

На правах рукописи



МАРКОВА ИРИНА ЮРЬЕВНА

**ЗОЛОБИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ
ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Пенза – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Строкова Валерия Валерьевна

Официальные оппоненты **Барабаш Дмитрий Евгеньевич**
доктор технических наук, профессор,
начальник кафедры «Изыскания
и проектирования аэродромов», ФГКВОУ
ВО «Военный учебно-научный центр
военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени
профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Галдина Вера Дмитриевна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры «Строительные
материалы и специальные технологии»,
ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия
(СибАДИ)»

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-
дорожный государственный технический
университет» (МАДИ)

Защита состоится «20» мая 2016 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.184.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и на сайте <http://dissovet.pguas.ru/index.php/contact-us/d-212-184-01/69-38-markova-irina-yurievna>

Автореферат разослан «18» марта 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бакушев Сергей Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Одной из приоритетных задач в России является развитие транспортной инфраструктуры. На сегодняшний день протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием составляет около 1 млн км. В соответствии с Транспортной стратегией России до 2030 года общая протяженность дорожной сети автодорог РФ должна достигнуть 1,7 млн км.

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. Большинство дефектов обусловлено, прежде всего, спецификой физико-механических и реологических свойств используемого органического вяжущего. Регулировать технико-эксплуатационные показатели битума позволяет применение модифицирующих добавок, воздействующих на его структуру и свойства и, как следствие, повышающих качество дорожно-строительных композитов. Однако использование добавок приводит к значительному удорожанию асфальтобетона.

Актуальным является расширение номенклатуры модифицирующих добавок со структурирующим эффектом, в том числе за счет использования отходов топливно-энергетических предприятий в виде зол-уноса (ЗУ). Повышение качества битума с использованием добавки зол-уноса возможно за счет совокупности их физико-механических, физико-химических и структурных особенностей, которые определяют характер взаимодействия на границе раздела фаз системы «битум – зола-уноса».

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания и программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова; РФФИ; программы «У.М.Н.И.К.».

Степень разработанности темы. Проблеме повышения эффективности производства и применения битумо-минеральных композитов для дорожного строительства в последние годы уделяется особое внимание как в России, так и за рубежом. Одним из наиболее распространенных методов повышения эксплуатационных характеристик битумо-минеральных композиций является модифицирование битумов посредством введения добавок различного состава и генезиса.

Ранее была показана эффективность использования природного и техногенного алюмосиликатного сырья для производства битумо-минеральных композиций с повышенными физико-механическими характеристиками. Среди многообразия алюмосиликатного сырья, применяемого в дорожном строительстве, золы-уноса показали достаточную эффективность в качестве минеральных порошков. Однако возможность и эффективность применения зол-уноса в качестве структурирующей добавки к битуму в зависимости от состава недостаточно изучены.

Цель и задачи работы. Разработка золобитумных вяжущих и асфальтобетонов на их основе с учетом фазовых и структурных особенностей золуноса различного состава.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучение состава, свойств и морфоструктурных особенностей золуноса с целью их использования в качестве структурирующей добавки к битуму;

- исследование влияния вариативности свойств золуноса на эксплуатационные характеристики органического вяжущего;

- подбор составов золобитумных вяжущих с использованием алюмосиликатного техногенного сырья и асфальтобетонных смесей на их основе с последующим изучением характеристик получаемых композитов;

- подготовка нормативных документов для реализации теоретических и экспериментальных исследований; внедрение результатов исследований.

Научная новизна работы. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования золуноса ТЭС в качестве структурирующей добавки к битуму при производстве асфальтобетона. Показано, что структурирующая роль золуноса, обусловленная видом и технологией сжигания топлива, а также удаления золыных отходов, заключается в интенсификации процессов хемосорбции в результате взаимодействия компонентов битума с поверхностью алюмосиликатного модификатора за счет особенностей его химико-минерального состава и физической адсорбции, обусловленной морфоструктурными особенностями. Это в совокупности позволяет повысить физико-механические и вязкоупругие свойства битума.

Установлен характер влияния золуноса на реотехнологические и физико-механические свойства золобитумного вяжущего в зависимости от их состава. Использование полидисперсного алюмосиликатного модификатора в качестве структурирующего компонента приводит к оптимизации структуры вяжущего, расширению диапазона эксплуатационных температур, росту устойчивости к напряжениям сдвига и температуры размягчения, снижению пенетрации и дуктильности при нормируемых температурах. Применение золобитумного вяжущего позволяет повысить теплостойкость асфальтобетона и его деформативную устойчивость при эксплуатации в летний период.

Произведено ранжирование золуноса различного состава по степени эффективности их использования в качестве модифицирующих агентов битума по физико-химическим и технологическим критериям. По совокупности факторов установлена следующая последовательность повышения структурирующей роли золуноса проанализированных видов: WE Energies (низкокальциевая) → Новотроицкой ТЭС (низкокальциевая) → Троицкой ГРЭС (низкокальциевая) → Рефтинской ГРЭС (низкокальциевая) → Columbia Energy Center (высококальциевая) → Назаровской ТЭС (высококальциевая).

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложен принцип проектирования золобитумного вяжущего для асфальтобетонов с использованием высокодисперсных алюмосиликатных отходов ТЭС – зол-уноса различного состава, заключающийся в оценке химико-минеральных и морфоструктурных особенностей зол-уноса, а также реотехнологических свойств золобитумного вяжущего по методу Supergrave в измерительной системе пластина/пластина (PP) в диапазоне температур от 46 до 76 °С с приложением осциллирующей нагрузки при определении структурирующей способности алюмосиликатных модификаторов по отношению к битуму.

Расширена номенклатура модифицирующих компонентов, используемых для повышения качества битумов за счет применения алюмосиликатного техногенного сырья из отходов ТЭС в виде зол-уноса.

Разработаны рациональные составы золобитумных вяжущих с применением структурирующей добавки в виде зол-уноса различных предприятий.

Предложены составы асфальтобетонных смесей на основе золобитумных вяжущих, позволяющие производить асфальтобетоны типа Б с прочностью при сжатии при температуре 50, 20 и 0 °С – 2,2–2,9 МПа, 4,4–6,2 МПа и 9,7–9,9 МПа соответственно; сдвигоустойчивостью по коэффициенту внутреннего трения – 0,85–0,91; по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С – 0,62–0,86; трещиностойкостью – 4,0–4,3 МПа; водостойкостью – 0,89–0,98; водонасыщением – 1,52–1,75 % и водостойкостью при длительном водонасыщении 0,77–0,9.

Методология и методы исследования. Теоретической и методологической основой работы являются результаты фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых в области органоминеральных вяжущих, дорожно-строительных материалов, технологической минералогии. Методология построена на известной роли модифицирующих компонентов различного состава и генезиса в структурировании битума и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации. Идея базируется на фундаментальных исследованиях по влиянию минеральных наполнителей на процессы структурообразования органоминеральных композитов дорожно-строительного назначения.

Исследования проводили как в соответствии с нормативными документами, так и с использованием новейших методик и оборудования. Качественный и количественный анализ фазовой гетерогенности исследуемых материалов выполняли с использованием количественного полнопрофильного РФА, основанного на методе Ритвельда. Удельную поверхность техногенного сырья определяли методами воздухопроницаемости и адсорбции газа; структурные особенности зол-уноса изучали с применением оптической и электронной микроскопии. Анализ вязкоупругих свойств золобитумных вяжущих осуществляли по методу Supergrave с использованием прибора Rheotest RN 4.1.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение возможности использования зол-уноса ТЭС в качестве структурирующей добавки к битуму при производстве асфальтобетона;
- характер влияния зол-уноса на реотехнологические и физико-механические свойства золобитумного вяжущего;
- ранжирование зол-уноса различного состава по степени эффективности их использования в качестве модифицирующих агентов золобитумного вяжущего;
- рациональные составы золобитумных вяжущих с применением зол-уноса различного состава в качестве структурирующих добавок;
- составы и технология производства асфальтобетонов на основе золобитумного вяжущего. Результаты внедрения.

Достоверность полученных результатов обеспечивается: использованием широкого спектра методов исследований с применением сертифицированного и поверенного научно-исследовательского оборудования; проведением экспериментов с достаточной воспроизводимостью; сходимостью теоретических решений с экспериментальными данными; сопоставимостью полученных результатов с работами других авторов; промышленными испытаниями и их положительными практическими результатами.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы были представлены на Международных научно-практических конференциях: «Инновационные материалы и технологии» (XX научные чтения) (Белгород, 2011); «Технические науки – от теории к практике» (XXIV чтения) (Новосибирск, 2013); XXII Конгрессе исследования материалов (Канкун, Мексика, 2013); «Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений» (Белгород, 2013); «Наукоемкие технологии и инновации» (XXI научные чтения, юбилейные, посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова) (Белгород, 2014); а также на: IX Межрегиональной научно-технической конференции молодых ученых, специалистов и студентов ВУЗов «Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий» (Апатиты, 2015); Всероссийском совещании заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов «Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика» (Белгород, 2015).

Внедрение результатов исследований. Апробация производства золобитумных вяжущих и асфальтобетонов на их основе проводилась в промышленных условиях на базе предприятия ООО «Мостдорстрой». Разработанные материалы использованы для устройства верхнего слоя покрытия в ходе капитального ремонта участка автомобильной дороги III категории в Белгородском районе.

Для внедрения результатов работы разработаны следующие технические документы: Рекомендации по применению зол-уноса различного состава в

качестве добавок, структурирующих битум; Стандарт организации СТО 02066339-023-2014 «Золобитумное вяжущее с использованием зол-уноса ТЭС. Технические условия»; Стандарт организации СТО 02066339-024-2014 «Асфальтобетон на основе золобитумного вяжущего. Технические условия»; Технологический регламент на производство асфальтобетонов с использованием золобитумных вяжущих.

Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных исследований и промышленной апробации используются в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 – Строительство профилю подготовки «Автомобильные дороги и аэродромы»; магистров по направлению 08.04.01 – Строительство профилям подготовки «Дорожно-строительное материаловедение», «Автомобильные дороги», «Материаловедение и технология материалов».

Публикации. Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы изложены в 12 научных публикациях, в том числе: в 3 статьях в российских рецензируемых научных изданиях; в 1 статье в издании, индексируемом базой данных Scopus.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, основной части (пяти глав), заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 226 страницах машинописного текста, включающего 33 таблицы, 61 рисунок, список литературы из 240 наименований, 8 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Повышение эффективности дорожно-строительных материалов позволяет существенно увеличить срок службы асфальтобетонных покрытий. Вяжущее, применяемое для производства дорожно-строительных композитов, являясь термопластичным материалом, определяет деформативную устойчивость покрытия под воздействием динамических нагрузок.

Учитывая особенности условий эксплуатации дорожных покрытий большинство автомобильных дорог не отвечает существующим требованиям, в результате чего возникает необходимость применения различного рода модифицирующих добавок в составе асфальтобетонной смеси. С точки зрения доступности, экономичности и эффективности наиболее перспективным является использование тонкодисперсных материалов в качестве модифицирующих добавок. Широкое распространение в последние годы получило высокодисперсное сырье природного и техногенного происхождения. Одним из распространенных видов отходов, имеющих существенные различия в зависимости от состава и технологии переработки исходного сырья, являются золы-уноса ТЭС, систематизация которых по составу, дисперсности, состоянию поверхности и активности по отношению к битуму позволит разработать рациональные составы золобитумных вяжущих.

С целью представительности выборки сырьевых компонентов, критериями явился комплекс факторов, оказывающих влияние на состав и свойства зол-уноса: вид исходного топлива (каменный или бурый уголь); способы и режимы его сжигания и золоудаления («мокрый» или «сухой»); содержание СаО; производитель (отечественный и зарубежный). В качестве объектов исследований в работе выступали золы-уноса отечественных (Троицкой ГРЭС, Рефтинской ГРЭС, Новотроицкой ТЭС, Назаровской ТЭС) и зарубежных производителей (WE Energies (WEE) и Columbia Energy Center (СЕС), США). Для сравнения использовался известняковый минеральный порошок производителя ООО «Стромис». При разработке вяжущего применялся битум нефтяной дорожный Московского НПЗ марки БНД 60/90. При получении асфальтобетона использовали известняковый минеральный порошок производства ООО «Стромис», песок из отсева дробления и гранитный щебень производства ОАО «Павловскгранит».

Рабочей гипотезой исследований являлось предположение о том, что применение золы-уноса, в зависимости от состава, строения, физико-механических и физико-химических особенностей (зависящих от вида сжигаемого топлива и условий получения зол), позволит в различной степени структурировать битум, повышая его физико-механические и реологические характеристики.

Исследуемые материалы характеризуются полидисперсностью, высокой пористостью и удельной поверхностью (таблица 1), более того, по показателям пористости и битумоемкости ряд зол-уноса не соответствуют требованиям ГОСТ Р 52129–2003. Однако полученные характеристики без учета состава и морфоструктурных особенностей позволяют лишь косвенно оценить их структурирующую способность по отношению к битуму.

Анализ физико-механических свойств показал, что по гранулометрическому составу (рисунок 1) к известняковому минеральному порошку наиболее близки золы-уноса СЕС (США) и Назаровской ТЭС (РФ).

Сравнение величин удельной поверхности, полученных тремя способами¹ (рисунок 2), показывает, что значения по данным ПСХ коррелируют с результатами по лазерной дифракции (ЛД). Так, большей дисперсностью, а значит и структурирующей способностью характеризуются золы-уноса Троицкой ГРЭС (492 и 632 м²/кг), СЕС (509 и 817 м²/кг) и Назаровской ТЭС (449 и 445 м²/кг) в отличие от Рефтинской ГРЭС (327 и 472 м²/кг), Новотроицкой ТЭС (300 и 405 м²/кг) и WE Energies (271 и 390 м²/кг).

Однако удельная поверхность, определенная с помощью прибора Сорби-М, значительно отличается, так как в общей пористости материала учитываются поры открытого и закрытого характера. В этом случае большей

¹ I способ – расчет значений удельной поверхности на основе данных полученных по распределению частиц по размерам с помощью ЛД на приборе FRITSCHE Analysette 22 NanoTec plus; II способ – на приборе Сорби-М (с учетом пор открытого и закрытого характера в общей пористости материалов); III способ – на приборе ПСХ-12(SP).

удельной поверхностью обладают золы Троицкой и Рефтинской ГРЭС, Новотроицкой ТЭС – более чем на 50 % в сравнении с тремя другими – WE Energies, СЕС и Назаровской ТЭС. Это обусловлено высоким содержанием в них нанопор размером 51, 80 и 80 нм (38, 44 и 69 % соответственно). При этом в золах WE Energies, СЕС и Назаровской ТЭС высокое содержание (87, 62 и 60 % соответственно) нанопор меньшего диаметра – 15, 51 и 65 нм.

Таблица 1 – Основные характеристики минеральных наполнителей из отходов топливно-энергетической промышленности

Наименование производителя техногенного сырья	Содержание частиц, % по массе: – мельче 1,25 мм; – мельче 0,315 мм; – мельче 0,071 мм	Удельная поверхность по данным ПСХ-12(SP), м ² /кг	Пористость, %	Показатель битумоемкости, г/100 см ³	Средняя плотность, г/см ³	Истинная плотность, г/см ³	Насыпная плотность, г/см ³	Влажность, %	Коэффициент битумоемкости
Троицкая ГРЭС (РФ)	100; 99,4; 79	492	43	84	1,20	2,11	0,80	0,27	2,73
Рефтинская ГРЭС (РФ)	100; 99,4; 76,3	327	36	51	1,30	2,02	1,05	0,15	1
Новотроицкая ТЭС (РФ)	100; 99; 63,3	301	42	75	1,20	2,08	0,98	0,59	2,2
WEE (США)	100; 100; 92,9	271	35	61	1,60	2,45	1,12	0,25	1,73
СЕС (США)	100; 99,9; 95,3	509	36	81	2,00	3,14	1,42	0,10	3
Назаровская ТЭС (РФ)	100; 99,9; 94,5	449	47	59	1,80	3,37	1,38	0,40	0,8
Минеральный порошок (МП-1)	100; 94; 83	418	27	42	1,90	2,62	1,35	0,40	1
Требования ГОСТ Р 52129–2003 (марка МП-2)	не менее 95; от 80 до 95; не менее 60	–	≤40	≤80	–	–	–	≤2,5	–

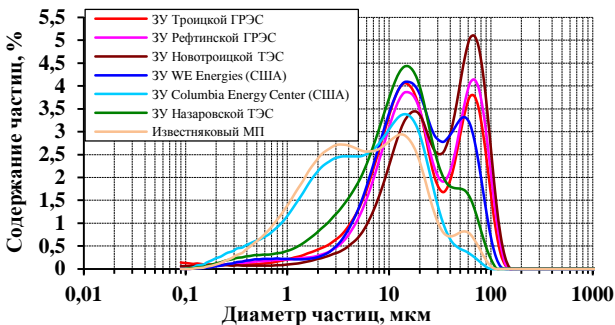


Рисунок 1 – Распределение по размерам частиц зол-уноса

Для оценки взаимосвязи показателей битумоемкости и пористости (рисунок 3), определенных в соответствии с ГОСТ Р 52129–2003, относительно известнякового минерального порошка предложен коэффициент

битумоемкости ($K_{\text{БИТ}}$), определяемый по формуле:

$$K_{\text{БИТ}} = \left| \frac{B_x - P_x}{B_{\text{ИМП}} - P_{\text{ИМП}}} \right|,$$

где B_x – битумоемкость исследуемого образца; P_x – пористость исследуемого образца; $B_{\text{ИМП}}$ – битумоемкость известнякового минерального порошка; $P_{\text{ИМП}}$ – пористость известнякового минерального порошка.

Для минерального порошка из известняка $K_{\text{БИТ}} = 1$ (см. таблицу 1), такой же коэффициент битумоемкости характерен и для ЗУ Рефтинской ГРЭС. Остальные золы (кроме Назаровской ТЭС) характеризуются $K_{\text{БИТ}}$ в

интервале 1,73–3. Высокие значения коэффициента битумоемкости объясняются высоким содержанием нанопор с преобладающим размером 50–80 нм в общей пористости материалов.

Для золы-уноса Назаровской ТЭС при относительно высокой пористости 47 % показатель битумоемкости составляет лишь 59 г/100 см³, что объясняет $K_{\text{БИТ}} < 1$. Низкое значение коэффициента связано с тем, что высокое значение пористости, полученное в соответствии с ГОСТ Р 52129–2003 не отражает реальную пористость материала из-за его гигроскопичности.

Анализ физико-механических характеристик, исследуемых образцов золы-уноса позволяет выстроить их в следующие последовательности (таблица 2).

Совокупность изученных характеристик позволяет оценить эффективность использования золы-уноса с точки зрения структурирования битума и выстроить их в следующем порядке по возрастанию степени эффективности: ЗУ WE Energies (США) → ЗУ Рефтинской ГРЭС (РФ) → ЗУ Назаровской ТЭС (РФ) → ЗУ Новотроицкой ТЭС (РФ) → ЗУ Троицкой ГРЭС (РФ) → ЗУ Columbia Energy Center (США). Однако представленная последова-

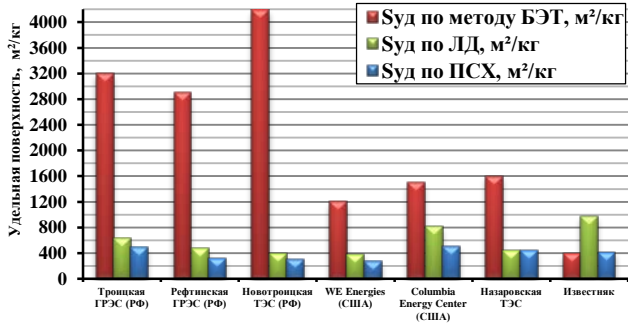


Рисунок 2 – Удельная поверхность зол-уноса

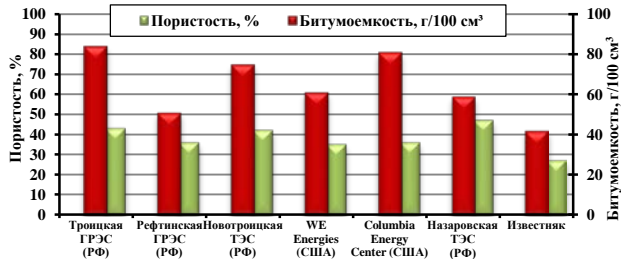


Рисунок 3 – Битумоемкость и пористость зол-уноса различного состава

тельность не может являться достоверной ввиду отсутствия данных по составу и морфоструктуре зол.

Таблица 2 – Ранжирование зол-уноса в зависимости от значений физико-механических характеристик

Наименование характеристики	Последовательность изменения характеристик зол-уноса ²					
	1	2	3	4	5	6
Содержание естественных радионуклидов	Троицкой ГРЭС	Рефтинской ГРЭС	Новотроицкой ТЭС	WE Energies	СЕС	Назаровской ТЭС
Дисперсность по данным ситового метода	Новотроицкой ТЭС	Рефтинской ГРЭС	Троицкой ГРЭС	Назаровской ТЭС	СЕС	WE Energies
Дисперсность по данным ЛД	Новотроицкой ТЭС	Рефтинской ГРЭС	Троицкой ГРЭС	WE Energies	Назаровской ТЭС	СЕС
Удельная поверхность по ПСХ	WE Energies	Новотроицкой ТЭС	Рефтинской ГРЭС	Назаровской ТЭС	Троицкой ГРЭС	СЕС
Удельная поверхность по ЛД	WE Energies	Новотроицкой ТЭС	Назаровской ТЭС	Рефтинской ГРЭС	Троицкой ГРЭС	СЕС
Удельная активная поверхность по Сорби-М	WE Energies	СЕС	Назаровской ТЭС	Рефтинской ГРЭС	Троицкой ГРЭС	Новотроицкой ТЭС
Пористость	WE Energies	СЕС	Рефтинской ГРЭС	Новотроицкой ТЭС	Троицкой ГРЭС	Назаровской ТЭС
Средний размер пор по Сорби-М	WE Energies	Троицкой ГРЭС	СЕС	Новотроицкой ТЭС	Назаровской ТЭС	Рефтинской ГРЭС
Показатель битумоёмкости	Назаровской ТЭС	Рефтинской ГРЭС	WE Energies	Новотроицкой ТЭС	СЕС	Троицкой ГРЭС

Химический анализ рассматриваемого алюмосиликатного техногенного сырья проводился с помощью спектрального метода, при этом учитывались потери при прокаливании (0,7–4,95 %) (таблица 3). Полученные результаты свидетельствует о том, что исследуемое техногенное сырье характеризуется высоким содержанием оксида кремния SiO₂ (30,03–62,53 %) и оксида алюминия Al₂O₃ (8,84–30,92 %). В соответствии с нормативными документами по количеству оксида кальция в своем составе золы разделены на низко- (НК) и высококальциевые (ВК).

Для оценки степени активности зол-уноса анализировались состав и количество активных центров на поверхности. Количественный рентгенофазовый анализ позволил определить фазовый и минеральный составы зол-уноса. Все исследуемые образцы алюмосиликатного техногенного сырья характеризуются высоким содержанием рентгеноаморфного вещества (RAS) (39–70 %) и кварца (6–11 %). Для низкокальциевых ЗУ характерно присутствие муллита (19–37 %). Зола-унос Назаровской ТЭС отличается содержанием C₃A (21 %) и C₄AF (4 %). RAS представлено стеклофазой, состоящей преимущественно из оксидов кремния и алюминия, комплекс которых при одинаковой координации увеличивает «минусовый» заряд и дает

² Золой расположены под номерами от 1 до 6 в порядке увеличения того или иного показателя.

существенный отрицательный потенциал поверхности материала. Это позволяет предположить, что золы-уноса будут активно взаимодействовать с положительно заряженными молекулами битума.

Таблица 3 – Химический состав зол-уноса

Наименование составляющих	Наименование золы						Известняк
	Низкокальциевые			Высококальциевые			
	Троицкая ГРЭС	Рефтинская ГРЭС	Новотроицкая ТЭС	WE Energies	Columbia Energy Center	Назаровская ТЭС	
п.п.п.	4,95	1,9	4,85	1,9	0,7	3,15	39,1
SiO ₂	62,53	60,2	56,2	47,83	30,03	31,55	3,14
Al ₂ O ₃	28,75	30,92	27,7	28,7	20,68	8,84	1,12
CaO	0,612	1,28	1,35	3,36	26,63	37,80	51,42+ 41,89 CO ₂
Fe ₂ O ₃	4,1	3,35	6,18	13,16	4,67	8,99	0,534
SO ₃	0,209	0,153	0,102	1,42	2,01	4,40	0,026
MgO	1,06	0,577	4,64	1,04	7,60	6,31	1,43
Na ₂ O	1,05	0,525	1,16	0,874	3,34	0,761	0,035
K ₂ O	0,291	0,750	1,18	1,65	0,391	0,204	0,162
TiO ₂	0,588	1,17	0,684	1,07	1,29	0,261	0,026
P ₂ O ₅	0,485	0,482	0,358	0,476	2,19	–	–
RuO ₄	0,028	0,219	0,014	–	–	–	–
BaO	–	–	–	–	0,350	0,046	–
SrO	0,042	–	–	–	0,355	0,185	0,032
F	–	–	–	–	0,213	–	–
MnO	0,082	–	0,061	–	–	0,368	0,011

Кроме того, активность зол-уноса оценивалась по степени их полимеризации Q , и чем выше этот показатель, тем менее они активны. Анализ полос поглощения, полученных с помощью ИК-спектроскопии в диапазоне волновых чисел 650–1350 cm^{-1} (рисунок 4), показал, что наиболее высокой степенью полимеризации обладают высококальциевые золы-уноса, характеризующиеся наличием кластеров со степенями Q^0 , Q^1 , Q^2 и Q^4 , о чем свидетельствуют ярко выраженные пики в области 800–1200 cm^{-1} , тогда как у низкокальциевых присутствуют лишь Q^0 , Q^1 и Q^2 степени полимеризации в диапазоне волновых чисел 800–1000 cm^{-1} или Q^3 и Q^4 степени полимеризации в диапазоне 1000–1200 cm^{-1} .

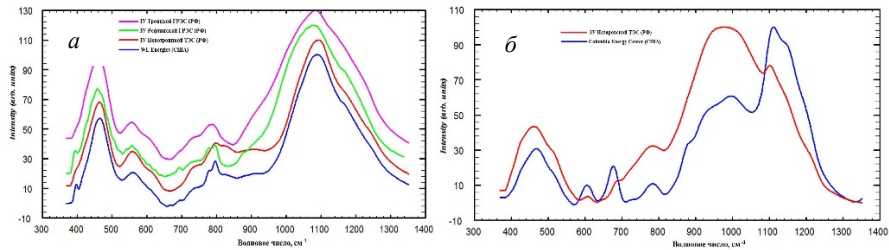


Рисунок 4 – ИК-спектры зол-уноса:

a – низкокальциевых; *б* – высококальциевых

Распределение центров адсорбции на поверхности тонкодисперсного техногенного сырья определялось методом адсорбции одноосновных индикаторов в диапазоне кислотности от $-4,4$ до $+17,2$. Наилучшее взаимодействие в бинарной системе «битум – структурирующая добавка» обеспечивают материалы, имеющие превалирующее количество основных центров. Анализ результатов (таблица 4) показал, что количество основных активных центров по Бренстеду в пересчете на единицу поверхности для всех рассмотренных зол-унос значительно выше, чем у известнякового минерального порошка. По Льюису же их количество, находясь в диапазоне $17,66-40,51$ мг·экв/м², близко либо превышает контрольное вещество в 1,9 раза. Исключением является зола-уноса Новотроицкой ТЭС, что можно объяснить высокой степенью полимеризации.

Таблица 4 – Количество активных центров различной природы на поверхности частиц зол-уноса различного состава

Наименование исследуемого образца	S _{уд.} по ПСХ, м ² /кг	Количество центров адсорбции, ×10 ⁻³ мг·экв/г / (мг·экв/м ²)					№
		Основания по Льюису -4,4...0	Кислоты по Бренстеду 0...7	Основания по Бренстеду 7...13	Кислоты по Льюису >13	Общее количество	
ЗУ Троицкой ГРЭС	492	14,3 (29,03)	45,42 (92,20)	70,91 (143,95)	5,05 (10,25)	135,68 (275,43)	7,28
ЗУ Рефтинской ГРЭС	327	13,24 (40,51)	53,32 (163,16)	83,79 (256,40)	5,24 (16,03)	155,59 (476,10)	7,48
ЗУ Новотроицкой ТЭС	301	3,94 (13,08)	21,39 (71,01)	48,99 (162,65)	2,7 (8,96)	77,02 (255,70)	8,33
ЗУ WE Energies	271	7,16 (26,42)	14,93 (55,09)	45,77 (168,89)	2,75 (10,15)	70,61 (260,55)	8,35
ЗУ Columbia Energy Center	509	10,51 (20,65)	24,46 (48,05)	53,03 (104,18)	5,51 (10,82)	93,51 (183,71)	8,15
ЗУ Назаровской ТЭС	449	7,93 (17,66)	4,38 (9,76)	27,86 (62,04)	0	40,17 (89,47)	9,26
Известняковый порошок	418	8,75 (20,93)	10,53 (25,19)	11,12 (26,60)	0	30,4 (72,7)	4,74

Комплексный анализ состава и кислотно-основных свойств алюмосиликатного техногенного сырья свидетельствует о том, что все исследуемые образцы обладают достаточно высоким потенциалом с точки зрения их использования в качестве добавок, структурирующих битум. Содержание основных оксидов кремния и алюминия в случае с низкокальциевыми ЗУ, значительное преобладание оксидов кальция и магния для высококальциевых зол и высокое содержание основных активных центров будут способствовать активному взаимодействию минерального наполнителя с битумом.

Важную роль при взаимодействии материалов и формировании структуры в бинарной системе «битум – структурирующая добавка» играют морфологические особенности исследуемых алюмосиликатных наполнителей.

Согласно данным РЭМ (рисунок 5) основная часть зол-уноса представлена сферическими частицами размером 5–15 мкм, имеющими гладкую стекло-видную поверхность. Такие частицы могут создавать в вязущем «подшипниковый» эффект.

Для зол-уноса Троицкой ГРЭС и Новотроицкой ТЭС отличительной чертой является наличие полидисперсных анизометричных частиц с развитой поверхностью.

Элементный состав таких частиц характеризуется высоким содержанием углерода, т.е. присутствует несгоревшая часть органического топлива. Наличие в исследуемых материалах частиц углеродсо-

держающего вещества лишь положительно повлияет на взаимодействие с битумом из-за сродства их состава.

Высокодисперсное обломочное вещество различного состава, присутствующее во всех видах зол, имеет высокоразвитую морфологию поверхности, что является положительным фактором при структурировании битума.

Следующим этапом работы было изучение влияния зол-уноса различного состава на динамику изменения свойств битумов при их введении в качестве структурирующих добавок. Были приняты следующие концентрации: 5, 10 и 15 % от массы вязущего, так как при увеличении концентрации добавки будет расти вязкость бинарной системы «битум – зола-уноса», при этом вязущее потеряет способность полноценного смачивания минеральной части асфальтобетонной смеси. Аналогично полимербитумным (ПБВ) и резинобитумным (РБВ) вязущим, применяемым в дорожном строительстве, битумы с использованием модифицирующей добавки в виде зол-уноса предложено называть золобитумными вязущими (ЗБВ).

На первом этапе были изучены физико-механические характеристики ЗБВ в соответствии с требованиями ГОСТ 22245–90 (таблица 5): пенетрация, температура размягчения по кольцу и шару, дуктильность, температура хрупкости, индекс пенетрации и интервал пластичности.

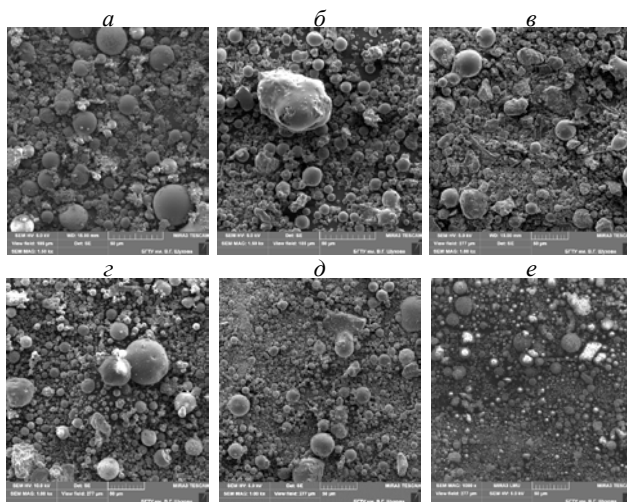


Рисунок 5 – Микроструктурные особенности зол-уноса: *а* – Троицкой ГРЭС, *б* – Рефтинской ГРЭС, *в* – Новотроицкой ТЭС, *г* – WE Energies, *д* – СЕС, *е* – Назаровской ТЭС

Таблица 5 – Свойства золобитумных вяжущих

Количество золы-уноса в золобитумном вяжущем	Показатели						Индекс пенетрации
	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при		Температура размягчения, °С	Растяжимость, см, при		Температура хрупкости	
	+25 °С	0 °С		+25 °С	0 °С		
Требования ГОСТ 22245–90	61–90	не менее 20	не ниже 47	не менее 55	не менее 3,5	– 15	от –1,0 до +1,0
Свойства БНД 60/90	70	21	49	91	3,6	– 16	– 0,5
5 % Троицкой ГРЭС	72	32	50	38	3,5	– 14	– 0,51
10 % Троицкой ГРЭС	56	26	51	33	2,5	– 17	– 0,85
15 % Троицкой ГРЭС	54	24	52	23	2,5	– 15	– 0,64
5 % Рефтинской ГРЭС	65	33	50	48	4	– 13	– 0,48
10 % Рефтинской ГРЭС	63	30	50	40	3,8	– 13	– 0,51
15 % Рефтинской ГРЭС	60	28	51	30	2,8	– 13	– 0,55
5 % Новотроицкой ТЭС	68	35	50	46	3,6	– 13	– 0,42
10 % Новотроицкой ТЭС	63	33	51	24	3,5	– 17	– 0,35
15 % Новотроицкой ТЭС	61	30	52	24	2,9	– 15	– 0,35
5 % WE Energies	56	20	50	43	3,3	– 19	– 1,4
10 % WE Energies	44	18	51	32	3,2	– 18	– 0,69
15 % WE Energies	40	17	51	29	3	– 18	– 1,4
5% СЕС	48	27	50	88	3,5	– 16	– 1
10% СЕС	47	25	51	69	3,2	– 18	– 1,4
15% СЕС	46	25	52	63	3	– 17	– 0,9
5 % Назаровской ТЭС	50	24	50	84	3,5	– 16	– 1,2
10 % Назаровской ТЭС	46	21	50	67	3,1	– 17	– 1,5
15% Назаровской ТЭС	44	20	51	38	2,8	– 15	– 1,1
5 % известняковый МП	55	36	50	53	4	– 15	– 0,9
10 % известняковый МП	49	34	51	49	3,7	– 16	– 0,99
15 % известняковый МП	42	15	51	31	3,4	– 16	– 0,9

Наиболее информативными являются такие характеристики, как пенетрация и температура размягчения по кольцу и шару. Динамика изменения значений пенетрации битумов, модифицированных золами-уноса ТЭС различного состава при температуре 25 °С, показала, что наибольший эффект наблюдается при использовании низкокальцевой ЗУ WE Energies наряду с высококальцевыми ЗУ СЕС и Назаровской ТЭС. Очевидно, значения глубины проникания иглы напрямую зависят от степени дисперсности зол, и чем она выше, тем более вязким становится битум. Сравнение значений пенетрации при нормируемых температурах 25 и 0 °С показало, что между ними отмечается обратная зависимость: чем меньше зола влияет на повышение вязкости при 25 °С, тем больше она снижает вязкость при 0 °С. Так, при температуре 0 °С наибольший эффект оказывают золы Троицкой, Рефтинской ГРЭС и Новотроицкой ТЭС. Такое явление наблюдается из-за большого содержания сферических частиц в составе зол-уноса, которые, создавая подшипниковый эффект, приводят к снижению вязкости битума.

Анализ динамики изменения температуры размягчения показал, что большее влияние на нее оказывают низкокальциевые золы-уноса Троицкой ГРЭС, Новотроицкой ТЭС и высококальциевая зола СЕС. Это можно объяснить высоким содержанием в составе низкокальциевых зол-уноса частиц анизометричной формы с развитой морфологией поверхности, в том числе состоящих из углерода, а также значительным содержанием активных центров. Влияние же золы СЕС обусловлено совокупностью высокого содержания оксида кальция и наличия значительного количества активных центров.

Реотехнологические свойства модифицированного битума определяли в соответствии со спецификацией TP538 SHRP и AASHTO T315 по методу Supergrape в диапазоне температур от 46 до 76 °С с использованием вибрационного ротационного вискозиметра Rheotest RN4.1 и измерительной системы пластина/пластина. Отличие в методике заключалось в использовании системы PP d = 36 мм (по стандарту пластина d = 25 мм). Анализ показал, что все золы-уноса являются эффективными добавками, позволяющими повысить устойчивость вяжущего к деформациям при температурах, моделирующих условия работы покрытия в летний период, на 5–35 % в зависимости от вида (рисунок 6).

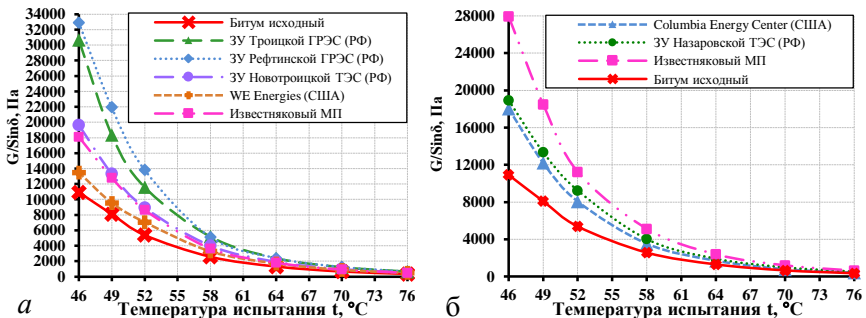


Рисунок 6 – Устойчивость покрытия к колеобразованию с применением вяжущего, модифицированного:

a – НК золами-уноса в количестве 15 %; *б* – ВК золами-уноса в количестве 10 %

По степени повышения устойчивости золобитумного вяжущего к колеобразованию исследуемые в работе материалы можно расположить в следующей последовательности: WE Energies → Новотроицкой ТЭС → Троицкой ГРЭС → Рефтинской ГРЭС → Columbia Energy Center → Назаровской ТЭС.

Анализ комплекса структурно-механических и реологических характеристик золобитумного вяжущего позволяет сделать вывод о том, что использование как низкокальциевых, так и высококальциевых зол-уноса обеспечивает повышение качественных характеристик вяжущего. При этом состав золы, морфоструктурные особенности и кислотно-основные свойства

являются определяющими факторами, позволяющими в большей или меньшей степени структурировать битум. В результате оптимальными концентрациями для низко- и высококальциевых зол-уноса соответственно приняты 15 и 10 % от массы битума.

На основании разработанных составов золобитумного вяжущего были получены составы асфальтобетона с содержанием: золобитумного вяжущего в смеси 6 %; минерального порошка – 9,01; 9,31 и 9,91 % для составов без золы-уноса, с НК и ВК ЗУ соответственно; песка из отсева дробления – 47,19 %; щебня – 42,90 %. Анализ результатов испытаний (таблица 6) показал повышение физико-механических характеристик асфальтобетонов.

Таблица 6 – Физико-механические характеристики асфальтобетона в зависимости от применяемого золобитумного вяжущего

Показатель	Требования ГОСТ 9128–2013 на тип Б III марку III ДКЗ	Исходный битум	Вид золы-уноса в золобитумном вяжущем					
			Троицкой ТЭС	Рефтинской ТЭС	Новотроицкой ТЭС	WE Energies	Columbia Energy Center	Назаровской ТЭС
Содержание битума в смеси, %	5,0–6,5	6,0	5,1	5,1	5,1	5,1	5,4	5,4
Содержание золы-уноса, %	–	0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,6	0,6
Предел прочности при сжатии при t°, МПа: 50 °С 20 °С 0 °С	Не менее 0,9 Не менее 2,0 Не более 12,0	1,6 3,8 10,1	2,2 5,2 9,8	2,3 5,4 9,7	2,3 5,1 9,9	2,5 4,4 9,9	2,9 6,0 9,8	2,5 6,2 9,8
Сдвигоустойчивость по: – коэффициенту внутреннего трения – сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С	Не менее 0,80 Не менее 0,34	0,84 0,75	0,85 0,72	0,87 0,75	0,91 0,69	0,87 0,69	0,80 0,86	0,88 0,62
Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при тем-ре 0 °С, МПа	2,5–7,0	4,1	4,3	4,2	4,4	4,2	4,2	4,2
Водостойкость	Не менее 0,75	0,90	0,94	0,97	0,92	0,98	0,89	0,93
Водонасыщение, %	1,5–4,0	1,8	1,75	1,58	1,53	1,62	1,52	1,55
Набухание, %	–	0,02	0,001	0,001	0,001	0,002	0,007	0,002
Водостойкость при длительном водонасыщении	Не менее 0,65	0,78	0,79	0,88	0,77	0,90	0,84	0,82

При испытании на устойчивость к колееобразованию образцы асфальтобетонов на основе золобитумных вяжущих показывают повышение в 2–5 раз в зависимости от вида золы-уноса (рисунок 7). Наибольший эффект наблюдается при использовании золы-уноса Назаровской ТЭС и СЕС. Положительный эффект можно объяснить дисперсностью и морфоструктурными особенностями зол, которые позволяют получить более плотную структуру асфальтобетона, способную лучше сопротивляться воздействию внешних факторов в сравнении с асфальтобетоном на немодифицированном вяжущем.

Таким образом, при исследовании возможности применения техногенного сырья из отходов топливно-энергетических предприятий в виде зол-уноса ТЭС различного состава показано, что использование методов, рекомендуемых

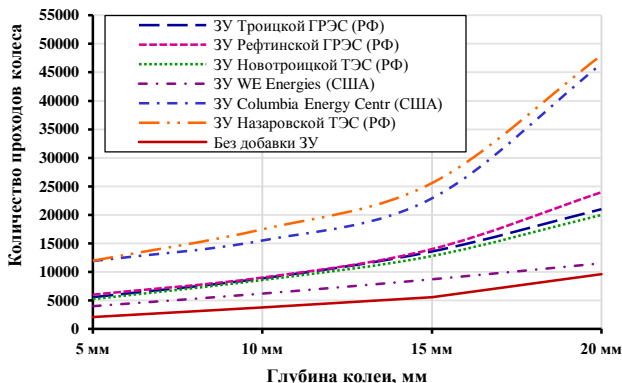


Рисунок 7 – Устойчивость асфальтобетонов на основе золобитумных вяжущих к колееобразованию

нормативными документами является обязательным, но не является достаточным. Так, по пористости и битумоемкости некоторые золы-уноса характеризуются как непригодные к применению в качестве структурирующего компонента вяжущего. Однако альтернативные методы исследований позволили определить ряд положительных свойства зол-уноса. Полученные композиции с их использованием показали удовлетворительные результаты.

С целью выявления возможности применения иных видов зол-уноса ТЭС в качестве добавки, структурирующей битум, показана информативность следующих характеристик: удельной поверхности, удельной активной поверхности с учетом нанопор в общей пористости материалов, морфоструктурных особенностей, химического и минерального составов и активности. С учетом химико-минерального состава и морфоструктурных особенностей зол-уноса наиболее показательной характеристикой для золобитумного вяжущего является сдвигоустойчивость, наименее достоверными являются растяжимость и температура хрупкости, что связано с особенностями методик испытаний.

По совокупности результатов проведенных исследований установлена следующая последовательность повышения структурирующей роли зол-уноса проанализированных видов: WE Energies (НК) → Новотроицкой ТЭС (НК) → Троицкой ГРЭС (НК) → Рефтинской ГРЭС (НК) → Columbia Energy Center (ВК) → Назаровской ТЭС (ВК).

На основе рассмотренных видов зол-уноса получены составы асфальтобетонных смесей, позволяющие производить асфальтобетоны типа Б с прочностью при сжатии при температуре 50, 20 и 0 °С – 2,2–2,9 МПа, 4,4–6,2 МПа и 9,7–9,9 МПа соответственно; сдвигоустойчивостью по коэффициенту внутреннего трения – 0,85–0,91, по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С – 0,62–0,86; трещиностойкостью – 4,2–4,4 МПа; водостойко-

стью – 0,89–0,98; водонасыщением – 1,52–1,75 % и водостойкостью при длительном водонасыщении – 0,77–0,90.

Экономическая эффективность применения золобитумного вяжущего обусловлена повышением эксплуатационных характеристик асфальтобетона на его основе без удорожания материальных затрат. Стоимость золобитумного вяжущего при повышении его марки с 60/90 до 40/60 на 2 % ниже стоимости исходного битума.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования. Предложен принцип проектирования золобитумного вяжущего для асфальтобетонов с использованием высокодисперсных алюмосиликатных отходов ТЭС – зол-уноса различного состава, заключающийся в оценке химико-минеральных и морфоструктурных особенностей зол-уноса, а также реотехнологических свойств золобитумного вяжущего по методу Supergrave в измерительной системе пластина/пластина (PP) в диапазоне температур от 46 до 76 °С с приложением осциллирующей нагрузки при определении структурирующей способности алюмосиликатных модификаторов по отношению к битуму.

Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность использования зол-уноса ТЭС в качестве структурирующей добавки к битуму при производстве асфальтобетона. Показано, что структурирующая роль зол-уноса, обусловленная видом и технологией сжигания топлива, а также удаления золных отходов, заключается в интенсификации процессов хемосорбции в результате взаимодействия компонентов битума с поверхностью алюмосиликатного модификатора за счет особенностей его химико-минерального состава и физической адсорбции, обусловленной морфоструктурными особенностями. Это в совокупности позволяет повысить физико-механические и вязкоупругие свойства битума.

Установлен характер влияния зол-уноса на реотехнологические и физико-механические свойства золобитумного вяжущего в зависимости от их состава. Использование полидисперсного алюмосиликатного модификатора в качестве структурирующего компонента приводит к оптимизации структуры вяжущего, расширению диапазона эксплуатационных температур, росту устойчивости к напряжениям сдвига и температуры размягчения, снижению пенетрации и дуктильности при нормируемых температурах. Применение золобитумного вяжущего позволяет повысить теплостойкость асфальтобетона и его деформативную устойчивость при эксплуатации в летний период.

Произведено ранжирование зол-уноса различного состава по степени эффективности их использования в качестве модифицирующих агентов битума по физико-химическим и технологическим критериям. По совокупности факторов установлена следующая последовательность повышения структурирующей роли зол-уноса проанализированных видов: WE Energies (низкокальциевая) → Новотроицкой ТЭС (низкокальциевая) → Троицкой

ГРЭС (низкокальциевая) → Рефтинской ГРЭС (низкокальциевая) → Columbia Energy Center (высококальциевая) → Назаровской ТЭС (высококальциевая).

Предложены составы асфальтобетонных смесей на основе золобитумных вяжущих, позволяющие производить асфальтобетоны типа Б с прочностью при сжатии при температуре 50, 20 и 0 °С – 2,2–2,9 МПа, 4,4–6,2 МПа и 9,7–9,9 МПа соответственно; сдвигоустойчивостью по коэффициенту внутреннего трения – 0,85–0,91, по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С – 0,62–0,86; трещиностойкостью – 4,2–4,4 МПа; водостойкостью – 0,89–0,98; водонасыщением – 1,52–1,75 % и водостойкостью при длительном водонасыщении – 0,77–0,90.

Предложена технология производства асфальтобетона на основе золобитумного вяжущего. С целью внедрения полученных результатов исследования разработаны следующие нормативные документы: Рекомендации по применению зол-уноса различного состава в качестве добавок, структурирующих битум; Технологический регламент на производство асфальтобетонов с использованием золобитумных вяжущих; стандарты организаций, отражающие технические характеристики готовых материалов.

Исследования битумоминеральных композитов проводились с использованием лабораторного оборудования на базе БГТУ им. В.Г. Шухова. Апробация технологии получения золобитумных вяжущих и асфальтобетонов на их основе осуществлялась в промышленных условиях на базе предприятия ООО «Мостдорстрой». Разработанные материалы были применены при устройстве верхнего слоя покрытия в процессе капитального ремонта участка автомобильной дороги III технической категории «Крым – Октябрьский – Бессоновка» Белгородского района протяженностью 0,8 км. Внедрение результатов диссертационной работы в учебный процесс осуществляется при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

Экономическая эффективность применения алюмосиликатного технологического сырья и производства битумоминеральных композитов с его использованием, обеспечивается в результате применения доступного сырья, снижения стоимости вяжущего, повышения технико-эксплуатационных показателей дорожно-строительных материалов.

Теоретические и экспериментальные результаты диссертационного исследования могут быть рекомендованы для внедрения на асфальтобетонных заводах в различных регионах РФ; при подготовке бакалавров и магистров направлений «Строительство», «Материаловедение и технология материалов».

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

– изучение структурных изменений в бинарной системе «битум – зола-уноса» и влияния зол-уноса ТЭС на изменение группового состава применяемого битума;

– исследование изменения физико-механических характеристик и структурных особенностей асфальтобетонов при длительной эксплуатации в период знакопеременных температур.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В российских рецензируемых научных изданиях

1. *Лебедев, М.С.* Изменение свойств минеральных порошков из алюмосиликатного сырья под влиянием термической модификации / М.С. Лебедев, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, **И.Ю. Потапова** // Строительные материалы. – 2012. – № 9. – С. 68–70. (ИФ – 0,390).

2. *Лебедев, М.С.* Влияние добавок низкокальциевой золы-уноса ТЭС на характеристики дорожного битумного вяжущего / М.С. Лебедев, В.В. Строкова, **И.Ю. Потапова**, Э.В. Котлярский // Строительные материалы. – 2014. – № 11. – С. 8–11. (ИФ – 0,390).

3. *Маркова, И.Ю.* Влияние зол-уноса на вязкоупругие характеристики дорожного битума / **И.Ю. Маркова**, В.В. Строкова, Т.В. Дмитриева // Строительные материалы. – 2015. – №11. – С. 28–31. (ИФ – 0,390).

В изданиях, индексирующихся в базе Scopus

4. *Strokova, V.V.* New Alumosilicate Fillers Based on Sedimentary Rocks for Asphalt Concrete / V.V. Strokova, M.S. Lebedev, K.G. Sobolev, **I.Y. Potapova** // XXII International Materials Research Congress – MRS – 2013. – Vol. 1611. – P. 81–86.

В других изданиях

5. *Лебедев, М.С.* Особенности состава алюмосиликатного сырья с точки зрения его использования для получения дорожно-строительных материалов / М.С. Лебедев, **И.Ю. Потапова**, А.О. Лютенко // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – №5 (52). – С. 70–74.

В сборниках трудов конференций

6. *Лютенко, А.О.* Проблемы использования алюмосиликатного сырья в производстве асфальтобетонов / А.О. Лютенко, М.С. Лебедев, **И.Ю. Потапова** // Инновационные материалы и технологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (XX научные чтения), Белгород, 11–12 окт. 2011 г. / Белгор. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Ч. 4. – С. 130–132.

7. *Лебедев, М.С.* Аспекты применения инфракрасной спектроскопии алюмосиликатных сырьевых компонентов в строительном материаловедении / М.С. Лебедев, И.В. Жерновский, Е.В. Фомина, **И.Ю. Потапова** // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по материалам XXIV Междунар. заочной науч.-практ. конф., Новосибирск, 7 авг. 2013 г. – Новосибирск: Изд-во «СибАК», 2013. – С. 94–105.

8. *Потапова, И.Ю.* О возможности использования зол-уноса ТЭС в качестве добавки к битумам / **И.Ю. Потапова**, М.С. Лебедев, А.Ю. Марков // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства

современных транспортных сооружений Междунар. науч.-практ. конф. тез.: докл., Белгород, 8–10 окт. 2013 г. / Белгор. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2013. – Т. 1. – С. 319–322.

9. *Лебедев, М.С.* Некоторые вопросы применения зол-уноса тепловых электростанций в дорожных асфальтобетонах / М.С. Лебедев, А.А. Шиман, Д.В. Коррева Авежо, **И.Ю. Потапова**, А.Ю. Марков // Наукоемкие технологии и инновации: материалы Юбилейн. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова (XXI научные чтения), 9–10 окт. 2014 г. / Белгор. гос. ун-т им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – Ч. 3. – С. 219–223.

10. *Маркова, И.Ю.* К вопросу о возможности модификации битума техногенными тонкодисперсными материалами / **И.Ю. Маркова** // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 1–10 мая 2015 г. [электронный ресурс] – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015.

11. *Маркова, И.Ю.* Состав и свойства зол-уноса как модификаторов битумного вяжущего / **И.Ю. Маркова**, Т.В. Дмитриева, Н.И. Кожухова, А.Ю. Марков // Научно-практические проблемы в области химии и химических технологий: IX Межрегион. науч.-техн. конф. молодых ученых, специалистов и студентов ВУЗов, Апатиты, 15–17 апр. 2015 г. – Апатиты, 2015. – С. 69–71.

12. *Строкова, В.В.* Исследование вариативности физико-механических свойств техногенного сырья в виде зол-уноса ТЭС различных генотипов с точки зрения использования для модификации битума / В.В. Строкова, **И.Ю. Маркова**, Т.В. Дмитриева // Междисциплинарные подходы в материаловедении и технологии. Теория и практика: Всероссийское совещание заведующих кафедрами материаловедения и технологии материалов, Белгород, 6–8 окт. 2015 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 224–229.

МАРКОВА ИРИНА ЮРЬЕВНА

**ЗОЛОБИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ
ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 17.03.16. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,3.
Уч.-изд. л. 1,4. Тираж 100 экз. Заказ № 61

Отпечатано в Белгородском государственном
технологическом университете им. В.Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46