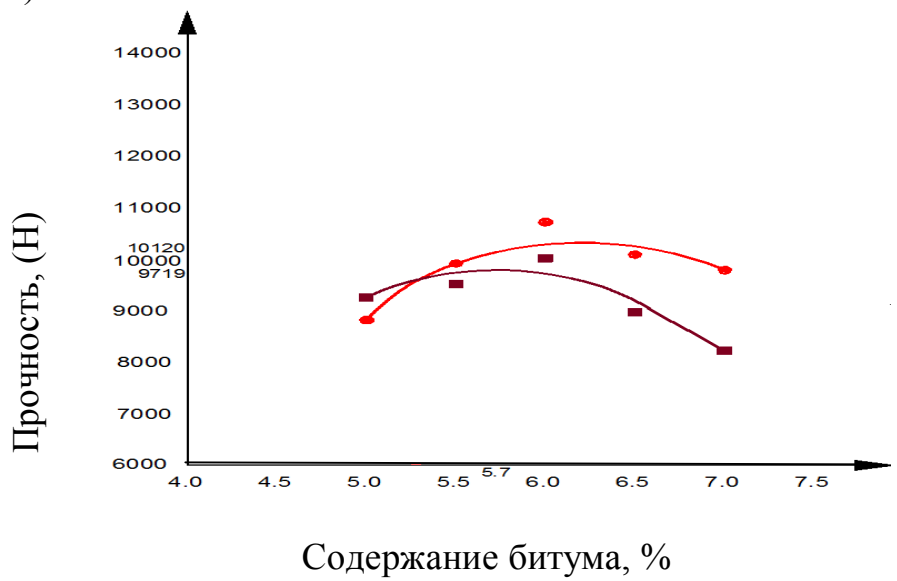
Примечание: * С учетом допусков технических спецификаций предельные колебания содержания битума в асфальтобетонной смеси при выпуске с АБЗ могут колебаться в пределах 5.5-5.9% (5,7±0.2)

На основании таблицы, для анализа соответствия результатов построены кривые (рис. 2.12: а,б,в,г,д,е).

а)

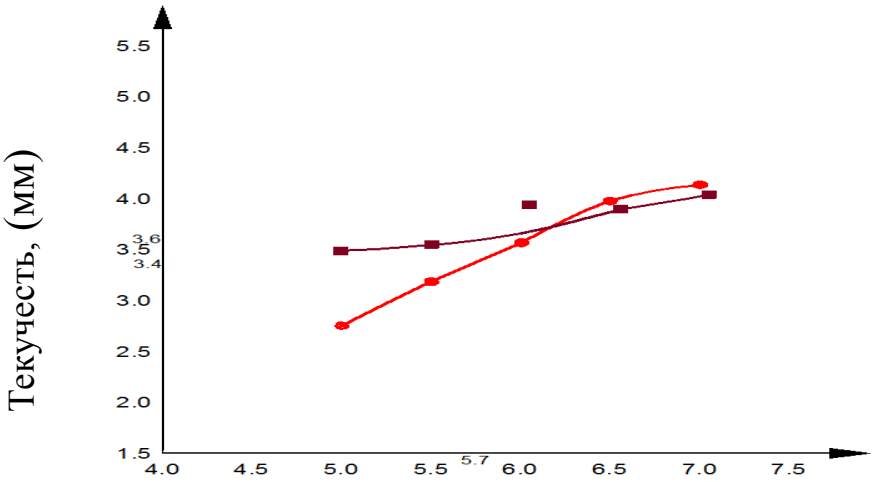


б)



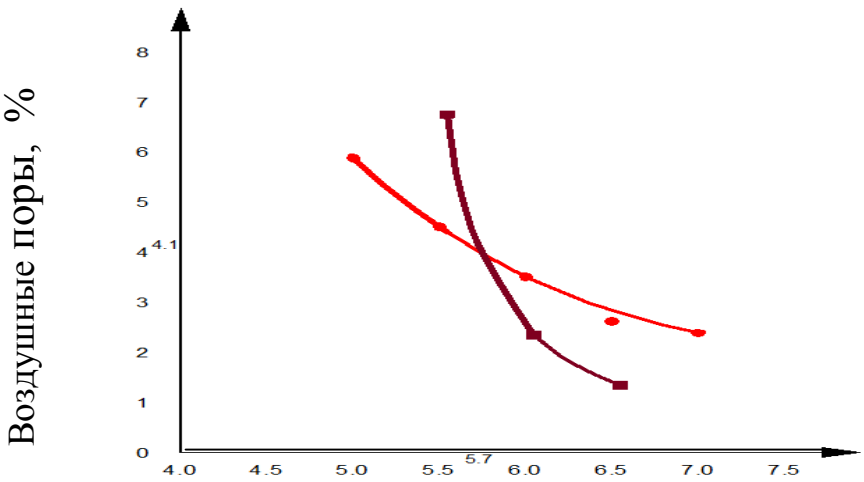
Содержание битума, %

в)



Содержание битума, %

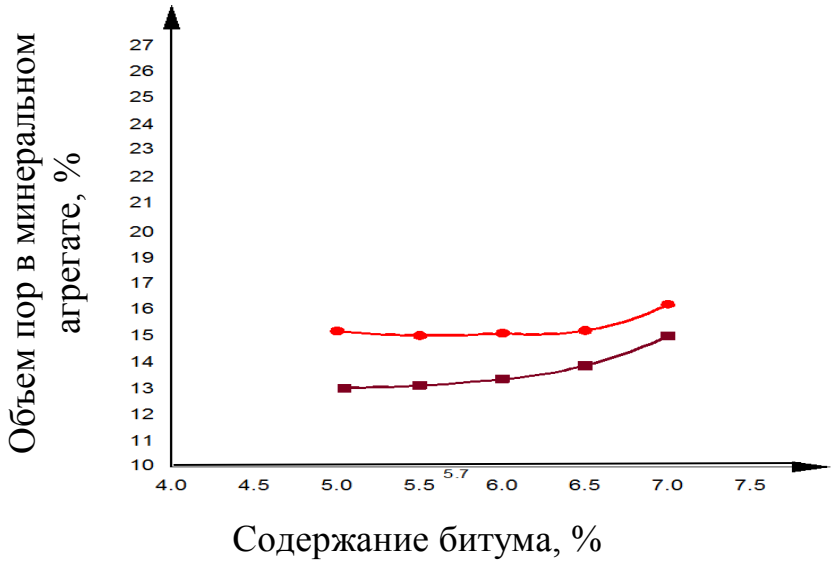
г)



Содержание битума, %

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

д)



е)

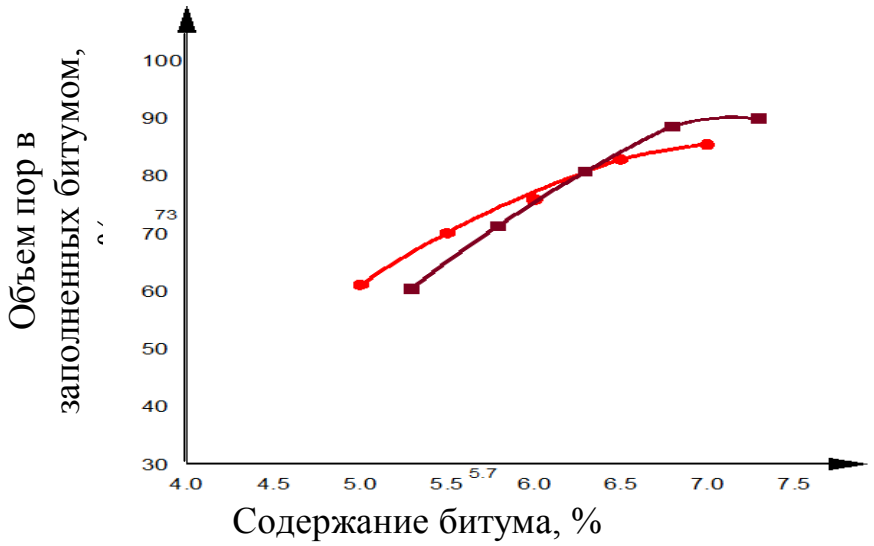


Рис.2.12. Кривые результатов испытаний образцов уплотненных горячих асфальтобетонных смесей по методу Маршалла (наполнитель: пыль от дробления, зола-уноса)

Как видно на рисунках: а - плотность, б - прочность, в - текучесть, г - воздушные поры, д - объем пор в минеральном агрегате, е - объем пор заполненных битумом - физико-механические показатели асфальтобетона с применением золы-уноса в качестве минерального порошка не отличаются от состава с традиционным минеральным порошком.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2.6 Заключение по главе 2

1. Анализ реологических характеристик битума и физико-химические взаимодействия минеральных материалов с применением золы-уноса с требуемой концентрацией позволяет сделать вывод о том, что минеральный порошок из техногенного сырья является эффективной добавкой, позволяющая увеличивать вязкость битума и повысить устойчивость вяжущего к деформациям при перепадах температур в летний период времени.

2. Добавка золы-уноса ТЭЦ в асфальтобетонную смесь для покрытия дорог увеличивает плотность материала строительства, при этом снижается водопотребность, что повышает силы трения между колесом и покрытием, сокращая тормозной путь автомобиля.

3. Для изучения возможности применения вторичных продуктов предприятий для дорожного асфальтобетона в качестве сырьевых компонентов использовались минеральные материалы Токмокского АБЗ, битум нефтяной дорожной марки БНД 60/90 и техногенное сырье в виде золы-уноса полученных от сжигания твердого топлива ТЭЦ г.Бишкек.

4. Исследования проводились с помощью современного оборудования, прошедшего аттестацию и другие надлежащие проверки, использовались стандартные и признанные методики, позволяющие получать достоверные и обоснованные результаты. Анализы исследований свидетельствует, что сравнительные результаты Проекта асфальтобетонной смеси с пылью от дробления и с золой-уноса соответствуют требованиям специфики для асфальтобетонных смесей Тип I, верхний слой, фракции 0-14 мм.

5. Следует отметить, что при добавлении золы-уносав состав асфальтобетона прочность повысился. Это говорит о том, что частицы золы-уноса заполнили пустоты между зернами щебня и песка, благодаря чему уменьшиласьтолщина пленок битума, повысилось плотность и соответственно прочность асфальтобетона.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛЫ УНОСА ПРИ УСТРОЙСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В современном дорожном строительстве асфальтобетонное покрытие является наиболее популярным материалом для устройства дорожных одежд, производство которого требует большие затраты как материального, так и трудового характера [131]. Основная доля затрат приготовления асфальтобетона связана с приобретением сырьевых компонентов для приготовления смеси. На основании этого изучена возможность экономичности затрат за счет снижения стоимости минеральных составляющих с применением альтернативного сырья техногенного характера.

3.1. Технология строительства асфальтобетонного покрытия с применением золы-уноса

С целью производственной проверки результатов экспериментальных исследований по применению минерального порошка из золы-уноса было проведено опытное строительство асфальтобетонного покрытия и отработка технологических процессов в асфальтобетонном заводе.

Было заранее предусмотрена принципиальная схема технологии производства работ по выпуску асфальтобетонной смеси для проведения опытно-экспериментальной работы.

Технологический процесс строительства дорожного покрытия включало следующие основные этапы:

- определение и установление рецептуры асфальтобетонной смеси;
- сушка и нагрев каменных материалов до рабочей температуры и их предварительная дозировка;
- дозирование минерального порошка из золы-уноса и минеральных материалов;
- дозировка битума БНД 60/90;
- загрузка минеральных материалов и их сухое перемешивание;

- загрузка битума в дозатор;
- перемешивание всех минеральных материалов с битумом на бункере смесителя;
- ввод дозированного минерального порошка (зола-унос);
- окончательное перемешивание смеси на смесителе;
- выпуск готовой смеси для асфальтобетона;
- транспортирование готовых асфальтобетонных смесей к месту укладки;
- подготовка оснований дорожных одежд;
- укладка и предварительное уплотнение смеси асфальтоукладчиками.

На основании рецептуры составленной автором исследования и испытательной лабораторией ПИ «Кыргыздортранспроект» для приготовления асфальтобетонной смеси Тип I, верхний слой, фракции 0/14 мм, содержащий: щебень 20-10 мм–12 %, щебень 10-5 мм – 33 %, пыль от дробления 5-0– 52 %, зола-уноса – 3 %, с содержанием оптимального количество вяжущего, в количестве равном 5,7 % (БНД 60/90), приготовлена асфальтобетонная смесь для устройства автомобильной дороги на планируемом участке [158].

Технология изготовления асфальтобетона с применением золы-уноса произведено на асфальтобетонном заводе «ТАР-500» расположенный в г. Токмок Чуйской области. Важным преимуществом АБЗ является его экологичность, т.е. на заводе имеется бассейн для отходящих газов и выбросов образующиеся при работе завода, целью которого является недопущение любой загазованности на окружающую среду и местности [117], (рис. 3.1).

В смесительной установке «ТАР-500» автоматизированы все основные технологические операции, в том числе: дозирование минеральных материалов, битума и минерального порошка, перемешивание асфальтобетонной смеси, автоматически выдерживается установленное время общего (совместно с битумом) перемешивания смеси и сухого (без битума) перемешивания. Рабочие органы смесительной установки приводятся в движение пневматической системой, в связи с чем, она снабжена компрессорной установкой.

На рис.3.1. представлена технологическая схема асфальтобетонного завода.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

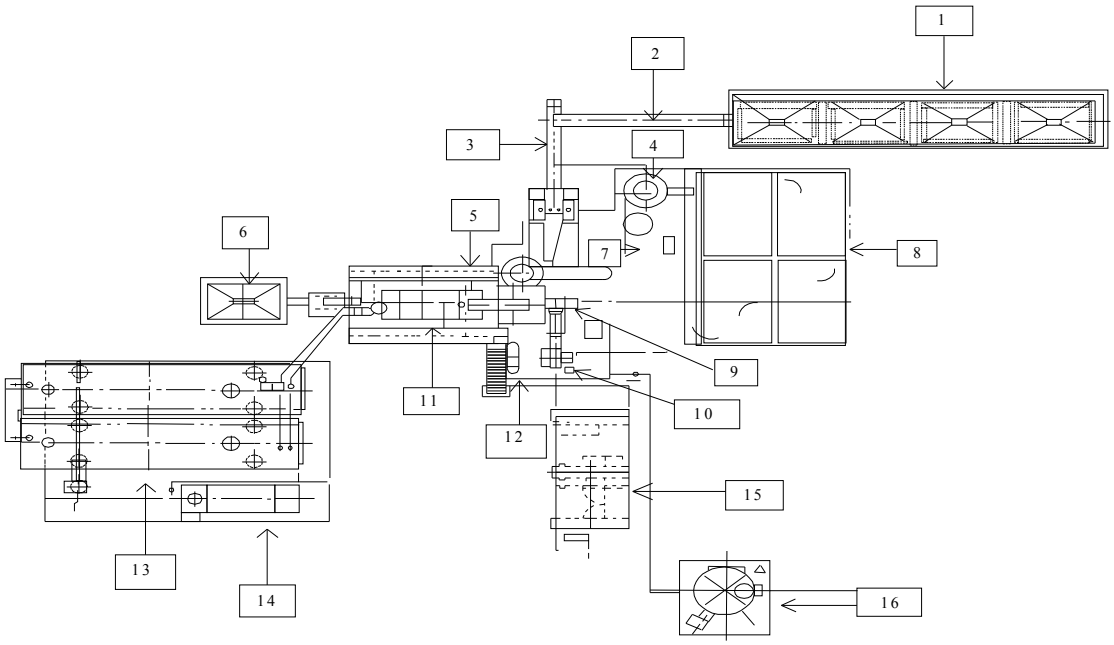


Рис. 3.1. Технологическая схема завода для приготовления асфальтобетона с применением золы-уноса: 1-предварительные дозаторы минеральных материалов; 2-ленточный конвейер; 3-конвейер для агрегатов; 4-пылесборник; 5-сортировочно-смесительный агрегат; 6-бункер минерального порошка; 7-вытяжной вентилятор; 8-бассейн для выбросов; 9-горячий элеватор; 10-сушильный барабан; 11-миксер; 12-воздушный компрессор; 13-цистерна битума; 14-масляная грелка для битума; 15-кабина управления установкой; 16-дизельный генератор.

Технологический процесс производства позволяет применять минеральный порошок из техногенного сырья, без дополнительных заводских требований, т.е. особенностью технологической системы производства асфальтобетона с минеральным порошком из техногенного сырья является сохранение заводской системы приготовления асфальтобетона.

Таким образом, при применении минерального порошка из золы-уноса не требуется дополнительного дорогостоящего оборудования, предусматривающий изменения конструкции АБЗ. Важным элементом асфафльтобетонного завода является система подачи инертных материалов.

Из сушильного барабана (10) высушенные и нагретые минеральные материалы попадают на горячий элеватор (9), который поднимает и подает их в

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

сортировочно-смесительный агрегат (5). С помощью компью… установленной в кабине установки управления (15), осуществляется контроль температуры минеральных материалов. Сортировочно-смесительный агрегат состоит из барабанно-цилиндрического грохота, имеющие сита размерами 1.15; 6,3; 10; 14; 18; 25 и 36 мм и бункера для минеральных составляющих.

Бункер, в свою очередь, имеет четыре секции, из которых три секции предназначены для фракций, получаемых в результате прогрохотки щебня и песка, а одна секция – для минерального порошка (6), который подается в бункер в холодном состоянии с помощью отдельного элеватора. Из бункера минеральные материалы попадают в дозатор, где их дозирование, а также дозирование битума происходят автоматизировано. В дозаторе осуществляется и дозирование веществ, вводимых в мешалку, в которой смешение минеральных материалов обеспечивается двумя вращающимся навстречу друг другу валами с лопастями. Битум, нагретый до +100 ^{0}C, с прирельсового склада доставляют в битумовозах, обезвоживают и нагревают до рабочей температуры +150 $\pm$ 170 ^{0}C. Затем с помощью насоса, нагретый битум поступает в дозатор и мешалку смесителя. Далее, в соответствующий отсек теплового бункера пневматическим транспортом доставляется желательно теплый минеральный порошок, а сортированный по фракциям щебень поступает в отсек бункера.

Машинист смесительной установки работает в закрытой кабине, оборудованной пультом управления, обеспечивает и контролирует работу всего технологического процесса производства асфальтобетонной смеси (рис. 3.2).

После сортировки горячих минеральных материалов на соответствующие установленные фракции дозируют и в весовой бункер поочередно загружают требуемое количество каждой из перечисленных фракций.

В этот же бункер отсыпается установленное количество минерального порошка из золы-уноса, затем вся порция загружается в мешалку.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

а

б

в

г

д

е

Рис.3.2 Технология приготовления асфальтобетона в условиях завода: а - дробильно-сортировочнаяустановка; б - бункеры для минеральных материалов и бассейн для выбросов завода; в - битумохранилище; г - бункер для минерального порошка; д - компьютерное управление дозировки материалов; е - загрузка готового асфальтобетона с применением золы-уноса.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Позже в мешалку подается битум, с расчетом, чтобы в это вр… происходило сухое перемешивание смеси.

Одной из главных задач при перемешивании асфальтобетонной смеси является распределение битума в смеси более тонкими слоями из расчета обеспечения уменьшения количества высвобождения свободного битума, что наряду с повышением суммарной поверхности частиц минерального порошка, покрываемого битумом, увеличивает плотность, прочность и теплоустойчивость асфальтобетонного покрытия.

Определенная последовательность смешивания всех минеральных материалов с битумом способствует также повышению качества асфальтобетона. При смешивании минеральных материалов с битумом, в силу высокой адсорбционной способности минерального порошка, обусловленной удельной его поверхности, зерна этих материалов в наибольшей степени обрабатываются битумом, предопределяя тем самым хорошие условия обработки этим же битумом более крупных зерен щебня. Уменьшение толщины битумных слоев и количества свободного битума в смеси способствует также наибольшему сближению минеральных частиц в процессе уплотнения смеси, дополнительно повышая тем самым плотность покрытия.

Приготовленную в условиях асфальтобетонного завода горячую асфальтобетонную смесь с применением золы-уноса, рекомендуется применять при устройстве усовершенствованных асфальтобетонных покрытий.

Важным показателем определяющий возможность применения асфальтобетона с применением золы-уноса, в строительстве дорожного покрытия является соответствие их физико-механических показателей требованиям AASHTO и ГОСТ 9128-2009 [118]

Следует отметить, что технические требования к минеральным материалам для приготовления горячих асфальтобетонных смесей с применением золы-уноса, соответствуют требованиям к минеральной части асфальтобетонной смеси по ГОСТ 9128-2009.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Температура приготовленной асфальтобетонной смеси с золой-уноса выпуске из мешалки составляло +150 ± 170 ^{0}С. После перемешивания в течение установленного времени готовая асфальтобетонная смесь выгружалась на заранее приготовленный кузов автосамосвала HOWO, для транспортировки смеси на заранее планированный участок.

Опытное строительство обосновано результатам производственных исследований сертифицированной испытательной лаборатории Проектного института «Кыргыздортранспроект».

Результаты исследований показывают, что соответствие минеральных составляющих для приготовления асфальтобетонной смеси с использованием золы-уноса, не отличается от технических требований по ГОСТ 9128-2009 [118].

Основная цель заводской технологии приготовления асфальтобетонных смесей заключается в производстве материала с такими свойствами, которые получены в лабораторных условиях на запроектированных составах смеси при точном их дозировании, тщательном выдерживании установленного температурного режима и времени перемешивания в установке компонентов минеральной смеси.

Технология производства работ включала доставку приготовленной асфальтобетонной смеси с АБЗ к месту устройства покрытия.

Процесс строительства дорожного покрытия на экспериментальном участке.

Обеспечение высокого качества асфальтобетонных покрытий тесно связано с качеством основания дорожных одежд. Ввиду незначительной толщины асфальтобетонного покрытия и его эластичности оно передает воспринимаемые им существенные нагрузки от транспортных средств на нижележащие слои дорожной конструкции, в связи с чем, прочность и устойчивость основания дорожных одежд имеют определяющие значения для качества и эксплуатационных характеристик асфальтобетонных покрытий [119].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Большое влияние на качество покрытия оказывает также фактор нали... надлежащего сцепления его с основанием, поскольку покрытие при движении транспорта, испытывает большие касательные усилия, вызывающие его скольжение по основанию с образованием на нем сдвигов, наплыва и иногда разрывов [120].

С учетом этого требования к строительству оснований под асфальтобетонные покрытия должны быть весьма высокими, а именно:

- основания должны быть совершенно устойчивы под движением транспорта в течение всего года. Для этого они должны иметь необходимую конструктивную толщину, быть выполненными из прочих материалов, не теряющих прочности при увлажнении и хорошо уплотнены;

- основания должны иметь проектный профиль (продольный и поперечный) и ровную поверхность, а также соответствовать требуемой ширине и толщине. Наибольший размер неровностей оснований при их проверке трехметровой рейкой не должен превышать 3-6 мм;

- поверхность оснований должна быть чистой и шероховатой в целях обеспечения хорошего их сцепления с асфальтобетонным покрытием.

Толщина укладываемого слоя должна быть выше 1,5 раза с размера минеральных частиц, а также при укладывании прочное основание не менее 10 см и при укладке не менее 15 см, коэффициент уплотнение материала следует принимать равным 1,4-1,5.

Порядок условий уплотнения, максимальная толщина слоя должны соответствовать предусмотренным таблицам СНиП 3.06.03-85 [122]

По условиям уплотнения, максимальная толщина слоя не должна превышать значений предусмотренных в таблице СНиП 3.06.03-85[122].

Учитывая перечисленные требования, с целью соответствия всем требованиям СНиП 3.06.03-85 [122], а также руководствам по сооружению земляного полотна автомобильных дорог [122] перед устройством

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

асфальтобетона с применением золы-уноса была обеспечена готовн земляного полотна.

Работа произведена по улице Московской в селе Новопокровка Чуйской области. Протяженность участка составляет 150 м.

При строительстве дорожного покрытия особое внимание уделяется транспортированию готовых асфальтобетонных смесей к местам их укладки, при соблюдении и выполнении всех требований, предьявляемых к этому процессу.

Приготовленная на заводе асфальтобетонная смесь доставлялась к местам укладки автосамосвалами HOWO на заранее подготовленный участок и разгружена в приемник укладчика (рис. 3.3).

а

б

Рис. 3.3. Строительства асфальтобетонного покрытия на экспериментальном участке: а - процесс разгрузки готовой смеси в приемник укладчика; б - процесс укладки асфальтобетонной смеси на экспериментальном участке

Асфальтобетонная смесь привезенная к месту укладки имела темный оттенок, поверхностная часть каменных материалов была покрыта полностью битумом и добавкой и расслоение смеси не наблюдалось [117].

Температура доставленной на место укладки асфальтобетонной смеси обеспечивала качественную ее укладку и уплотнение.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Технологический процес укладки и предварительного уплотн асфальтобетонной смеси включало себе следующие виды работ:

- прием, транспортирование и укладка асфальтобетоной смеси;
- ширина, толщина, ровность укладки асфальтобетонной смеси;
- производительность работ при укладке асфальтобетонной смеси;
- уплотнение асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком;
- соединение средних слоев асфальтобетонного покрытия.

При устройстве дорожных покрытий асфальтобетонная смесь укладывалась наиболее используемым методом, т.е. укладкой смеси асфальтоукладчиком.

Основное назначение асфальтоукладчика – раскладывать асфальтобетонную смесь слоем заданной толщины и требуемой ширины, с необходимой ровностью поверхности и высоким качеством предварительного уплотнения смеси.

Работа по процессу распределения асфальтобетона произведено асфальтоукладчиком HANTA с виброплитой и трамбующим брусом.

Температура смеси при укладке 150-155 °С. Скорость распределения 3-4 км/ч., ширина полосы укладки 6м., толщина укладки 5 см. Поверхность уложенного покрытия находилась на плановой, проектной высоте.

Длина полосы укладки асфальтобетонного покрытия определена в зависимости от скорости ветра, движения и разворота асфальтоукладчика, а также от температуры воздуха.

Приготовленная асфальтобетонная смесь с золой-уноса имела хорошую удобоукладываемость, что при укладке наблюдалось отсутствие раковин и неровностей.

Следует отметить, что уложенная асфальтобетонная смесь подлежит к уплотнению в целях достижения повышения её плотности и, в результате, получения прочного асфальтобетонного покрытия. С повышением прочности асфальтобетонного покрытия, как правило, увеличивается также и сопротивление его процессам деформации, что позитивно сказывается на износостойкости

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

покрытия и уменьшения опасности восприятиям им воды с негативными последствиями: образования трещин, выкрашивания, преждевременной потери водо- и морозоустойчивости и т.д.

Предварительное уплотнение производилось легким вальцовым катком SAKAI SW800 и проход по одному следу составляла 2-4 раза (рис.3.4).

а б

Рис.3.4. Процесс уплотнения асфальтобетонного покрытия с применением золы-уноса на экспериментальном участке: а - уплотнение легким вальцовым катком SAKAI SW 800; б - уплотнение тяжелым пневматическим катком SAKAI TS 200.

Основное уплотнение асфальтобетона производилось тяжелым пневматическим катком SAKAI TS 200 с 6-8 проходами по одному следу.

Уплотняемость асфальтобетонных смесей, как правило определяется свойствами материалов, входящих в их состав, и режимами уплотнения этих смесей. Она выражает также динамику формирования структуры асфальтобетонной смеси и поэтому является одной из наиболее важных её характеристик [104].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

3.2 Определение физико-механических показателей асфальтобетонного покрытия

Для осуществления контроля качества асфальтобетона из покрытия отобраны керны и испытаны в переформованном состоянии, с целью установления степени уплотнения покрытия, а также соответствие свойств асфальтобетона с нормативным требованиям [123].

Керны отобраны на км, км 0+020 слева, 0+070 на оси, 0+120 справа, по два керна в каждой точке. Образцы уложенной в асфальтобетонное покрытие смеси тестировались в испытательной лаборатории ПИ «Кыргыздортранспроект»:

- на толщину покрытия и плотность асфальтобетона по кернам (табл.3.1);
- на гранулометрический состав и содержание битума в смеси (табл. 3.2);
- на прочность на сжатие по Маршаллу и деформируемость (текучесть, мм) (табл. 3.3)

Таблица 3.1 – Результаты измерений толщины, определения объемного веса и плотности асфальтобетонного покрытия

Дата отбора кернов: 5.11.14г, испытано 10.11.2014 г.

№ п/п	Привязка, КМ+	Край проезжей части	Номер керна	Толщина керна, мм Фактическая	Определение плотности				Лабораторная плотность г/см3 (т/м3)	Коэффициент уплотнения
					Вес образца, гр					
					Вес образца на воздухе	Вес поверх-ностно водонасы щенного образца	Вес образца в воде	Плотность, гр/см^3 (т/м^3)		
1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	13
1	0+020	Левый	№1.1В	60.3	979.0	985.0	535.0	2.176	2.316	0.94
2	0+020	Левый	№121В	56.0	964.5	968.5	533.5	2.217	2.316	0.96
3	0+070	Ось	№2.1В	54	939.5	945.5	532.0	2.272	2.316	0.98
4	0+070	Ось	№2.21В	52.1	915.5	919.0	522.0	2.306	2.316	1.00
5	0+120	Правый	№3.1В	74.8	1235.5	1239.0	659.5	2.132	2.316	0.92
6	0+120	Правый	№3.2В	69.4	1181.5	1187.5	651.5	2.204	2.316	0.95
Среднее			Верхний слой	61.1				2.218	2.316	0.96

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 3.2 – Результаты определения гранулометрического состава минеральной части асфальтобетона и содержания битума

Номер п/п	Проектный км+	Номер керна (вырубки)	Интервал отбора керна, м	Содержание минерального материала (остатки на ситах), %													Содержание битума по отношению		Содержание в %		Тип асфальтобетона по специфика-циям
				Процент прохождения через сито данного размера																	
				Размер сит, мм													к общей смеси, %	к минеральной части, %	Щебня	Песка, минерального порошка	
				20	14	10	6,3	4	2	1	0,425	0,300	0,15	0.075	< 0.075	Итого, %					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	0+000-0+150	Керны №1.2В и №3.1В	Верхний слой		6.0	10.7	14.8	9.8	9.4	7.9	11.8	5.3	7.2	2.7	7.9	93.5	6,5				
					6.4	11.4	15.8	10.5	10.0	8.5	12.6	5.7	7.7	2.9	8.5	100		7,0	44.1	55.9	Тип I 0/14мм
				100	93.6	82,2	66.4	55.9	45.9	37.4	24.8	19.1	11.4	8.5							

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 3.3 – Результаты испытания кернов на устойчивость Маршалла.

Стандарт: AASHTO T245						
N образца (керна)	**Место отбора керна**	**Прочность (N)**				**Текучесть (мм)**
		Показание по шкале	Измеренная прочность	Поправочный коэффициент	Прочность (исправленная)	
		L	M	N	O	
1.1B	0+020 левая	1650	14910	1,25	18638	2,40
1.21B		1450	10473	1,32	13824	1,91
ср					16231	2,16
2.1B	0+070 ось	1410	9585	1,47	14090	2,54
2.2B		1390	9141	1,56	14260	2,62
ср					14175	2,58
3.1B	0+120 правая	1500	11582	0,83	9613	2,40
3.2B		1540	12470	0,93	11597	2,72
ср					10605	2,56
Среднее по участку:					**13670**	**2,43**

Результаты гранулометрического состава образцов асфальтобетона (керны) представлены в табл. 3.4.

Таблица 3.4 – Гранулометрический состав асфальтобетона. Керны №1.2B и 3.1B

Материал	Размер сит, мм / Процент прохождения фракций											Процент смешения
	20	14	10	6,3	4	2	1	0,425	0,300	0,150	0,075	
Асфальто-бетонная смесь	100	93,6	82,2	66,4	55,9	45,9	37,4	24,8	19,1	11,4	8,5	100
Верхний слой	100	93,6	82,2	66,4	55,9	45,9	37,4	24,8	19,1	11,4	8,5	100
Материал	Размер сит, мм / Процент прохождения фракций											
	20	14	10	6,3	4	2	1	0,425	0,300	0,150	0,075	
Требование спецификаций для верхнего слоя АБП	100	100	90	75	63	48	38	25	22	16	10	
	100	90	70	55	45	33	23	14	12	8	5	

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Для анализа соответствия гранулометрического состава образ асфальтобетона требованиям спецфикации построен график (рис. 3.5)

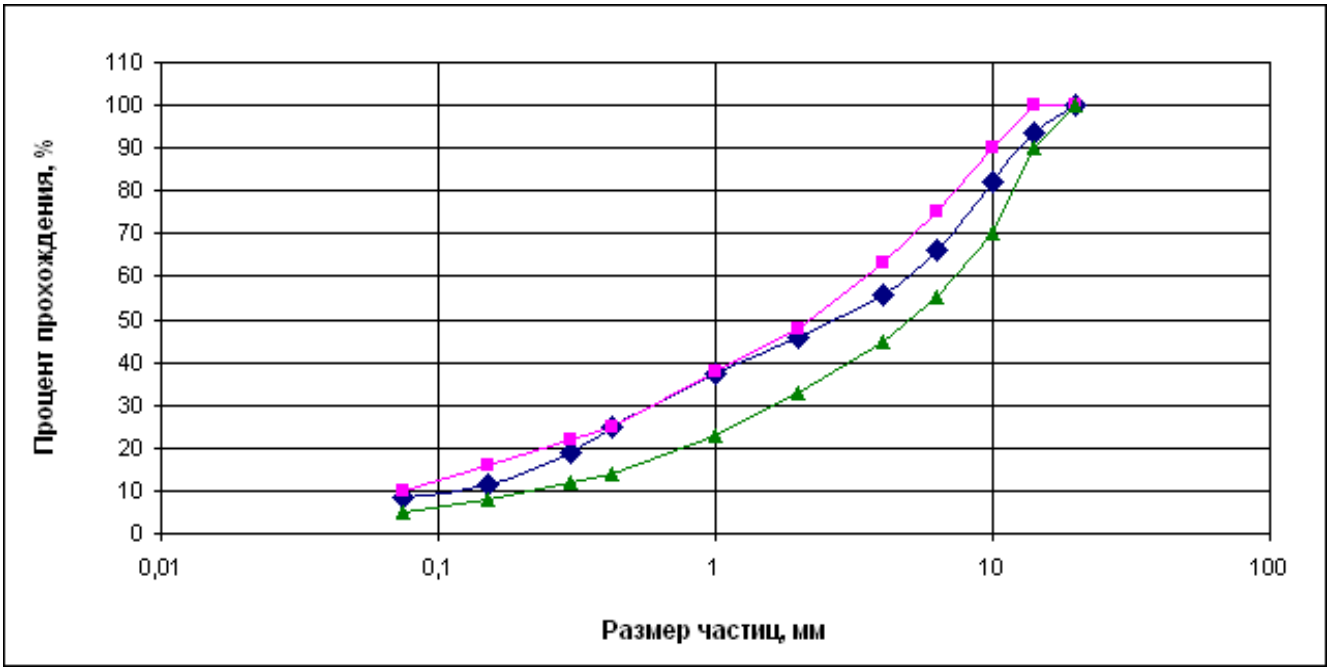


Рис.3.5. Предельная кривая зерновых составов кернов:

- верхний предел
- нижний предел
- получаемая смесь

По результатам проведенных испытаний можно сделать нижеследующие выводы:

I. Качество асфальтобетонной смеси

1. Гранулометрический состав асфальтобетонной смеси соответствует Требованиям спецификаций для смесей Тип I, верхний слой, фракции 0-14 мм.

II. Качество устройства асфальтобетонного покрытия

1. Толщина асфальтобетонного покрытия колеблется от 52,1 до 74,8 мм, в среднем составляет 61,1 мм.

2. Плотность асфальтобетона варьирует от 2,306 до 2,312 гр/см^3. По результатам микс-дизайна лабораторная плотность для данного состава смеси, определенная по стандартной методике составляет 2,450 гр/см^3. Коэффициент

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

уплотнения асфальтобетонной смесиколеблется от 0,92 до 1,0 в среднем [illegible], результаты испытания кернов на плотность составляет 2,308 г/см^3.

Согласно СНиП 3.06.03-85 «Автомобильные дороги» [121], коэффициент уплотнения слоев покрытия из горячего плотного асфальтобетона должен быть не ниже 0,99.

3. Прочность асфальтобетона на сжатие по Маршаллу в образцах (кернах) колеблется от 9613 до 18638 N, в среднем 13670 N, что соответствует проектной 10120 N и требованиям Спецификаций – не ниже 9000 N. Вывод - прочность асфальтобетона повысилась.

4. Текучесть или деформируемость, характеризующая пластичную деформацию кернов до момента их разрушения, в среднем составила 2,43 мм, что соответствует нормируемым пределам (2-4 мм).

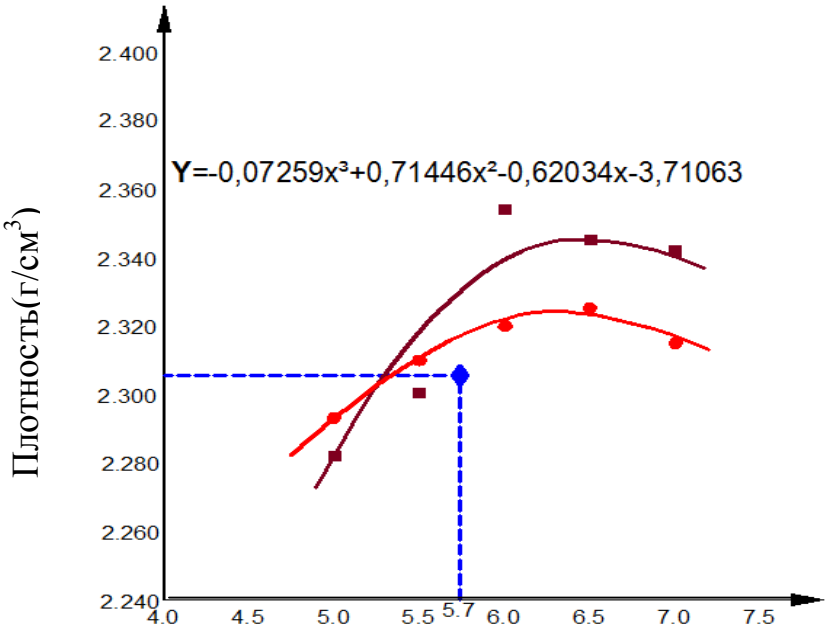
Для сравнения результатов испытаний минеральных материалов и образцов (кернов) составлена табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Сравнительные результаты асфальтобетонной смеси для верхнего слоя покрытия (наполнитель: пыль от дробления, зола-уноса) и керн

По микс дизайнуAASHTOT245				
Описание	Спецификации	Проект смеси с отсевом	Проект смеси с золой	Керн
Плотность по Маршаллу (г/см3)		2,331	2,450	2,308
Прочность (Н)	9000 (мин)	9719	10120	13670
Текучесть (мм)	2-4 мм	3,6	2,8	2,43

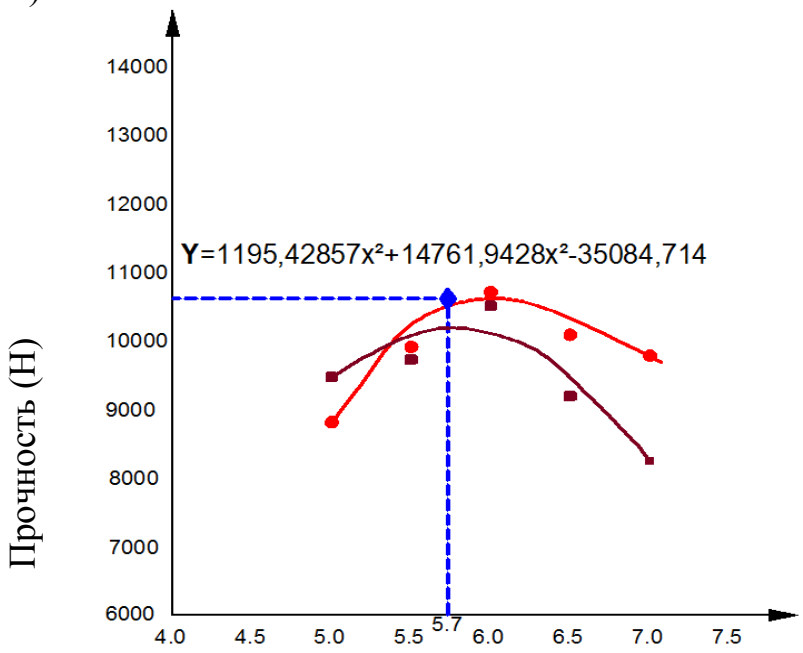
Для анализа соответствия экспериментальных образцов асфальтобетона требованиям спецификаций построен график (рис.3.6: а,б,в)

а)



Содержание битума,%

б)



Содержание битума,%

в)

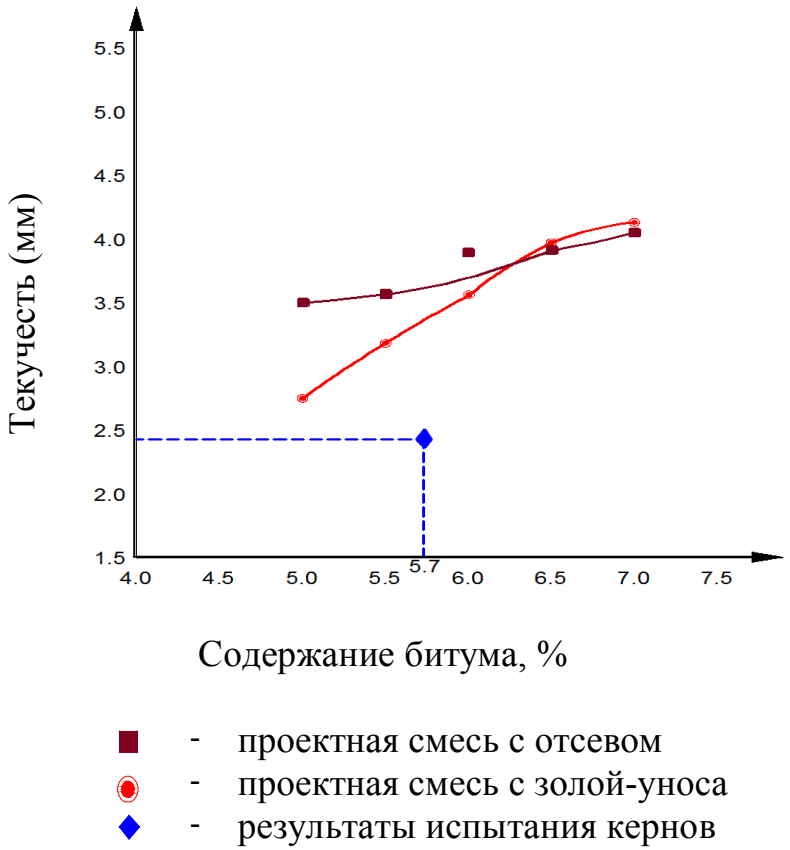


Рис.3.6 – Кривые результатов испытаний образцов уплотненных горячих асфальтобетонных смесей

На рисунках видно что, физико-механические показатели как плотность, прочность и текучесть образцов асфальтобетона (керны) с применением золы-уноса в качестве минерального порошка соответствует требованиям спецификаций.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

3.3 Влияние коррозионных процессов на работоспособность дорожного покрытия из асфальтобетонных смесей с применением золы-уноса

Основным свойством, предопределяющим качества и долговечность дорожного материала, является устойчивость структуры материала воздействиям изменяющегося температурных и влажностных режимов.

Известно, что асфальтобетонное покрытие представляет собой состав пористого конгломерата, при этом могут разрушаться в результате периодического увлажнения, а также под воздействием попеременного замораживания и оттаивания [126].

Дефект разрушения асфальтобетона возникает вследствие расклинивания водных пленок, разъединением минеральных зерен отслаивающие битумные пленки, что ведет к усиливанию разрушающего эффекта. Вода является главным вредителем дорог. Длительное увлажнение асфальтобетона дает возможность проникать воды через дефектные места битумной пленки, что приведет состав структурной связи конгломерата к ослаблению и дает возможность разрушению асфальтобетона под действием транспортных средств.

Вода находящаяся в порах асфальтобетона и каменного материала замерзает увеличиваясь в объеме и вызывает в стенках пор большие напряжения, которое вызывает в бетоне волосяных микротрещин и поверхностное шелушение, способствующие возникновению разрушающего процесса асфальтобетона. Главным разрушительным действием асфальтобетона является попеременные циклы замораживания и оттаивания.

Коррозионные разрушения асфальтобетонного покрытия протекается в виде выкрашивания асфальтобетона и в виде образования значительного количества выбоин.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Устойчивость к коррозионному воздействию ослабевает процесс старе асфальтобетона, главным показателем этого является снижение морозостойкости и водостойкости дорожного покрытия.

Разрушения покрытия можно наблюдать в весеннее время, что это связано с усталостью и недостаточной коррозионной устойчивостью асфальтобетона.

С целью содержания автомобильных дорог предусматриваются ряд мероприятий по борьбе с зимней скользкостью с использованием противогололедных материалов химического происхождения, т.е. жидких или твердых хлоридов, являющихся по своей природе солями, длительное использование которого приводят к разрушению покрытия [127].

Дорожные покрытия также интенсивно разрушаются от атмосферной коррозии вериод оттеплей, а также в период длительного увлажнения, связанное с переходом температуры воздуза на О°С.

Причиной повышения коррозионной усталости покрытия, также являются выбросы, образуемые под воздействием транспортных средств.

Главной причиной разрушения асфальтобетона раньше запланированного срока, является его неустойчивость к коррозионным воздействиям, которого в основном заметны в районах избыточного увлажнения и с частыми знакопеременными температурами. Основную роль в устойчивости асфальтобетона к коррозионному воздействию играет водо – и морозоустойчивость покрытия.

Таким образом, один из основных важнейших факторов, способствующие продлению срока службы дорожных покрытий является, применение более устойчивых к атмосферной корррозии асфальтобетонов.

Главную решающую роль влияния на коррозионную устойчивость асфальтобетонного покрытия оказывает его однородность, плотность и водопроницаемость. Недостаточная плотность, приведет к повышенной пористости асфальтобетона, способствующую к снижению его коррозионной устойчивости. Как известно, плотность асфальтобетона сильно зависит от

пористости минерального остова, степени уплотнения и от количества битума в составе материала [128].

Свойства минерального порошка оказывает большое влияние на пористость асфальтобетона, обладая наиболее удельной поверхностной активностью.

Добавление в установленных пределах количества минерального порошка дает дорожному асфальтобетону достаточную плотность, также придает ему более высокую поровую структуру, и соответственно более повышенную коррозионную устойчивость.

Для улучшения коррозионной стойкости асфальтобетонных покрытий, как было сказано является, введение в систему асфальтобетона адгезионных поверхностно активных веществ, а также активирование поверхности минеральных наполнителей механическими методами или с помощью введения цемента, извести и др. в состав материала. В свою очередь данная методика направлена на повышение адгезии применяемого битума, роль которого позволяет предотвратить проникновение воды, солей растворов и реагнетов между вяжущим и на поверхности зерен минеральных составляющих, позволяющую не допускать вымыванию карбоната кальция из минерального порошка [102].

При применении поверхностно-активных добавок в составе асфальтобетона решаются следующие важные задачи:

- снижается расход битума;
- формируется структура асфальтобетона;
- улучшается смачивание минеральных материалов битумом;
- ускоряются процесс перемешивания.

При этом можно отметить что, большинство поверхностно-активные вещества приводит к удорожанию материала, усложняя работу производственного процесса, в связи с его высокой стоимостью.

На основании этого введение в состав асфальтобетонных смесей, минерального порошка из техногенного сырья, т.е. золу-уноса вместо извести

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

или цемента, отлично сочетается возможностью решения задачи по улучше качества асфальтобетона.

Введение в состав композита минерального порошка из золы-уноса ТЭЦ является главным перспективным направлением, это позволяет повысить качество асфальтобетона и улучшит коррозионнуюстойкость без применения ПАВ.

Зола-уноса в составе асфальтобетона вступает во взаимодействие с минеральными материалами, одновременно выполняя функцию в качестве модификатора поверхности частиц, улучшая сцепление между пленкой нефтяного битума [129].

Влияние минерального порошка объясняется с тем, что асфальтобетон преобретает плотную и более однородную мелкопористую структурную систему с преобладанием замкнутых пор (при нормируемом количестве минерального порошка). Другим важным особенным свойством минерального порошка является усиливание связей между минеральными зернами материала и их сцепления с минеральным вяжущим веществом [134].

Присутствие минерального порошка на зернах первичных слоев битума, усиливает герметизирующее влияние битума, образуя дисперсную структурированную систему, это явление способствует распределению минеральных зерен более рвномерным и получению оптимальной структуры асфальтобетонного покрытия.

Другим важнейшим фактором минерального порошка, оказывающим влияние на коррозионную устойчивость, это структурно-механический барьер, образуемый на поверхности минеральных частиц. Активация действия минерального порошка предотвращает проникание влаги внутрь частиц. Это явление повышает водо и морозостойкость асфальтобетона, способствуя сохранению структуры в изменяющемся температурном и влажностном режимах [130].

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Особенности технологического процесса приготовления и уплотнения асфальтобетонных смесей также, оказывают большое влияние на структурообразованию асфальтобетона.

Можно отметить что, особо важной задачей строительства является распределение битума более тонкими слоями и уменьшение количество свободного битума, с повышением суммарной поверхности минерального порошка, это увеличивает прочность и теплоустойчивость асфальтобетона [133].

Уменьшение количества свободного битума и толщины битумных слоев, приводит к наибольшему увеличиванию сближения минеральных частиц в процессе уплотнения, что способствует повышению плотности асфальтобетона.

Констатируя все эти особенности можно отметить что, в сочетании с более полным покрытием минерального порошка вместе с битумом поверхности минеральных частиц, приводит к улучшению удобообрабатываемости асфальтобетонных смесей и повышению коррозионной устойчивости асфальтобетона.

3.4 Методика математического планирования эксперимента при оптимизации состава асфальтобетонных смесей с использованием золы-уноса

3.4.1 Методика построение математической модели с применением метода наименьших квадратов

Математические модели от исходных данных эксперимента [145] были построены с применением математических методов, а именно методом наименьших квадратов. Ниже представлена краткая характеристика для представления сущности этой методики.

Пусть в результате получена табл. 3.6 значений функции y для ряда значений независимой переменной x :

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 3.6 – Значений функции y для ряда значений независимой переменной x :

Значения x	x_1	x_2	…	x_i	…	x_n
Значения y	y_1	y_2	…	y_i	…	y_n

Далее предположим, что зависимость функции y от независимой переменной x имеет вид эмпирической формулы:

$$y = f(x;\ a,b,...,k), \qquad (3.1)$$

где $a,b,...,k$ – подлежащие к определению параметры, и

$$\varepsilon_i = f(x;\ a,b,...,k) - y_i \quad (i = 1,2,...,n), \qquad (3.2)$$

– уклонения эмпирической формулы (1) от исходных данных (x_i, y_i).

Если представляемые точки $M_1(x_1, y_1)$, $M_2(x_2, y_2), \ldots, M_n(x_n, y_n)$ находятся на одной прямой точке, то это означает, что зависимость между x и y возможно близка к линейной: $Y = ax + b$. Чтобы наилучшим образом описывать рассматриваемый процесс, подбираем неизвестные коэффициенты a и b. При этом методика наименьших квадратов является методом широкого распространения [145,148] решения данной задачи, которое заключается в следующем.

Итак, рассмотрим сумму квадратов разностей значений полученных экспериментом, и функции $Y_i = ax_i + b$ y_i, и функции в соответствующих точках,

т.е. $S = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - y_i)^2$ $\sum_{i=1}^{n} (ax_i + b - y_i)^2$.

Параметры a и b подбираем так, чтобы представляемая сумма имела наименьшее значение.

Так, как x_i и y_i – постоянные, то сумма которое указана есть функция параметров a и b:

$$\Phi(a,b) \quad \sum_{i=1}^{n} (ax_i + b - y_i)^2 .$$

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Находим значения параметров a и b, воспользуясь необходимыми условиями экстремума функции двух переменных: находим частные производные от $\Phi(a,b)$ по переменным и приравниваем их к нулю: воспользуемся необходимыми условиями экстремума функции двух переменных: найдем частные производные от по переменным a и b и приравниваем их к нулю:

$$\begin{aligned}\frac{\partial\Phi}{\partial a}&=2\sum_{i=1}^{n}(ax_i+b-y_i)x_i=0,\\ \frac{\partial\Phi}{\partial b}&=2\sum_{i=1}^{n}(ax_i+b-y_i)=0.\end{aligned}\qquad(3.3)$$

Чтобы найти из этой системы параметры a и b, можно переписать систему в следующем виде:

$$\begin{cases}a\sum_{i=1}^{n}x_i^2+b\sum_{=i\ 1}^{n}x_i=\sum_{=i\ 1}^{n}x_iy_i\\ a\sum_{i=1}^{n}x_i+bn=\sum_{i=1}^{n}y_i\end{cases}\qquad(3.4)$$

Как видно из формулы (3.4) представлена система двух уравнений первой степени, для определения чисел a и b. Можно подтвердить, что такая система всегда имеет единственное решение и что для найденных чисел a и b функция $\Phi(a,b)$ достигает минимума.

Полученные значении от чисел a и b подставляя в уравнение $Y=ax+b$, находим линейную функцию, которое наилучшим образом отражающую зависимость между величинами a и b, полученные из лабораторных данных.

Система (3.3) при выравнивании по параболе $Y=ax^2+bx+c$ может быть преобразована к виду:

$$\begin{cases} a\sum_{i=1}^{n} x_i^4 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + c\sum_{i=1}^{n} x_i^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 y_i; \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + c\sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i; \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} x_i + cn = \sum_{i=1}^{n} y_i. \end{cases} \quad (3.5)$$

Аналогично можно получить систему для гиперболы $Y = ax^3 + bx^2 + cx + d$:

$$\begin{cases} a\sum_{i=1}^{n} x_i^6 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^5 + c\sum_{i=1}^{n} x_i^4 + d\sum_{i=1}^{n} x_i^3 = \sum_{i=1}^{n} x_i^3 y_i; \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^5 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^4 + c\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + d\sum_{i=1}^{n} x_i^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 y_i; \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^4 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + c\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + d\sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i; \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + c\sum_{i=1}^{n} x_i + dn = \sum_{i=1}^{n} y_i. \end{cases} \quad (3.6)$$

и т.д.

А для вычисления всех выше изложенных систем можно воспользоваться широко известными методами Крамера и Гаусса.

3.4.2 Построение математической модели для определения объема плотности минерального порошка (пыль от дробления)

Методом наименьших квадратов построим математическую модель от исходных данных пылью от дробления, табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Определение математической модели от исходных данных пыль от дробления

x**(содержание битума в асфальтобетоне, %**	5	5,5	6	6,5	7
y**(плотность), г/см**^{3}	2,284	2,302	2,354	2,346	2,342

Полагаем что

$$y = ax^2 + bx + c \quad (3.7)$$

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Для вычисления коэффициентов нормальной системы составляем таблицу 3.8. Тогда имеем следующую систему нормальных уравнений:

$$\begin{cases} 182,6a + 30b + 5c = 11,628; \\ 1125a + 182,6b + 30c = 69,8; \\ 7022,2a + 1125b + 182,6c = 425,3. \end{cases}$$

Решив эту систему, получим

$$a = 0,01343; \quad b = -0,13897; \quad c = 2,6709.$$

Таблица 3.8 – Определение параметров эмпирической формулы (3.7) методом наименьших квадратов

x^0	x	x^2	x^3	x^4	y	xy	x^2y
1	5	25	125	625	2,284	11,4	57,1
1	5,5	30,3	166,4	915,1	2,302	12,7	69,6
1	6	36	216	1296	2,354	14,1	84,7
1	6,5	42,3	274,6	1785,1	2,346	15,2	99,1
1	7	49	343	2401	2,342	16,4	114,8
5	30	182,6	1125	7022,2	11,628	69,8	425,3
$\sum_{i=1}^{5} x_i^0$	$\sum_{i=1}^{5} x_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^2$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^3$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^4$	$\sum_{i=1}^{5} y_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i y_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^2 y_i$

Следовательно, искомая математическая модель запишется так:

$$\tilde{y} = 0,01343x^2 - 0,13897x + 2,6709. \qquad (3.8)$$

Следующая табл. 3.9 показывает согласованность полученной эмпирической формулы с опытными данными.

Таблица 3.9 – Оценка точности эмпирической формулы

i	y	$\tilde{y}$, вычисления по формуле (2)	Уклонение $\varepsilon = y - \tilde{y}$
1	2,284	2,312	-0,028
2	2,302	2,313	-0,011
3	2,354	2,321	+0,033
4	2,346	2,335	+0,011
5	2,342	2,356	-0,014

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Имеем

$$\sum_{i=1}^{5} \varepsilon_i^2 = 0,002311.$$

Теперь также на основе этого метода построим, математический модель полагая, что:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d\,. \qquad (3.9)$$

Составляем табл. 3.10 для вычисления коэффициентов нормальной системы. Откуда имеем следующую систему:

$$\begin{cases} 1125a + 182,6b + 30c + 5d = 11,628; \\ 7022,2a + 1125b + 182,6c + 30d = 69,8; \\ 44343,7a + 7022,2b + 1125c + 182,6d = 425,3; \\ 283029,5a + 44343,7b + 7022,2c + 1125d = 2624,6. \end{cases}$$

Решая данную систему, имеем

$$a = -0,01895; \quad b = 0,17494; \quad c = 0,01825; \quad d = 0,09143.$$

Таблица 3.10 – Определение параметров эмпирической формулы (3.9) методом наименьших квадратов

x^0	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	y	xy	x^2y	x^3y
1	5	25	125	625	3125	15625	2,284	11,4	57,1	285,5
1	5,5	30,3	166,4	915,1	5032,8	27680,6	2,302	12,7	69,6	383
1	6	36	216	1296	7776	46656	2,354	14,1	84,7	508,5
1	6,5	42,3	274,6	1785,1	11602,9	75418,9	2,346	15,2	99,1	644,3
1	7	49	343	2401	16807	117649	2,342	16,4	114,8	803,3
5	30	182,6	1125	7022,2	44343,7	283029,5	11,628	69,8	425,3	2624,6
$\sum_{i=1}^{5} x_i^0$	$\sum_{i=1}^{5} x_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^2$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^3$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^4$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^5$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^6$	$\sum_{i=1}^{5} y_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i y_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^2 y_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^3 y_i$

Откуда находим искомую математическую модель вида:

$$\tilde{y} = -0,01895x^3 + 0,17494x^2 + 0,01825x + 0,09143. \qquad (3.10)$$

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 3.11 показывает согласованность полученной эмпирической формулы с опытными данными.

Таблица 3.11 – Оценка точности эмпирической формулы (3.10)

i	y	$\tilde{y}$, вычисления по формуле (2)	Уклонение $\varepsilon = y - \tilde{y}$
1	2,284	2,187	+0,097
2	2,302	2,331	-0,029
3	2,354	2,406	-0,052
4	2,346	2,397	-0,051
5	2,342	2,291	+0,051

Здесь, имеем

$$\sum_{i=1}^{5} \varepsilon_i^2 = 0,018156.$$

Отсюда видим, что формула (3.8) согласуется с экспериментальными данными несколько лучше, чем формула (3.10).

3.4.3 Построение математической модели для определения объема плотности минерального порошка (зола-унос)

С применением метода наименьших квадратов построим математическую модель от исходных данных золы-уноса по следующей таблице:

Таблица 3.12 – Определение математической модели от исходных данных объема плотности золы-уноса

x(содержание битума в асфальтобетоне), %	5	5,5	6	6,5	7
y(плотность, г/см^3)	2,293	2,311	2,320	2,325	2,315

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Здесь также положим, что эмпирическая формула имеет вид

$$y = ax^2 + bx + c \qquad (3.11)$$

Составляем нормальную систему для вычисления коэффициентов табл.3.13 откуда имеем:

$$\begin{cases} 182,6a + 30b + 5c = 11,628; \\ 1125a + 182,6b + 30c = 69,4; \\ 7022,2a + 1125b + 182,6c = 422,52. \end{cases}$$

Решив систему, находим

$$a = 0,09543; \quad b = -1,22242; \quad c = 6,16981.$$

Таблица 3.13 – Определение параметров эмпирической формулы (3.11) методом наименьших квадратов

x^0	x	x^2	x^3	x^4	y	xy	x^2y
1	5	25	125	625	2,284	11,5	57,3
1	5,5	30,3	166,4	915,1	2,302	12,7	70,02
1	6	36	216	1296	2,354	13,9	83,5
1	6,5	42,3	274,6	1785,1	2,346	15,1	98,3
1	7	49	343	2401	2,342	16,2	113,4
5	30	182,6	1125	7022,2	11,628	69,4	422,52

Тогда, искомая математическая модель имеет следующий вид:

$$\tilde{y} = 0,09543x^2 - 1,22242x + 6,16981. \qquad (3.12)$$

В таблице 3.14 видно согласованность полученной эмпирической формулы с опытными данными.

Таблица 3.14 – Оценка точности эмпирической формулы (3.12)

i	y	$\tilde{y}$, вычисления по формуле (2)	Уклонение $\varepsilon = y - \tilde{y}$
1	2,284	2,443	-0,159
2	2,302	2,333	-0,031
3	2,354	2,271	+0,083

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

4	2,346	2,256	+0,09
5	2,342	2,289	+0,053

Сумма квадратов уклонений равна

$$\sum_{i=1}^{5} \varepsilon_i^2 = 0,04404.$$

Далее построим, математический модель, полагая, что оно имеет вид (3.12).

С помощью таблицы 3.15 вычислим коэффициенты нормальной системы:

$$\begin{cases} 1125a + 182,6b + 30c + 5d = 11,628; \\ 7022,2a + 1125b + 182,6c + 30d = 69,4; \\ 44343,7a + 7022,2b + 1125c + 182,6d = 422,52; \\ 283029,5a + 44343,7b + 7022,2c + 1125d = 2604,75. \end{cases} \quad (3.13)$$

Решая данную систему, имеем:

$a = -0,07259$; b $0,71446$; c $-0,62034$; d $-3,71063$.

Таблица 3.15 – Определение параметров эмпирической формулы (3.13) методом наименьших квадратов

x^0	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	y	xy	x^2y	x^3y
1	5	25	125	625	3125	15625	2,284	11,5	57,3	286,6
1	5,5	30,3	166,4	915,1	5032,8	27680,6	2,302	12,7	70,02	384,6
1	6	36	216	1296	7776	46656	2,354	13,9	83,5	501,1
1	6,5	42,3	274,6	1785,1	11602,9	75418,9	2,346	15,1	98,3	638,4
1	7	49	343	2401	16807	117649	2,342	16,2	113,4	794,05
5	30	182,6	1125	7022,2	44343,7	283030	11,628	69,4	422,52	2604,75

Откуда искомая математическая модель представляется:

$$\tilde{y} = -0,07259x^3 + 0,71446x^2 - 0,62034x - 3,71063. \quad (3.14)$$

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблица 3.16 показывает согласованность полученной эмпирической формулы с опытными данными.

Таблица 3.16 – Оценка точности эмпирической формулы (3.13)

i	y	$\tilde{y}$, вычисления по формуле (2)	Уклонение $\varepsilon = y - \tilde{y}$
1	2,284	1,975	+0,309
2	2,302	2,413	-0,111
3	2,354	2,608	-0,254
4	2,346	2,508	-0,162
5	2,342	2,057	+0,285

Здесь, имеем

$$\sum_{i=1}^{5} \varepsilon_i^2 = 0,279787.$$

Из формул (3.12) и (3.14) видно, что формула (3.12) лучше согласуется с экспериментальными данными, чем формула (3.14).

3.4.4 Построение математической модели для определения прочности минерального порошка (пыль от дробления)

Далее с применением метода наименьших квадратов построим математическую модель для прочности отсева. Имеются экспериментальные данные:

Таблица 3.17 – Определение математической модели от исходных данных прочности пыль от дробления

x**(содержание битума в асфальтобетоне), %)**	5	5,5	6	6,5	7
y**(плотность, г/см^3)**	9446	9714	10493	9169	8399

Предположим, что

$$y = ax^2 + bx + c \qquad (3.15).$$

Тогда для вычисления коэффициентов нормальной системы по табл. 3.19 имеем:

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

$$\begin{cases} 182,6a + 30b + 5c = 47221; \\ 1125a + 182,6b + 30c = 282006,5; \\ 7022,2a + 1125b + 182,6c = 1707631,9. \end{cases}$$

Решив систему, находим

$$a = -92,38316; \quad b \quad 537,094702; \quad c \quad 9595,283019.$$

Таблица 3.18 – Определение параметров эмпирической формулы (3.15) методом наименьших квадратов

x^0	x	x^2	x^3	x^4	y	xy	x^2y
1	5	25	125	625	9446	47230	236150
1	5,5	30,3	166,4	915,1	9714	53427	294334,2
1	6	36	216	1296	10493	62958	377748
1	6,5	42,3	274,6	1785,1	9169	59598,5	387848,7
1	7	49	343	2401	8399	58793	411551
5	30	182,6	1125	7022,2	47221	282006,5	1707631,9

Тогда, математический модель имеет следующий вид:

$$\tilde{y} = -92,38316x^2 + 537,094702x + 9596,283019. \qquad (3.16)$$

Таблица 3.19 показывает согласованность полученной эмпирической формулы с опытными данными.

Таблица 3.19 – Оценка точности эмпирической формулы (3.16)

i	y	$\tilde{y}$, вычисления по формуле (2)	Уклонение $\varepsilon = y - \tilde{y}$
1	9446	9972,2	-526,2
2	9714	9755,7	-41,7
3	10493	9493,1	+999,9
4	9169	9184,2	-15,2
5	8399	8829,2	-430,2

Сумма квадратов уклонений равна

$$\sum_{i=1}^{5} \varepsilon_i^2 = 1463728,42.$$

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Далее построим, математическую модель, полагая, что $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$.

С помощью таблицы 3.20 вычислим коэффициенты нормальной системы:

$$\begin{cases} 1125a + 182,6b + 30c + 5d = 47221; \\ 7022,2a + 1125b + 182,6c + 30d = 282006,5; \\ 44343,7a + 7022,2b + 1125c + 182,6d = 1707632; \\ 283029,5a + 44343,7b + 7022,2c + 1125d = 10462312. \end{cases}$$

Решая данную систему, имеем

$$a = 56,69517; \quad b = -575,70245; \quad c = 66,81755; \quad d = 17311,53502.$$

Таблица 3.20 – Определение параметров эмпирической формулы (3.16) методом наименьших квадратов

x^0	x	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6	y	xy	x^2y	x^3y
1	5	25	125	625	3125	15625	9446	47230	236150	1180750
1	5,5	30,3	166,4	915,1	5032,8	27680,6	9714	53427	294334,2	1616409,6
1	6	36	216	1296	7776	46656	10493	62958	377748	2266488
1	6,5	42,3	274,6	1785,1	11602,9	75418,9	9169	59598,5	387848,7	2517807,4
1	7	49	343	2401	16807	117649	8399	58793	411551	2880857
5	30	182,6	1125	7022,2	44343,7	283029,5	47221	282006,5	1707631,9	10462312

Откуда находим искомую эмпирическую формулу:

$$\tilde{y} = 56,69517x^3 - 575,70245x^2 + 66,81755x + 17311,53502. \qquad (3.17)$$

Как видно из табл. 3.21 результаты показывают согласованность полученной эмпирической формулы с опытными данными.

Таблица 3.21 – Оценка точности эмпирической формулы (3.17)

i	y	$\tilde{y}$, вычисления по формуле (2)	Уклонение $\varepsilon = y - \tilde{y}$
1	9446	10340	-894
2	9714	9696,7	+17,3
3	10493	9233,3	+1259,7
4	9169	8992,3	+176,7
5	8399	9016,3	-617,3

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Здесь, имеем

$$\sum_{i=1}^{5} \varepsilon_i^2 = 2798661,56.$$

Из формул (3.16) и (3.17) видно, что формула (3.17) лучше согласуется с экспериментальными данными, чем формула (3.17). Следовательно, здесь былобы правильней взять за математическую модель экспериментальных данных формулу (3.16).

3.4.5 Построение математической модели для определения прочности минерального порошка (зола-унос)

По результатам лабораторных испытаний получены следующие табличные данные (табличная функция) для прочности асфальтобетона с добавлением золы-уноса:

Таблица 3.22 – Определение математической модели от исходных данных прочности золы-уноса

***x*(содержание битума в асфальтобетоне), %**	5	5,5	6	6,5	7
***y*прочность**	8819	9904	10694	10078	9774

С методом наименьших квадратов построена эмпирическя формула от исходных данных золы-уноса. Анализы функции кривых для плотных смесей асфальтобетона с использованием золы-уноса показывает, что построенные графики ближе всего подходят к квадратичной функции (к параболе). Значит, модель, которую мы построим, будет иметь следующий вид:

$$\tilde{y} = ax^2 + bx + c, \qquad (3.18)$$

где a, b, c неизвестные коэффициенты. Для определения неизвестных коэффициентов составляем расширенную таблицу:

Таблица 3.23 – Определение параметров эмпирической формулы (3.18) методом наименьших квадратов

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

x^0	x	x^2	x^3	x^4	y	xy	x^2y
1	5	25	125	625	8819	44095	220475
1	5,5	30,25	166,375	915,0625	9904	54472	299596
1	6	36	216	1296	10694	64164	384984
1	6,5	42,25	274,625	1785,0625	10078	65507	425795,5
1	7	49	343	2401	9774	68418	478926
5	30	182,5	1125	7022,125	49269	296656	1809776,5
$\sum_{i=1}^{5} x_i^0$	$\sum_{i=1}^{5} x_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^2$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^3$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^4$	$\sum_{i=1}^{5} y_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i y_i$	$\sum_{i=1}^{5} x_i^2 y_i$

Полученные данные таблицы 3.23 подставляя в систему (3.19):

$$\begin{cases} a\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} x_i + cn = \sum_{i=1}^{n} y_i; \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^2 + c\sum_{i=1}^{n} x_i = \sum_{i=1}^{n} x_i y_i; \\ a\sum_{i=1}^{n} x_i^4 + b\sum_{i=1}^{n} x_i^3 + c\sum_{i=1}^{n} x_i^2 = \sum_{i=1}^{n} x_i^2 y_i. \end{cases} \qquad (3.19)$$

имеем следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} 182,5a + 30b + 5c = 49269, \\ 1125a + 182,5b + 30c = 296656, \\ 7022,125a + 1125b + 182,5c = 1809776,5. \end{cases}$$

Решаем эту систему методом Гаусса (метод исключения неизвестных). Для удобства вычисления преобразуем систему в виде:

$$\begin{cases} 5c + 30b + 182,5a = 49269, \\ 30c + 182,5b + 1125a = 296656, \\ 182,5c + 1125b + 7022,125a = 1809776,5. \end{cases}$$

Умножая первую строку на числа 6 и 36,5 и вычитав вторую и третью строку соответственно, получаем:

$$\begin{cases} 5c + 30b + 182,5a = 49269, \\ 2,5b + 30a = 1042, \\ 30b + 360,875a = 11458. \end{cases}$$

Умножая вторую строку на 12 и вычитая третью строку имеем:

$$\begin{cases} 5c + 30b + 182{,}5a = 49269, \\ 2{,}5b + 30a = 1042, \\ -0{,}875a = 1046. \end{cases}$$

Решая последнюю систему, находим искомые неизвестные:

$$a = -1195{,}42857, \quad b \quad 14761{,}9428, \quad c \quad -35084{,}714.$$

Тогда, искомая математическая модель из (3.21) (приближенная формула) запишется так:

$$\tilde{y} = -1195{,}42857x^2 + 14761{,}9428x - 35084{,}714. \qquad (3.20)$$

Подставляя значения содержания прочности асфальтобетона с золой-уноса (y) имеем следующую табл.3.25 который показывает согласованность полученной эмпирической формулы с опытными данными.

Таблица 3.24 – Оценка точности эмпирической формулы (3.20)

i	x	y	$\tilde{y}$, вычисления по формуле (2)	Уклонение $\varepsilon = \tilde{y} - y$
1	5	8819	8839,2857	+20,2857
2	5,5	9904	9944,2552	+40,2552
3	6	10694	10451,5143	-242,4857
4	6,5	10078	10361,0571	283,0571
5	7	9774	9672,887	-101,113

Так, с помощью метода наименьших квадратов построили математические модели (эмпирические формулы) с применением экспериментальных данных, которые были получены при изучении состава золы-уноса и минеральных материалов в лабораторных условиях.

Таким образом, представлена искомая математическая модель в виде уравнений для описания и прогнозирования прочности асфальтобетона с применением золы-уноса, у которой исходные лабораторные данные асфальтобетона не имеет особых отклонений от результатов математических данных.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Полученная методика построения математической модели мо… использоваться для всех характеристик асфальтобетона, полученных при исследовании в лабораторных условиях.

3.5 Наблюдение за экспериментальным участком

Научные результаты исследований апробированы при реконструкции автомобильной дороги совместно с дорожно-строительной организацией «ПЛУАД №1» города Бишкек.

Так, в 2014 г. на АБЗ расположенном в г. Токмок Чуйской области, была приготовлена асфальтобетонная смесь Тип I с использованием минерального порошка из золы-уноса. В качестве минеральных составляющих использовались щебень и пыль от дробления. Общее количество приготовленной асфальтобетонной смеси составило 109 т. Выпущенная из смесительной установки асфальтобетонная смесь полностью покрыты вяжущим, внешне выглядела однородной.

Как известно, при строительстве дорожных покрытий особое внимание уделяется транспортированию готовых асфальтобетонных смесей к местам их укладки, при соблюдении и выполнении всех требований, предъявляемых к этому процессу.

Приготовленная асфальтобетонная смесь транспортировалась к месту укладки в открытом автосамосвале, и разгружался в приемник укладчика. Укладка асфальтобетона производилась по общепринятой технологии, уплотнение – легкими, средними и тяжелыми катками.

Асфальтобетонная смесь с минеральным порошком из золы-уноса использовалась при реконструкции автомобильной дороги по улице Московской в с. Новопокровка г.Токмок. Площадь устроенного участка составила 900 м^2.

С момента устройства конструктивного слоя асфальтобетонного покрытия с применением золы-уноса за экспериментальными участками было

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

установлено наблюдение. Наблюдение заключалось в ежегодном визуальном осмотре состояния покрытия экспериментального участка, инструментальных измерениях и отборе проб для определения физико-механических показателей асфальтобетона.

После первого года эксплуатации отмечалось:

1. Наличие на асфальтобетонном покрытии незначительного количества трещин в продольном направлении в зоне сопряжения 2-х смежных технологических полос укладки асфальтобетонного покрытия.

2. Вдоль трещин в отдельных местах наблюдалось выкрашивание. Покрытия находятся в хорошем состоянии, на них отсутствует колейность и разрушения несмотря на достаточновысокую интенсивность движения.

После второго года эксплуатации отмечалось:

1. Более интенсивное выкрашивание в зоне трещин на стыке двух технологических полос.
2. Новых видов дефектов не наблюдалось.

Данные эксперимента свидетельствуют о том, что характеристики асфальтобетона с применением золы-уноса за 2 года эксплуатации не претерпели существенных изменений. На основе третьего года эксплуатации покрытия можно сделать следующие выводы:

- за период эксплуатации экспериментального участка на поверхности наблюдались незначительные разрушения в виде продольных трещин в зонах сопряжения технологических полос укладки асфальтобетона, редких поперечных трещин, и выкрашивания покрытия в районах трещин;
- отмеченные дефекты поверхности асфальтобетона свидетельствуют о том, что в отдельных местах имело место некачественное сопряжение стыков технологических полос укладки асфальтобетона и несоблюдение режима уплотнения асфальтобетонной смеси.

За опытным участком ведутся систематические наблюдения.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

3.6. Заключение по главе 3

1. Для практической реализации результатов работы представлена технологическая схема производства асфальтобетона с минеральным порошком из техногенного сырья. Процесс производства позволяет применять минеральный порошок из техногенного сырья, без дополнительных технологических требований.

2. Свойства минерального порошка оказывают большое влияние на пористость асфальтобетона, обладая удельной развитой поверхностью. Добавление в установленных пределах требуемого количества минерального порошка повышает плотность асфальтобетона, придавая ему более высокую поровую структуру, следовательно повышая высокую коррозионную устойчивость.

3. Экспериментальные исследования показали целесообразность использования золы-уноса ТЭЦ г.Бишкек в составе асфальтобетона, что позволяет создать реальные условия для экономии таких дефицитных материалов, как минеральный порошок.

4. С помощью метода наименьших квадратов были построены математические модели (эмпирические формулы) на основе опытных данных. Разработанная методика математического планирования эксперимента при оптимизации состава асфальтобетонных смесей, позволяет создать уловия для расчета лабораторных данных и может использоваться для определения всех характеристик асфальтобетона.

5. Апробация производства асфальтобетона с применением минерального порошка из золы-уноса проводилась в промышленных условиях на базе предприятия «ПЛУАД №1» Чуйской области. Разработанные материалы использованы при реконструкции автомобильной дороги по улице Московской в с. Новопокровка Чуйской области.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ГЛАВА 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ИЗ ЗОЛЫ-УНОСА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ АСФАЛЬТОБЕТОНА

В последнее время целесообразное использование сырьевых материалов дорожного строительства является наиболее актуальной и перспективной разработкой, при этом особое внимание уделяется материальным затратам, в связи с высокой стоимости дорожно-строительных материалов и работ [154].

Испытание разработанного материала для асфальтобетона дали положительные результаты физико-механических свойств материалов, при этом экономическая эффективность обусловлена использованием техногенного сырья с целью замены дорогостоящего минерального порошка, на материал являющийся отходом ТЭЦ, которое расширяет номенклатуру сырьевых материалов для дорожного строительства.

4.1 Расчет экономической эффективности применения золы-уноса в составе асфальтобетона.

Дорога должна прослужить заданный срок времени и быть экономичной, т.е. обладать достаточной прочностью при различных нагрузках.

Применяемый минеральный порошок из техногенного сырья в качестве минерального компонента в асфальтобетонных смесях позволит повысить требуемую прочность асфальтобетона, снижая, стоимость асфальтобетона и позволяет раширить номенклатуру дорожно-строительных материалов.

Технико-экономическая эффективность предлагаемого состава, используемых для дорожного строительства, складывается за счет повышения качественных характеристик конечного материала.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

В работе приводятся расчеты экономической эффективности применения золы-уноса в качестве минерального порошка в составе асфальтобетона.

Сухая зола-унос образующееся при факельном сжигании каменного и бурого угля в котлах ТЭЦ, улавливаемые электрофильтрами, складируется в силосах хранилищах. Именно из этих хранилищах производится отпуск золы-уноса на производство. Калькуляция цен на отпуск 1 т. сухой золы-унос представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Калькуляция 1 т сухой золы-уноса

№/п	Наименование затрат	Общая стоимость, сом
1.	Зарплата	79,0
2.	Соцстрах 17,25 %	13,6
3.	Амортизация	7,6
4.	Электроэнергия	26,9
5.	Накладные расходы 250 %	197,6
6.	НДС -12 %	39,0
7.	Налог с продаж 2,0 %	6,5
Итого:		**370,2**

Стоимость 1 т. сухой золы-уноса ТЭЦ г.Бишкек составляет 370,2 сом.

Экономическая эффективность использования золы-уноса в качестве минерального порошка, характеризуется экономией средств, получаемой за счет снижения стоимости минеральной добавки.

Экономическая эффективность рассматривается с позиции замены, традиционно-используемых для производства асфальтобетонной смеси минерального порошка на смесь золы-уноса.

Расчет выполнен для условий действующего предприятия по выпуску асфальтобетонной смеси в асфальтобетонном заводе «ПЛУАД №1».

Экономический эффект для получения 1 тонны асфальтобетонного материала с применением золы-уноса составляет 91,14 сом.

Эффективность за 1 км дороги составляет 68400 сом.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

В табл. 4.2 представлена стоимость асфальтобетонной смеси с использованием традиционного минерального порошка.

Таблица 4.2 – Асфальтобетонная смесь с использованием традиционного минерального порошка

Наименование материалов	Норма расхода, т	Стоимость за единицу, сом	Общая стоимость,сом
Щебень, отсев	0,881	205,46	181,01
Минеральный порошок	0,057	1890,00	107,73
Битум БНД 60/90	0,062	30000,00	1860
Итого:	1,0		**2148,74**

Табл. 4.3 показывает калькуляцию расходов на приготовление 1 тонны горячей асфальтобетонной смеси с использованием традиционного минерального порошка.

Таблица 4.3 – Калькуляция на приготовление 1 тонны горячей асфальтобетонной смеси с использованием традиционного минерального порошка

№/п	Наименование элементов затрат	Общая стоимость материалов, сом
1.	Горюче-смазочный материал	632,7
2.	Электроэнергия	9,91
3.	Основная заработная плата	6,88
4.	Отчисление соц.фонду 17,25 %	1,19
5.	Транспортные расходы	52,87
6.	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования и механизмов	149,37
7.	Плановые накопления 8 %	247,33
8.	Асфальтобетон с традиционным минеральным порошком	2148,74
Итого по калькуляции:		**3248,99**

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Стоимость 1 т асфальтобетонной смеси с использованием золы-уноса представлена в табл. 4.4.

Таблица 4.4 – Асфальтобетонная смесь с использованием золы-уноса

Наименование материалов	Норма расхода, т	Стоимость за единицу	Общая стоимость,сом
Щебень, отсев	0,908	205,46	186,56
Минеральный порошок	0,03	370,2	11,10
Битум БНД 60/90	0,062	30000,00	1860
Итого:	1,0		**2057,6**

В табл. 4.5 представлена калькуляция расходов на приготовление 1 тонны горячей асфальтобетонной смеси с использованием минерального порошка из золы-уноса.

Таблица 4.5 – Калькуляция на приготовление 1 тонны горячей асфальтобетонной смеси с использованием золы-уноса

№/п	Наименование элементов затрат	Общая стоимость материалов, сом
1.	Горюче-смазочный материал	632,7
2.	Электроэнергия	9,91
3.	Основная заработная плата	6,88
4.	Отчисление соц.фонду 17,25 %	1,19
5.	Транспортные расходы	52,87
6.	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования и механизмов	149,37
7.	Плановые накопления 8 %	247,33
8.	Асфальтобетон с золой-уноса	**2057,6**
Итого по калькуляции:		**3157,85**

1) Площадь устроенного участка (150х6,0 м) = 900м^2;

2) Использована асфальтобетонная смесь (900м^2 х0,216т) = 109 т.

3) Стоимость асфальтобетонной смеси с использованием традиционного минерального порошка составляет: (109 х 3248,99) = 354,140 т.сомов;

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

4) Стоимость асфальтобетонной смеси с использованием золы-унос составл.
(109 х3157,85) = 344,205 т.сомов;

5) Экономический эффект (354,140-344,205) = 9,935 т.сом. за 900м^2 или 109 т.

6) Экономический эффект за 1м^2 – 11,4 с.

7) Экономический эффект за 1 км дороги
(1000 м х 6,0) = 6000м^2 х 11,4 = 68400 с.

4.2 Экологическая целесообразность применения золы-уноса при производстве асфальтобетона

В последнее время наиболее актуальны вопросы, связанные с улучшением экологической ситуации не только в нашей Республике, но и за ее пределами.

Утилизация золы и решение экологических проблем как комплексная задача, должны рассматриватся вместе для достижения успеха - дальнейшего развития экономики, при условии сохранения окружающей среды в планетарном масштабе.

За последние 50-60 лет работы ТЭЦ в мире образовалось огромное количество золошлаковых отходов (рис.4.1), которые требуют пристального внимания с целью утилизации или переработки для улучшения экологической ситуации в стране и решения производственных проблем с получением определенного вида сырья и материалов.

Как видно из рисунка утилизация золы-уноса является задачей планетарного масштаба, в связи с его огромным количеством накопления.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

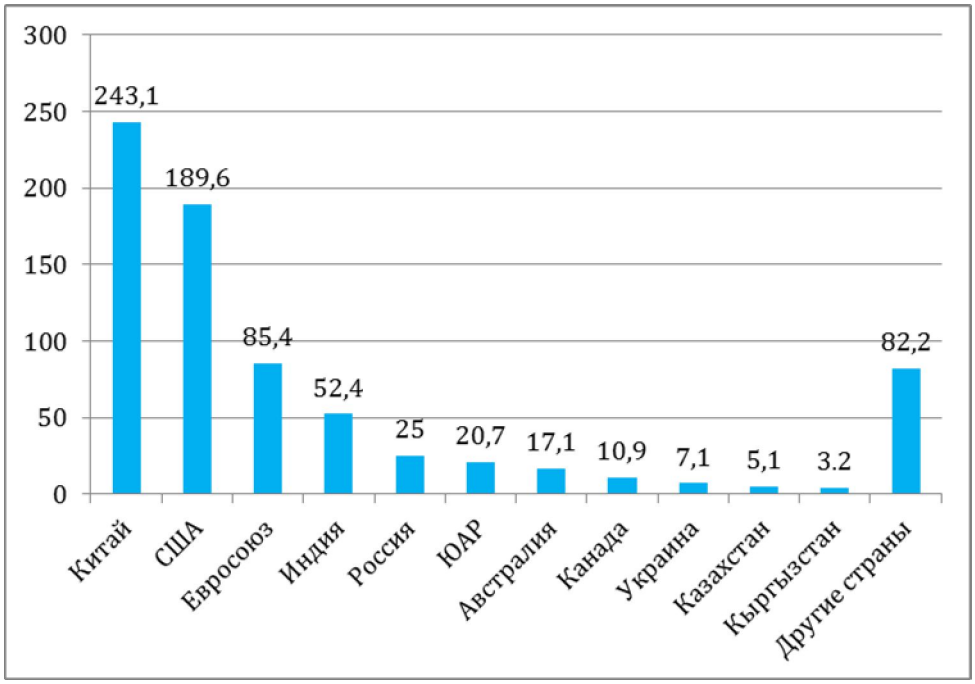


Рис. 4.1 – Производство золошлаковых отходов в мире за последние годы (млн.т.)

В последние годы многие электростанции сталкиваются с проблемой расширения существующих золоотвалов, оформления и выкупа земель под золотвалы, а также постоянным ростом экологических платежей за загрязнение окружающей среды, все это приводит к росту себестоимости электрической энергии.

Применение и утлилизация золошлаковых отходов электростанций позволяет не только освободить значительные площади занятые золоотвалами, но и производить дешевые строительные материалы необходимые в народном хозяйстве страны [156].

Если учесть, что около 70 % всей электроэнергии в г. Бишкеке вырабатывается при сжигании твердого топлива, то рост золошлаковых отходов будет продолжаться и, следовательно, возрастет их отрицательное воздействие на окружающую среду.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таким образом, утилизация золошлаковых отходов становится уже столько вопросом экономии материальных ресурсов, сколько проблемой безопасности населения страны.

Так, использование зол Бишкекской ТЭЦ в дорожном строительстве позволит снизить себестоимость материалов, расширить сырьевую базу промышленности строительных материалов, улучшить экологическую обстановку города.

Целесообразное использование золы-уноса, как техногенный продукт для производства строительных материалов с экологической точки зрения является весьма перспективной и позволяет решить следующие народнохозяйственные задачи:

- пополняются ресурсы конструктивно-строительных материалов:
- создаются реальные условия, для экономии таких дефицитных материалов, как минеральный порошок;
- утилизируется и химически прочно связывается огромное количество загрязняющих окружающую среду промышленных отходов;
- освобождаются ценные земельные участки, отчуждаемые под золошлакоотвалы;
- с использованием золы-уноса, являющегося отходом местного производства, в народном хозяйстве решается немаловажное мероприятие – защита окружающей среды от загрязнения данного вида отхода.

4.3. Заключение по главе 4

1. Экономическая эффективность применения минерального порошка из золы-уноса обусловлена повышением эксплуатационных характеристик асфальтобетона на его основе без удорожания материальных затрат. Расчетный экономический эффект от снижения себестоимости укладки асфальтобетона с применением золы-уноса за 1 км дороги составляет 68400 сом.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2. Применение разработанного материала позволит решить экологическую проблему, за счет использования отхода ТЭЦ, а также снизит затраты на хранение вышеуказанного материала, освобождая занятые земли под хозяйственные нужды.

ВЫВОДЫ

На основании вышеизложенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Проведен анализ состава и свойств золы-уноса с последующим теоретическим обоснованием и экспериментальным подтверждением возможности применения в качестве минерального порошка для асфальтобетонной смеси.
2. Установлен рациональный состав асфальтобетона с применением золы-уноса в количестве 3 %, способствующее повышению плотности на 5,1 %, прочности на 4 %, а текучесть на 0,8 мм ниже, т.е. асфальтобетон с применением золы-уноса показывает результаты не ниже асфальтобетона с обычным минеральным порошком.
3. Выявлено, что асфальтобетон с исследуемым минеральным порошком обладает высокой релаксационной способностью при перепадах температур,
   что позволить снизить вероятность накопления остаточных деформаций, а, следовательно, увеличить срок службы покрытия автомобильных дорог.
4. Обоснована, что при добавлении золы-уноса ТЭЦ в асфальтобетонную смесь увеличивается плотность материала на 5,1 %, это снижает водопроницаемость покрытия, что повышает коэффициент сцепления между колесом и покрытием. Это обстоятельство сокращает тормозной путь автомобилей, что значительно сократит возможность аварийных ситуаций.
5. Для практической реализации результатов работы разработана технологическая схема производства асфальтобетона с применением золы-уноса, процесс производства которого позволяет применять минеральный порошок из техногенного сырья без дополнительных технологических требований.
6. Разработана методика математического планирования эксперимента при оптимизации состава асфальтобетонных смесей, позволяющий создать условия для расчета лабораторных данных;
7. Выявлено, что стоимость асфальтобетона с использованием минерального порошка из золы-уноса ниже стоимости от традиционного минерального

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

порошка и расчетный экономический эффект за 1 км дороги составил 68400 сом;

8. Применение разработанного материала позволит решить экологическую проблему за счет использования отхода ТЭЦ. Использование 1 тонны золы-уноса экономит от 50 до 77 $м^3$ воды от гидроудаления, 30-40 кВт ч электроэнергии, а также снизит затраты на хранение вышеуказанного материала, освобождая занятые плодородные земли под хозяйственные нужды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальная стратегия устойчивого развития Кыргызской Республики на период 2013-2017 г. [Текст] // Норматив.акты Кырг. Респ. – 2013. – № 9. – С. 3-56.

2. Рыбьев, И.А. Асфальтовые бетоны [Текст] / И.А. Рыбьев. – М.: Высш. шк., 1969. – 399 с.

3. Гезенцвей, Л.Б.Дорожный асфальтобетон [Текст] / Л. Б. Гезенцвей. – М.: Транспорт, 1985. – 276 с.

4. Левитин, И.Е. Повышение эффективности строительства и эксплуатации автомобильных дорог [Текст] / И. Е. Левитин // Совещание по вопросу повышения эффективности строительства и эксплуатации автомобильных дорог. – М., 2011. – 30 мая [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gtlk.ru/upload/news/.../I_Levitin_pres.pdf. – Загл. с экрана.

5. Маркова, Е. Ю. Золобитумные вяжущие для асфальтобетонных смесей [Текст]: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.05 / Е. Ю. Маркова. – Белгород, 2016. – 30 с.

6. Королев, И.В. Дорожный теплый асфальтобетон [Текст] / И.В Королев. – Киев: Вища шк., 1977. – 156 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

7. Пенев, Д.П. Пыль электрофильтров в качестве минерального порош. [Текст] / Д.П.Пенев, В.А. Николов // Пьтища. – 1992. – №3. – С. 24-26.

8. Горелышев, Н.В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы [Текст] / Н.В. Горелышев. – М.; Можайск: Терра, 1995. – 176 с.

9. Ладыгин, Б.И. Прочность и долговечность асфальтобетона [Текст] / Б.И. Ладыгин. – Мн.: Изд-во Наука и техника, 1972. – 288 с.

10. Борщ, И. М. Структурообразующая роль минеральных порошков в асфальтовых смесях [Текст] / И. М. Борщ // Тр. Харков. автомобильно-дорож. ин-т. – 1952. – Вып. 17. – С. 102-115.

11. Дорожно-строительные материалы [Текст] / [М. И. Волков, В. О. Гельмер, Л. Ф. Засобин, Ф. Н. Пантелеев]. – М.:Автотрансиздат, 1960. – 546 с.

12. Сахаров, П. В. Дорожные строительные материалы [Текст] / П. В. Сахаров. – М.: Гострансстехиздат, 1938. – 256 с.

13. Гриневич, Н.А. Дорожно-строительные материалы [Текст]: учеб.пособие / Н.А. Гриневич. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т., 2011. – 97 с.

14. Котлярский, Э. В. Роль битумоемкости в формировании структуры и свойств асфальтобетонных смесей [Текст] / Э. В. Котлярский // Информационные технологии в автотранспортном комплексе: сб. тр. – М., 2006. – Вып. 1: Междунарная академия игнформ. технологий. – С. 45-52.

15. Модификация битума [Текст] / Т.С. Худякова, Р.М. Смирнов, Л. В. Колеров и др. // Дорожная держава. – 2010. – № 25. – С. 66-71.

16. Прошин, А.П. Структура и свойства модифицированного серного вяжущего [Текст] / А.П. Прошин, Е.В. Королев, Е.Г. Калинкин // Строительные материалы. – 2005. – № 7. – С. 6-10.

17. Хойберга, А. Дж. Битумные материалы (асфальты, смолы, пеки) [Текст]: пер. с англ. / А. Дж. Хойберга. – М.: Химия, 1974. – 248 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

18. Колбановская, А.С.Дорожные битумы [Текст] / А. С. Колбановская, [illegible] Михайлов. – М.: Транспорт, 1973. – 268 с.

19. Лысихина, А. И. Поверхностно - активные добавки для повышения водоустойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей [Текст] / А. И. Лысихина. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 232 с.

20. Волков, М. И. Исследование минеральных порошков для асфальтовых смесей [Текст] / М. И. Волков, И. М. Борщ // Тр. Харьков. автомобильно-дорож. ин-т. – 1959. – Вып. 18. – С. 71.

21. Борщ, И.М. Минеральные порошки для асфальтобетонных материалов [Текст] / И.М. Борщ, Л.С. Терлецкая // Тр. Харьков. автомобильно-дорож. ин-т. – 1961. – Вып. 26. – С. 12-27.

22. Королев, В. И. Дорожно-строительные материалы [Текст] / И. В. Королев, В. Н. Финашин, Л. А. Фендер. – М.: Транспорт, 1988. – 186 с.

23. Горелышев, Н.В. Механические свойства битума в тонких слоях [Текст] / Н.В. Горелышев, Г.Н. Акимова, И. И. Пименова // Тр. Моск. автомобильно-дорож. ин-т.– 1958. – Вып. 23. – С. 76-90.

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

25. Михайлов, Н. В. Физико-химическая механика асфальтового бетона [Текст] / Н. В. Михайлов // Материалы работ симпозиума, по структуре и структурообразованию в асфальтобетоне. – Балашиха, 1968. – С. 24-28.

26. Рыбьева, Т. Г. Исследование влияния минералогического состава порошков на структурно-механические свойства битумоминеральных материалов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т. Г. Рыбьева. – М., 1960. – 18 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

27. Золотарев, В.А. Особенности смачивания битумом поверхно[illegible] каменных материалов [Текст] / В.А. Золотарев // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. – 1991. – №8. – С. 62-69.

28. Полимермодифицированные материалы для дорожно-строительной отрасли [Текст] / М.А. Высоцкая, Д.А. Кузнецов, С. Ю. Русина и др. // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сб. Междунар. конф. – Белгород, 2013. – С. 91-95.

29. Шалыт, С. Я. Влияние активного наполнителя и растворителя на структурно-механические свойства битумов [Текст] / С. Я. Шалыт, М. В. Михайлов, П. А. Ребиндер // Коллоидный журн. – 1957. – Т. 19. – С. 242-250.

30. Михайлов, Н. В. Физико-химическая механика асфальтового бетона [Текст] / Н. В. Михайлов // Материалы работ симпозиума, по структуре и структурообразованию в асфальтобетоне. – Балашиха, 1968. – С. 24-28.

31. Смирнов, В. М. Структура и механические свойства асфальтового бетона [Текст] / В. М. Смирнов//Тр. Харьков.автомобильно-дорожн. ин-т. – 1954.– Вып. 17.– С. 59-68.

32. Сюньи, Г.К. Дорожный асфальтовый бетон[Текст] / Г.К. Сюньи. – Киев: Госстройиздат, 1962. – 232 с.

33. Золотарев, В. А. О вкладе составляющих асфальтобетона в его прочность [Текст] / В. А. Золотарев // Повышение эффективности использования материалов при строительстве асфальтобетонных покрытий: тр. Союздорнии. – М., 1989. – С. 77-79.

34. Наркевич, И. П. Утилизация и ликвидация отходов в технологии неорганических веществ [Текст] / И. П. Наркевич, И. П. Печковский. – М.: Химия, 1984. – 240 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

35. Лысихина, А. И. Поверхностно-активные добавки для повыше водоустойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей [Текст] / А. И. Лысихина. – М.:Автотрансиздат, 1957. – 184 с.

36. Бусел, А.В. Эколого-технологические основы производства и применения дорожно-строительных материалов с использованием техногенных отходов [Текст]: автореф. дис. … д-ра техн.наук: 05.23.05/ А. В. Бусел. – Мн., 1996. – 35 с.

37. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст]: учеб. пособие для студ. строит. спец. вузов / Л.И. Дворкин, И.А. Пашков. –Киев: Вища шк., 1989. –207 с.

38. Мелешкин, М. Т. Промышленные отходы и окружающая среда [Текст] / М. Т. Мелешкин, В. Н. Степанов. – Киев: Наукова Думка, 1980. – 180 с.

39. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение [Текст] / И. А. Рыбьев. – М.: Высш. шк., 2002. – 700 с.

40. Русина, В.В. Минеральные вяжущие вещества на основе многотоннажных промышленных отходов [Текст]: учеб.пособие / В.В. Русина. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2007. – 221 с.

41. Путилин, Е. И. Основные направления и принципы использования зол уноса и золошлаковыхсмесейТЭС СССР в дорожном строительстве. Социнновация [Текст] / Е. И. Путилин, В. С. Цветков. – М.: [б.и.],1990.– 32 с.

42. Путилин, Е.И. Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС [Текст] / Е.И. Путилин, В. С. Цветков. – М.: Гос. дор. НИИ ФГУП Союздонии, 2003. – 60 с.

43. Мымрин, В.А. Топливные золы и шлаки гидроудаления как вяжущее для стабилизации фунтов [Текст] / В. А. Мымрин // Использование отходов промышленности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог в Нечерноземной зоне РСФСР. – Владимир, 1990. – С. 87.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

44. Инструкция по применению зол и шлаков тепловых электростан… УССР при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог (РСН 288-77) [Текст]. – Киев: Госстрой УССР, 1977. – 96 с.

45. Семенов, В. А. Опыт использования местных природных материалов и отходов промышленности в дорожном строительстве [Текст] / В. А. Семенов. – М.: Транспорт,1991. – 186 с.

46. Михайлов, К. В. Использование новых легких материалов и отходов производства в строительстве [Текст] / К. В. Михайлов, Г. А. Бужевич. – М.: Стройиздат, 1972. – 400 с.

47. Суровцев, В.В. Золы и шлаки как сырье для строительных материалов [Текст] / В. В. Суровцев. – М.: Госстройиздат, 1933. –117 с.

48. Бернштейн, С. А. Электрические станции [Текст] / С. А. Бернштейн, Д. И. Латыш. – М., 1943. – № 11/12. – С. – 243.

49. Коган, Л. С. Цементы для гидротехнического бетона [Текст] / Л. С. Коган, Т. М. Рущук // Тр. Гос. Всесоюз. науч.-исслед. и проект. ин-т цемент. пром-сти. – М., 1949. – Вып. 11. – С. 3-169.

50. *Рущук, Г.М.* Труды Гипроцемента [Текст] / Г. М. *Рущук, Е. Г. Егерева.* – Л: Госстройиздат.–1961. – Вып. 23. – 242 с.

51. Горячков, И. Л. Укрепление дисперсных грунтовзолами-уноса тепловых электростанций и их активизация [Текст] / И. Л. Горячков, Л. В. Гончаров, М. П. Панюкова // Тр. Союздорнии. – 1973. – Вып. 66. – С. 71-90.

52. Володько, В.П. Применение зол и шлаков тепловых электростанций в дорожном строительстве [Текст] / В. П. Володько // УкрНИИНТИ. – 1974. – № 4. – С.11-18.

53. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов:Притвердений в пропарочих камерах и автоклавах [Текст] / [А. В. Волженский, Ю. С. Буров, Б. Н. Виноградов, К. В. Гладких]. – М.: Стройиздат, 1969. – 392 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

54. Шустер, Дж.С.Зола-уноса, как строительный материал для насыпных сооружений [Электронный ресурс] / Дж. С. Шустер, Р. Л. Хансен. – Режим доступа: American Societyof Civil Engineers Gournal of Power Division. 1972. torn 98. – Загл. с экрана.

55. Рекомендации по применению золы и шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций в тяжелых бетонах и строительных растворах [Текст]. – М.: Стройиздат, 1977. – 30 с.

56. Кокубу, М. Зола и зольные цементы [Текст] / М. Кокубу, Д. Ямада // V Международный конгресс по химии цемента (7-11 окт. 1968 г., Токио). – М., 1973. – С. 405-416.

57. Данилович, И. Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов [Текст] / И. Ю. Данилович, Н. А. Сканави. – М.: Высш. шк., 1988. – 77 с.

58. Стольников, В. В. Гидротехнический бетон с добавкой топливной золы-уноса [Текст] / В. В. Стольников, В. В. Кинд. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 124 с.

59. Рябошапко, Ю.И. Испытание опытных конструкций из бетона с добавкой золы-уноса [Текст] / Ю. И. Рябошапко // Экспресс информ. Информэнерго. Сер.: Строительная индустрия. – 1973. – № 5. – С. 10-14.

60. Горячков, И. Л. Укрепление дисперсных грунтовзолами-уноса тепловых электростанций и их активизация [Текст] / И. Л. Горячков, Л. В. Гончаров, М. П. Панюкова // Тр. Союздорнии. – 1973. – Вып. 66. – С. 71-90.

61. Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов (при твердении в пропарочных камерах и автоклавах) [Текст] / [А. В. Волженский, Ю. С. Буров, Б. Н. Виноградов, К. В. Гладких]. – М.: Стройиздат, 1969.– 392 с.

62. Богуславский А.М. Асфальтобетонные покрытия / А.М. Богуславский, Л.Г. Ефремов. - М.: МАДИ, 1981. - 145 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

63. ГОСТ 9128-97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные асфальтобетон [Электронный ресурс]. – Режим доступа:www.avtobeton.ru/gost/9128-97.html. – Загл. с экрана.

64. А.с. №41432. Курнаев, М.А. Способ изготовления асфальтового бетона [Текст] / М.А.Курнаев. – от 31.01.1935.

65. Золотарев, В.А. О вкладе составляющих асфальтобетона в его прочность [Текст] / В.А. Золотарев // Повышение эффективности использования материалов при строительстве асфальтобетонных покрытий: тр. Союздорнии. – М., 1989. – С. 72-83.

66. Адеева, Л.Н. Зола ТЭЦ – перспективное сырье для промышленности / Л.Н. Адеева, В.Ф. Борбат // Вестн. Ом. Ун-та. – 2009. – № 2. – С. 140–153.

67. Ярмолинская, Н.И. Использование золошлаков гидроудаления дальневосточных ТЭС / Н.И. Ярмолинская, И.Е. Закурдаев, А.С. Латкин // Автомобильные дороги. – 1988. – № 9. – С 17–22.

68. Стольников, В.В. Использование золы уноса от сжигания пылевидного топлива на тепловых электрических станциях [Текст] / В. В. Стольников. – Л.: Энергия, 1969. – 49 с.

69. Золотарев, В.А.Долговечность дорожных асфальтобетонов [Текст] /В.А. Золотарев. – Харьков: Вища шк., 1977. – 116 с.

70. Шеферд, П. Б. Минеральные наполнители [Текст] / П. Б. Шеферд. – М.: Москва, 1971. – 235 с.

71. Лучкин, А.И. Исследование минеральных порошков из зол-уноса ТЭЦ и асбоцементных отходов для дорожного асфальтобетона [Текст]: автореф. дис. … канд. техн. наук / А. И. Лучкин. – М., 1971. 23 с.

72. Коротаев, А.П. Повышение качества асфальтобетона за счет использования пористого минерального порошка [Текст]: дис. … канд. техн. наук. / А. П. Коротаев. – Белгород, 2009. – 161 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

73. Котлярский, Э.В. Структурообразование асфальтобетона и структурно-реологические свойства [Текст] / Э.В. Котлярский // Методы и средства повышения надежности материалов и сооружений на автомобильных дорогах: сб. науч. тр. МАДИ. – М., 2000. – С. 48-56.

74. Джороев, Т.Дж. Состояние и перспективы развития современных автомобильных дорог в Киргизии [Текст] / Т. Дж. Джороев. – Фрунзе: КиргизИНТИ, 1979. – 41 с.

75. Ильин, А.Н. Дорожный бетон на цементно-зольном вяжущем [Текст]: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.23.05 / А. Н. Ильин. – Новосибирск, 1986. – 19 с.

76. Караханиди, С.Г. Использование золы как вторичного сырья в строительстве [Текст] / С.Г. Караханиди. – Фрунзе: Кыргызстан, 1990. – 120 с.

77. Абеков,Т.У. Использование отходов промышленности Киргизии в строительстве дорожных покрытий [Текст] / Т. У. Абеков, Т. С. Сыдыков. – Фрунзе: КиргизИНТИ, 1982. – 47 с.

78. Сыдыков, Т.С. Технология и геоэкология при использовании вторичных продуктов промышленности Кыргызской Республики [Текст] / Т. С. Сыдыков. – Бишкек: Кыргызстан, 2008. – 106 с.

79. Сартбаев, М. К. Безотходное использование минерального сырья и вторичных ресурсов в Киргизии [Текст] / М. К. Сартбаев. – Фрунзе: Кыргызстан, 1988. – 78 с.

80. Состав и свойства золы и шлака [Текст]: справ.пособие / [В.Г. Пантелеев, Э.А. Ларина, В.А. Меленьев и др.]. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.– 285 с.

81. Состав и свойства золы и шлака ТЭС [Текст] / [В.Г. Пантелеев, Э.А.Ларина, В.А. Мелентьев и др.; под ред. В.А.Мелентьева]. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.

82. Мелентьев, В.А. Гидрозолоудаление и золоотвалы [Текст] /В.А. Мелентьев, Е.З.Нагли. – Л.: Энергия, 1968. – 232 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

83. Панибратов, Ю.П. К вопросу применения зол ТЭС в бетонах [Текст] / Ю.П. Панибратов, В.Д. Староверов // Технология бетонов. – 2011. – № 1/2. – С. 43-47.

84. Володько, В.П. Применения зол и шлаков тепловых электростанций в дорожном строительстве [Текст] / В. П. Володько. – Киев: Вища шк., 1974. – 80 с.

85. Савелов, И. Г. Использование зол гидроудаления в строительстве и производстве строительных материалов Киргизии [Текст]: обзор.информ. / И. Г. Савелов,С.Г.Караханиди, Н.М.Иванова. – Фрунзе: КиргизИНТИ, 1976. – 44 с.

86. Гершберг, О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий [Текст] / О. А. Гершберг. – М.: Стройиздат, 1971. – 359 с.

87. Элинзон, М. П. Топливосодержащие отходы промышленности в производстве строительных материалов [Текст] / М. П. Элинзон, С.Г. Васильков. – М.: Стройиздат, 1980. – 234 с.

88. Козлов, В.М. Поведение минеральной части угля при размоле и сжигании в топках котлов с твердым шлакоудалением [Текст] / В. М. Козлов. – Томск, 2000. – 217 с.

89. Розанова, Ф.А. Определение вклада ТЭЦ, формирование токсичного фона городов [Текст]: дис. … канд. техн. наук / Ф. А. Розанова. – М., 1990. – 178 с.

90. ТЭЦ г. Бишкек. ОАО «Электрические станции» (26 мая 2014) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.energo-es.kg. – Загл. с экрана.

91. Урманбетов, К. Исследование содержания тяжелых металлов в почвах г.Бишкек образованных выбросами труб ТЭЦ [Текст] / К. Урманбетов, Р. А. Таштанов, Б. Т.Жолболдиев // Изв. НАН Кырг. Респ. – 2007. – № 2. – С. 3-4.

92. Козлов, В. М. Поведение минеральной части угля при размоле и сжигании в топках котлов с твердым шлакоудалением [Текст] / В. М. Козлов. – Томск: [б.и], 2000. – 215 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

93. Данилович, И.Ю. Использование топливных шлаков и зол производства строительных материалов [Текст] / И. Ю. Данилович, Н. А. Сканави. – М.: Высш. шк., 1988. – 149 с.

94. AASHTO T 245 Standard Method of Test for Resistance to Plastic Flow of Asphalt Mixtures Using Marshall, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2015.

95. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов Технические условия [Текст]: Введ.01.01.1995 – М.: Изд-во стандартов, 1995.

96. Получение пеностекольных материалов на основе золошлаковых отходов в тепловых электростанциях [Текст] / О.В. Казьмина, Н.А. Кузнецова, В.И. Верещагин, В. П. Казьмин // Изв. Том.политехн. ун-та.– 2011. – Т. 319, № 3. – С. 52-56.

97. ГОСТ Р 52129–2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия [Текст]: Введ. 27.06.2003. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 22. – С. 41-45.

98. Котлярский, Э. В. Роль битумоемкости в формировании структуры и свойств асфальтобетонных смесей [Текст] / Э. В. Котлярский // Сб. науч. тр. «Проблемы создания информационных технологий. – М.; Мн., 2006. – Вып. 14: Международная академия информ. технологий. – С. 100-107.

99. ГОСТ 22245-90. «Битумы нефтяные дорожные вязкие». Межгосударственный стандарт, 1991[Электронный ресурс]. – Режим доступа:docs.cntd.ru/document/1200003410. – Загл. с экрана.

100. ГОСТ 11501-78. Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы [Текст]: Введ. 01.01.1980. – М.: Стандартинформ, 2005. – 5. – С.189.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

101. ГОСТ 11506-73. Битумы нефтяные, метод определения температуры размягчения по кольцу и шару [Текст]: Введ. 01.07.1974. – М.: Стандартинформ, 2009.

102. Нанотехнологии в производстве асфальтобетона [Текст] / В.М. Готовцев, А.Г. Шатунов, А.Н. Румянцев, В.Д. Сухов // Фундаментальные исслед. – 2013. – № 1. – С. 191-195.

103. Золнинд, И. Я. Зола и шлаки (методы анализа состава золы). [Текст] / И. Я. Золнинд // Справочник по пыле- и золоулавливанию. – М, 1989. – С.132-135.

104. Алиев, А. М. Строительство автомобильных дорог и аэродромов [Текст] / А. М. Алиев, А. Б. Алиев. – Баку: Нурлан, 2007. – 650 с.

105. AASHTOT27 Sieve Analysis of Fineand Coarse Aggregates [Электронный ресурс]. – Режим доступа:www.dot.nd.gov/manuals/materials/.../t27.pdf. – Загл. с экрана.

106. AASHTO N37, 5.5.1.1.Standard Method of Test for Sieve Analysis of Mineral Filler for Hot-Mix Asphalt. STANDARD by American Association of State and Highway Transportation Officials, 2007

107. American Associationof State Highway and Transportation Officials AASHTOO T 245-94 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/.../American_Association_of_State_Highway_and_ Transportation_Officials. – Загл. с экрана.

108. Пантелеев, В. Г. Золошлаковые материалы и золоотвалы [Текст] / В. Г. Пантелеев, В. А. Мелентьев, Э. Л. Добкин. – М.: Энергия, 1978. – 296 с.

109. Цветков, В. С. Основные направления и принципы использования золуноса и золошлаковых смесей ТЭС СССР в дорожном строительстве [Текст] / В. С. Цветков // Социнновация. – М., 1990. – С. 78.

110. Проектирование нежестких дорожных одежд: ОДН 218.046-01 Гос.служба дорожного хозяйства Минтранса России [Текст]. – М.: ГП «Иформавтодор», 2001.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

111. AASHTOT 85. Standard Methodof Testfor Specific Gravityand Absorptic... CoarseAggregate, 2004. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.techstreet.com/standards/aashto-t-84-13?product... – Загл. с экрана.

112. AASHTOT 84-93 SpecificGravityandAbsorptionoffineAggregate. ASTMDesignation:C128-88. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:roads.nebraska.gov/media/7003/ndrt84.pdf. – Загл. с экрана.

113. AASHTO M231Standard Specification for Weighing Devices Used in the Testing of Materials.STANDARD by American Association of State and Highway Transportation Officials, 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.google.com/search? – Загл. с экрана.

114. AASHTO T 85-91.Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, 2004. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: ftp://ftp.ecn.purdue.edu/.../ASTM%20standards/ specific%20gravity%20and%20water%20absorption%20of%20coarse%20a. – Загл. с экрана.

115. AASHTO T85.Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates. ActivityNumber: ASTMC 127. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.pavementinteractive.org/coarse-aggregate-specific-gravity. – Загл. с экрана.

116. AASHTOT245. Standard Method of Test for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus/STANDARD by American Association of State and Highway Transportation Officials, 2015.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.techstreet.com/standards/aashto-t-245-15?...id... – Загл. с экрана.

117. Кушелев, В. П. Охрана природы от загрязнения промышленными выбросами [Текст] / В. П. Кушелев. – М.: Химия, 1990. – 240 с.

118. ГОСТ9128-2009. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон [Текст]: техн. условия. – М.: Стандартинформ, 2010. – 18 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

119. Ефремов, Л. Г. Строительство асфальтобетонных дорожных покрыт... [Текст] / Л. Г. Ефремов, С. В. Суханов. – М.: Высш. шк., 1986. – 159 с.

120. Каменецкий, Б. И. Автомобильные дороги [Текст] / Б. И. Каменецкий, И. Г. Кошкин. – М.:. Транспорт, 1979. – 108 с.

121. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги [Текст].– М.: ЦНТП Госстроя СССР, 1986. – 132 с.

122. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. Госстрой ССР, Москва 1989[Текст]. – Режим доступа:www.skonline.ru/doc/837.html. – Загл. с экрана.

123. Руководство по сооружению земляного полотна Минтрансстрой, 17.01.1980. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/5/5527. – Загл. с экрана.

124. Арутюнов, В. С. Новые технологии в дорожном строительстве [Текст] / В. С. Арутюнов // Автомобильные дороги. – 2001. – № 2. – С. 44-46.

125. ГОСТ 52129-2003. Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: docs.cntd.ru/document/gost-r-52129-2003. – Загл. с экрана.

126. Технические рекомендации по устройству дорожных покрытий из асфальтобетонов с повышенной коррозионной и деформационной устойчивостью ТР 176-05, Москва – 2006 источник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http: //www. gosthelp. ru/text/ TR17605 Texnicheskierekome.html. – Загл. с экрана.

127. ВСН 20-87. Инструкция по борьбе с зимней скользкостью на автомобильных дорогах [Текст]. – М.: Транспорт, 1987. – 27 с.

128. Иваньски, М. Асфальтобетон как композиционный материал (с нанодисперсными и полимерными компонентами) [Текст] / М. Иваньски, Н. Б. Урьев. – М.: Техполиграфцентр, 2007.– 668 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

129. Артюхина, Г.И. Асфальтобетоны с использованием отхо… промышленности в качестве минерального порошка [Текст] / Г. И. Артюхина, В. Н. Лукашевич, С. А. Мантопкин // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов. Тез.докл. Всесоюз. конф.– Харьков, 1983. – С. 103-104.

130. Железко, Е. П. Влияние вида минерального порошка на свойства асфальтобетонов [Текст] / Е. П. Железко, Т. В. Касаткина // Композиционные строительные материалы (Структура, свойства, технология): сб. межвуз. науч. конф. – М., 1990. – С. 74-80.

131. Королёв, В. Оценка эколого-геологических последствий применения противогололедных реагентов в г. Москве [Текст] / В. Королёв, В. Соколов, Е. Самарин // Инженерная геология. – 2009. – № 1. – С. 34-43.

132. Абеков, Т. У. Уменьшение битума с использованием местных промышленных отходов [Текст] / Т. У. Абеков //VII Всесоюз.совещ. дорожников: Ускорение науч.-техн. прогресса, повышения производительности труда и качества дорожных работ. Асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог. – М., 1981.–С.4-5.

133. Сиротюк, В.В. Вязкоупругие характеристики битума и их оценка постандартным показателям [Текст] / В.В. Сиротюк, Е.В. Иванов // Автомобильные дороги. –2013. – № 9. – С. 87-91.

134. Семенов, В.А. Опыт использования местных природных материалов и отходов промышленности вдорожном строительстве [Текст]: моногр./ В. А. Семенов. – М.: Транспорт, 1991. – 46 с.

135. Руденский, А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия [Текст] / А.В. Руденский. – М.: Транспорт, 1992. – 254 с.

136. Зимон, А.Д. Адгезия жидкостей и смачивания [Текст] / А.Д. Зимон. –М.: Химия, 1974.– 416 с.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

137. Новые материалы и изделия из золы-уноса тепловых электростан… [Текст] / В. П. Михеев, С. В. Рогачева, В. И. Шаталов, А. Ф. Бернадский // Энергетик. – 1997. – № 10. – С. 16-17.

138. Коротаев, А.П. Повышение качества асфальтобетона за счет использования пористого минерального порошка [Текст]**:** дис. … канд. техн. наук / А.П. Коротаев. – Белгород, 2009. –160с.

139. Носов, В.П. Увеличение сроков службы дорожных одежд – стратегическая задача дорожной науки [Текст] // Автомобильные дороги. – 2006. – № 12. – С. 81-86.

140. Борисенко, Ю.Г. Особенности структуры легких асфальтобетонов [Текст] / Ю.Г.Борисенко, О.А. Борисенко // Строительные материалы. – 2007. – № 10. – С. 61-66.

141. Использование золы-уноса при производстве пористых строительных материалов нового поколения [Текст] / В.В. Барахтенко, Е.В. Зелинская, Е.О. Костюкова и др. // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование: материалы III Междунар. науч.-практ. семинара, 22-23 апр. 2010 г. – М., 2010. – С. 60-63.

142. Королев, И. В. Дорожный теплый асфальтобетон [Текст] / И. В Королев. – Киев: Вища шк., 1977. – 158 с.

143. Котлярский, Э. В. Роль битумоемкости в формировании структуры и свойств асфальтобетонных смесей [Текст] / Э. В. Котлярский // Информационные технологии в автотранспортном комплексе. – М., 2006. – Вып. 1: Международная академия информ. технологий. – С. 45-52.

144. Влияние добавок низкокальциевой золы-уноса на характеристики дорожного битумного вяжущего [Текст] / М.С. Лебедев, В.В. Строкова, И.Ю. Потапова, Э.В. Котлярский // Строительные материалы. – 2014. – № 11. – С. 8-11.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

145. Скарборо, Дж. Численные методы математического анализа [Текст] / Дж. Скарборо. – М.; Л.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит., 1934. – 437 с.

146. Семендяев, К. А. Эмпирические формулы. Составлено поЛипка и Рэннингу [Текст] / К. А.Семендяев. – М.: ГТТИ, 1933. – 88 с.

147. Успенский, А. К. Выбор вида и нахождения параметров эмпирической формулы [Текст]: учеб.пособие / А. К. Успенский. – М.: Наука, 1960. – 75 с.

148. Уорсинг, А. Методы обработки экспериментальных данных [Текст] / А. Уорсинг, Дж. Геффенер. – М.: Изд-во иностр. лит., 1949. – 347 с.

149. Гавриленко, В. В. Excel и задачи линейного программирования [Текст] / В. В. Гавриленко, Л. М. Парохненко // Компьютеры + программы, 2001. – № 12. – С.46-49.

150. Трубников, С.В. Вычислительная математика [Текст]: учеб.пособие / С.В. Трубников, Б.В. Порошин. – Брянск: БГТУ, 2005. – 396 с.

151. Ziari Hassan Influence of Bentonite Additive on Bitumen and Asphalt Mixture Properties [Text] / Ziari Hassan, Divandari Hassan, BabagoliRezvan, Akbari Ali // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2012. – № 68. – P. 1534-1539.

152. The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous material [Text] / K. Sobolev, F. Ismael, R. Sahaet al. // Fuel. – 2014. – Vol. 116. – P. 471-477.

153. Application of fly ash in ASHphalt concrete: from Challenges to Opportunities [Text] / K. Sobolev, I. Florens, J. Bohler et al. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.flyash.Info/2013/012-Sobolev-2013. – Загл. с экрана.

154. Силкин, А.В. Анализ себестоимости асфальтобетонных смесей и динамика цен на материалы и энергоресурсы для их производства[Текст] / А.В. Силкин, А.П. Лупанов, А. С. Суханов // Строит. TKMYST материалы. – 2009. – № 11. – С. 6-7.

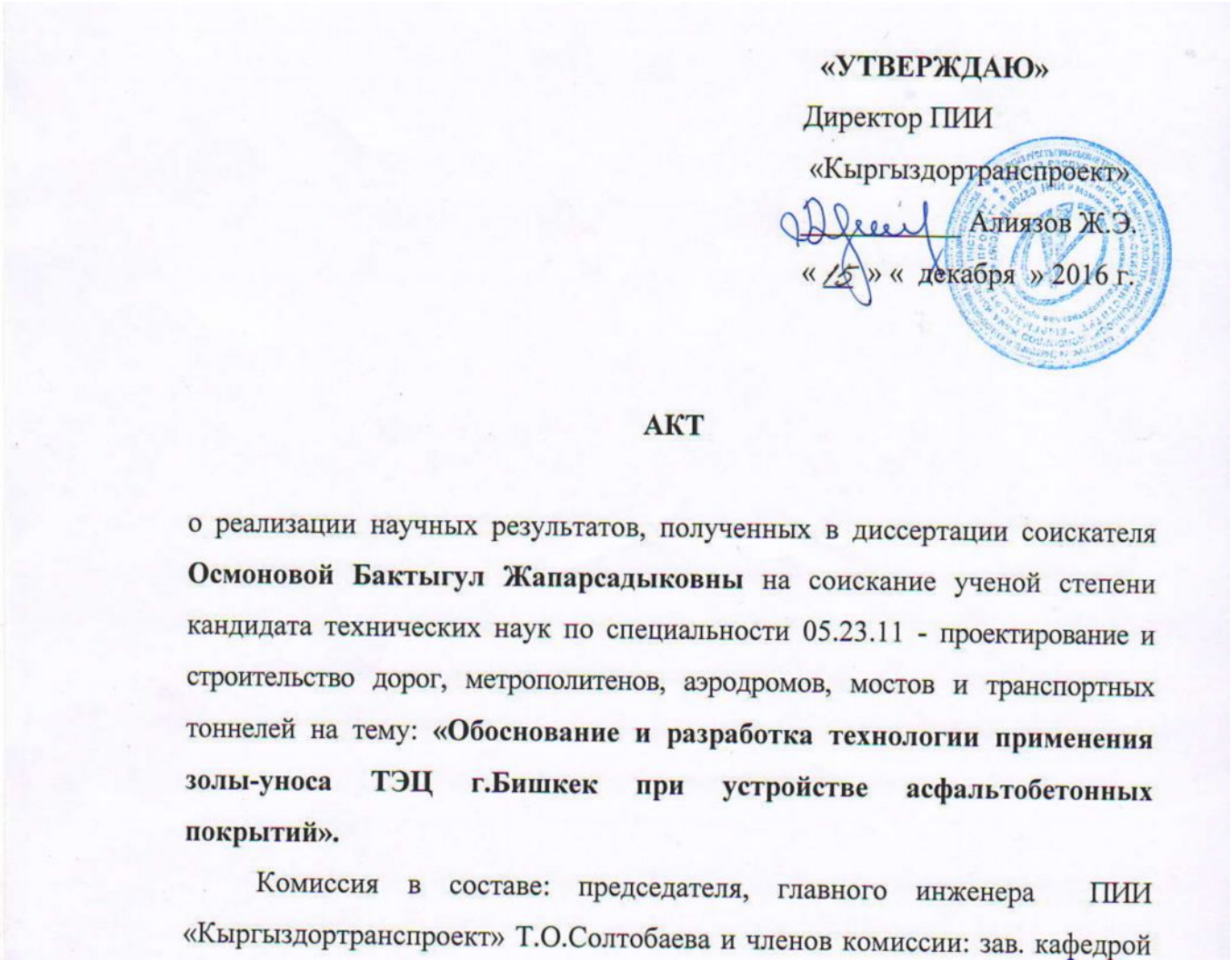
155. Киселев, Н. И. В гармонии с природой [Текст] / Н. И. Киселев. Новосибирск: Наука, 2004. – 126 с.

156. Лесовик, В.С. Состояние и перспективы использования техногенного сырья [Текст] / В. С. Лесовик // Научные и инженерные проблемы строительно-технологической утилизации техногенных отходов: сб. докл. – Белгород, 2014. – С. 16-22.

157. Израель, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды [Текст] / Ю. А. Израель. – Л.: Гидрометеоиздат, 1997. – 375 с.

158. Пат.20170053.1 Кыргызской Республики, Состав смеси для асфальтобетона [Текст] /Осмонова Б.Ж.; г.Бишкек, заявл.03.05.17; опубл. 30.12.17, Бюл.№ 2003 – 2 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ПИИ
«Кыргыздортранспроект»
Алиязов Ж.Э.
«15» «декабря» 2016 г.

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации соискателя **Осмоновой Бактыгул Жапарсадыковны** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.11 - проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей на тему: **«Обоснование и разработка технологии применения золы-уноса ТЭЦ г.Бишкек при устройстве асфальтобетонных покрытий».**

Комиссия в составе: председателя, главного инженера ПИИ «Кыргыздортранспроект» Т.О.Солтобаева и членов комиссии: зав. кафедрой

ABBYY PDF Transformer 2.0
Click here to buy
www.ABBYY.com
ABBYY PDF Transformer 2.0
Click here to buy
www.ABBYY.com

Реализация материалов диссертации Осмоновой Б.Ж. позволила:

- произвести расчет состава минеральной части асфальтобетона по кривым плотных смесей с использованием золы-уноса в качестве минерального порошка.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- при технико-экономическом обосновании использования усовершенствованных асфальтобетонных дорожных покрытий с использованием минеральных порошков из техногенного сырья.

По результатам реализации результатов исследования получен следующий положительный эффект:

- асфальтобетон с использованием минерального порошка из золы-уноса за 2,5 года эксплуатации сохранил высокие транспортно-эксплуатационные свойства;

- расчетный экономический эффект от снижения себестоимости укладки 1 км асфальтобетонного дорожного покрытия с применением золы-уноса составляет 67800 сом.

Председатель комиссии: Солтобаев Т.О.

Члены комиссии: Курбанбаев А.Б.

Маданбеков Н.Ж.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

УТВЕРЖДАЮ
Главный инженер «ПЛУАД-№1»
_____ Султанов Д.М.
«23» «июня» 2015 г.

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации соискателя **Осмоновой Бактыгул Жапарсадыковны** на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.11 - проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей на тему: **«Обоснование и разработка технологии применения золы-уноса ТЭЦ г.Бишкек при устройстве асфальтобетонных покрытий».**

Комиссия в составе: председателя, начальника АБЗ г.Токмак Иманакунова Т.А. и членов комиссии: зав. кафедрой «Автомобильные дороги, мосты и тоннели» КГУСТА, к.т.н., доцента А.Б. Курбанбаева и к.т.н., доцента кафедры «АДиМТ» КГУСТА Н.Ж. Маданбекова свидетельствует о том, что при проектировании состава асфальтобетонной смеси и укладки дорожной одежды при ремонте улицы Московской в с. Новопокровка г.Бишкек были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Осмоновой Б.Ж.:

- характер изменения физико-механических показателей асфальтобетона от количества применяемого минерального порошка из техногенного сырья;
- обоснования повышении прочности и трещиностойкости асфальтобетона при введении минерального порошка из золы-уноса в минеральную часть асфальтобетона.

Реализация материалов диссертации Осмоновой Б.Ж. позволила:

- разработать оптимальные составы и технологию приготовления горячих асфальтобетонных смесей на плотном заполнителе минеральном порошке из золы-уноса;

- установить, что с использованием золы-уноса в качестве минерального порошка, решается актуальная задача - защита окружающей среды от загрязнения отходов ТЭЦ.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- при технико-экономическом обосновании использования золы-уноса в качестве минерального порошка для асфальтобетонной смеси.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- асфальтобетон с использованием минерального порошка из золы-уноса за один год эксплуатации сохранил высокие эксплуатационные характеристики;

- расчетный экономический эффект от снижения себестоимости укладки 1 км дорожной одежды с применением золы-уноса составляет 67800 сом.

Председатель комиссии: Иманакунов Т.А.

Члены комиссии: Курбанбаев А.Б.

Маданбеков Н.Ж.

ABBYY PDF Transformer 2.0 Click here to buy www.ABBYY.com

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫ

КЫРГЫЗПАТЕНТ

ПАТЕНТ

№ 2003

Ойлоп табуунун аталышы: *Асфальтбетон үчүн аралашманын курамы*

Патент ээси, өлкөсү: *Осмонова Б. Ж. (KG)*

Автору (авторлору): *Осмонова Б. Ж. (KG)*

Өтүнмөнүн № *20170053.1*

Ойлоп табуунун артыкчылыгы: *2017-жыл, 03-май*

Кыргыз Республикасынын Ойлоп табууларынын мамлекеттик реестринде катталган: *2017-жылдын 30-ноябрында*

Ушул ойлоп табууга берилген өтүнмө ээси (патент ээси) жоопкер болгон патент Кыргыз Республикасынын аймагында ойлоп табууга ээлик кылууга, аны пайдаланууга, тескееге, ошондой эле аны бөшка адамдардын пайдаланууусуна тыюу салууга патент ээсинин өзгечө укугун ырастайт

Төрага *Эсеналиев Д.А.*