



УДК 691.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАРЕНИЯ ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ

Габит Арипбеков^{1*}

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

*Корреспондент автор: Aripbekov2021@gmail.com

Аннотация: В данной работе рассматриваются процессы старения битумных и полимерно-битумных вяжущих под воздействием климатических и эксплуатационных факторов, характерных для условий Казахстана. Особое внимание уделяется методам лабораторного моделирования кратковременного и долговременного старения, включая RTFOT, PAV, УСК, УСД1 и УСД2. Приводится сравнительный анализ показателей старения, полученных различными методами. Результаты показывают, что полимерная модификация существенно повышает стойкость вяжущих к старению, улучшает их эластичность, адгезию и морозостойкость. Сделаны выводы о возможности использования данных методов для прогнозирования долговечности дорожных покрытий и оптимизации состава вяжущих материалов.

Ключевые слова: битумные вяжущие, полимерная модификация, старение материалов, лабораторное моделирование, долговечность покрытий, климатические воздействия, реологические свойства.

Введение

Битумные и полимербитумные вяжущие подвержены интенсивному окислению под воздействием различных климатических условий и эксплуатационных факторов. В условиях изменяющегося климата Казахстана, включая влияние ультрафиолетового излучения, температурных колебаний и влажности, окислительные процессы в полимербитумах существенно сказываются на долговечности дорожных покрытий, их устойчивости к растрескиванию и другим видам повреждений. Со временем эти вяжущие теряют первоначальные свойства, а скорость их окисления увеличивается. В настоящее время степень окисления и связанные с ним изменения не учитываются. Определение скорости окисления, а также влияния различных полимерных компонентов на этот процесс позволит более точно прогнозировать срок службы дорожных покрытий.

Строительные материалы, содержащие битумы, обладают широкой сферой применения. Однако их основные недостатки схожи и связаны с ограниченным диапазоном пластичности битумного вяжущего, а также его высокой чувствительностью к атмосферному старению. Повысить эксплуатационные характеристики битумов можно за счет введения полимерных модификаторов, которые сегодня активно применяются при производстве кровельных покрытий и все чаще используются в дорожном строительстве – двух ключевых направлениях применения битумных материалов [1].

Модификация битума полимерными добавками позволяет добиться значительного улучшения свойств вяжущего материала даже при небольшом содержании модификатора, что делает процесс экономически обоснованным. Применение полимерных добавок существенно улучшает ключевые показатели полимерно-битумных вяжущих (ПБВ),

включая повышение температуры размягчения, снижение температуры хрупкости и улучшение адгезии. Кроме того, модификация полимерами придает вяжущим дополнительную эластичность, что способствует их способности выдерживать значительные деформации без разрушения. Полимерно-битумные вяжущие обладают не только повышенной устойчивостью к механическим и температурным воздействиям, но и улучшенной стойкостью к процессам старения. Введение полимеров в битумную матрицу позволяет увеличить эластичность, повысить сцепление с минеральными материалами и улучшить морозостойкость, что значительно продлевает срок службы дорожных покрытий [2].

Для моделирования старения битума применялись две группы методик [5]:

1. Кратковременное старение (УСК) - Образцы подвергались старению в сушильном шкафу при атмосферном давлении при температуре 150 °С в течение 50 минут. Данный режим имитирует процессы, происходящие при приготовлении асфальтобетонной смеси.

2. Долговременное старение (УСД). Здесь используются два варианта:

- УСД1: Старение производится в сушильном шкафу при 100 °С в течение 40 часов.

- УСД2: Образцы стареют в специальном сосуде (PAV) при давлении 2,1 МПа и температуре 100 °С в течение 8 часов.

Для сравнения с вышеуказанными методиками проводились испытания по классическому методу RTFOT, который моделирует процессы старения при смешивании битума с минеральными материалами [5].

Существуют различные методики лабораторного и компьютерного моделирования процессов старения:

- Методы ускоренного старения (RTFOT, PAV – Pressure Aging Vessel), позволяющие оценить устойчивость ПБВ к термоокислительным процессам [3].

- Реологические методы исследования, которые применяются для оценки изменений вязкости и модуля упругости при старении [2].

- Математическое моделирование – позволяет прогнозировать изменения физических и химических свойств ПБВ в процессе старения [4].

Таблица 1 – Методы моделирования процессов старения

Метод	Описание	Применение
RTFOT	Нагрев битума в тонком слое при циркуляции воздуха	Оценка краткосрочного старения
PAV	Воздействие повышенного давления и температуры	Моделирование долгосрочного старения
DSR	Динамический сдвиговый реометр	Оценки вязкоупругих свойств при средних и высоких температурах
Компьютерное моделирование	Анализ поведения ПБВ под воздействием различных факторов	Долговременный прогноз изменений свойств

В качестве эталонного метода применяется классический RTFOT, позволяющий моделировать старение при смешивании битума с минеральными материалами [5]. После проведения процедур старения измерялись реологические параметры. Основные показатели: Сдвиговая устойчивость ($G/\sin\delta$) – для оценки кратковременного старения. Усталостная устойчивость ($G \cdot \sin\delta$) – для долговременного старения. Критическая температура – определяемая как температура, при которой значение $G^*/\sin\delta$ (или $G^* \cdot \sin\delta$) достигает заданного порога [5].

Для вяжущих типа ПБВ и БНД получены следующие результаты при испытаниях, проведённых по методикам кратковременного старения (УСК) и классическому методу RTFOT [5].

Таблица 2 – Сравнение кратковременного старения для ПБВ и БНД

Тип вяжущего	Температура, °С	$G^*/\sin\delta$ (УСК), кПа	$G^*/\sin\delta$ (RTFOT), кПа
ПБВ 60	76	2,51	2,43
ПБВ 60	82	1,52	1,45
БНД	64	3,69	3,51
БНД	70	1,75	1,64

Из таблицы видно, что для обоих типов вяжущих разница между значениями, полученными по методике УСК и по RTFOT, невелика и находится в пределах нормативных требований. Это подтверждает, что лабораторное моделирование кратковременного старения корректно отражает изменения свойств как для ПБВ, так и для БНД.

Для долговременного старения проводились испытания по методике УСД2 и методу PAV. Ниже приведён пример сравнительной таблицы для долговременного старения ПБВ [5]:

Таблица 3 – Сравнение долговременного старения для ПБВ

Тип вяжущего	Температура, °С	$G^*\cdot\sin\delta$ (УСД2), кПа	$G^*\cdot\sin\delta$ (PAV), кПа
ПБВ 60	19	5836	5295
ПБВ 60	22	4367	3797

Данные показывают, что показатели долговременного старения для ПБВ, полученные по методике УСД2, почти совпадают с результатами по методу PAV, что подтверждает, что процессы старения в лаборатории воспроизводятся правильно [5].

Механизм старения битум-полимерных систем отличается большей сложностью по сравнению с битумными, так как климатические воздействия оказывают различное влияние на битумный и полимерный компоненты. Химические изменения в битумах в процессе старения, затрагивающие их коллоидную структуру, происходят под влиянием множества факторов: температуры, ультрафиолетового излучения, циклических температурных деформаций в присутствии кислорода, озона и воды. Вода не только вымывает водорастворимые соединения из битума, но и смывает образующуюся окисную пленку, облегчая тем самым проникновение кислорода в его структуру. Процесс старения полимеров включает несколько типов разрушения: термическую деструкцию (разрыв полимерных цепей), фотодеструкцию под воздействием ультрафиолетового излучения, механическое разрушение и окисление. На заводе «Изофлекс» применялся метод длительного старения при температуре 80 °С с проведением оценки свойств вяжущего через 7, 14 и 28 дней. Этот подход наиболее точно имитирует реальные условия эксплуатации и использовался в рамках данного исследования [1].

Наибольшую устойчивость к старению демонстрирует битум, модифицированный полиуретановыми добавками с насыщенной основной цепью. В то же время чистый битум оказался наименее стойким, а битумные вяжущие с модификаторами, содержащими кратные связи, показали среднюю степень старения. Сделаны следующие выводы [1]:

- Температурное воздействие является наиболее значимым фактором, влияющим на процессы старения.

- Долговечность битумно-полимерных вяжущих определяется формированием устойчивых структур «битум–полимер» и зависит от совместимости компонентов, а также химической природы как полимера, так и битума.

- Установлено, что полимерная модификация повышает стойкость к старению: например, скорость увеличения температуры размягчения со временем при модификации эластомерами снижается на 50%, а при использовании уретанов – на 70%.

- Насыщенность основной цепи полимерного модификатора оказывает положительное влияние на устойчивость битумно-полимерных вяжущих к старению.

Заключение

Применение современных лабораторных методик ускоренного старения (таких как RTFOT, PAV, а также методики УСК, УСД1 и УСД2) позволяет достаточно точно моделировать процессы окисления и изменения свойств как битумных, так и полимерно-битумных вяжущих. Исследования показали, что разница между результатами, полученными традиционными методами и альтернативными подходами, невелика и находится в пределах нормативных требований. Это свидетельствует о том, что лабораторное моделирование кратковременного и долговременного старения даёт адекватное представление о реальных изменениях в материале.

Особое внимание уделено влиянию полимерных добавок на устойчивость вяжущих к старению. Результаты подтверждают, что полимерная модификация существенно улучшает эксплуатационные характеристики: повышается эластичность, снижается скорость повышения температуры размягчения и улучшается адгезия с минеральными компонентами. Это особенно важно для условий эксплуатации в регионах с суровыми климатическими условиями, как в Казахстане, где температурные колебания и воздействие ультрафиолета значительно ускоряют процессы старения.

Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод, что методы моделирования старения битумных и полимерно-битумных вяжущих являются надёжным инструментом для прогнозирования долговечности дорожных покрытий и могут быть использованы для оптимизации состава материалов с целью повышения их устойчивости к неблагоприятным климатическим и эксплуатационным воздействиям.

Список литературы

1. Аюпов Д. А. и др. Старение битум-полимерных вяжущих //Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – №. 15. – С. 126-129.
2. Дошлов О. И., Спешиллов Е. Г. Полимерно-битумное вяжущее–высокотехнологичная основа для асфальта нового поколения //iPolytech Journal. – 2013. – №. 6 (77). – С. 140-144
3. Киндеев О. Н., Высоцкая М. А., Шеховцова С. Ю. Влияние вида пластификатора на свойства битума и полимерно-битумных вяжущих //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2016. – №. 1. – С. 26-30
4. Гохман Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон //М.: ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ. – 2008. – Т. 117
5. Симчук Е. Н., Харпаев А. В., Рожков И. М. Современные подходы к моделированию старения битумных вяжущих материалов в лабораторных условиях //Дороги и мосты. – 2022. – №. 2. – С. 48

Сведения об авторах:

Габит Арипбеков – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің магистранты, Астана, Қазақстан, Aripbekov2021@gmail.com

Габит Арипбеков – Магистрант Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, Aripbekov2021@gmail.com

Gabit Aripbekov – Master's student at L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, Aripbekov2021@gmail.com

Вклад авторов (укажите соответствующий вклад каждого автора):

Габит Арипбеков – концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование, моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, подготовка текста, редактирование.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Использование искусственного интеллекта (ИИ): ИИ при подготовке статьи не использовался.

ПОЛИМЕР-БИТУМДЫ БАЙЛАНЫСТЫРҒЫШТАРДЫҢ ЕСКІРУІН МОДЕЛЬДЕУ

Габит Арипбеков^{1*}

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университет, Астана, Қазақстан

*Корреспондент автор: Aripbekov2021@gmail.com

Аннотация: Бұл жұмыста Қазақстан жағдайларына тән климаттық және пайдалану факторларының әсерінен битумды және полимерлі-битумды байлағыштардың қартаюу процестері қарастырылады. Қысқа және ұзақ мерзімді қартаюуды зерттеудің зертханалық модельдеу әдістеріне (RTFOT, PAV, ҚМК, ҰМК1, ҰМК2) ерекше назар аударылды. Өртүрлі әдістер бойынша алынған қартаюу көрсеткіштерінің салыстырмалы талдауы ұсынылады. Зерттеу нәтижелері полимерлік модификацияның байлағыштардың қартаюуға төзімділігін, серпімділігін, адгезиясын және аязға төзімділігін едәуір арттыратынын көрсетті. Бұл әдістерді жол жамылғыларының қызмет ету мерзімін болжау және байлағыш материалдардың құрамын онтайландыру үшін қолдануға болатыны туралы қорытындылар жасалды.

Түйінді сөздер: битумды байланыстырушы, полимерлік модификация, материалдардың ескіруі, зертханалық модельдеу, жабынның ұзақ қызмет етуі, климаттық әсерлер, реологиялық қасиеттер

MODELING OF POLYMER-BITUMEN BINDERS AGING

Gabit Aripbekov^{1*}

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

*Corresponding author: Aripbekov2021@gmail.com

Abstract: This study explores the aging processes of bituminous and polymer-modified bituminous binders under climatic and operational conditions typical for Kazakhstan. Special attention is given to laboratory methods for modeling short- and long-term aging, including RTFOT, PAV, USC, USD1, and USD2. A comparative analysis of aging indicators obtained through various methods is provided. The results demonstrate that polymer modification significantly enhances the aging resistance of binders, improves elasticity, adhesion, and frost resistance. The findings support the use of these modeling techniques for predicting pavement durability and optimizing binder compositions to withstand harsh environmental and operational conditions.

Keywords: bituminous binders, polymer modification, material aging, laboratory modeling, pavement durability, climatic effects, rheological properties



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).