

УДК 691.167

**А. В. ЗАГОРОДНЯ**

ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет»

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ  
ЛИТЫХ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОНОВ**

**Аннотация.** Сформулированы теоретические положения о закономерностях формирования структуры литых асфальтополимерсеробетон с комплексно модифицированной микроструктурой, с прочной и эластичной пространственной матрицей, с высокой релаксационной способностью в области отрицательных температур. Показано, что наиболее рациональным способом повышения долговечности асфальтобетонов является комплексное регулирование микроструктуры модификацией битума дивинил-стирольным термоэластопластом ДСТ-30 совместно с технической серой и поверхностной активацией минерального порошка растворами олигомеров или полимеров, теоретически исследованы процессы взаимодействия модифицированных органических вяжущих и активированного минерального порошка. Приведены физико-механические и деформационно-прочностные свойства асфальтобетонов, содержащих битумополимерное вяжущее.

**Ключевые слова:** литой асфальтополимерсеробетон, микроструктура, поверхностно активированный минеральный порошок, битумополимерное вяжущее.

**ФОРМУЛИРОВКА НАУЧНОЙ ПРИКЛАДНОЙ ЗАДАЧИ**

Традиционные асфальтобетоны, согласно ДСТУ Б В.2.7-119:2011 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный», характеризуются неудовлетворительной деформативностью и сдвигоустойчивостью, способностью противостоять динамическим и долговременным статическим нагрузкам от транспортного потока, температурно-влажностным режимам различных агрессивных сред (кислот, щелочей) и т. д. [1, 2]. Повышение долговечности асфальтобетона возможно при создании такой структуры, которая рационально сочетает наиболее плотную упаковку полидисперсных частиц минерального остова (микроструктура плавно переходит в мезоструктуру, а затем в макроструктуру) и непрерывную пространственную сетку эластичного вяжущего с высокими значениями адгезии и когезии при минимально возможной толщине асфальтовяжущего вещества.

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Исследования, выполненные научными школами под руководством В. И. Братчуна, Л. Б. Гезенцева, Н. В. Горельшева, В. А. Золотарева, И. В. Королева, В. В. Мозгового, П. А. Ребиндера, И. А. Рыбьева и др., рассматривают структуру асфальтобетона как результат физико-химического взаимодействия между компонентами органического вяжущего и минерального материала [3–5, 14]. Доказано, что сцепление структурных элементов (зерен минерального материала) посредством коагуляционных контактов осуществляется в основном через равновесные по толщине тонкие прослойки органического вяжущего. Следовательно, свойства микроструктуры (структура асфальтовяжущего) определяют работу асфальтобетона в дорожной одежде. Также, основное внимание, уделяется регулированию качества микроструктуры асфальтобетона. Первостепенное значение придается соотношению между минеральным порошком и битумом, которое следует назначать достаточно высоким, а также качеству органического вяжущего и минерального порошка.

В работах [6, 7] показано, что рациональной следует считать такую структуру асфальтобетона, в которой сдвигоустойчивость обеспечивается только за счет сопротивления сдвигу минерального остова без участия битума. Так для получения сдвигоустойчивого бетона следует проектировать П

тип макроструктуры асфальтобетона, которая позволит эффективно использовать как свойства пленок органического вяжущего, разделяющих полидисперсные минеральные частицы, так и пространственный каркаса, образованного зернами щебня, способствующего повышению сдвигоустойчивости за счет увеличения плоскостей скольжения и их шероховатости.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Важнейшей составляющей структуры долговечного асфальтобетона является контактная зона – зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов. При этом сцепление структурных элементов (зерен минерального материала) посредством коагуляционных контактов осуществляется в основном через равновесные по толщине тонкие прослойки органического вяжущего. Следовательно, свойства микроструктуры (структура асфальтовяжущего) будут определять работу асфальтополимербетона в дорожной одежде [8].

Наиболее эффективным способом модификации литых асфальтобетонных смесей, обеспечивающих эластичность матрицы и прочную связь на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал» является комплексное регулирование макро-, мезо- и микроструктуры асфальтобетона введением в органическое вяжущее полимера и поверхностная активация щебня, песка и минерального порошка.

Необходимым условием эффективного влияния полимерана свойства органических вяжущих, являются совместимость этих компонентов, которая определяется, прежде всего, количеством и химическим составом масел битума. Только при этом условии можно получить существенное улучшение структуры и свойств органических вяжущих (этому способствуют близость параметров растворимости полимера и компонентов дисперсионной среды ОВ).

В качестве полимерной добавки, создающей пространственную эластичную структурную сетку в битуме, рассмотрен блоксополимер бутадиена и стирола типа СБС (в виде порошка или крошки) марки ДСТ-30 (рис. 1) по ТУ 38.403267-99.

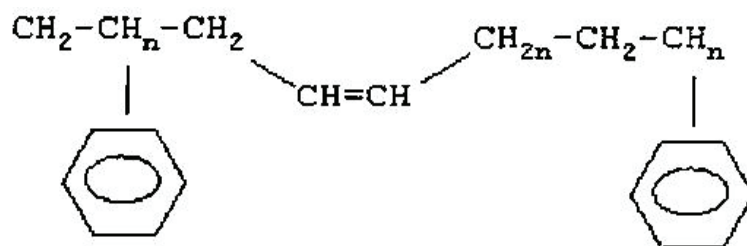


Рисунок 1 – Структурная формула дивинил-стирольного блоксополимера.

Дивинил-стирольные термоэластопласты, по параметрам растворимости к мальтенам битума, ближе полистирольные участки молекулярной цепочки, следовательно, полистирол растворяется битумными маслами лучше, чем полибутадиен. Но полистирол является жесткоцепным полимером, переходящим в застеклованное состояние при 90 °С, что препятствует образованию истинного раствора полистирола в битумных маслах при температурах эксплуатации асфальтобетонного покрытия. Полибутадиен – гибкоцепной полимер с температурой стеклования –70 °С способен образовывать истинный раствор с термодинамически плохим растворителем при указанных условиях [9].

Прибавление дивинил-стирольного блоксополимера ДСТ-30 к битуму приводит к адсорбированию полимером мальтенов. Оставшиеся свободные молекулы мальтенов способны связываться с асфальтенами. Создается ситуация, когда два высокомолекулярных соединения растворены в одном и том же растворителе, что способствует образованию гетерогенного растворителя. Поскольку две фазы имеют разные плотности, неперемешиваемые растворы при хранении и высокой температуре имеют тенденцию к расслоению. Параметры растворения зависят от температуры, следовательно, пока не установится постоянная температура, невозможно определить, относится ли смесь к совместимому или несовместимому типу.

Дивинил-стирольные термоэластопласты хорошо совмещаются с битумами, так как имеют относительно невысокую молекулярную массу: 80 000–100 000. Структура пространственной сетки образуется уже при 5%-ном содержании ДСТ-30, придавая продукту эластичность и обуславливая его совместимость в широком температурном диапазоне [10].

При дальнейшем повышении концентрации ДСТ-30 в битуме происходит выделение в отдельную фазу асфальтосмолистой части битума, не являющейся растворителем для полимера. Это говорит о том, что повышение концентрации смол препятствует формированию собственно полимерной сетки. Следствием этого может являться различная эффективность модификации полимером битумов разных структурных типов.

В качестве модифицируемой среды целесообразно использовать битум III структурного типа, как это принято в экономически развитых странах Европы, России и Украине. В этом случае в битуме при оптимальной концентрации полимера образуется самостоятельная пространственная полимерная сетка, прочность которой будет определяться количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность кинетической гибкостью цепей между узлами сетки.

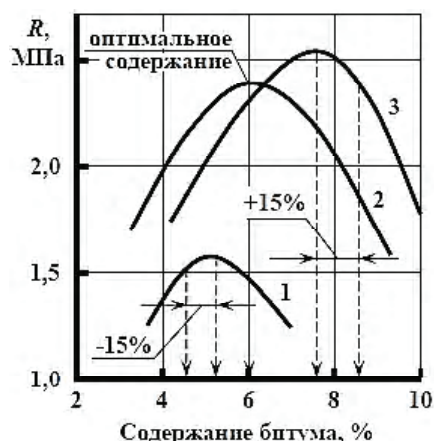
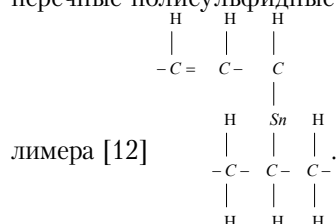


Рисунок 2 – Зависимость прочности при 20 °С холодного (1), горячего (2) и литого (3) асфальтобетона от содержания битума.

Содержание в литом асфальтополимерсеробетоне битума больше оптимального, определяемого по максимуму прочности асфальтобетона (рис. 2). Такое количество битума почти полностью заполняет поры (их до 20 %) минерального остова [6, 11].

Для упрочнения пространственной сетки битумополимерную композицию следует структурировать технической серой.

По мере увеличения концентрации элементарной серы происходит увеличение общей структурированности системы в результате того, что незначительная часть серы принимает участие в вулканизации дивинил-стирольного термоэластопласта ДСТ-30 (образуются преимущественно моносulfидные  $-C-S-C-$  и поперечные полиsulfидные связи между макромолекулами сопо-



До 10 % мас. серы вступает в химическое взаимодействие с углеводородами битума, в результате чего происходит -S- дегидрирование и образование высокомолекулярных асфальтеноподобных или угленодобных веществ полимерных сульфидов углерода. Часть серы растворяется (20...26 % мас.). Остальная сера диспергируется в битуме до коллоидного состояния. Это приводит к усилению коагуляционного структурообразования в битумополимерсерном вяжущем за счет взаимодействия частиц серы через прослойки полимера. Таким образом в битумополимерсерном вяжущем возникает трехмерная сопряженная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически связанная сера, кристаллы серы и коллоидно-диспергированная сера.

Важное место в технологии асфальтополимерсеробетона отводится выбору структурирующего компонента битума – минерального порошка (наполнителя). Комплексное модифицирование микроструктуры бетонов на органических вяжущих приводит к формированию более развитых адсорбционно-сольватных слоев на поверхности активированного минерального порошка.

Механическое диспергирование карбонатных горных пород приводит к появлению в поверхностных слоях ионов  $Ca^{2+}$  и  $CO_3^{2-}$ . Наряду с явлением аморфизации выделяется  $CO_2$  и образуются  $CaO$ ,  $Ca(OH)_2$ . При измельчении твердых тел, реакционная способность возрастает вследствие возникновения новых поверхностей, изменения структуры поверхностного слоя, а также образования свободных радикалов и ионов, которые легко вступают в химическое взаимодействие с обычными насыщенными молекулами.

В результате неравномерного распределения внутренних напряжений или локализации энергии удара на отдельных участках цепи олигомера возникают критические напряжения, в результате чего происходит разрыв ковалентных связей в молекуле олигомера, что приводит к образованию активных частиц (свободных радикалов, ионов или ион-радикалов) [13].

Кроме взаимодействия активных участков свежесформированных поверхностей минеральных частиц и эпоксидной смолы, следует ожидать реализацию донорно-акцепторных связей из-за того, что олигомеры эпоксидной смолы содержат в цепи атомы кислорода с неподеленной парой электронов, а катионы кальция, которые содержатся в минеральном порошке, имеют свободные орбитали.

Минеральный порошок активируют растворами термоэластопластов, например, марки ДСТ-30, а битум модифицируют комплексной добавкой, включающей 2 % дивинил-стирольного блоксополимера ДСТ-30 и 30...40 % технической серы. На поверхности минерального порошка формируется структурированный слой модификатора, приводящей к резкому усилению межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз «битумополимерсерное вяжущее – минеральный порошок». Это создает прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсеробетона с высокой адгезией и когезией.

Важную роль в формировании структуры минерального остова литого асфальтополимерсеробетона играют песок и щебень. В частности, щебень играет роль высокопрочного структурообразующего компонента, который заполняет наибольший объем бетона [6].

Минеральная часть литых асфальтобетонных смесей, применяемых в Украине, отличается большим содержанием зерен щебня и минерального порошка (таблица).

**Таблица** – Гранулометрические составы минеральной части литых смесей (извлечение из СОУ 42.1-37641918:2013)

Вид смеси по крупности, мм	Содержание зерен, %, на ситах с размером отверстий, мм									
	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
15	0–10	5–25	40–55	45–66	50–70	57–72	63–80	70–84	74–85	15–26
10		0–20	35–50	42–62	52–68	59–73	65–78	70–84	74–85	15–26
песчаная			0–10	10–25	33–50	55–71	68–77	75–82	77–85	15–23

Песок же заполняет основной объем пустот в щебеночном каркасе, при этом не оказывая структурирующего влияния на пограничные битумные слои [14].

Компоненты комплексно модифицированной микроструктуры сорбируют большую часть масел и смол, тем самым замедляя интенсивность испарения и избирательной диффузии низкомолекулярных углеводородов внутрь минеральных зерен. Кроме того, увеличивается энергия активации реакции поликонденсации групп веществ, составляющих битум, что также влияет на повышение долговечности литого асфальтополимерсеробетона.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, сформулированы теоретические положения о закономерностях формирования структуры литых асфальтополимерсеробетонов с комплексно модифицированной микроструктурой, с прочной и эластичной пространственной матрицей, с высокой релаксационной способностью в области отрицательных температур. Показано, что наиболее рациональным способом повышения долговечности асфальтобетонов является комплексное регулирование микроструктуры модификацией битума дивинил-стирольным термоэластопластом ДСТ-30 совместно с технической серой и поверхностной активацией минерального порошка растворами олигомеров или полимеров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по применению литого асфальтобетона для строительства дорожных покрытий [Текст]. – М. : Союздорнии, 1975. – 17 с.
2. ТУ 5718-002-04000633-2006. Смесей асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон [Текст] / канд. техн. наук Л. В. Городецкий, д-р техн. наук А. В. Руденский. – Взамен ТУ 400-24-158-89\* ; введ. 2006-01-01 / Комплекс архитектуры, строительства, развития и реконструкции города Москвы, Департамент градостроительной политики, развития и реконструкции города, ГУП НИИ Московского строительства ГУП «НИИМОССТРОЙ». – М. : [б. и.], 2006. – 19 с.
3. Золотарев, В. А. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы с добавками в дорожном строительстве [Текст] / В. А. Золотарев, В. И. Братчун // Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (S8). – Харьков : ХНАДУ, 2003. – 229 с.
4. Горельшев, Н. В. Взаимодействие битума и минерального порошка в асфальтовом бетоне [Текст] / Н. В. Горельшев // Труды МАДИ. – М., 1955. – Вып. 10. – С. 20–23.
5. Гохман, Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон [Текст] / Л. М. Гохман. – М. : ЗАО «ЭконИнформ», 2008. – 117 с.
6. Золотарев, В. А. Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны [Текст] : учебник в 2 ч. Часть 2. Дорожные асфальтобетоны / В. А. Золотарев. – Харьков : ХНАДУ, 2016. – 204 с.

7. Братчун, В. И. Модифицированные деги и дегтебетоны повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, В. А. Золотарев. – Макеевка : МОН Украины, ДонГАСА, 1998. – 226 с.
8. О технологических и физико-механических свойствах асфальтобетона с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой [Текст] / В. Л. Беспалов, В. И. Братчун, Ахмет Талиб Мутташар Мутташар [и др.] // Актуальные проблемы физико-химического материаловедения : сб. тезисов по материалам международной научно-практической конференции, 30 сентября–4 октября 2013 г., г. Макеевка. – 2013. – Макеевка : ДонНАСА, 2013. – С. 92–99.
9. ОДМ 218.2.003-2007 Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжучих материалов на основе блок-сополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог [Текст]. – Введ. 2007-02-01 / СоюздорНИИ. – М. : Росавтодор, 2007. – 120 с.
10. Vibeke, Wegan The Structure of Polymer Modified Binders and Corresponding Asphalt Mixtures [Текст] / Vibeke Wegan, Bernard Brulé // Danish Road Institute. – 1999. – № 92. – 28 p.
11. Brule, V. La microscopie de fluorescence appliquee a l'observation des bitumes thermostables [Текст] / V. Brule, M. Druon // Bull. Liaison Labo P. et. Ch. – 1975. – № 79. – P. 11–14.
12. Гурарий, Е. М. Влияние серы на структурообразование в битумах [Текст] / Е. М. Гурарий // Труды СоюзДорНИИ. – М. : [б. и.], 1971. – Вып. 44. – С. 137–145.
13. Братчун, В. И. 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 державної академії будівництва і архітектури, Макіївка. – 2003. – Вып. 1(38). – С. 3–8.
14. Гезенцев, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов: [Текст] / Л. Б. Гезенцев. – М. : Стройиздат, 1971. – 256 с.

Получено 03.04.2018

**А. В. ЗАГОРОДНЯ**  
**ТЕОРЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ЛИТИХ**  
**ДОРОЖНІХ АСФАЛЬТОПОЛІМЕРСІРКОБЕТОНІВ**  
 ДОУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет»

**Анотація.** Сформульовані теоретичні положення про закономірності формування структури литого асфальтополімерсіркобетону з комплексно модифікованою мікроструктурою, з міцною і еластичною просторовою матрицею з високою релаксаційною здатністю в зоні негативних температур. Показано, що найбільш раціональним способом підвищення довговічності асфальтобетону є комплексне регулювання мікроструктури модифікацією бітуму дивініл-стирольним термоеластопластом DST-30 спільно з технічною сіркою з поверхневою активацією мінерального порошку розчинами олігомерів або полімерів, теоретично досліджені процеси взаємодії складових в модифікованих органічних в'язучих і активованого мінерального порошку. Наведені фізико-механічні і деформаційно-міцнісні властивості асфальтобетонів, що містять бітумополімерне в'язуче.

**Ключові слова:** литий асфальтополімерсіркобетон, мікроструктура, механоактивований мінеральний порошок, бітумополімерне в'язуче.

**ANASTASIA ZAGORODNYAYA**  
**THE THEORETICAL PATTERNS OF FORMATION OF CAST CONCRETE ROAD**  
**ASPHALT AND POLYMERIC SULFUR CONCRETES STRUCTURE**  
 SEI «Lugansk National Agrarian University»

**Abstract.** Theoretical regulations on regularities of formation of structure of a cast concrete road asphalt and polymeric sulfur concretes with in a complex modified microstructure in which the strong and elastic space matrix with high relaxation ability in the field of the negative temperatures is created are formulated. It is shown that the most rational way of increase in a longevity of asphalt concrete is complex regulation of a microstructure modification of bitumen on the basis of block butadiene-styrene copolymer like DST-30 together with technical sulfur with surface activation of mineral powder solutions of oligomers or polymers and investigated processes of interaction of components in modified organic knitting. Physic mechanical and straining and strength properties of the asphalt concrete containing bitumen and polymeric knitting are studied.

**Key words:** cast concrete road asphalt and polymeric sulfur concretes, microstructure, the surface activated mineral powder, the modified bitumen.

**Загородняя Анастасия Викторовна** – аспирант кафедры землеустройства, строительства автомобильных дорог и геодезии ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: разработка теоретических положений о закономерностях формирования структуры и физико-механических свойств литого асфальто-полимерсеробетона.

**Загородня Анастасія Вікторівна** – аспірант кафедри землеустрою, будівництва автомобільних доріг і геодезії ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: розробка теоретичних положень про закономірності формування структури і фізико-механічних властивостей литого асфальтополімерсіркобетону.

**Zagorodnyaya Anastasia** – post-graduate student, Land Management, Road Construction and Geodesy Department, SEI «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests development of theoretical provisions on the regularities of the formation of structure and physic and mechanical properties of cast concrete road asphalt and polymeric sulfur concretes.