



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
**«Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г. Шухова»**
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

Костюкова ул., д. 46, г. Белгород, 308012.
Тел. (4722) 54-20-87, факс (4722) 55-71-39.
E-mail: rector@intbel.ru, <http://www.bstu.ru>

" ____ " ____ 20 ____ № ____
На № ____ от ____

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор
ФГБОУ ВО «Белгородский
государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова»,
д.т.н., профессор

Евтушенко Е.И.

2023 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования "Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова"

на диссертационную работу **До Чонг Тоан** на тему:

**«Самовосстанавливающийся асфальтобетон с капсулированным
полимерным модификатором»**, представленную на соискание ученой
степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Актуальность темы исследования

В современных условиях эксплуатации автомобильных дорог, в том числе постоянного роста транспортного потока, актуальной задачей является повышение их транспортно-эксплуатационных характеристик. Одним из основных способов достижения указанных показателей является применение эффективных и долговечных дорожно-строительных материалов.

Диссертационная работа До Чонг Тоан посвящена достаточно новому направлению исследований – разработке самовосстанавливающегося асфальтобетона за счет использования капсулированного полимерного модификатора.

Результаты работы позволяют получить самовосстанавливающийся асфальтобетон с высокими физико-механическими и эксплуатационными показателями, что имеет важное значение, т.к. будет способствовать повышению сроков службы и надежности асфальтобетонных покрытий. В связи с этим тема представленной работы является актуальной с научной и практической точек зрения.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 205 наименований и приложений; содержит 228 страниц машинописного текста, включающего 57 рисунков, 40 таблиц.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость результатов выполненной работы, положения, выносимые на защиту, а также представлены сведения о публикациях автора по теме исследования и об апробации работы.

В первой главе представлен обзор литературы по теме исследования. На основе приведенных литературных данных, автор сформулировал рабочую гипотезу исследований, заключающуюся в том, что получение самовосстанавливающегося асфальтобетона достигается использованием капсулированного полимерного модификатора в виде капсул-контейнеров, содержащих активный компонент, извлечение которого при разрушении капсулы приводит к его полимеризации в объеме дефекта и восстановлению способности композита сопротивляться механическим нагрузкам.

Во второй главе приведены характеристики исследуемых материалов, методы их получения и исследования, в том числе, капсулированного модификатора и асфальтобетона, а также математические методы планирования эксперимента и анализа результатов исследования

В третьей главе представлены закономерности синтеза и свойства капсулированного модификатора. При этом установлены соотношения компонентов для получения альгинатных эмульсий, которые могут быть использованы при разработке композиций для капсулирования. Установлено, что снижение прочности капсул при растрескивании происходит при воздействии температуры. Меньшее влияние на физико-механические свойства капсул оказывает температура, не превышающая 150 °С, что позволяет использовать капсулированный модификатор при приготовлении горячих асфальтобетонных смесей.

Разработаны составы капсулированного полимерного модификатора, обладающего следующими свойствами: средний диаметр – 1,35 мм; содержание модификатора – 83 %; прочность – 18 Н; термостойкость – до 150 °С.

Четвертая глава посвящена закономерностям синтеза и свойствам самовосстанавливающегося асфальтобетона с капсулированным модификатором. Представлена модель функционирования модификатора, а также структура и свойства асфальтобетона с его использованием. Полученные результаты свидетельствуют о возможности получения асфальтобетонной смеси, после приготовления и уплотнения которой, капсулы с модификатором остаются целостными, а в период формирования напряжений в структуре и образования дефектов способны разрушаться для высвобождения капсулированного модификатора. Показано, что эффективность восстановления с применением капсулированного модификатора на основе AR-полимера в 1,87 раза больше, чем при использовании капсулированного модификатора на основе органического

восстановителя. Расчет эффективности разработанного самовосстанавливающегося асфальтобетона с применением капсулированного AR-полимера показал, что его техническая эффективность на 33 % больше по сравнению с традиционным ЦМА-15.

В пятой главе приведены практические аспекты применения самовосстанавливающегося асфальтобетона. Представлены технологические схемы производства модификатора и асфальтобетона с его использованием, расчет экономического эффекта и результаты промышленной апробации во Вьетнаме.

В заключении приводятся выводы по работе, а также рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Научная новизна, обоснованность и достоверность основных положений, выводов и рекомендаций

Научная новизна работы заключается в обосновании и экспериментальном подтверждении эффективности технологического решения по получению асфальтобетона, обладающего свойством самовосстановления, путем объёмного распределения капсул полимерного модификатора, содержащего в качестве восстанавливающего агента тиолсодержащий уретановый полимер, а в качестве материала капсулы-контейнера – альгинат кальция; в установлении, того факта, что свойства восстанавливающего агента не оказывают влияния на свойства капсул из альгината кальция, обеспечивая получение капсул диаметром $1,35 \pm 0,02$ мм и содержанием восстанавливающего агента не менее $83 \pm 0,5$ %, которые обладают максимальной прочностью и максимальным содержанием восстанавливающего агента, и получаются из эмульсии, содержащей 2,5 % альгината натрия при соотношении восстанавливающий агент: альгинат натрия = $5,0 \pm 0,2$.

Доказано также, что тиолсодержащий уретановый полимер совместно с активатором (смесь серы, оксида марганца (IV) и тетраметилтиурамдисульфида в соотношении 6,1 : 3,7 : 1,0) в количестве 3,5 % от массы битума обеспечивает восстановление прочности асфальтобетона, подвергнутого разрушению, на 46 % от начальной прочности. Показано, что эффект самовосстановления возрастает с увеличением количества ароматических соединений в мальтеновой части битума.

Научные положения, выводы и рекомендации, изложенные в диссертационной работе, обоснованы, т.к. они получены на основе обобщения теоретических представлений и систематизации результатов экспериментальных исследований. Методология научно-квалификационной работы основывается на разработках отечественных и зарубежных исследователей в области строительного материаловедения, системного анализа, дорожно-строительных материалов. Выводы по главам и заключение научно обоснованы, не противоречат общепринятым теоретическим представлениям и отражают суть выполненных исследований.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечена применением современных физико-химических методов исследований,

методов регрессионного и корреляционного анализа и статистической обработки экспериментальных данных, корреляцией теоретических и экспериментальных результатов, использованием нормативных документов, подкреплением промышленными испытаниями.

Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Новые данные о синтезе модификаторов методом капсулирования, полученные в результате проведенной работы, послужат расширению и углублению исследований в этом направлении и будут способствовать развитию науки о строительных материалах.

На основе выполненных исследований предложены критерии оценки самовосстановления: коэффициент самовосстановления, коэффициент выхода из строя, скорость самовосстановления, которые могут быть использованы в дальнейшем для расчета эффективности самовосстановления асфальтобетона.

Теоретическая и практическая значимость работы:

К теоретической значимости следует отнести новые данные, расширяющие представления о синтезе модификаторов методом капсулирования с применением эмульсий из альгината натрия, а также данные, расширяющие представления о структурообразовании асфальтобетонов со свойством самовосстановления, дополняющие теорию строительных композиционных материалов.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

Разработан состав капсулированного полимерного модификатора, обладающего следующими свойствами: диаметр – $1,35 \pm 0,02$ мм; содержание восстанавливающего агента – $83 \pm 0,5$ %; прочность – 18 Н; термостойкость – до 150 °С.

Предложена методика определения свойств, характеризующих эффективность процесса самовосстановления по показателю потери прочности, учитывающего собственный потенциал самовосстановления и остаточную прочность, скорости процесса самовосстановления и стойкости материала после процесса самовосстановления.

Разработаны составы самовосстанавливающегося асфальтобетона с капсулированным полимерным модификатором, обладающего следующими свойствами: остаточная пористость – 1,8 %; водонасыщение – 1,3 %; предел прочности при расколе при 0 °С – 3,1 МПа; предел прочности при сжатии при 20 °С – 3,6 МПа; предел прочности при сжатии при 50 °С – 1,2 МПа; коэффициент внутреннего трения – 0,93; сцепление при сдвиге – 0,44; коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении по ГОСТ 12801-98 – 0,90; коэффициент самовосстановления – 1,93; коэффициент скорости самовосстановления – 1,76;

Выполнена промышленная апробация разработанного самовосстанавливающегося асфальтобетона с капсулированным полимерным модификатором.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Помимо указанных в диссертации рекомендаций, касающихся исследования способности самовосстановления в условиях действия динамических механических нагрузок и/или погодно-климатических факторов, также поиска новых модификаторов для капсулирования и способов синтеза капсулированных модификаторов и расширения методологических подходов для оценки свойств самовосстановления асфальтобетонов, считаем, что работу целесообразно продолжить в направлении использования капсулированного модификатора для производства других типов асфальтобетона, например, типа Б.

Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы

1. В тексте диссертации отсутствует обоснование использования тиолсодержащего уретанового «AR-полимера» в качестве восстанавливающего агента. Не объяснено, почему выбран именно этот полимер.

2. В диссертации установлено, что термостойкость капсул ограничена 150 °С. Это означает что температура перемешивания асфальтобетонной смеси не должна превышать 150°С, тогда как в соответствии с ГОСТ 31015-2002 рекомендуемый диапазон отгрузки из смесителя составляет от 140 до 175°С. И даже в этом случае температура в начале процесса перемешивания может быть выше, т.к. каменные материалы (щебень и песок) нагреваются до более высокой температуры, а капсулированный модификатор подается в смеситель раньше дозирования битума. При этом требованиям по термостойкости удовлетворяет только смесь на битуме с пенетрационной вязкостью от 130 до 200. Каким образом решается это несоответствие с учетом применения в исследованиях битума марки 60/90?

3. Приведенный в работе зерновой состав исходных каменных материалов таков, что при любом их сочетании невозможно обеспечить требуемую по ГОСТ 31015-2002 гранулометрию. В частности, полный проход через сито 10 для щебня составляет 88,5%, все остальные компоненты полностью проходят через указанное сито. Это означает, что даже при 100%-ном применении крупного заполнителя полный проход не может составлять менее 88,5%, а в случае включения в состав более мелких фракций отсева и минерального порошка эта величина будет только увеличиваться. Зерновой состав из представленных в диссертации минеральных компонентов, удовлетворяющих ГОСТ для ЩМА-15, математически невозможен. Как Вы это объясняете?

4. При проведении лабораторных исследований в Москве и при производственных испытаниях во Вьетнаме использовались одинаковые или разные минеральные материалы и битум? Почему в качестве контрольных показателей физико-механических свойств в обоих случаях использовались значения для 2-3 дорожно-климатических зон?

5. Температурный режим приготовления асфальтобетонной смеси ЩМА-15 (150 °С) не оставляет запаса на транспортировку, укладку и

уплотнение. Применение смеси, выпускаемой при таких параметрах, возможно только при устройстве покрытия непосредственно около производственной базы.

6. С учетом нахождения капсул в пограничном для разрушения температурном диапазоне существенно снижается их механическая прочность. Как объясняется стойкость капсул при жестком воздействии каменного материала в процессе перемешивания смеси в сухом состоянии? Известно, что в результате этого процесса происходит доизмельчение даже прочных минеральных компонентов.

7. Представление об уплотнении асфальтобетонной смеси только в результате воздействия давления не совсем верно. В процессе формирования структуры асфальтобетона значительную роль играют динамические воздействия: вибрация, сдвиговые нагрузки, возникающие при движении вальцов катков. Необходимо обратить внимание, что группа документов ГОСТ 58401 и ГОСТ 58406 предусматривает динамические способы уплотнения асфальтобетонных смесей.

8. Из исследований ясно, что процесс самовосстановления интенсивно происходит при повышении температуры, однако трещинообразование в асфальтобетоне в процессе эксплуатации наиболее активно проходит в холодный период, когда жесткость материала максимальна, а способность к внутренней релаксации напряжений снижена. Также не совсем понятно, как проходит процесс самовосстановления асфальтобетона в условиях его постоянного водонасыщения.

9. Рассмотрение только одного вида смеси (для верхнего слоя) существенно ограничивает практическую ценность работы: чаще всего разрушение верхнего слоя покрытия происходит из-за абразивного износа, в то время как развитие усталостных трещин идет из нижних слоев покрытия, а в верхних проявляются уже трещины, отраженные из нижнего слоя. Второй серьезный дефект верхнего слоя – шелушение в результате недостаточной адгезии битума. При этом происходит отслоение битумной пленки без образования трещин. Соответственно, восстановление только верхнего слоя покрытия не выглядит эффективной мерой.

10. В диссертации не приведены нормативные документы на изготовление и применение данного модификатора (Технические условия, Технологический регламент), что делает невозможным его использование.

11. В тексте встречаются некорректные выражения, например, «способность молекул органического вяжущего самопроизвольно спутываться между собой». Очень много страниц заполнено на 2/3 или даже меньше, чем наполовину. Много орфографических ошибок.

Высказанные замечания и возникшие вопросы не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

