

## АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6M074500 «Транспортное строительство» Ельшибаева Айдос Оралгажиевича на тему: **«Исследование низкотемпературных характеристик асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов».**

Актуальностью диссертационной работы является то, что Республика Казахстан, расположена в 3-х дорожно-климатических зонах, имеет преимущественно резко континентальный климат. Высокие летние температуры требуют принятия мер против образования колеи и волн на покрытии, а низкие зимние температуры являются причиной температурного трещинообразования. Частые температурные переходы через  $0^{\circ}\text{C}$  также усложняют работу асфальтобетона.

Под воздействием низких температур на асфальтобетонном покрытии образуются так называемые «морозные» трещины. Особенность таких трещин заключается в том, что они появляются через несколько лет после завершения строительства дороги и ориентированы перпендикулярно ее продольной оси. После большого количества циклов замораживания-оттаивания комплексное напряжение превышает предел прочности асфальтобетонной смеси, что приводит к появлению трещин и других явных деформаций.

Во всем мире постоянно проводятся работы по созданию новых современных дорожных материалов и технологий, корректировке нормативных требований к их физико-механическим свойствам. Все это направлено на повышение долговечности дорожных покрытий в современных условиях их эксплуатации.

Эффективным способом улучшения эксплуатационных свойств битумов и асфальтобетона является модификация их полимерными добавками, повышающими теплостойкость, понижающими температуру хрупкости, расширяющими температурный интервал работоспособности материала. Различные добавки нашли широкое применение в практике строительства и ремонта автомобильных дорог во многих странах.

Низкотемпературные характеристики битума и полимербитумного вяжущего широко изученно, имеются требования по системе Суперпейв.

Однако остались нераскрытыми закономерности влияния отрицательной температуры на распределение растягивающих напряжений и деформаций в асфальтобетонном слое.

Идея работы состоит в использовании результатов экспериментальных и теоретических исследований, технических решений по применению модификаторов в составе битумов при проектировании асфальтобетонов при строительстве и ремонте автомобильных дорог с учетом условий эксплуатации при низких температурах и исследование их низкотемпературных характеристик.

**Объектом диссертационного исследования** являются дорожные асфальтобетоны и полимерасфальтобетоны.

**Предмет диссертационного исследования.** Низкотемпературные характеристики асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов.

### **Цель исследования.**

Экспериментальное исследование низкотемпературных характеристик асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов.

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

1. Определить стандартные характеристики традиционных асфальтобетонов;
2. Приготовить полимерасфальтобетоны с различными полимерными добавками и определить их стандартные характеристики;
3. Путем испытания на установке «TRAVIS 20-6000» определить низкотемпературные характеристики асфальтобетонов и полимер-асфальтобетонов;
4. Путем испытания на реометре с изгибаемой балкой (BBR) определить низкотемпературные характеристики битумных вяжущих.
5. Сравнить экспериментально установленные значения климатических температур битумных вяжущих, асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов;
6. На основе анализа полученных результатов разработать предложения по применению их на практике.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- в Казахстане впервые определены низкотемпературные характеристики (прочность, деформация разрушения, климатическое напряжение и критическая температура) применяемых в дорожном строительстве асфальтобетонов;
- путем модификации разными полимерами получены полимерасфальтобетоны и определены их низкотемпературные характеристики;
- определены низкотемпературные характеристики (жесткость и скорость релаксации, критическая температура) битумов и полимербитумов, использованных для приготовления асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов;
- экспериментально установлено, что модификация полимерами повышает низкотемпературные характеристики асфальтобетонов;
- значения критических температур битумных вяжущих, асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов приблизительно одинаковы.

### **Внедрение результатов исследования**

На основе проведенных результатов исследований диссертационной работы Товариществом с ограниченной ответственностью «ИННОБИЛД» (ТОО «ИННОБИЛД») разработан национальный стандарт республики Казахстан СТ РК EN 12697-46-2019 «Смеси битумные. Методы испытаний горячих асфальтобетонных смесей. Часть 46. Определение низкотемпературного трещинообразования и свойств при испытаниях на одноосное растяжение».

### **Достоверность результатов исследования**

Достоверность полученных результатов подтверждается следующими положениями:

- все лабораторные испытания проводились в аккредитованной лаборатории АО «КаздорНИИ» (Аттестат аккредитации № KZ.T.02.0603 от 08.04.2020);
- использованы современные методы анализа с применением аттестованных приборов (сертификаты поверки представлены в приложении);
- для оценки поведения битумных вяжущих при низких температурах использовался прибор «Реометр с изгибающейся балкой (BBR)» (паспорт представлен в приложении);

- для уплотнения асфальтобетонных образцов применялся роллерный компактор «Copper Research Technology limited» (Великобритания) CRT-RC2S/RC2S V соответствующий стандарту EN 12697-31. Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt – Part 31: Specimen preparation by gyratory compactor (паспорт в приложении);

- для определения низкотемпературной устойчивости асфальтобетонов установка «TRAVIS 20-6000» (Германия), соответствующая требованиям стандарта pr. EN 12697-46 «Асфальтобетонные смеси. Методы испытания горячих асфальтобетонных смесей. Часть 46: Определение низкотемпературного трещинообразования и свойств с помощью испытаний на одноосное растяжение» (паспорт в приложении);

- многократным повторением экспериментов, характеризующихся высокой воспроизводимостью результатов;

- отсутствием противоречия результатов основным законам физики и химии.

### **Практическая значимость работы**

- методики и результаты экспериментального определения низкотемпературных характеристик асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов, примененные в диссертации, могут быть использованы на практике для оценки пригодности составов асфальто- и полимерасфальтобетонов в разных климатических регионах республики;

- указанные выше методики систематически используются в АО «КаздорНИИ» для оценки низкотемпературных характеристик асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов;

- на основе апробации указанных выше методик в АО «КаздорНИИ» и полученных по ним экспериментальных результатов в Казахстане введен стандарт СТ РК EN 12697-46-2019 «Определение низкотемпературного трещинообразования и свойств при испытании на одноосное растяжение».

- результаты диссертации были учтены при разработке дорожного ведомственного нормативного документа Р РК 218-129-2016 «Альбом рациональных конструкций дорожных одежд с учетом природно-климатических условий и категорий дорог».

**Личный вклад автора** заключается в анализе научной литературы по исследованиям низкотемпературных характеристик различных видов асфальтобетонов, постановке цели и задач работы по исследованию низкотемпературной устойчивости, анализе полученных результатов о влиянии отрицательной температуры на различные виды асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов с различными полимерами, публикации научных статей по теме диссертации. Результаты исследований являются оригинальными и получены лично автором или при его непосредственном участии.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 5 печатных научных работ, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в перечень ККСОН МОН РК, 3 - в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из пяти, глав, выводов (заключение), приложения и списка использованной литературы, включающего 93 наименования работ отечественных и зарубежных авторов. Работа

изложена на 120 страницах машинописного текста, содержит 53 рисунка и гистограмм, 3 таблицы.

**На защиту выносятся:**

1. Выбор битумов, стандартные физико-механические показатели битумов, физико-механические свойства битумов после кратковременного и долговременного старения;
2. Выбор полимеров для модифицирования битумов, технология приготовления полимербитумов, физико-механические свойства полимербитумов;
3. Приготовление асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов, стандартные показатели асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов;
4. Испытание битумных вяжущих при низких температурах;
5. Низкотемпературные характеристики асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов;
6. Испытание асфальтобетонов одноосным растягивающим напряжением;
7. Испытание асфальтобетонов температурным напряжением при ограничении торцевых деформаций;
8. Сравнение критических температур битумных вяжущих и асфальтобетонов.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Диссертационное исследование направлено на изучение и анализ низкотемпературных свойств асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов.

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. Физико-механические свойства асфальтобетона очень резко изменяются с изменением температуры. Эта особенность его свойств отличает его от других дорожно-строительных материалов, применяемых при строительстве дорог.

**В первой главе** проведен анализ научной литературы по исследованиям низкотемпературных характеристик различных видов асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов, современное состояние изученности вопроса исследования и постановка собственных исследований, изучение мирового и отечественного опыта.

**Основные выводы по первой главе:**

- Изучение процесса структурообразования в асфальтобетоне показало, что оно определяется свойствами минеральных материалов, но в большей степени свойствами объемного и структурированного битума;

- Изучение современного подхода к назначению битумов с целью нормирования структуры асфальтобетона, устойчивой к низкотемпературному трещинообразованию позволило определить требования, которым должен соответствовать битум;

- Битумы должны обеспечить нормальную работу асфальтобетонного покрытия на территории Республики Казахстан и соответствовать по теплостойкости расчетным температурам асфальтобетонных покрытий региона строительства;

- Изучение мирового и отечественного опыта показало, что добиться этого соответствия можно путем использования полимерных модификаторов.

-

**Во второй главе** проведен анализ и выбор битумного вяжущего, лабораторно определены важнейшие факторы, которые должны учитываться при выборе марки битума, консистенция (вязкость), которая характеризуется показателем величины пенетрации и температура размягчения. Выбор битума и марки битума обоснован имеющимися результатами испытаний асфальтобетонов, отработанных и апробированных в АО «КаздорНИИ». Определены стандартные физико-механические показатели битума.

### **Основные выводы по второй главе:**

1. Для проведения научно-исследовательских работ выбраны битумы марок БНД 100/130 и БНД 130/200 производства Павлодарского нефтехимического завода (ПНХЗ). Битумы были произведены из сырой нефти Западной Сибири (Россия) методом прямого окисления.

2. Выбранные битумы марки БНД 100/130 и БНД 130/200 по физико-механическим свойствам соответствуют всем требованиям стандарта СТ РК 1373.

**В третьей главе** приведены результаты работ по выбору полимеров для модификации битумов, а так же технология по модификации полимер-битумного вяжущего, определены стандартные физико-механические показатели полимер-битумного вяжущего на соответствие НД, построенный гистограммы. Проведен анализ результатов определения основных стандартных показателей битумов марок БНД 100/130 и БНД 130/200 и модифицированных полимерами.

### **Основные выводы по третьей главе:**

Анализ результатов определения основных стандартных показателей битумов марок БНД 100/130 и БНД 130/200 и модифицированных полимерами, выполненный в настоящей работе, показал следующие результаты:

1. При добавлении в битумы полимеров понижается пенетрация, тем самым изменяют марку битума. Установлено, что после модификации пяти битумов на марку выше переходят 3 битума и 2 переходят на две единицы выше;

2. Все рассмотренные полимеры повышают температуру размягчения, тем самым улучшают высокотемпературную устойчивость битумов;

3. Большинство полимеров понижают температуру хрупкости (понижают низкотемпературную устойчивость). В двух случаях из десяти модификация практически не изменяет температуру хрупкости. Только в двух случаях модификации битума марки БНД 130/200 получен положительный эффект – понижение температуры хрупкости;

4. Только в одном случае (43%) модификации отмечено повышение растяжимости битумов. В остальных случаях растяжимость уменьшается.

**В четвертой главе** проведены работы по подбору асфальтобетона и полимерасфальтобетона с определением стандартных физико-механических показателей с построением гистограммы для сравнительного анализа по лабораторным показателям.

#### **Основные выводы по четвертой главе:**

1. Водонасыщение полимерасфальтобетонов существенно ниже, чем у асфальтобетонов, что показывает повышенную водоустойчивость полимерасфальтобетонов.

2. Модификация полимерами значительно повышает прочность полимерасфальтобетонов при температуре 50 °С, что свидетельствует о более высокой устойчивости полимерасфальтобетонов при высоких температурах.

3. Практически все использованные полимеры повышают сдвигоустойчивость полимерасфальтобетонов при температуре 50 °С.

4. Установлено, что полимерная добавка Butanal NS 189 заметно повышает трещиностойкость полимерасфальтобетона при 0°С.

**В пятой главе** проведены работы по экспериментальному определению характеристик битумных вяжущих, асфальтобетонов и полимер-асфальтобетонов при низких температурах. Подготовлены пробы битумов и асфальтобетонов для лабораторных исследований по нестандартной методике. Описаны методики определения низкотемпературных характеристик битумного вяжущего и асфальтобетонов на специальных приборах. Приведены результаты испытания низкотемпературных характеристик битумов, асфальтобетонов и полимерасфальтобетонов. Построены гистограммы и проведен сравнительный анализ результатов критических температур битумных вяжущих и асфальтобетонов.

#### **Основные выводы по пятой главе:**

1. Скорость релаксаций при испытании исходных и модифицированных битумов на низкотемпературные свойства на приборе ВВР при всех температурах испытания (-24°С, -30°С и -36°С) выше требуемой минимальной величины, равной 0,3. Этот факт наводит на мысль о том, что в случае окисленных битумов по критерию системы «Supergrave» скорость релаксаций не работает;

2. Жесткость всех испытанных битумных вяжущих при температурах -24°С и -30°С существенно ниже допустимой максимальной величины, равной 300 Мпа, а при температуре -36 °С только исходный битум марки БНД 130/200 и битум марки БНД 100/130 с полимером Calprene удовлетворяют требованию «Supergrave»;

Значения критической температуры, при которой вяжущее имеет допустимую максимальную жесткость (300 МПа), находятся в пределах от -32,2 °С до -38,2 °С. У большинства испытанных битумных вяжущих критическая температура

изменяется в относительно узких пределах (от  $-33,8^{\circ}\text{C}$  до  $-36,7^{\circ}\text{C}$ ). Исключение составляет только битум марки БНД 130/200 модифицированный полимером Kraton ( $-33,2^{\circ}\text{C}$ ) и с полимером Butonal ( $-33,1^{\circ}\text{C}$ );

3. При деформировании с постоянной скоростью при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$  прочности испытанных асфальтобетонов близки по значению:  $5,1 - 6,0$  МПа. С понижением температуры разница в значениях прочности разных видов асфальтобетонов становится более заметной. Так, прочность асфальтобетонов при температурах  $-20^{\circ}\text{C}$  и  $-30^{\circ}\text{C}$  изменяется в пределах от  $4,8$  МПа до  $7,6$  МПа и от  $4,1$  МПа до  $7,0$  МПа соответственно.

Модификация битумов полимерами дала положительный эффект при температурах  $-20^{\circ}\text{C}$  и  $-30^{\circ}\text{C}$ ;

4. Результаты испытания асфальтобетонов по схеме испытания образца при воздействии температурных напряжений при ограничении (TSRST) свидетельствуют о том, что модификация битумов полимерами повышает характеристики низкотемпературной устойчивости асфальтобетонов. Для разных полимеров получено снижение критической температуры от  $2,2^{\circ}\text{C}$  до  $4,9^{\circ}\text{C}$ ;

Оказалось, что эффект модификации битумов полимерами более ярко проявляется в значениях критического напряжения. Из анализа результатов испытаний следует, что максимальное повышение критического напряжения может составить более  $80\%$ .

5. Установлено, что значения критической температуры битумных вяжущих и критической температуры соответствующих асфальтобетонов практически одинаковы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты, полученные в настоящей диссертации, можно увязать с установленными ранее низкотемпературными требованиями к битумным вяжущим с учетом климатических особенностей республики, а так же можно использовать для принятия решения по применению полимерно-битумных вяжущих и асфальтобетонов на их основе с учетом расчетных температур и условий эксплуатации асфальтобетонного покрытия.

2. Экспериментально доказана целесообразность применения полимерных добавок для повышения низкотемпературной трещиностойкости асфальтобетона. Получены экспериментальные данные и зависимости, определяющие низкотемпературную устойчивость полимерасфальтобетона при критических температурах.

3. Результаты исследований позволяют проектировать асфальтобетон по низкотемпературным свойствам соответствующим климатическим условиям эксплуатации.

4. Полученные результаты дают возможность улучшить характеристики дорожного покрытия за счет использования модифицированной асфальтобетонной смеси в слоях дорожной одежды. Это обеспечивает альтернативный подход к продлению срока службы дорожного покрытия в дополнение к существующей

практике, главным образом, с использованием модифицированного полимером асфальтовой смеси.

5. Полученные опыты с применением полимерных добавок и разных составов асфальтобетонных смесей помогут для накопления данных, и могут быть использованы в дальнейшем при расчете и нормировании характеристик асфальтобетонных смесей и битумных вяжущих при проектировании.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

1. V.V. Teltayev, C.O. Rossi, G.G. Izmailova, E.D. Amirbayev, A.O. Elshibayev. Журнал «Case Studies in Construction Materials» ELSEVIR (11) 2019. Статья: Case study Evaluating the effect of asphalt binder modification on the low-temperature cracking resistance of hot mix asphalt.
2. Ельшибаев А.О., Г.Г. Измаилова, Н.Н. Сарыбаев. Статья: Определение низкотемпературного трещинообразования теплых и ресайклированных асфальтобетонов. Вестник: «Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М.Тынышпаева» ISSN 1609-1817 №2 (105)-2018, стр. 175-181.
3. Ельшибаев А.О., Г.Г. Измаилова, Е.С. Сивохина. Статья: К вопросу применения битумной эмульсии в составе Ресайклированного слоя. Вестник: Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М.Тынышпаева ISSN 1609-1817 №2 (105)-2018, стр. 182-188.
4. Ельшибаев А.О., Г.Г. Измаилова. Статья: Оценка устойчивости колееобразования теплых и традиционных асфальтобетонов. Вестник: Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М.Тынышпаева ISSN 1609-1817 №2 (105)-2018, стр. 205-210.
5. М. Ж. Журинов, Б. Б. Телтаев, С. О. Росси, Ельшибаев А.О., Е. Д. Амирбаев. Статья: Стандартные показатели модифицированных битумов. N E W S OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES ISSN 2224-5278 Volume 5, Number 443 (2020), 188 – 195.
6. М. Ж. Журинов, Б. Б. Телтаев, Ельшибаев А.О., Е. Д. Амирбаев. Статья: Определение низкотемпературного трещинообразования асфальтобетонов. N E W S OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES ISSN 2224-5278 Volume 6, Number 444 (2020), 261 – 267.
7. Ельшибаев А.О., Г.Г. Измаилова. Статья: Определение низкотемпературного трещинообразования асфальтобетонов В сборнике научных трудов седьмой международной научно-практической конференции «Автомобильные дороги и транспортная техника: проблемы и перспективы развития» 08 февраля 2019 года «Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б. Гончарова». УДК 625.7/.8:691.168ББК 39.331:74.58, Стр. 33-38.
8. Ельшибаев А.О., Г.Г. Измаилова. Статья: Определение низкотемпературного трещинообразования ресайклированных асфальтобетонов. В сборнике научных трудов седьмой международной научно-практической конференции «Автомобильные дороги и транспортная техника: проблемы и перспективы



развития» 08 февраля 2019 года «Казахская автомобильно-дорожная академия им. Л.Б.Гончарова». УДК 625.7/.8:691.168  
ББК 39.331:74.58, Стр. 39-44.