

УДК 625.855.3

**В. Л. БЕСПАЛОВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ  
ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

Показано, что наиболее рациональным способом повышения стойкости к окислительной деструкции в процессе эксплуатации дорожных асфальтобетонов является модификация битума этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой или бутадиевметилстирольным каучуком. Установлено, что модификация битума этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой приводит к значительному повышению адгезии, когезии, эластичности битумополимерного вяжущего (БПВ), а асфальтополимербетоны характеризуются повышенной плотностью, длительной водостойкостью и морозостойкостью, сдвигоустойчивостью и атмосферостойкостью.

**асфальтополимербетон повышенной долговечности, модифицированный битум, поверхностно-активированный минеральный порошок**

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ**

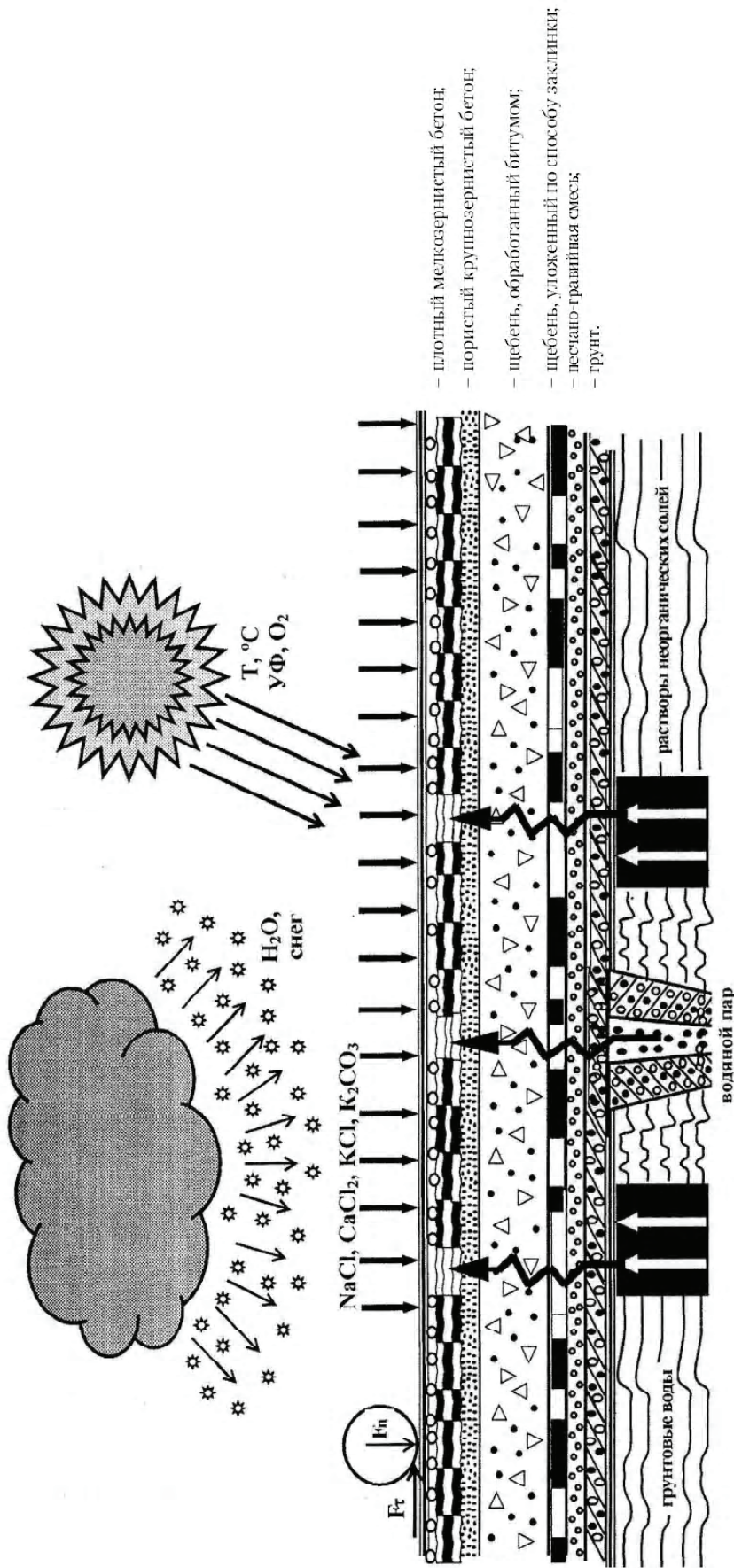
Разработка способов направленного регулирования структуры и свойств нефтяных дорожных битумов и повышения энергетического взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – поверхность минеральных материалов», которые формируют структуру асфальтобетона, эксплуатируемого в покрытиях нежестких дорожных одежд, способного эффективно противостоять старению, сдвиговым деформациям и циклическим транспортным нагрузкам.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Известно, что процесс окисления углеводородов нефтяных дорожных битумов представляет собой гетерогенную реакцию между газовой (воздух) и жидкой (нефтяной дорожный битум). При этом происходят реакции четырех типов: приводящие к уменьшению молекулярной массы с образованием дистиллята, воды и углекислого газа; лишь незначительно изменяющие молекулярную массу с образованием воды; ведущие к увеличению молекулярной массы с образованием воды, углекислого газа и асфальтенов; карбонизация (повышение концентрации асфальтенов в битуме) [1]. Кислород воздуха реагирует с водородом, содержащимся в органическом вяжущем, образуя водяные пары. Возрастающая потеря водорода сопровождается процессами уплотнения с образованием высокомолекулярных продуктов большой степени ароматичности – асфальтенов. В результате изменяется консистенция органического вяжущего. Основная часть кислорода воздуха идет на образование воды, 10...20 мас. % на образование углекислого газа и лишь незначительная часть – на образование органических веществ, содержащих кислород [2–3].

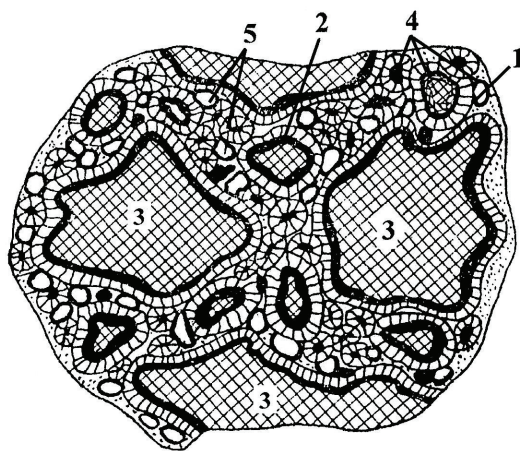
Слои нежесткой дорожной одежды имеют две разные поверхности контакта (рис. 1): одну с внешней средой (газообразной и жидкой) и транспортным потоком; другую с грунтом и грунтовыми водами.

Следует отметить, что покрытие дорожной одежды подвергается кратковременному, а нижние слои дорожной одежды длительному действию воды. В то же время материалы в нижних слоях дорожной одежды работают в более стабильных температурных условиях, а бетоны на органических вяжущих в покрытиях подвергаются действию температур в широком диапазоне температур, например в условиях Донецкой области от минус 40 °С до 60 °С, в сочетании с действием ультрафиолетового облучения



**Рисунок 1** – Автотранспортные, атмосферно-климатические и эксплуатационные факторы воздействия на конструкцию дорожной одежды:  $F_n$  и  $F_r$  – нормальные и сдвигающие силы со стороны колеса автомобиля; а) поперечный разрез дорожной одежды.

и озона, что приводит к старению органической составляющей композиционных материалов, так как бетоны на органических вяжущих характеризуются коагуляционным типом контактов (через остаточные прослойки органического вяжущего) (рис. 2, сечение А-А) рис. 1 [4–5].



**Рисунок 2** – Структура асфальтобетона: 1 – минеральные частицы минерального порошка (наполнителя); 2 – минеральные частицы песка; 3 – минеральные частицы щебня; 4 – адсорбционные прослойки битума; 5 – воздушные поры.

Долговечность покрытия дорожной одежды  $K_d$  можно выразить выражением (1), представленным значениями физических и механических характеристик бетона на органическом, изменяющимся до критических значений, при которых происходит отказ конструкции дорожной одежды.

$$K_d = (\Delta R_{сж}, \Delta R_{изг}, \Delta K_{вд}, \Delta F, \Delta E, \Delta H, \Delta W, \Delta \theta, \Delta I, K_{ст} \text{ и др.}), \quad (1)$$

где  $R_{сж}$  – предел прочности при сжатии;  
 $R_{изг}$  – предел прочности на растяжение при изгибе;  
 $K_{вд}$  – водостойкость при длительном водонасыщении;  
 $F$  – морозостойкость;  
 $E$  – модуль упругости;  
 $H$  – набухание;  
 $W$  – водонасыщение;  
 $\theta$  – коэффициент релаксации;  
 $I$  – износ покрытия;  
 $K_{ст}$  – коэффициент старения асфальтобетона.

При расчете дорожной одежды на прогнозируемую интенсивность движения и нагрузку на ось колеса автомобиля на 20 лет после введения в эксплуатацию инженерного сооружения доминирующей причиной деградации свойств бетонов на органических вяжущих в покрытии дорожной одежды является старение [6, 7], а покрытий жестких дорожных одежд – низкотемпературное трещинообразование, усталостная выносливость и пластические деформации.

Современные представления об условиях работы органических вяжущих в покрытиях автомобильных дорог, о составе и структуре нефтяных дорожных битумов, закономерностях структурообразования в асфальтовяжущих веществах и методологии системного анализа позволили разработать конструктивно-функциональную схему асфальтобетона как открытой системы (табл. 1, рис. 3).

Функционально-физический анализ композиционного материала в виде ориентированного графа (вершины – элементы асфальтобетона (E) и объекты окружающей среды (V), ребра функции элементов (Ф)) показывает, что наибольший вклад в качество и, естественно, в долговечность асфальтобетона вносят нефтяной битум, асфальтовяжущее вещество и интенсивность взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал», влияние на необратимые изменения свойств органического вяжущего температуры, солнечной радиации, ультрафиолетового излучения, осадков в виде дождя и снега, кислорода воздуха, транспортных нагрузок.

В частности ультрафиолетовое излучение с длинами волн менее 300 нм при температурах 50...80 °С в присутствии кислорода приводит к фотохимическим реакциям в органическом вяжущем, к охрупчиванию битума и формированию локальных усадочных трещин в асфальтобетоне.

Таблица 1 – Конструктивно-функциональная схема асфальтобетона

Элемент		Функции	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E <sub>1</sub>	Щебень	Φ <sub>1</sub>	Выполняет в асфальтобетоне роль высокопрочного структурообразующего компонента, заполняющего наибольший объем бетона
E <sub>2</sub>	Песок	Φ <sub>2</sub>	Заполняет основной объем пустот щебеночного каркаса. Природный песок повышает удобоукладываемость асфальтобетонной смеси (способствует переводу трения скольжения в трение качения). Снижает напряжение в монолите при укатке смеси.
E <sub>3</sub>	Минеральный порошок	Φ <sub>3</sub>	Структурирует нефтяной дорожный битум. Увеличивает поверхность контактирования между зернами песка и щебня. Уменьшает тепловое расширение битума и скольжение при торможении транспорта. Повышает адгезионные и механические свойства битума. Увеличивает плотность минеральной смеси и асфальтобетона.
E <sub>4</sub>	Нефтяной дорожный битум	Φ <sub>4</sub>	Формирует непрерывную матрицу в асфальтобетоне. Выполняет роль вяжущего вещества. Придает гидрофобность бетону. Обеспечивает химическую стойкость асфальтобетона.
E <sub>3</sub> ·E <sub>4</sub>	Смесь минерального порошка и нефтяного дорожного битума	Φ <sub>3</sub> ·Φ <sub>4</sub>	Формирует структурированную непрерывную матрицу в асфальтобетоне. Повышает плотность, водостойкость, морозостойкость и прочность асфальтобетона в области высоких положительных температур.
E <sub>1</sub> ·E <sub>2</sub> ·E <sub>3</sub> ·E <sub>4</sub>	асфальтобетон – композиционный материал, полученный уплотнением при оптимальной температуре однородной смеси из щебня, песка, минерального порошка	Φ <sub>1</sub> ·Φ <sub>2</sub> ·Φ <sub>3</sub> ·Φ <sub>4</sub>	Обеспечивает сдвигоустойчивость, трещиностойкость, морозостойкость, водостойкость, стабильность покрытия нежесткой дорожной одежды.

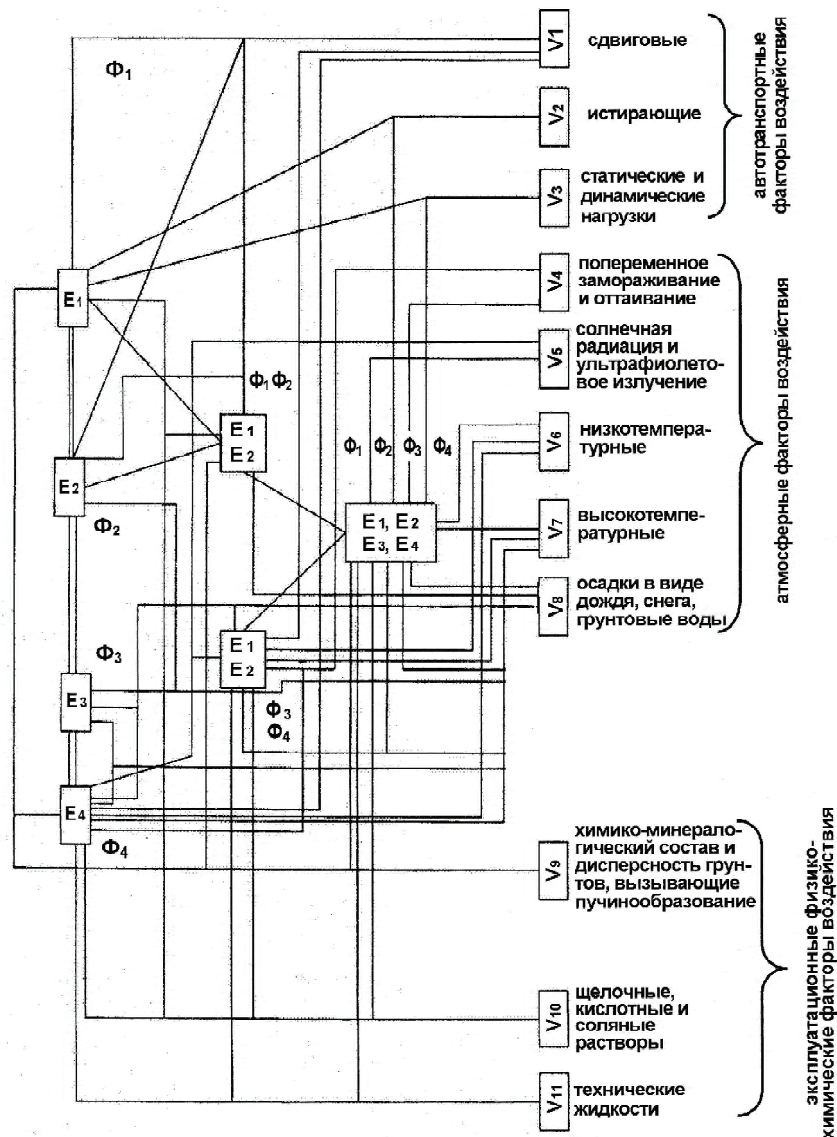
В качестве теоретической предпосылки прогнозирования долговечности асфальтобетонного покрытия, приняты положения В. Д. Шестеркина, в соответствии с которым, физико-химические характеристики асфальтобетона зависят от количества органического вяжущего в композиционном материале, определяемого как разность между оптимальным количеством органического вяжущего, отдозированным в асфальтосмесителе при производстве смеси, и потерями органического вяжущего в любой момент времени (2).

$$OB_{(\tau)} = OB - [OB_{Ад} + OB_{И} + OB_{П}], \quad (2)$$

где  $OB_{(\tau)}$  – масса органического вяжущего (ОВ), определяемая в момент времени  $\tau$ ;  
 $OB$  – масса ОВ в смеси при выходе из асфальтосмесителя;  
 $OB_{Ад}$  – масса ОВ, адсорбированного поверхностью минерального материала (ММ) и продифундировавшего в капиллярно-пористое пространство ММ;  
 $OB_{И}$  – масса ОВ, испарившегося за время  $\tau$ ;  
 $OB_{П}$  – масса ОВ, перешедшего за время  $\tau$  в конденсированное состояние в процессе агрегирования и оксиполиконденсации его компонентов.

Исходя из модели, предложенной В. Д. Шестеркиным, долговечность асфальтобетона рассматривается как процесс уменьшения количества вяжущего (оптимальное содержание), участвующего в структурировании асфальтобетона, в котором имеет место такое состояние асфальтобетона, под действием температуры, кислорода воздуха и времени, действия транспортных нагрузок, когда количество нефтяного битума становится недостаточным, чтобы покрытие работало в упруговязкопластической стадии [7].





**Рисунок 3** – Конструктивно-функциональная схема асфальтобетона. E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>4</sub> – элементы асфальтобетона – щебень, песок, минеральный порошок и нефтяной дорожный битум, битумополимерное вяжущее соответственно; объекты воздействия на асфальтобетон в покрытии внешней среды; V<sub>1</sub> – сдвиговые, V<sub>2</sub> – истирающие, V<sub>3</sub> – статические и динамические нагрузки, V<sub>4</sub> – попеременное замораживание – оттаивание, V<sub>5</sub> – солнечная радиация и ультрафиолетовое излучение, V<sub>6</sub>, V<sub>7</sub> – низкотемпературные и высокотемпературные воздействия соответственно, V<sub>8</sub> – осадки в виде снега и грунтовые воды, V<sub>9</sub> – химико-минералогический состав и дисперсность грунтов вызывающие пучинообразование, V<sub>10</sub> – щелочные, кислотные и соляные растворы, V<sub>11</sub> – технические жидкости; Φ<sub>1</sub>, Φ<sub>2</sub>, Φ<sub>3</sub>, и Φ<sub>4</sub> – функции (реакции) элементов на действие окружающей среды.

Анализ мирового опыта проектирования дорожных бетонов на органических вяжущих повышенной долговечности свидетельствует о том, что способность бетона противостоять действию механических нагрузок и физико-химических факторов окружающей среды и сохранять в течение нормативного срока службы в дорожной одежде структуру и свойства обеспечивается:

– максимально плотной упаковкой частиц минерального остова (II тип макроструктуры, поровая; что позволяет эффективно использовать как свойства пленок органического вяжущего вещества, разделяющих минеральные частицы, так и пространственного каркаса, образованного частицами щебня, способствующего повышению, прежде всего сдвигустойчивости за счет увеличения протяженности плоскостей скольжения и их шероховатости; в результате чего достигаются максимальные значения модуля деформации, предела прочности при изгибе, внутреннего трения и зацепления);

- непрерывной пространственной сеткой асфальтовяжущего вещества (I тип микроструктуры);
- физико-химическим регулированием структуры и свойств объемного и структурированного органического вяжущего модифицирующими добавками (полимеры, прежде всего термоэластопласты, поверхностно-активные вещества (ПАВ), добавки-стабилизаторы, комплексные добавки, включающие полимер и активный дисперсный наполнитель);
- также интенсификацией процесса взаимодействия на поверхности раздела фаз [8].

Таким образом, в бетонах на органических вяжущих необходимо проектировать такую структуру, которая представлена оптимальными характеристиками макроструктуры, мезоструктуры, микроструктуры и порового пространства. В асфальтобетоне необходимо создать устойчивый пространственный каркас из минеральных частиц, прочное, деформационно-релаксирующее с высокими адгезионно-когезионными свойствами асфальтовяжущее вещество, а объем остаточных пор в структуре асфальтобетона должен быть минимальным [9].

Установлено, что одним из наиболее эффективных способов модификации асфальтобетонных смесей, обеспечивающих эластичность матрицы и прочную связь на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее (ОВ) – минеральный материал», а также стабильность свойств бетонов на органических вяжущих в процессе технологической переработки и эксплуатации, является комплексное регулирование макро-, мезо- и микроструктуры асфальтобетона введением в органические вяжущие полимера, совмещающегося с ним, или комплексной добавки (полимер в комбинации с активным дисперсным наполнителем) и поверхностная активация щебня, песка и минерального порошка (МП) раствором полимера (этиленглицидилакрилат, бутадиенметилстирольный каучук) или олигомера, содержащего функциональные группы (карбамидоформальдегидная смола, эпоксидные смолы, полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол, кубовые остатки ректификации стирола и др.) [10].

Одним из наиболее эффективных способов повышения долговечности асфальтобетонов является модификация нефтяных дорожных битумов полимерами, совмещающимися с ними. Для модификации битумов используют стирол-бутадиен-стирол (SBS) (фирменные разновидности ДСТ-30-01 по ТУ 38.103267-9, ДСТ-30Р-01 по ТУ 38.40327-98). В Российской Федерации их производит «Воронежсинтезкаучук»; Кратон Д1101, Д 1184, Д 1186, Финапрен 2502, Финапрен 1411 фирмы Шелл, Калипрен 411 фирмы «Репсол», Европрен СОЛТ 161В и СОЛТ 161 фирмы «Эникем» [35–38]. Объемы производства битумополимерных вяжущих с использованием СБС в Европе от общего количества полимеров, используемых для модификации битумов, составляют 75 %. Термопластичные полимеры (винилацетат, винилметилакрилат, полиэтилен, поливинилхлорид, полистирол и др.) – 15 %. На остальные разновидности полимеров-модификаторов приходится 10 % [11].

Модифицирование битума 3,4...7,5 % масс. СБС приводит к повышению температуры размягчения исходного битума на 20...40 °С и понижению температуры хрупкости на 10...20 °С, к более низкой температурной чувствительности модулей упругости, повышенной когезии и высокой эластичности битумополимерного, полимербитумного вяжущего.

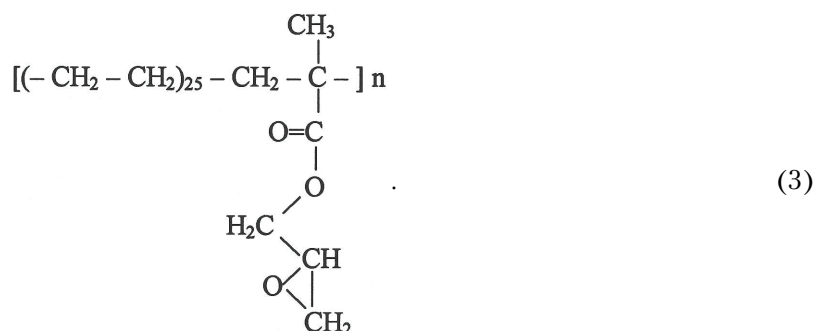
В ряде стран Европы и США синтезированы полимеры для нефтяных дорожных битумов, которые повышают сдвигоустойчивость и усталостную долговечность асфальтобетонных покрытий, например этилен-винил-ацетат (EVA). EVA содержит в макромолекулах полярные группы, активно взаимодействующие с асфальтенами и ароматическими компонентами битума за счет раскрытия двойных связей углеводородной цепи полимера и использования потенциала полярных ацетатных функциональных групп, заключенных в свободных электронных парах атома кислорода. В битумополимерном вяжущем образуются интерполимерные соединения с взаимопроникающими решетками за счет активного вовлечения асфальтенов битума. Введение в битум БНД 90/130 5 % EVA (приготавливают при 180 °С в течение двух часов) приводит к повышению температуры размягчения органического вяжущего с 45,5 до 61,5 °С, эластичности при 13 °С от 12,5 до 50 %; температура хрупкости повышается незначительно с минус 21 до минус 18 °С. Следовательно, введение EVA в нефтяной дорожный битум не снижает температуру стеклования его, повышает когезию органического вяжущего [12].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Особого внимания заслуживают асфальтополимербетоны, содержащие битумополимерные вяжущие, модифицированные этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой. Этиленглицидилакрилат синтезирован американскими научными работниками концерна

«DUPON», торговая марка «Элвалой АМ». В работах [13, 14] идентифицирован структурный фрагмент этиленглицидилакрилата.

Молекулярная масса фрагмента  $M = 842$  (3) содержит 5 % эпоксидных групп,  $n \approx 10-20$ , молекулярно-массовое распределение полимерных цепей от  $M = 8\ 000$  до  $M = 16\ 000$ .



Этиленовая основа этиленглицидилакрилата модифицирована глицидилакрилатом и придает системе эластичность, а глицидиловая (эпоксидная) группа обеспечивает стабильность системы вследствие взаимодействия с компонентами битума.

Установлены оптимальные температурно-временные режимы производства битумополимерного вяжущего, модифицированного этиленглицидилакрилатом (1,5...2,5 % от массы битума) с перемешиванием БПВ при 165 °С в течение часа в условиях турбулентности потока с последующим введением полифосфорной кислоты ПФК-105 (0,2 % от массы битума) и перемешиванием 20...30 минут [13].

Битумополимерное вяжущее в сравнении с немодифицированным битумом характеризуется эластичностью при 0 °С  $\mathcal{E}_0 = 62$  % против 0 %, адгезией по ДСТУ Б В.2.7-81...98 – 84 % по сравнению с 18 %, когезией 0,059 МПа по сравнению с 0,022 МПа, температурой размягчения 61 °С по сравнению с 37 °С, пенетрацией  $P_{25} = 67 \cdot 0,1$  мм по сравнению с  $P_{25} = 151 \cdot 0,1$  мм.

При модификации органических вяжущих СКМС-30 в органическом вяжущем в области эксплуатационных температур формируется термофлуктуационная пространственная полимерная сетка. Узлами цепей из макромолекул и надмолекулярных образований СКМС-30 являются  $\alpha$  – метилстирольные блоки, которые объединяются между собой с понижением температуры до точки перехода полистирола в стеклообразное состояние. Прочность термофлуктуационной пространственной полимерной сетки определяется количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность – кинетической гибкостью цепей между узлами сетки.

Необходимым условием эффективного влияния этиленглицидилакрилата на свойства нефтяного дорожного битума является их совместимость, заключающаяся в способности полимера растворяться в органическом вяжущем. Для оценки сродства битума и этиленглицидилакрилата целесообразно использовать полуэмперические параметры, которые тесно связаны с основными термодинамическими критериями, дают хотя и приближенные, но и однозначное и сопоставимое представление о совместимости этиленглицидилакрилата с низкомолекулярными компонентами битума. При механической активации минерального порошка терполимером в этиленглицидилакрилате из-за неравномерного распределения внутренних напряжений или локализации энергии удара на отдельных участках цепи возникают критические напряжения и происходит разрыв ковалентных связей (например С – Н, С – О), образуются свободные радикалы. Возможна прививка этиленглицидилакрилата к поверхности диспергируемых минеральных материалов. Образующиеся адсорбционные слои терполимера будут препятствовать сцеплению частиц минерального порошка в агрегаты [14].

Битумополимерное вяжущее должно быть термостабильным и седиментационно устойчивым в области технологических температур 165...170 °С. Структурная сетка из надмолекулярных образований шитых ПФК-105 должна сформироваться в битумополимерном вяжущем после окончания уплотнения асфальтополимербетонной смеси.

Таким образом часть дисперсионной среды битумов будет переведена макромолекулами и надмолекулярными образованиями этиленглицидилакрилата в адсорбционно-сольватное состояние. Это позволит увеличить вязкость битумополимерного вяжущего (БПВ), так как вязкость в области однофазных полимерных растворов линейно связана с объемной концентрацией вводимого полимера.

Битумополимерное вяжущее (БПВ) будет характеризоваться более широким интервалом пластичности без снижения деформативной способности, более пологой температурно-вязкостной

зависимостью. Этому будет способствовать непрерывный спектр молекулярно-массового распределения компонентов в БПВ.

Пространственная сетка полимера должна придать эластичность битумополимерному вяжущему. Это связано с тем, что макромолекулы этиленглицидилакрилата кроме колебательных и вращательных движений отдельных атомов внутри молекулы в цепных молекулах Элвалоя АМ, осуществляют еще вращательное движение отдельных звеньев цепи и продольное продвижение целых цепных молекул относительно друг друга [15].

В дальнейших исследованиях изучались технологические свойства модифицированных асфальтобетонных смесей и физико-механические свойства асфальтополимербетона состава: минеральная часть, представленная гранитным щебнем и песком, известняковым минеральным порошком, поверхностно-активирована раствором в бензине этиленглицидилакрилата 0,7 % мас. к массе минеральных материалов в пересчете на сухое вещество; органическое вяжущее – нефтяной дорожный битум БНД 60/90 ( $P_{25} = 74$  градуса по шкале пенетрометра) модифицирован 2,0 % мас. этиленглицидилакрилата в комплексе с 0,2 % мас. полифосфорной кислоты ПФК-105; содержание модифицированного битума 6,1 % сверх 100 % минеральной части.

Комплексная модификация микро- мезо- и макроструктуры бетонных смесей на органических вяжущих позволяет значительно расширить температурные интервалы укладки и уплотнения бетонных смесей на органических вяжущих, а значит, продлить строительный сезон и увеличить дальность перевозки смесей, повысить долговечность нежестких дорожных одежд.

Комплексно-модифицированные этиленглицидилакрилатом асфальтобетоны характеризуются более высокой средней плотностью и длительной водостойкостью, меньшей температурной чувствительностью механических свойств в диапазоне температур 0...75 °С и более высокими значениями предела прочности при сжатии в области высоких положительных температур (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-механические свойства асфальтобетона

Показатели	Состав мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б	
	Асфальтобетонная смесь приготовлена на битуме $P_{25} = 59$ град, известняковый минеральный порошок неактивирован	Асфальтобетонная смесь, в которой битум $P_{25} = 74$ град, модифицирован этиленглицидилакрилатом (2,0 % мас.) в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105 (0,2 % мас.); минеральные материалы (щебень, песок, минеральный порошок) поверхностно активированы этиленглицидилакрилатом (0,7 % мас.)
Средняя плотность, $\rho_0^a$ , кг / м <sup>3</sup>	2 338	2 453
Набухание, Н, % от объема	0,6	0,0
Водонасыщение, W, % от объема	2,94	0,25
Предел прочности при сжатии, МПа, при:		
0 °С	6,8	7,8
20 °С	3,1	6,1
50 °С	1,1	2,3
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, $K_{вд}$	0,78	1,0

## ВЫВОДЫ

Установлено, что сдвигоустойчивость асфальтобетона определяется уровнем сформированности каркаса минерального остова и адгезионно-когезионными свойствами пленочного органического вяжущего, находящегося в межзерновом пространстве.

Вследствие развитых адсорбционно-солеватных слоев вяжущего поверхностно-активированных минеральных материалов следует ожидать расширение температурного интервала уплотнения комплексно-модифицированных асфальтополимербетонных смесей. Асфальтополимербетоны характеризуются повышенной стойкостью к старению вследствие возрастания энергии поликонденсации углеводов и повышенными значениями усталостной долговечности вследствие роста адгезионно-когезионных свойств модифицированного органического вяжущего и сдвигоустойчивости.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы [Текст] / Р. Б. Гун. – М. : Химия, 1973. – 432 с.
2. Бутова, В. В. Исследование старения горячего и теплого асфальтобетона [Текст] : автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук : 05.23.05 – строительные материалы и изделия / В. В. Бутова. – Харьков, 1971. – 18 с.
3. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] : монография / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
4. О физико-химических явлениях, происходящих при технологическом старении дегтебетонных смесей [Текст] / В. И. Братчун, Д. В. Гуляк, В. Л. Беспалов [и др.] // Современные проблемы строительства : Ежегодн. науч.-техн. сб. – Донецк : ДП «Донецкий ПромстройНИИпроект», 2007. – № 4. – С. 190–196.
5. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов [Текст] / В. А. Золотарев. – Харьков : Вища шк., 1977. – 115 с.
6. ВБН В.2.3-218-186-2004. Дорожній одяг нежорсткого типу [Текст]. – К. : Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004. – 174 с.
7. Шестеркин, В. Д. Определение периода нормальной работы асфальтобетонного покрытия [Текст] / В. Д. Шестеркин // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1973. – № 8. – С. 133-136.
8. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны [Текст] / И. А. Рыбьев. – М. : Высшая шк., 1969. – 399 с.
9. Дорожный асфальтобетон [Текст] : монография / Л. Б. Гезенцевей, М. В. Горельшев, А. М. Богуславский, И. В. Королев. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
10. Об особенностях формирования граничных слоев на поверхности раздела фаз «минеральный порошок (МП) – модифицированное органическое вяжущее» [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов, Е. Э. Самойлова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2003. – Вип. 2003-1(38) : Композиційні матеріали для будівництва. – С. 3–8.
11. Битумополимерные вяжущие и асфальтополимербетоны, модифицированные Элвалоем АМ в комбинации с полифосфорной кислотой [Текст] / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2007. – Вип. 2007-1(31) : Сучасне промислове та цивільне будівництво. – С. 17–27.
12. Органические вяжущие для дорожного строительства [Текст] : учебное пособ. для вузов по специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова, Е. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-на-Дону : ДорТрансНИИ, РГСУ, 2003. – 428 с. – ISBN 5-88094-054-3.
13. Битумополимерные вяжущие и асфальтополимербетоны, модифицированные Элвалоем АМ в комбинации с полифосфорной кислотой [Текст] / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2007. – Вип. 2007-1(31) : Сучасне промислове та цивільне будівництво. – С. 17–27.
14. Химические процессы и формирование сетчатой структуры в битуме, модифицированном Элвалоем АМ в присутствии полифосфорной кислоты [Текст] / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, В. Л. Беспалов [и др.] // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук праць. – Одеса : ОДАБА, 2006. – Вип. 23. – С. 4–10.
15. Оптимизация состава асфальтовяжущего вещества «Битум – Элвалой АМ – шлам нейтрализации травильных растворов (ШН)», активированный полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол (ПОЭС) [Текст] / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, В. Л. Беспалов [и др.] // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2006. – Вип. 2006-5(61) : Сучасні будівельні конструкції і матеріали. – С. 133–138.

Получено 14.12.2015

В. Л. БЕСПАЛОВ

ТЕОРЕТИЧНІ ПРИНЦИПИ ОТРИМАННЯ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ДОВГОВІЧНІСТЮ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Показано, що найбільш раціональним способом підвищення стійкості до окисної деструкції в процесі експлуатації дорожніх асфальтобетонів є модифікація бітуму етиленгліцидилкрилатом в комбінації з поліфосфорною кислотою або бутадієнметилстирольним каучуком. Встановлено, що модифікація бітуму етиленгліцидилкрилатом в комбінації з поліфосфорною кислотою призводить до значного підвищення адгезії, когезії, еластичності бітумополимерного в'язучого (БПВ), а асфальтополимербетони характеризуються підвищеною щільністю, тривалою водостійкістю і морозостійкістю, зсувостійкістю і атмосферостійкістю.

**асфальтобетон з комплексно-модифікованою мікроструктурою, модифікований бітум, поверхнево-активований мінеральний порошок**

VITALY BESPALOV  
THEORETICAL PRINCIPLES OF PRODUCTION OF ROAD CONCRETE WITH  
ENHANCED DURABILITY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

It is shown that the most efficient way to improve resistance to oxidative degradation during use is asphalt road bitumen modification with ethyleneglycidyl acrylate in combination with polyphosphoric acid or butadiene-methylstyrene rubber. It was established that the modification of bitumen with ethyleneglycidyl acrylate in combination with polyphosphoric acid results in a significant increase of adhesion, cohesion, elasticity of bitumen-polymeric binder (BPV), and asphaltic concrete polymer characterized by high density, continuous water resistance and frost resistance, shear stability and resistance to atmospheric.

**asphalt concrete with a complex – modified microstructure, modified bitumen, surface activated mineral powder**

**Беспалов Віталій Леонідович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: синтез органічних в'язучих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг підвищеної довговічності.

**Беспалов Виталий Леонидович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: синтез органических вяжущих для производства композиционных дорожно-строительных материалов, используемых при строительстве конструктивных слоев нежестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности.

**Bespalov Vitaly** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: synthesis of organic astringent for a production road-build materials of compositions, used for building of structural layers of non-rigid travelling clothes of highways of the promoted longevity.