

# ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



**ВЫПУСК 2022-1(153)**

**СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры”

# **ВЕСТНИК**

**Донбасской национальной академии  
строительства и архитектуры**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

Издается с декабря 1995 года  
Выходит не менее 6 раз в год

**Выпуск 2022-1(153)**

**СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

Макеевка 2022

ДООУ ВПО “Донбаська національна академія  
будівництва і архітектури”

# **ВІСНИК**

**Донбаської національної академії  
будівництва і архітектури**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

Видається з грудня 1995 року  
Виходить не менш 6 разів на рік

**Випуск 2022-1(153)**

**СУЧАСНІ  
БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Макіївка 2022

## **Основатель и издатель**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации серия ААА № 000094

выдано 17.01.2017 г. Министерством информации ДНР

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации.

В случае использования материалов ссылка на «Вестник ДонНАСА» является обязательной.

Выпускается по решению ученого совета

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Протокол № 6 от 31.01.2022 г.

## **Редакционный совет:**

Горохов Е. В., д. т. н., профессор – главный редактор;

Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор – зам. гл. редактора (научный редактор);

Югов А. М., д. т. н., профессор – технический редактор;

Братчун В. И., д. т. н., профессор – ответственный редактор выпуска.

## **Редакционная коллегия:**

Братчун В. И., д. т. н., профессор;

Горохов Е. В., д. т. н., профессор;

Зайченко Н. М., д. т. н., профессор;

Левченко В. Н., к. т. н., профессор;

Лобов М. И., д. т. н., профессор;

Любомирский Н. В., д. т. н., профессор;

Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор;

Петраков А. А., д. т. н., профессор;

Фролова С. А., к. х. н., доцент;

Югов А. М., д. т. н., профессор;

Ядыкина В. В., д. т. н., профессор.

Корректоры Л. М. Лещенко, Е. В. Гнездилова

Программное обеспечение С. В. Гавенко

Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано к выпуску 21.02.2022

## **Адрес редакции и издателя**

86123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2,

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Телефоны: +38(062) 343-7033; +38(062) 343-7028

E-mail: [vestnik@donnasa.ru](mailto:vestnik@donnasa.ru), <http://vestnik.donnasa.ru>

Приказом МОН ДНР № 464 от 02.05.2017 г. журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Выпущено в полиграфическом центре

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

86123, ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2



### **Засновник і видавець**

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»  
Свідоцтво про реєстрацію засобу масової інформації серія ААА № 000094  
видано 17.01.2017 р. Міністерством інформації ДНР

Автори надрукованих матеріалів несуть відповідальність за вірогідність наведених відомостей, точність даних за цитованою літературою і за використання в статтях даних, що не підлягають відкритій публікації.

У випадку використання матеріалів посилання на «Вісник ДонНАБА» є обов'язковим.

Випускається за рішенням Вченої ради  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»  
Протокол № 6 від 31.01.2022 р.

### **Редакційна рада:**

Горохов Є. В., д. т. н., професор – головний редактор;  
Мущанов В. П., д. т. н., професор – заст. гол. редактора (науковий редактор);  
Югов А. М., д. т. н., професор – технічний редактор;  
Братчун В. І., д. т. н., професор – відповідальний редактор випуску.

### **Редакційна колегія:**

Братчун В. І., д. т. н., професор;	Любомирський М. В., д. т. н., професор;
Горохов Є. В., д. т. н., професор;	Мущанов В. П., д. т. н., професор;
Зайченко М. М., д. т. н., професор;	Петраков О. О., д. т. н., професор;
Левченко В. М., к. т. н., професор;	Фролова С. О., к. х. н., доцент;
Лобов М. І., д. т. н., професор;	Югов А. М., д. т. н., професор;
	Ядикіна В. В., д. т. н., професор.

Коректори Л. М. Лещенко, О. В. Гнездилова  
Програмне забезпечення С. В. Гавенко  
Комп'ютерне верстання Є. А. Солодкова

Підписано до випуску 21.02.2022

### **Адреса редакції і видавця**

86123, ДНР, м. Макіївка, вул. Державіна, 2,  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»  
Телефони: +38(062) 343-7033; +38(062) 343-7028  
E-mail: vestnik@donnasa.ru, <http://vestnik.donnasa.ru>

Наказом МОН ДНР № 464 від 02.05.2017 р. журнал включено до переліку рецензованих наукових видань, в яких повинні бути опубліковані основні наукові результати дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, на здобуття наукового ступеня доктора наук

Випущено у поліграфічному центрі  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»  
86123, ДНР, м. Макіївка, вул. Державіна, 2

УДК 625.825.3

**В. И. БРАТЧУН, В. П. ДЕМЕШКИН, О. Н. НАРИЖНАЯ, М. А. РОДЗИН, А. С. КРАСНОПЁРОВ,  
М. Г. СОЛОВЬЁВ, П. П. ДЕЙНЕКА**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ОПТИМАЛЬНЫЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫЕ РЕЖИМЫ  
ПРОИЗВОДСТВА ДЁГТЕПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПЕРВИЧНЫМИ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА  
ТЕРМОПЛАСТОВ**

**Аннотация.** Микроскопическими, кондуктометрическими и вискозиметрическими методами показано, что при объединении первичных порошкообразных отходов производства поливинилхлорида (отсев, фильтрационный кек, корка, пыль) и полистирола (отсев) существует несколько характерных температур: температура набухания (50...70 °С), соответствующая переходу полимера из стеклообразного в высокоэластическое состояние; температура диспергирования частиц полимера на агрегатоглобулярные образования в результате действия давления набухания сорбированной частицами полимера  $\gamma$ -фракции каменноугольных вяжущих; температура растворения (105...125 °С). Оптимальное время приготовления дегтеполимерных вяжущих (ДПВ) при температурах растворения 50–70 минут. При данных температурно-временных режимах производства ДПВ достигаются максимальная адгезия дегтеполимерного вяжущего к поверхности минеральных материалов и эластичность модифицированного органического вяжущего.

**Ключевые слова:** дегтеполимерные вяжущие, первичные отходы производства поливинилхлорида и полистирола, температурно-временные режимы производства дегтеполимерных вяжущих.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ**

Дегтебетонные смеси являются эффективными дорожно-строительными материалами для устройства нижних конструктивных слоев нежестких дорожных одежд, так как сырьевая база для производства каменноугольных дорожных дегтей (ГОСТ 4641-80, дата актуализации 01.08.2021) в несколько раз превышает сырьевую базу производства нефтяных дорожных битумов. Этот материал широко применяется для строительства конструктивных слоев дорожных одежд во многих странах мира (ГОСТ 25877-83, дата актуализации 01.08.2021). Однако дегтебетонные покрытия автомобильных дорог не долговечны [1, 2]. Это обусловлено недостаточной плотностью покрытия из-за узкого температурного интервала уплотнения дегтебетонных смесей; неудовлетворительной деформативностью и сдвигоустойчивостью; низкой морозостойкостью и водостойкостью; склонностью к интенсивному старению.

Свойства дегтебетона – материала с коагуляционным типом контактов – определяются прежде всего качеством органического вяжущего и характером взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал». Каменноугольные дорожные дегти характеризуются высокими температурами перехода в упруго-хрупкое состояние и низкими температурами текучести, а также неудовлетворительной когезией и отсутствием эластичности [1, 2]. Эффективным способом регулирования адгезионно-когезионных свойств каменноугольных дорожных дегтей, эластичности и обеспечения стабильности свойств дегтебетона является модификация каменноугольных дорожных дегтей первичными отходами производства поливинилхлорида и полистирола [3, 4]. Однако комплексные исследования температурно-временных режимов производства дегтеполимерных вяжущих отсутствуют.

© В. И. Братчун, В. П. Демешкин, О. Н. Нарижная, М. А. Родзин, А. С. Краснопёров, М. Г. Соловьёв, П. П. Дейнека, 2022

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Теоретическое и экспериментальное установление оптимальных температурно-временных режимов производства дегтеполивинилхлоридных и дегтеполистирольных вяжущих.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для модификации каменноугольных дорожных дегтей использованы первичные отходы производства поливинилхлорида (фильтрационный кек, отсев, пыль, корка) Донецкого химзавода, Первомайского химкомбината, Днепродзержинского объединения «Азот», имеющие константу Фикентчера 66-69 и молекулярную массу 12·10<sup>4</sup>; первичный отход производства полистирола Горловского объединения «Стирол».

В качестве органических вяжущих приняты каменноугольная смола (ОСТ 14-62-80) и составленные дегти каменноугольные дорожные (ГОСТ 4641-80), 15 объектов вязкостью от  $C_{30}^{10}=5$  с до  $C_{50}^{10}=55$  с.

Использован известняковый минеральный порошок: содержание  $CaCO_3$  – 92 %; удельная поверхность  $S_{12} = 400$  м<sup>2</sup>/кг; плотность 2 715 кг/м<sup>3</sup>; средняя плотность под нагрузкой 40 МПа – 1 880 кг/м<sup>3</sup>; пустотность – 31,8 %; битумоемкость – 50 %.

Щебень и песок получены дроблением и рассевом гранита Каранского месторождения (Донецкая область) со следующими показателями качества: дробимость – 6,2 % (марка щебня по прочности – 1400); истираемость щебня в полочном барабане – 2,3 %; насыпная плотность щебня – 1 410 кг/м<sup>3</sup>; истинная плотность 2 670 кг/м<sup>3</sup>; морозостойкость  $F > 200$  циклов; содержание зерен лещадной и игольчатой формы – 6,5 %.

Дегтебетоны приняты мелкозернистый (тип В) и песчаный (тип Г).

В настоящей работе, кроме стандартных методов, использован ряд специальных методов исследований. Изучение совместимости и температур растворения первичных отходов производства поливинилхлорида и полистирола в каменноугольных вяжущих осуществлялось кондуктометрическим, оптическим, вискозиметрическим и методом калориметрии. Изучение структуры дегтеполимерных вяжущих выполнено на ротационном пластовискозиметре с коаксиальными цилиндрами типа ПВР-2 в диапазоне скоростей деформирования  $\dot{\gamma} = 4 \cdot 10^{-1} \dots 7,53 \cdot 10^2$  с<sup>-1</sup> при температурах от 0 до 60 °С.

В настоящей работе в качестве критерия структурированности вяжущих принят коэффициент аномалии вязкости  $C = \lg \tau / \lg \dot{\gamma}$ , определяемый из силового закона деформирования (1):

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}^c}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – эффективная вязкость;

$\tau$  – действующее касательное напряжение;

$\dot{\gamma}$  – скорость деформирования. Если  $c = 0,95-1$ , то материал представляет ньютоновскую жидкость. Если же  $c < 0,8$ , то в системе присутствует пространственная полимерная сетка. Если  $c = 0,80 \dots 0,95$  системы относятся к промежуточным типам растворов полимеров по степени организации пространственного каркаса из надмолекулярных образований полимеров. Дополнительную информацию о структуре дегтеполимерных вяжущих получали на основании определения предела сдвиговой прочности модифицированного вяжущего.

## ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Необходимым условием эффективного влияния полимера на свойства органических вяжущих является их совместимость, заключающаяся в способности полимера растворяться в каменноугольном вяжущем. Согласно [5, 6], параметры растворимости поливинилхлорида и полистирола, которые приняты в настоящей работе для исследований составляют  $20,6 \cdot 10^{-3}$  (Дж/м<sup>3</sup>)<sup>0,5</sup> и  $18,2 \cdot 10^{-3}$  (Дж/м<sup>3</sup>)<sup>0,5</sup> соответственно.

Энтальпию  $\Delta H_i^{\text{испар}}$  при 25 °С для многих соединений можно вычислить по эмпирическому уравнению Гильденбранда [7]:

$$\Delta H_i^{\text{испар}} = -1\,2350 + 99,2 \cdot T_{\text{кип}} + 0,084 \cdot T_{\text{кип}}^2, \quad (2)$$

где  $T$  – температура кипения растворителя, °К.

$$\Delta H_i^{\text{испар}} = -12\,350 + 99,2 \cdot (273 + 330) + 0,084 \cdot (273 + 330)^2 = 78\,011 \text{ Дж/моль},$$

В каменноугольных дорожных дегтях низкомолекулярным компонентом, растворяющим полимер, является антраценовое масло ( $\gamma$ -фракция). Находим параметр его растворимости.

$$\delta = \sqrt{\frac{78,011 - 2,5}{0,161}} = 21,65 \cdot 10^{-3} \left( \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right)^{0,5},$$

где 0,161 – молярный объём антраценового масла,  $\text{м}^3$

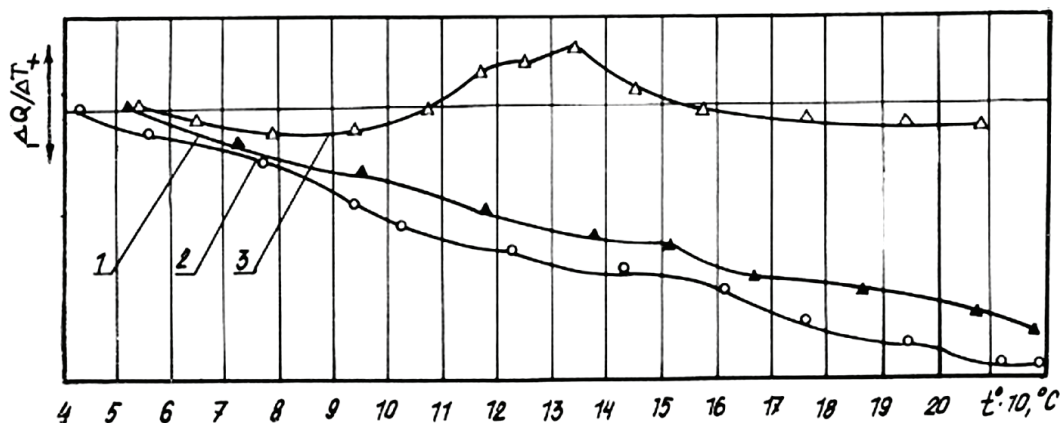
$$v_i = \frac{M_m}{\rho} = \frac{182}{1130} = 0,161 \text{ м}^3, \quad (3)$$

Таким образом, параметры растворимости антраценового масла, поливинилхлорида и полистирола близки между собой:  $21,65 \approx 20,6 \approx 18,2$  ( $\text{Дж}/\text{м}^3$ )<sup>0,5</sup>.

Для поливинилхлорида, как полярного полимера, большое значение имеет полярность растворителей, оцениваемая диэлектрической проницаемостью, которая тесно взаимосвязана с плотностью когезии. Диэлектрическая проницаемость совместимых с поливинилхлоридом растворителей при 25 °С должна составлять 4–8, а при температуре размягчения ПВХ она должна быть для ПВХ 10 и более [6].

По данным наших исследований [8], диэлектрическая проницаемость каменноугольных смол и антраценового масла при 25 °С составляет 4,5 и 5,2 соответственно, что отвечает первому условию. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры показывает, что значение для диэлектрической проницаемости низкомолекулярных компонентов дегтей и самих дегтей в области перехода ПВХ в высокоэластическое состояние составляет более 10 [8]. Следовательно, и по второму условию каменноугольный дорожный деготь и ПВХ должны быть совместимы. Это связано с тем, что плотность когезии является интегральной характеристикой межмолекулярного взаимодействия, а растворимость компонентов обусловлена конкретными функциональными группами, между которыми проявляются взаимодействия. Поэтому для растворителей ПВХ разработана ранговая классификация, согласно которой растворителями ПВХ являются соединения с такими комбинациями атомных группировок, как: полярные-поляризующиеся-неполярные [8]. ИК-спектры типичных низкомолекулярных компонентов дегтей (антраценовое масло, каменноугольные смолы [9] показывают наличие в них полярных и поляризующихся ароматических соединений.

Калориметрические исследования (рис. 1) в режиме сканирования свидетельствуют о том, что процесс взаимодействия каменноугольных вяжущих, например, с полистиролом (ПС), экзотермический, что согласуется с данными, приведенными в работе [10].



**Рисунок 1** – Зависимость тепловой мощности ( $\Delta Q/\Delta T$ ) системы от температуры ( $t^\circ$ ): 1 – деготь вязкостью  $C_{30}^{10}=13$  с; 2 – полистирольная пыль; 3 – деготь вязкостью  $C_{30}^{10}=13$  с с полистирольной пылью.

Но термодинамическую совместимость необходимо рассматривать, когда полимер находится в высокоэластическом состоянии. Поэтому большое значение имеет физическое состояние ПВХ и ПС, и факторы, которые оказывают влияние на переход его из стеклообразного в высокоэластическое состояние, а именно, температура, время и пластифицирующее действие растворителя, так как температура стеклования пластифицированного полимера понижается.

В связи с тем, что ПВХ и ПС при комнатной температуре находятся в стеклообразном состоянии, их растворяют при нагревании. Стадийное растворение полимеров в каменноугольных вяжущих сопровождается изменением физических и механических свойств дисперсий порошкообразных полимеров. Поэтому при нагревании суспензий «каменноугольное вяжущее-порошкообразный полимер» существует ряд характерных зон изменения эффективной вязкости  $\eta$ , удельного объемного электрического сопротивления  $\rho_v$  и размеров частиц (рис. 2, 3, 4, 5, 6, 7).

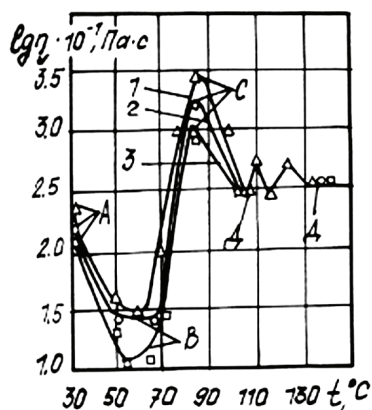


Рисунок 2 – Зависимость эффективной вязкости ( $\eta$ ) суспензий полимера в каменноугольной смоле от температуры ( $t^\circ$ ): 1 – фильтрационный кек; 2 – отсев; 3 – корка.

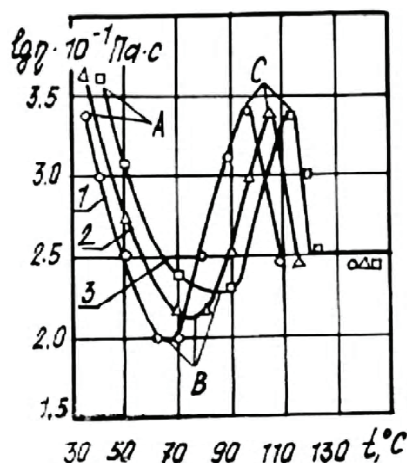


Рисунок 3 – Зависимость эффективной вязкости ( $\eta$ ) суспензий отсева ПВХ от температуры ( $t^\circ$ ) в каменноугольных дегтях вязкостью: 1 –  $C_{30}^{10} = 55$  с; 2 –  $C_{30}^{10} = 180$  с; 3 –  $C_{50}^{10} = 20$  с.

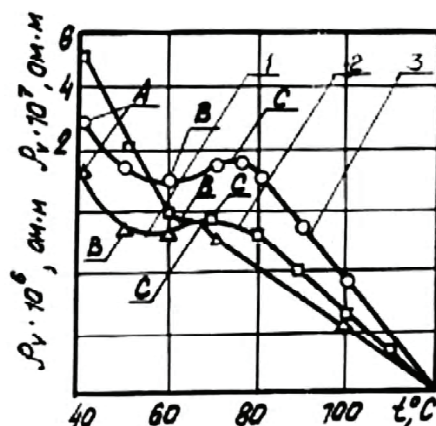
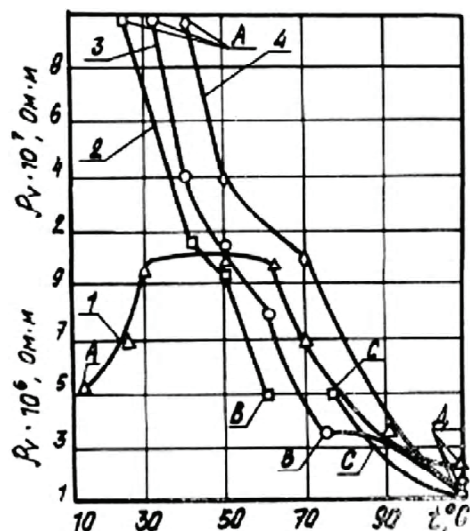


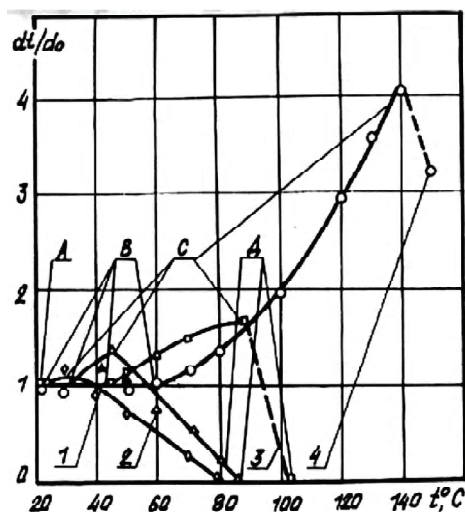
Рисунок 4 – Зависимость удельного объемного электрического сопротивления ( $\rho_v$ ) в растворителях каменноугольного происхождения от температуры ( $t^\circ$ ): 1 – антраценовое масло; 2, 3 – каменноугольные смолы Ясиновского и Харьковского КХЗ соответственно.

Первая зона (А–В) (рис. 2–7) соответствует изменению температуры от 30 до 90 °С для ПВХ и от 20 до 60 °С для ПС. Вторая зона (В–С) находится в интервале от 50 до 115 °С для ПВХ и от 30 до 140 °С для ПС соответственно. Третья (С–D) отвечает интервалу температур 80...135 °С для поливинилхлорида и 80...110 °С для полистирола, а четвертая (D–E) 110...135 °С для ПВХ. Границы температурных зон, отражающие особенности кинетики растворения полимеров в каменноугольных растворителях, зависят от их вида.

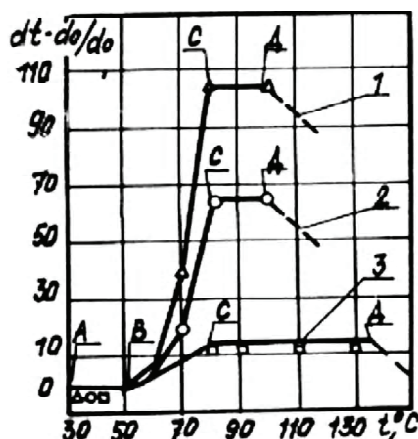
При объединении полимеров, находящихся в порошкообразном состоянии низкомолекулярные компоненты дисперсионной среды каменноугольных смол и дегтей, проникают в открытые поры полимера, которые представляют собой капилляры сложной формы. Растворитель контактирует с полимером как по внешней поверхности зерен, так и по поверхности доступных глобулярных образований. Капиллярная пропитка зерен полимеров приводит к изменению размеров частиц.



**Рисунок 5** – Зависимость удельного объемного электрического сопротивления ( $\rho_v$ ) дисперсии полистирольной пыли в растворителях каменноугольного происхождения от температуры ( $t^\circ$ ): 1 – антраценовое масло; 2, 3, 4 – дегти с условной вязкостью  $C_{30}^{10} = 50$  с,  $C_{30}^{10} = 100$  с,  $C_{30}^{10} = 12$  с соответственно.



**Рисунок 6** – Зависимость относительного размера частиц поливинилхлорида ( $d_t-d_0/d_0$ ) в антраценовом масле от температуры ( $t^\circ$ ): 1 – фильтрационный кек; 2 – отсев; 3 – пыль; 4 – корка.



**Рисунок 7** – Зависимость относительного размера ( $d_t-d_0$ ) частицы полистирола от температуры ( $t^\circ$ ): 1 – в антраценовом масле; 2 – в дегте вязкостью  $C_{30}^{10} = 13$  с соответственно; 3 – частица полистирола с большим содержанием кристаллических областей.

С повышением температуры в зоне А–В значения  $\eta$  и  $\rho_v$  смеси снижаются (рис. 2–6). В этом интервале температур, частицы порошкообразного полимера находятся в стеклообразном состоянии. Вязкость и удельное объемное электрическое сопротивление определяются свойствами дисперсионной среды. Снижение  $\rho_v$  (рис. 4, 5) обусловлено увеличением подвижности дипольных молекул растворителя из-за снижения вязкости каменноугольных вяжущих.

При температурах, соответствующих переходу к зоне В–С (рис. 6, 7) размеры зерен увеличиваются. Вследствие тепловых флуктуаций и пластифицирующего действия растворителя возрастает подвижность макромолекул и надмолекулярных образований полимера. Полимер переходит в высокоэластическое состояние. Интенсивность поглощения молекул каменноугольных вяжущих частицами полимера резко повышается. Полярные компоненты вяжущих проникают внутрь глобул поливинилхлорида и взаимодействуют с диполями С–Cl. Так как молекулы низкомолекулярных компонентов каменноугольных смол и дегтей экранируют полярные группы соседних глобул, то последние не могут взаимодействовать между собой. Свободных диполей в цепи макромолекул становится меньше. Полимер расстекловывается, в результате чего повышается его эластичность.

Повышение температуры приводит к тому, что некоторая часть дипольных молекул вместе с растворителем переходит в более вязкую среду – частицы ПВХ. Это вызывает рост значений  $\eta$  и  $\rho_v$  (рис. 2, 3, 4, 5). В таких условиях набухание зерен эквивалентно увеличению концентрации дисперсной фазы, что выражается в резком возрастании до максимума вязкости (точка С) (рис. 2, 3). Максимум вязкости соответствует наибольшей прочности между размягченными частицами полимера и максимальному увеличению объема зерен (рис. 6, 7). При дальнейшем возрастании температуры прочность связей между пластифицированными надмолекулярными структурами полимера снижается до такой степени, что она становится меньше напряжений набухания. Частицы полимера распадаются под давлением набухания на глобулярные образования. Вязкость и объемное электрическое сопротивление систем уменьшается (рис. 2–5).

Частицы полимеров с большим количеством кристаллических образований (областей) растворяются по несколько иному механизму из-за недоступных последних действию растворителя. Этот механизм обусловлен диффузией перемещения сольватированных агрегатов в объеме раствора и плавлением кристаллической фазы (рис. 2, 6, 7).

При повышении температур до значений, отвечающих точке D, вязкость систем стабилизируется. В данном случае растворение ПВХ характеризуется динамическим равновесием между процессами разрушения и восстановления надмолекулярных структур. Границы раздела между набухшими зернами полимера и растворителем исчезают, и раствор полимера становится оптически прозрачным.

Температура растворения полимеров в каменноугольных вяжущих зависит от консистенции последних (рис. 3). При повышении вязкости модифицируемого дегтя уменьшается концентрация полярных компонентов в каменноугольных вяжущих и увеличивается диффузионная стадия растворения полимера.

Таким образом, в процессе совмещения поливинилхлорида с каменноугольными смолами и дегтями существует несколько критических температур:

- температура набухания (точка В), при которой полимер переходит из стеклообразного в высокоэластическое состояние;
- температура, соответствующая наибольшему увеличению объема частиц полимера (точка С);
- температура растворения ПВХ или ПС (точка D).

Следует отметить, что при введении в каменноугольные дегти порошкообразных отходов производства поливинилхлорида температура вяжущего не должна превышать 50 °С. В противном случае могут возникнуть агрегаты из сплавленных нерастворимых частиц ПВХ. Это обусловлено образованием прочных аутогезионных контактов между порошкообразными частицами поливинилхлорида за счет взаимодействия диполей *C-Cl*. В турбулентный же поток органического вяжущего поливинилхлорид можно вводить при температуре растворения. Это технологически целесообразно. А полистирол не содержит в своем составе полярных групп, поэтому его можно вводить в каменноугольные вяжущие при любой температуре, совмещая с каменноугольными вяжущими.

Таким образом, температура растворения отсева поливинилхлорида и фильтрационного кека ПВХ в каменноугольных смолах составляет 100...105 °С, в дегтях (в зависимости от их консистенции) 110...125 °С. Для корки она равна 135...140 °С, а для полистирольной пыли 100...110 °С.

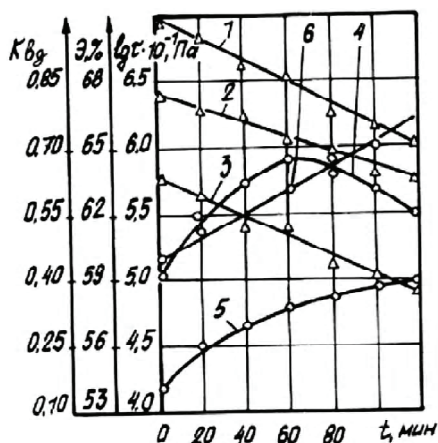
В процессе совмещения порошкообразных частиц ПВХ и ПС с каменноугольными вяжущими продолжаются внутримолекулярные взаимодействия полярных низкомолекулярных компонентов дегтей с диполями *C-Cl* поливинилхлорида и нейтральной ароматики вяжущих с блоками полистирола, что способствует разворачиванию глобул полимера в вытянутые конформации. В результате этого увеличивается вероятность контакта макроцепей полимер-полимер. При определенной концентрации полимера и соответствующих термодинамических условиях образуется термофлуктуационная пространственная сетка.

Прочность полученной сетки определяется прочностью связей в её узлах и количеством последних, а эластичность – гибкостью цепей между узлами сетки. Во времени количество узлов в полимерной сетке возрастает, что приводит к увеличению прочности композиции и снижению эластичности (рис. 8, 9).

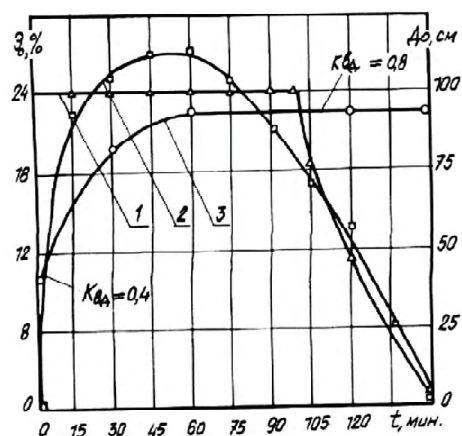
Следовательно, наиболее целесообразно приготавливать дегтеполимерные вяжущие на основе первичных отходов производства поливинилхлорида в течение 50–60 минут при температурах растворения ПВХ в каменноугольных вяжущих. Такой температурно-временный режим производства ДПВ позволяет получать дегтеполимербетоны с оптимальными значениями деформативной способности, прочности и коррозионной стойкости.

При совмещении в течение 50 минут маловязких каменноугольных вяжущих с полистирольной пылью при оптимальных температурах наблюдается рост прочности дегтеполимербетона. Дальнейшее ведение процесса (свыше 50 минут) приводит к стабилизации прочности дегтеполимербетона (рис. 9).





**Рисунок 8** – Зависимость свойств дегтеполивинилхлоридного вяжущего от времени приготовления (t):  
 1, 2, 3 – коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении дегтеполимербетонов; 4 – эластичность ДПВ(Э); 5, 6 – предел сдвиговой прочности ДПВ ( $\tau^*$ );  
 1, 6 – каменноугольная смола, содержащая 3 % отсева;  
 2, 4, 5 – деготь вязкостью  $C_{50}^{10} = 55$  с, содержащий 1,5 % кондиционного поливинилхлорида.



**Рисунок 9** – Зависимость свойств дегтеполистирольного вяжущего от времени приготовления (t):  
 1 – растяжимость ( $D_0$ ) при 0 °С; 2 – эластичность ( $\Theta_0$ ) при 0 °С; 3 – коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении ( $K_{вд}$ ).

Аналогичные закономерности характерны для зависимости коэффициента длительной водостойкости дегтеполимербетона, а также водонасыщения модифицированного дегтебетона от времени совмещения (рис. 8). Максимальная эластичность приготавливаемого дегтеполистирольного вяжущего на основе полистирольной пыли реализуется через 45–60 минут совмещения (рис. 9).

## ВЫВОДЫ

Идентификацией развивающихся структур в дегтеполимерных вяжущих методами реологии, оптической микроскопии и кондуктометрии установлено, что оптимально структурированные дегтеполивинилхлоридные и дегтеполистирольные каменноугольные вяжущие можно получить при совмещении (температура 105...125 °С, время перемешивания дегтеполимерного вяжущего 50–70 минут) 1,5...2,0 % мас. первичных отходов производства поливинилхлорида с каменноугольными дорожными дегтями вязкостью  $C_{30}^{10} = 150-200$  с и 1,5...2,0 % мас. первичных отходов производства полистирола с каменноугольными дорожными дегтями вязкостью  $C_{50}^{10} = 10-30$  с. При данных концентрационных соотношениях дегтеполимерное вяжущее характеризуется оптимальным комплексом свойств (максимальная эластичность  $\Theta = 67$  %, интервал пластичности ИП = 47 °С, оптимальные значения когезии и адгезии  $S_{II} = 81...84$  %), обусловленные оптимальным сочетанием характеристик измененной полимером дисперсионной среды и структурно-механическими характеристиками дисперсии  $\alpha$ - и  $\beta$ - фракций в дегте.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: підручник для студентів вищих навчальних закладів : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов ; під редакцією В. І. Братчуна. – Макіївка ; Харків : ДонНАБА, ХНАДУ, 2013. – 338 с. – ISBN 5-7763-0351-6. – Текст : непосредственный.
2. Веренько В. А. Деформации и разрушения дорожных покрытий: причины и пути устранения / В. А. Веренько. – Минск : Беларуская Энцыклапедыя імя Пятруся Броўкі, 2008. – 340 с. – Текст : непосредственный.
3. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности : монография / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк. – Донецк : Издательство ООО «Фолиант», 2020. – 244 с. – Текст : непосредственный.
4. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства / [Л. М. Гохман, Е. И. Гурарий, А. Р. Давыдова, К. И. Давыдова]. – Выпуск 4 ; Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. – Москва : Информавтодор, 2002. – 112 с. – Текст : непосредственный.
5. Тагер, Л. А. Физико-химия полимеров / Л. А. Тагер. – Издание четвертое, переработанное и дополненное ; под редакцией профессора А. А. Аскадского. – Москва : Научный мир, 2007. – 576 с. – Текст : непосредственный.



6. Штаркман, Б. П. Пластификация поливинилхлорида / Б. П. Штаркман. – Москва : Химия, 1975. – 248 с. – Текст : непосредственный.
7. Оссовская, И. И. Дополнительные главы Технологии полимерных материалов. Растворы полимеров : учебное пособие / И. И. Оссовская, А. В. Смирнова, Г. И. Хамитова. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2017. – 35 с. – Текст : непосредственный.
8. Барштейн, Р. С. Пластификаторы для полимеров / Р. С. Барштейн, В. Н. Кирилович, Ю. Е. Московский. – Москва : Химия, 1982. – 200 с. – Текст : непосредственный.
9. Физико-химическая механика дорожно-строительных материалов : учебник для студентов / [А. М. Гридчин, В. И. Братчун, В. А. Золотарев и др.]. – Белгород : Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова ; Макеевка : [б. и.] ; Харьков : [б. и.], 2017. – 245 с. – Текст : непосредственный.
10. Физические и химические процессы при переработке полимеров / М. Л. Кербер, А. М. Буканов, С. И. Вольфсон [и др.]. – Москва : Научные основы и технологии, 2013. – 320 с.

Получена 07.12.2021

В. И. БРАТЧУН, В. П. ДЕМЕШКИН, О. М. НАРИЖНА, М. О. РОДЗИН,  
О. С. КРАСНОПЕРОВ, М. Г. СОЛОВЬОВ, П. П. ДЕЙНЕКА  
ОПТИМАЛЬНІ ТЕМПЕРАТУРНО-ЧАСОВІ РЕЖИМИ ВИРОБНИЦТВА  
ДЬОГТЕПОЛІМЕРНИХ В'ЯЖУЧИХ, МОДИФІКОВАНИХ ПЕРВИННИМИ  
ВІДХОДАМИ ВИРОБНИЦТВА ТЕРМОПЛАСТІВ  
ДОУ ВПО Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Мікроскопічними, кондуктометричними та вискозиметричними методами показано, що при об'єднанні первинних порошкоподібних відходів виробництва полівинілхлориду (відсів, фільтраційний кек, кірка, пил) та полістиролу (відсів) існує кілька характерних температур: температура набухання (50...70 °С), відповідна переходу полімеру із склоподібного у високоеластичний стан; температура диспергування частинок полімеру на агрегатоглобулярні утворення в результаті дії тиску набухання сорбованої частинками полімеру  $\gamma$ -фракції кам'яновугільних в'язучих; температура розчинення (105...125 °С). Оптимальний час приготування дьогтеполімерних в'язучих (ДПВ) при температурі розчинення 50–70 хвилин. За даних температурно-часових режимів виробництва ДПВ досягаються максимальна адгезія дьогтеполімерного в'язучого до поверхні мінеральних матеріалів та еластичність модифікованого органічного в'язучого.

**Ключові слова:** дьогтеполімерні в'язучі, первинні відходи виробництва полівинілхлориду та полістиролу, температурно-часові режими виробництва дьогтеполімерних в'язучих.

VALERY BRATCHUN, VALENTIN DEMESHKIN, OLGA NARIZHNAYA,  
MIKHAIL RODZIN, ALEXANDER KRASNOPEROV, MAXIM SOLOVYOV,  
PETR DEINEKA  
OPTIMAL TEMPERATURE AND TIME MODES OF PRODUCTION OF TAR-OIL  
POLYMER BINDERS MODIFIED BY PRIMARY WASTE FROM THE  
PRODUCTION OF THERMOPLASTICS  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Microscopic, conductometric, and viscometric methods have shown that when combining primary powdered waste from the production of polyvinyl chloride (screenings, filter cake, crust, dust) and polystyrene (screenings), there are several characteristic temperatures: the swelling temperature (50...70 °C), corresponding to the transition of the polymer from glassy to highly elastic state; the temperature of dispersion of polymer particles on aggregate-globular formations as a result of the swelling pressure of the  $\gamma$ -fraction of coal binders sorbed by polymer particles; dissolution temperature (105...125 °C). The optimal preparation time for tar-oil polymer binders (TOPB) at dissolution temperatures is 50–70 minutes. Under these temperature-time conditions for the production of TOPB, the maximum adhesion of the tar-polymer binder to the surface of mineral materials and the elasticity of the modified organic binder are achieved.

**Key words:** tar-oil polymer binders, primary waste from the production of polyvinyl chloride and polystyrene, temperature-time regimes for the production of tar-oil polymer binders.

**Братчун Валерий Иванович** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных

слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Демешкин Валентин Павлович** – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогасоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Нарижная Ольга Николаевна** – кандидат химических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические и аналитические исследования синтетических смол и полимерных материалов.

**Родзин Михаил Александрович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Красноперов Александр Сергеевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Соловьев Максим Геннадьевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Дейнека Петр Петрович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Братчун Валерій Іванович** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

**Демешкін Валентин Павлович** – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

**Нарижна Ольга Миколаївна** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні й аналітичні дослідження синтетичних смол і полімерних матеріалів.

**Родзін Михайло Олександрович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

**Краснопоров Олександр Сергійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

**Соловійов Максим Геннадійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

**Дейнека Петр Петрович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

**Bratchun Valery** – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes for the construction of structural layers of non-rigid road coverings based on modified organic binders and complex modification of the concrete structure; development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

**Demeshkin Valentin** – senior teacher, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

**Narizhnaya Olga** – Ph. D. (Chemical), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical and analytical researches of synthetic resins and polymeric materials.

**Rodzin Mikhail** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concrete for the construction of structural layers of non-rigid pavement based on the modification of organic binders.

**Krasnoperov Alexander** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concrete for the construction of structural layers of non-rigid pavement based on the modification of organic binders.

**Solovyov Maxim** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concrete for the construction of structural layers of non-rigid pavement based on the modification of organic binders.

**Deineka Petr** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concrete for the construction of structural layers of non-rigid pavement based on the modification of organic binders.

УДК 691.16:662

**А. И. САЗАНОВ<sup>а</sup>, А. В. ЦАРУК<sup>б</sup>, С. В. ТРИГУБ<sup>б</sup>, А. В. ЧИКУН<sup>б</sup>**<sup>а</sup> ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», <sup>б</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКА ДОРОЖНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА**

**Аннотация.** Анализ литературных данных свидетельствует о том, что в качестве минерального порошка применяются многие порошкообразные побочные продукты промышленности: золы-уноса ТЭЦ, доломитовая пыль, пыль уноса цементных печей, распавшиеся шлаковые частицы, кислые кремнезёмистые отходы промышленности, серусодержащие отходы и др. Тем не менее эти порошкообразные продукты уступают по качеству известняковому минеральному порошку. Многие увеличивают расход органического вяжущего, имеют недостаточное сцепление с вяжущим, малую удельную поверхность или наоборот высокоразвитую внутреннюю поверхность, интенсифицируют процесс старения бетона и тем самым снижают долговечность нежестких покрытий автомобильных дорог. В связи с этим считаем целесообразным в дальнейших исследованиях рассмотреть существующие способы повышения качества минеральных порошков и прежде всего изменения их поверхностных свойств с целью повышения их плотности и усиления структурирующей способности в бетонах на органических вяжущих.

**Ключевые слова:** дорожный асфальтобетон, минеральный порошок, техногенное сырьё для производства минерального порошка асфальтобетонных смесей.

В процессе производственной деятельности накапливается огромное количество отходов, переработка и использование которых является одной из основных проблем человечества. По примерным подсчётам в мировой экономике при ежегодной добыче и переработке около 20 млрд т различных видов сырья и материалов (включая топливо, руды, строительные материалы, продукты питания и др.) в виде готовой продукции используется менее 1 млрд т, а всё остальное идёт в отходы [1]. При этом количество отходов производства имеет тенденцию, опережающую темпы роста в сравнении с общественным производством [2].

Большинство технологических схем, применяемых в отраслях, производящих материально-сырьевые ресурсы, ориентированы на извлечение из исходного сырья одного-двух компонентов. В результате даже при полном извлечении, например, из полиметаллических руд полезных компонентов более 80 %, а иногда и 90...95 % общей массы сырья направляется в отвалы [1]. Огромны масштабы образования отходов и обрабатывающих отраслей и потребления. Всё это в сочетании с растущим дефицитом ряда ресурсов и экологическим кризисом обострило проблему вторичных материальных ресурсов.

Дорожное строительство характеризуется высокой материалоемкостью и может обеспечить утилизацию крупнообъёмных техногенных отходов, отвалы которых на территории Донецкой Народной Республики и Российской Федерации создают существенную экологическую напряжённость.

Дорожное строительство требует большого количества составляющих и модифицирующих веществ дёгте- и асфальтобетонных смесей, в качестве которых целесообразно использовать отходы производств, в частности, первичные отходы, образующиеся при переработке минерального сырья. В связи с резким уменьшением в ДНР и Российской Федерации некоторых видов ресурсов это позволит получать дорожно-строительные материалы с применением вторичных материальных ресурсов с меньшими издержками производства, но достаточно высокого качества [3–8].

© А. И. Сазанов, А. В. Царук, С. В. Тригуб, А. В. Чикун, 2022

## АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Важнейшим компонентом асфальтового и дёгтевого бетона является минеральный порошок, который переводит органическое вяжущее в адсорбционно-сольватное состояние, увеличивает поверхность контактирования между частицами структурообразующих мезо- и макроструктуры, повышает теплостойкость битума и дёгтя, снижает скольжение колеса автомобиля при торможении автомобильного транспорта, повышает адгезию и когезию вяжущего, а также плотность минерального остова асфальто- и дёгтебетона.

Ежегодная потребность дорожно-строительных организаций, например, России в минеральном порошке составляет 7,5 млн т [5]. Естественно, возрастает потребность в дефицитных карбонатных минеральных порошках (ГОСТ 16557-90). Дефицит этих порошков объясняется прежде всего отсутствием в ряде регионов ДНР, Российской Федерации месторождений карбонатных горных пород. Поэтому целесообразно использование порошкообразных побочных продуктов промышленности в качестве минерального порошка.

Интенсивное дорожное строительство с устройством асфальто- и дёгтебетонных покрытий требует большого количества составляющих бетонных смесей. Естественно, возрастает потребность в дефицитных карбонатных минеральных порошках. Поэтому целесообразно рассмотреть исследования, направленные на изучение ряда побочных продуктов промышленности с целью использования их в качестве минерального порошка асфальто- и дёгтебетонов.

При современном уровне материального потребления дорожным строительством значение фактора полноты использования и вовлечения вторичных материальных ресурсов имеет первостепенное значение. Комплексное использование сырья и отходов важно еще и потому, что оно связано с решением проблемы создания безотходных и экологически чистых промышленных технологий [6].

В странах СНГ различные отходы производств нашли широкое применение в качестве компонентов асфальтового и дёгтевого бетонов: мелкого и крупного заполнителей, минерального порошка, вяжущих и модифицирующих добавок. Исходя из рассматриваемой научной задачи, считаем целесообразным проанализировать опыт изучения и применения побочных продуктов промышленности в качестве минерального порошка для бетонов на органических вяжущих.

В настоящее время изучены как минеральные: лёсс, золы-уноса электростанций, пыль-уноса цементных заводов, доломитовая пыль, распавшиеся металлургические шлаки (доменные, электросталеплавильные, ферросплавные и др.), колошниковая пыль, шлам водоумягчения, фильтр-прессная грязь, содовый шлам, молотые мергели и известняки-ракушечники, флотохвосты, отработанные формовочные смеси, серусодержащие отходы, так и органические: менилитовые сланцы, древесный гидролизный лигнин, кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида, резиновая крошка, битуминозные породы и др. [7-9].

Минеральные порошки, полученные из органических отходов производств, имеют широкую сырьевую базу. Они хорошо изучены и характеризуются высокой структурирующей способностью. Например, кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида по структурирующей способности в 4–7 раз выше, чем традиционные МП (ГОСТ 16557-90). Так, предел прочности при сжатии при 50 °С дёгтебетона, содержащего в своём составе 7,5...12,0 м.ч. в минеральной части минерального порошка из кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида находится в пределах 4,8...7,0 МПа, в то время как дёгтебетоны, приготовленные на известняковом МП и каменноугольном дёгте равной вязкости (марка Д-6 по ГОСТ 4641-80) имеют значение предела прочности при сжатии при 50 °С 0,8...1,0 МПа (ГОСТ 25877-83) [10].

Кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида более интенсивно переводят в ориентированное состояние каменноугольное вяжущее вследствие возникновения на поверхности раздела «МП – каменноугольный дёготь» водородных связей между гидроксильными группами фталевого ангидрида и азотводородными пиридина, хинолина, акридина и других азотсодержащих соединений каменноугольных вяжущих, а также за счёт связывания свободных карбонильных групп с молекулами протоно-доноров дёгтя (фенол, пиролл, карбазол и др.).

Следует отметить высокие значения коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении асфальто- и дёгтебетонов, содержащих в своём составе органические МП.

В то же время объёмы минеральных отходов значительно превышают органические, из которых можно получить минеральные порошки. В связи с этим считаем целесообразным более детально рассмотреть минеральные порошкообразные отходы промышленности, а именно: золы теплоэлектростанций, пыль-уноса цементных заводов, пыль-уноса доломитовых комбинатов, распавшиеся металлургические шлаки. К тому же они характеризуются большими объёмами выхода. Так, ежегодный выход

топливных зол и шлаков в странах СНГ составляет более 150 млн т, а суммарные затраты на сооружение и эксплуатацию золоотвалов составляют около 15 рублей на тонну отхода [11].

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение отходов, образующихся при переработке минерального сырья, в качестве минерального порошка дорожных асфальтобетонных смесей.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В КАЧЕСТВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ

Впервые применение каменноугольной золы-уноса ТЭЦ в качестве минерального порошка было предложено М.А. Курнаевым. Позднее изучением зол-уноса для этих целей занимались Л. А. Ястребова и Н. Н. Короткевич, [11, 12] и другие учёные. Золоуносы ТЭЦ представляют собой тонкодисперсный в основном однородного тёмного цвета порошок, иногда с примесями зёрен диаметром более  $1 \cdot 10^{-3}$  м. В частности, золоуносы Донбасса характеризуются следующим зерновым составом: частные остатки на ситах № 02 – 4...8 %, № 008 – 3,6...15,0 %, остальное – менее  $80 \cdot 10^{-6}$  м. Насыпная плотность 550...770 кг/м<sup>3</sup>. Содержание несгоревшего топлива от 4,9 до 38,2 %. Химический состав, % мас.: SiO<sub>2</sub> = 42,5...48,2; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 8,3...32; CaO = 1,6...4,1; MgO = 0,2...3,5; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = (Fe<sub>2</sub>O) = 0,8...19,8; SO<sub>3</sub> = 0,2...2,3; ппп = 4,9...38,2.

Несмотря на многочисленные исследования золы как минерального порошка в асфальто- и дёгтебетоне этот материал не находит широкого применения из-за ряда отрицательных показателей качества, обусловленных строением частиц золы и ее химико-минералогическим составом. Золоуносы состоят из дегидратированных и частично аморфизированных глинистых минералов и кварца, пустотелых шарообразных частиц глинистых минералов, частиц скоксованного или полукоксованного угля.

Зольные частицы имеют высокую внутреннюю поверхность, что способствует повышенному расходу органического вяжущего в смеси. В частности замена известнякового МП золой-уносом приводит к увеличению расхода битума в асфальтобетонной смеси более чем на 2,5 % [13].

Для улучшения качества золы и асфальтобетонов предлагается: подвергать дополнительному помолу золу-унос; вводить в состав бетона не более 5...7 % от массы минеральной части; осуществлять гидрофобизацию; приготавливать смеси на жидких органических вяжущих. Так, в результате помола золы ТЭЦ в шаровой мельнице битумоёмкость МП снижается с 75,5 до 5,5 г/см<sup>3</sup>, а пористость уменьшается до 17,5 % [14].

Пыль-уноса вращающихся печей цементных заводов, улавливаемая электрофильтрами, содержит частицы размером менее  $5 \cdot 10^{-5}$  м и не требует дополнительного измельчения. В составе цементной пыли содержатся следующие вещества, мас. %: CaO = 41...45; SiO<sub>2</sub> = 1,5...17,0; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3,5...4,0; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 3,5...4,0; MgO = 0,7...1,7; SO<sub>3</sub> = 1,4...2,9; Na<sub>2</sub>O = 0,4...0,6; K<sub>2</sub>O = 1,4...3,5.

Цементная пыль обладает вяжущими свойствами. Предел прочности при сжатии цементного камня составляет 8...12 МПа, а предел прочности при изгибе 5...6 МПа. Истинная плотность цементной пыли 2 620 кг/м<sup>3</sup>, насыпная плотность – 680 кг/м<sup>3</sup>. Начало схватывания 1,5 ч, конец 4–5,6 ч. Испытание на равномерность изменения объёма выдерживает. Выполнены исследования пыли-уноса цементных печей как минерального порошка. Наиболее детальное изучение цементной пыли как минерального порошка выполнено Г. С. Бахрахом [15]. Цементная пыль многих заводов рекомендована для применения в качестве минерального порошка в бетонах на органических вяжущих. Однако не рекомендуется применять пыль-уноса Амвросиевского цементного комбината из-за большого количества в ней водорастворимых соединений. В работе [16] отмечается, что пыль-уноса цементных печей интенсифицирует процессы старения асфальтобетона и поэтому сделан вывод о нецелесообразности использования её в качестве минерального порошка. В то же время в работе [16] отмечается, что мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), содержащий в качестве минерального порошка пыль-уноса цементных печей в количестве 8 м. ч. минеральной части характеризуется средней плотностью – 2 350 кг/м<sup>3</sup>, водонасыщением – 1 %, набуханием 0,3 %, пределом прочности при сжатии при 50 °С R<sub>50</sub> = 1,4 МПа, при 20 °С R<sub>20</sub> = 4,5 МПа, коэффициентом водостойкости при длительном водонасыщении 0,9...1,0.

Ряд дорожно-строительных организаций Донбасса и Харьковской области накопили положительный опыт применения в асфальто- и дёгтебетонах в качестве МП – доломитовой пыли [16]. В процессе обжига и рассева доломита, используемого в металлургическом производстве в качестве флюса, образуется побочный продукт – доломитовая пыль. Зерновой состав доломитовой пыли, характеризующийся

частными остатками на ситах с размером отверстий  $1 \cdot 10^{-3}$  м составляет, %:  $1,25 = 10 \dots 11$ ;  $0,63 = 14 \dots 16$ ;  $0,315 = 10,0 \dots 13,2$ ;  $0,14 = 2,2 \dots 10,9$ ;  $0,071 = 6,2 \dots 12,3$ ; менее  $0,071 = 40,3 \dots 91,6$ . Химический состав доломитовой пыли находится в пределах, % мас.:  $\text{SiO}_2 = 1,96 \dots 3,8$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1,73 \dots 1,9$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,33 \dots 1,82$ ;  $\text{CaO} = 37,30 \dots 50,15$ ;  $\text{MgO} = 3,92 \dots 23,0$ ;  $\text{SO}_3 = 0,11 \dots 1,47$ ; ппп =  $30,14 \dots 41,6$ . Истинная плотность доломитовой пыли  $2\,710 \dots 2\,840$  кг/м<sup>3</sup>, средняя плотность  $1\,610 \dots 1\,890$  кг/м<sup>3</sup>, пористость после уплотнения под нагрузкой 40 МПа  $30,2 \dots 41,4$  %, коэффициент гидрофильности  $0,86 \dots 0,96$ . Физико-механические свойства мелкозернистого асфальтового бетона, который содержит в своём составе 25 % доломитовой пыли, следующие: средняя плотность  $2\,190$  кг/м<sup>3</sup>; водонасыщение – 2,33 %; набухание – 0,32 %; предел прочности при сжатии при  $50^\circ\text{C}$   $R_{50} = 1,5$  МПа; при  $20^\circ\text{C}$   $R_{20} = 4,15$  МПа [17].

Однако применение доломитовой пыли в качестве минерального порошка без дополнительной обработки и улучшения свойств не позволяет получить асфальтобетон необходимого качества. В условиях эксплуатации он разуплотняется – выкрашивается и шелушится. Причиной этого является значительное содержание в доломитовой пыли пережжённых свободных оксидов кальция и магния, которые при гидратации увеличиваются в объёме в 1,5–2,0 раза и вызывают большие напряжения растяжения в покрытии автомобильной дороги, ведущие к необратимым деформациям покрытия.

Предлагается смешивать доломитовую пыль с золой-уноса, инертной пылью, шламом водоумягчения. С целью улучшения качества доломитовой пыли предлагается её активировать канифолью.

В работе [16] отмечается, что частицы доломитовой пыли представляют собой сростки кристаллов кальцита и доломита с частичным разрушением связей по плоскостям спайности в виде трещин, в которые могут проникать компоненты органического вяжущего. Минералогический состав доломитовой пыли обуславливает её высокую активность к компонентам битума и дёгтя, а по структуре частиц она относится к пористым МП. Асфальтовый бетон, содержащий в качестве МП доломитовую пыль, стареет более интенсивно, чем бетон с известняковым МП. Таким образом, для улучшения качества доломитовой пыли как МП необходимо длительно выдерживать её на открытом воздухе для гашения активных свободных оксидов  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$ , либо подвергать домолу с активацией поверхности поверхностно-активными веществами; наиболее целесообразно олигомерами – карбамидоформальдегидной смолой и полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол [18].

В отвалах металлургических заводов содержится большое количество распавшихся шлаковых частиц, которые используются как минеральные порошки [19]. В частности, в отсева дробления отвального мартеновского шлака содержится 12–14 м. ч. с размером частиц менее  $70 \cdot 10^{-6}$  м, характеризующихся следующим химическим составом, % мас.:  $\text{SiO}_2 = 18 \dots 20$ ;  $\text{Fe} = 9,32 \dots 9,72$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4,09 \dots 4,41$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 4,05 \dots 4,41$ ;  $\text{MnO} = 8,12 \dots 9,14$ ;  $\text{CaO} = 36,43 \dots 38,83$ ;  $\text{MgO} = 6,82 \dots 7,89$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,71 \dots 1,07$  [20].

Однако мелкодисперсные частицы отсева характеризуются внутривязитой поверхностью, что приводит к неоправданному перерасходу вяжущего в составе дёгтеминеральной смеси. Содержание вяжущего в смеси составляет 14,0...14,5 м. ч. сверх 100 м. ч. отсева дробления отвального мартеновского шлака [20]. В то же время следует отметить высокую структурирующую способность распавшихся частиц шлака каменноугольного вяжущего, что следует из рассмотрения физико-механических свойств дёгтеминерального бетона: средняя плотность  $2\,550$  кг/м<sup>3</sup>; водонасыщение – 1,1 %; набухание – 0 %; предел прочности при температуре  $0^\circ\text{C}$   $R_0 = 10,4$  МПа, при  $20^\circ\text{C}$   $R_{20} = 5,0$  МПа, при  $50^\circ\text{C}$   $R_{50} = 1,6$  МПа; коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении – 1,0. Следовательно, и мелкодисперсные частицы шлака необходимо подвергать дополнительной помолу с гидрофобизацией.

О благоприятном воздействии домолы распавшихся порошкообразных шлаков металлургического марганца Запорожского завода ферросплавов свидетельствуют данные, приведенные в работе [21]. Так, шлаковый МП характеризовался следующими свойствами: частиц менее  $71 \cdot 10^{-6}$  м 75 %; удельная поверхность  $184$  м<sup>2</sup>/кг; истинная плотность  $2\,940$  кг/м<sup>3</sup>; битумоёмкость  $81$  г/100 см<sup>3</sup>; набухание смеси МП с битумом 2,7 %; водонасыщение 15,6 %; коэффициент водостойкости 0,5. После измельчения шлакового МП до удельной поверхности  $300$  м<sup>2</sup>/кг (количество частиц менее  $71 \cdot 10^{-6}$  м более 98 %) коэффициент водостойкости асфальтовяжущего составил 0,81, водонасыщение 11,4 %, а битумоёмкость повысилась до  $139$  г/100 см<sup>3</sup>. Активация же шлака металлического марганца двумя процентами топочного мазута привела к снижению битумоёмкости МП до  $71$  г/100 см<sup>3</sup>, пористости в уплотнённом состоянии до 31 %. Коэффициент водостойкости составил 0,86, а водонасыщение – 10,8 %.

Важным резервом пополнения МП является использование в качестве сырья для их производства кремнезёмистых отходов промышленности и местного сырья: отработанные формовочные смеси (ОФС), природные мелкие кварцевые пески, флотохвосты, кислые шлаки. ОФС представляют собой кварцевые пески, прошедшие высокотемпературную обработку в процессе литья и сохранившие

на своей поверхности остатки органических или неорганических связующих веществ [22]. Ежегодный выход ОФС в странах СНГ составляет около 20 млн т. Большой вклад в изучение отработанных формовочных смесей и практическое внедрение в производство внесено школой профессора Я. Н. Ковалёва [22]. ОФС относятся к мелкозернистым кварцевым пескам с модулем крупности зерен  $MK = 1,1...2,2$ ; истинной плотностью  $2\ 500...2\ 800\ \text{кг/м}^3$ ; насыпной плотностью  $1\ 300...1\ 400\ \text{кг/м}^3$  и межзерновой пустотностью  $45...50\ %$ . ОФС характеризуется лучшей смачиваемостью битумом, чем известняковые МП. Краевой угол смачивания на поверхности раздела фаз «ОФС – битум» – 71, а в системе «известняк – битум» – 61 при равной вязкости органического вяжущего.

В работе [23] показана целесообразность применения в качестве МП серусодержащих отходов. Так, применение серного шлама Горловского ОАО «Стирол», содержащего  $45...75\ %$  элементарной серы,  $12...40\ %\ \text{CaO}$ ,  $4...8\ %\ \text{SiO}_2$ ,  $3...7\ %$  железа и марганца в качестве МП дёгтебетонных смесей позволило значительно повысить качество дёгтеполимербетона. Он сдвигуостойчивее традиционных горячих дёгтебетонов. Жёсткость дёгтеполимерсеробетона при  $60\ ^\circ\text{C}$ , определённая по методу Маршалла,  $11,37\ \text{кН/мм}$  в два раза выше, чем у горячего дёгтебетона (ГОСТ 25877-83)  $5,52\ \text{кН/мм}$  [24].

## ВЫВОДЫ

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что минеральные порошки, полученные из техногенного сырья, характеризуются высокой сорбционной способностью составляющих нефтяного дорожного битума, которая определяется их минералогическим составом и степенью дисперсности, а абсорбционные процессы – структурой последних. Следует предположить, что минералогический состав и структура минеральных частиц оказывает наибольшее влияние на процессы структурообразования дорожного асфальтового бетона. В частности в результате сорбционных процессов, происходящих при взаимодействии минеральных порошков из отходов промышленности с органическим вяжущим, образуются структурированные слои битума, степень развития которых и характер селективного разделения в них отдельных компонентов нефтяного дорожного битума и свойства зависят от химико-минералогического состава и структуры минеральных частиц.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семилетов, В. П. Опыт эффективного использования вторичных ресурсов в народном хозяйстве УССР / В. П. Семилетов. – Киев : УкрНИИИТИ, 1981. – 64 с. – Текст : непосредственный.
2. Gragger, F. Stand, Aussichten und Probleme der Wiederverwendung von Asfaltstoffen und Nebenprodukten im Strassenbau / F. Gragger. – Текст : непосредственный // Stal. Mischwerk. – 1981. – № 1. – P. 19–29.
3. Траутвайн, А. И. Асфальтобетон с использованием механоактивированных минеральных порошков на основе кремнеземсодержащего сырья : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Траутвайн Анна Ивановна ; Белгородский технологический университет им. В. Т. Шухова. – Белгород, 2012. – 25 с. – Текст : непосредственный.
4. Пугин, К. Г. Ресурсосберегающие технологии строительства асфальтобетонных дорожных покрытий с использованием отходов производства / К. Г. Пугин, Е. В. Калинина, А. Р. Халитов. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2011. – № 2 (2). – С. 60–69.
5. Ларионова, Н. А. Оценка возможности использования промышленных отходов для получения строительных материалов для дорожного строительства / Н. А. Ларионова, С. К. Николаева, А. А. Рябова. – Текст : непосредственный // Инновационный потенциал естественных наук : труды международной научной конференции, Пермь, 04–08 декабря 2006 года. – Пермь : Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2006. – С. 157–162.
6. Оценка геоэкологического риска загрязнения атмосферы выбросами полигонов ТБО для выбора мероприятий по рекультивации / В. И. Масликов, А. Н. Чусов, А. В. Черемисин, М. Г. Рыжакова. – Текст : непосредственный // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2012. – № 147 (1). – С. 239–243.
7. Сыдыкова, Т. С. Исследование побочных продуктов промышленности республики для строительства автомобильных дорог / Т. С. Сыдыкова. – Текст : непосредственный // Строительные материалы с использованием попутных продуктов промышленности республики : сборник научных трудов ; [редколлегия : А. С. Мавлянов]. – Фрунзе : Фрунзенский политехнический институт, 1990. – С. 72–82.
8. Бусел, А. В. Эколого-технологические основы производства и применения дорожно-строительных материалов с использованием техногенных отходов : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Бусел Алексей Владимирович ; БГА. – Минск, 1996. – 36 с. – Текст : непосредственный.
9. Братчун, В. И. Модифицированные дёгти и дёгтебетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. А. Золотарёв. – Макеевка : ДГАСА, 1998. – 226 с. – Текст : непосредственный.



10. А. с. 960139 СССР, МКИ4 С04В 13/30 Дёгтебетонная смесь : № 3224821/29-33 : заявл. 22.10.80 : опубл. 23.09.82 / Братчун В. И., Почапский Н. Ф., Золотарёв В. А. [и др.] ; заявитель Макеевский инженерно-строительный институт. – 3 с. – Текст : непосредственный.
11. Использование вторичного сырья и отходов в производстве (отечественный и зарубежный опыт, эффективность и тенденции) / [В. Н. Ксинтарис, Я. А. Рекитар, А. Д. Григорьев и др.] ; под редакцией В. Н. Ксинтариса и Я. А. Рекитара. – Москва : Экономика, 1983. – 168 с. – Текст : непосредственный.
12. Псюрник, В. А. Влияние структурных особенностей дёгтебетона на его деформационно-прочностные свойства : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Псюрник Владимир Александрович / ХАДИ. – Харьков, 1984. – 23 с. – Текст : непосредственный.
13. Kunat, H. Nutzung von Abprodukten im Strassenbau – Flotations-abgänge als Fullstoff für Bituminöse Gemische / H. Kunat, M. Ferrer. – Текст : непосредственный // Strasse. – 1981. – Volume 21, № 2. – P. 51–53.
14. Palys, M. Papiol lotny z wegla-kamiennego jako wypelucacz do mas bitumiornych / M. Palys, W. Tokej. – Текст : непосредственный // Drogownictwo. – 1980. – № 2. – P. 53–55.
15. Бахрах, Г. С. Исследование пыли-уноса вращающихся печей цементных заводов как минерального порошка для асфальтобетона : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бахрах Георгий Самуилович ; МАДИ. – Москва, 1968. – 20 с. – Текст : непосредственный.
16. Базжин, Л. И. Исследование влияния минералогического состава и структуры минеральных порошков на старение асфальтового бетона : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Базжин Лев Иванович ; ХАДИ. – Харьков, 1974. – 24 с. – Текст : непосредственный.
17. Духовний, І. З. Сучасні вимоги до мінерального порошку для виробництва асфальтобетонних сумішей / І. З. Духовний, Т. М. Протопопова. – Текст : непосредственный // Автошляховик України. – 2005. – № 1. – С. 35–37.
18. Братчун, В. И. Повышение долговечности дегтебетонных покрытий / В. И. Братчун, В. Н. Ходун, А. Г. Доля. – Текст : непосредственный // Автодорожний комплекс України в сучасних умовах: Проблеми і шляхи розвитку. – Київ : ПВКП «Укртипроект», 1998. – С. 161–163.
19. Братчун, В. И. О закономерностях формирования структуры и свойств асфальтошлакобетонов, приготовленных на жидких битумах, модифицированных латексом BUTONAL NS 198 / В. И. Братчун, В. В. Жеванов, Е. А. Ромасюк. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – Выпуск 2020-1(141) Современные строительные материалы. – С. 53–59. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2020/vestnik\\_2020-1\(141\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/vestnik_2020-1(141).pdf) (дата публикации: 15.02.2020).
20. А. с. 1219558 СССР, МКИ 04В 26/26. Дёгтеминеральная смесь : № 3779323/29-33 ; заявл. 14.06.84 ; опубл. 23.03.86 / Братчун В. И., Почапский Н. Ф., Руденский С. П. [и др.] ; заявитель Макеевский инженерно-строительный институт. – 3 с. – Текст : непосредственный.
21. Космин, А. В. Минеральные порошки для асфальтобетона из шлака металлургического марганца / А. В. Космин. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги. – 1986. – Выпуск 5. – С. 157–158.
22. Ковалёв, Я. Н. Отходы литейного производства и некондиционные кварцевые пески – сырьё для производства минерального порошка / Я. Н. Ковалёв, А. Бусел В., Н. И. Евсиков. – Текст : непосредственный // Автомобильный транспорт и дороги. – 1980. – Выпуск 7. – С. 108–113.
23. Веренько, В. А. Применение серосодержащих отходов в дорожном строительстве / В. А. Веренько, И. К. Яцевич. – Минск : Полымя, 1985. – 25 с. – Текст : непосредственный.
24. Muller, J. M. Sulphur in Asphalt Paving Mixes / J. M. Muller, B. Celard, de la B. Taille, P. Schenck. – Текст : непосредственный // Materialy z Konferencji w Bordeaux, 1981, Francja. – Francja : [s. n.], 1981. – P. 37–39.

Получена 08.12.2021

О. І. САЗАНОВ <sup>а</sup>, О. В. ЦАРУК <sup>б</sup>, С. В. ТРИГУБ <sup>б</sup>, О. В. ЧИКУН <sup>б</sup>  
 ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ  
 ПРОМИСЛОВОСТІ ЯК МІНЕРАЛЬНОГО ПОРОШКУ ДОРОЖНЬОГО  
 АСФАЛЬТОБЕТОНУ

<sup>а</sup> ДООУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля», <sup>б</sup> ДООУ  
 ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Аналіз літературних даних свідчить про те, що як мінеральний порошок застосовуються багато порошкоподібних побічних продуктів промисловості: золи-уносу ТЕЦ, доломітовий пил, пил віднесення цементних печей, шлакові частинки, що розпалися, кислі кремнеземисті відходи промисловості, сірковмісні відходи тощо. Ці порошкоподібні продукти поступаються якістю вапняковому мінеральному порошку. Багато які збільшують витрати органічного в'язучого, мають недостатнє зчеплення з в'язким, малу питому поверхню або навпаки високорозвинену внутрішню поверхню, інтенсифікують процес старіння бетону і тим самим знижують довговічність нежорстких покриттів автомобільних доріг. У зв'язку з цим вважаємо за доцільне в подальших дослідженнях

розглянути існуючі способи підвищення якості мінеральних порошків і, перш за все, зміни їх поверхневих властивостей з метою підвищення їх щільності та посилення структуруючої здатності в бетонах на в'язких органічних.

**Ключові слова:** асфальтобетон дорожній, мінеральний порошок, техногенна сировина для виробництва мінерального порошку асфальтобетонних сумішей.

ALEXANDER SAZANOV <sup>a</sup>, ALEXANDER TSARUK <sup>b</sup>, SERGEY TRIGUB <sup>b</sup>,  
ALEKSEY CHIKUN <sup>b</sup>  
ABOUT THE USE OF BY-PRODUCTS OF THE INDUSTRY AS A  
MINERAL POWDER OF ROAD ASPHALT CONCRETE

<sup>a</sup> SEI HE LPR «Lugansk State University named after Vladimir Dahl», <sup>b</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** An analysis of the literature data indicates that many powdered by-products of industry are used as a mineral powder: fly ash from thermal power plants, dolomite dust, fly ash from cement kilns, decomposed slag particles, acidic silica waste from industry, sulfur-containing waste, etc. Nevertheless, these powder products inferior in quality to limestone mineral powder. Many increase the consumption of organic binder, have insufficient adhesion to the binder, a small specific surface or, conversely, a highly developed inner surface, intensify the aging process of concrete and thereby reduce the durability of non-rigid road surfaces. In this regard, we consider it expedient in further research to consider existing methods for improving the quality of mineral powders and, above all, changing their surface properties in order to increase their density and enhance the structuring ability in concretes based on organic binders.

**Key words:** road asphalt concrete, mineral powder, technogenic raw materials for the production of mineral powder of asphalt concrete mixtures.

**Сазанов Александр Иванович** – аспирант ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Царук Александр Владимирович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Тригуб Сергей Владимирович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Чикун Алексей Владимирович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Сазанов Олександр Іванович** – аспірант ДОУ ВО ЛНР «Луганський державний університет імені Володимира Даля». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Царук Олександр Володимирович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Тригуб Сергій Володимирович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Чикун Олексій Володимирович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Sazanov Alexander** – graduate student, SEI HE LPR «Lugansk State University named after Vladimir Dahl». Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Tsaruk Alexander** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Trigub Sergey** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Chikun Aleksey** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

УДК 625.765 : 625.76.08

**И. В. ШИЛИН, А. В. ХИМЧЕНКО, Ю. Н. СОКОЛОВА**

Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЧЕРТАНИЯ РЕМОНТНОЙ КАРТЫ НА ДОРОЖНОМ ПОКРЫТИИ ПОСЛЕ ХОЛОДНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ**

**Аннотация.** Выполнен анализ применяемой методики подготовки поврежденных участков покрытий автомобильных дорог в процессе их восстановления при выполнении текущего (ямочного) ремонта. Рассмотрены обобщенные вопросы имитационного моделирования процесса холодного фрезерования дорожного покрытия нежесткого типа и приведен алгоритм разработки имитационной модели. Описаны исходные данные и принимаемые ограничения в процессе моделирования, от которых зависит чистота фрезерования деформированной поверхности покрытия. Использование модели совместно с другими математическими методами позволяет на основании принятых критериев получать форму очертания поверхности отфрезерованной ремонтной карты и объем ремонтной смеси, необходимый для её заполнения. Данная методика является обобщенной и будет совершенствоваться с точки зрения учета конкретных конструкций рабочих органов дорожных фрез и технологических параметров холодного фрезерования. Сформулированы основные отличия в методике определения потребности в дорожно-строительных материалах в зависимости от чистоты фрезерования, при принятых интервалах варьирования установленных факторов. Установлены основные направления дальнейших исследований на основе полученных результатов имитационного моделирования.

**Ключевые слова:** дорожная фреза, технологическая карта, дорожное покрытие, резец.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

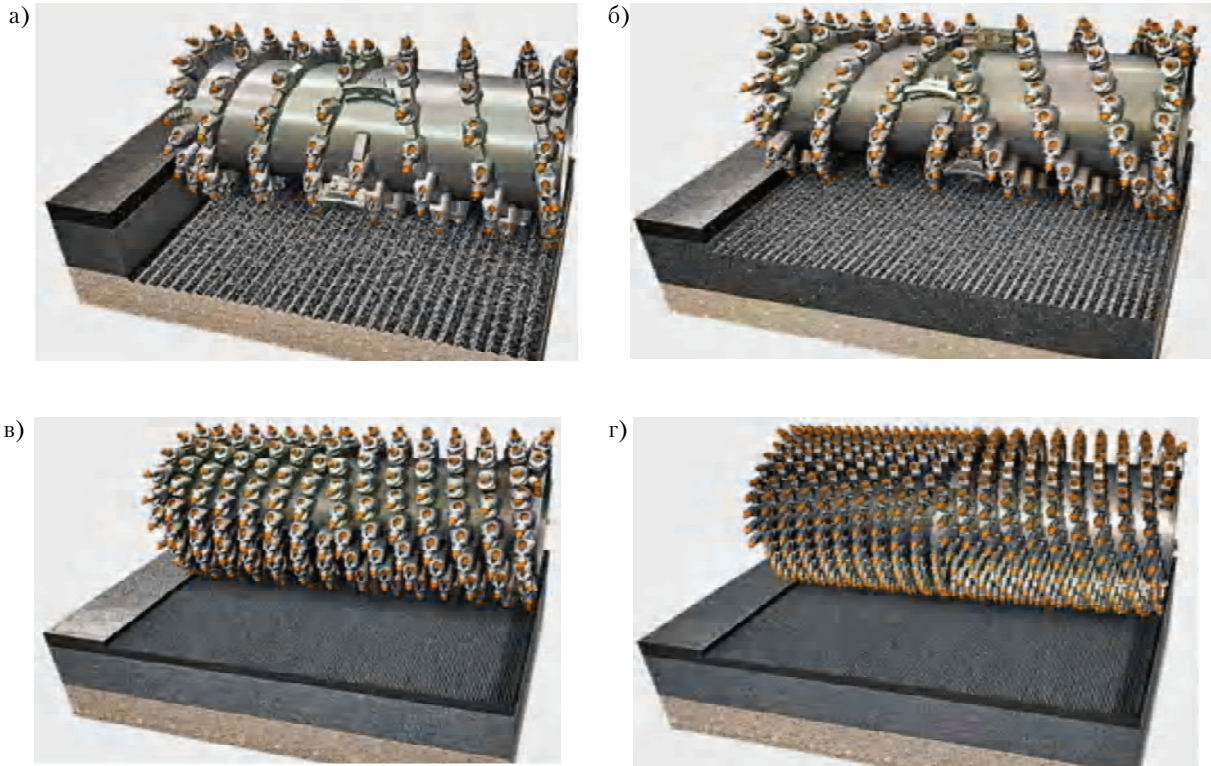
В практике дорожного машиностроения [2, 4] в зависимости от конструкции принято различать четыре основных вида рабочих органов – барабанов (роторов) фрез, которые приведены на рис. 1.

Исходя из различий конструкции рабочих органов дорожных фрез можно предположить, что в зависимости от принятого типа барабана, скорости его вращения и скорости подачи самой машины будет меняться форма очертания поверхности выбранного пространства. В связи с этим будет изменяться значение геометрического объема подготовленной ремонтной карты, что существенно будет влиять на потребность в ремонтной смеси для выполнения «ямочного» ремонта [4, 5].

Архивный поиск по публикациям и действующим нормативным документам не показал наличие методик учета такой погрешности при определении потребности в дорожно-строительных материалах. Хотя практически все ведущие производители дорожных фрез указывают на разницу в чистоте выбранного пространства при холодном фрезеровании. Четких данных по колебаниям объемов ремонтной карты нигде не приведено [1, 2, 3, 4, 5].

На практике при выполнении текущего ремонта дорожного покрытия необходимое количество для заполнения подготовленной карты смесью определяется экспериментально-последовательным подбором ее количества в процессе укладки и уплотнения. Это может приводить к существенному перерасходу смеси или недоиспользованию уже подготовленного материала. Проблем можно избежать использованием результатов моделирования для оценки объема выбранного и подготовленного к заполнению пространства. Таким образом создание математической модели формирования выбранного пространства после холодного фрезерования является актуальной задачей [5, 6].

Анализ публикаций и действующих нормативных документов показывает отсутствие необходимой технической информации, которая позволила бы подобрать оптимальные технологические параметры деформированной поверхности.



**Рисунок 1** – Виды рабочих органов дорожных фрез: а) черновой барабан; б) стандартный барабан; в) чистовой барабан; г) микрофрезерный барабан.

Практически все ведущие производители дорожных фрез предоставляют конструктивную информацию по своей продукции. Особенно хотелось бы отметить наиболее важную, учитывая поставленную задачу:

- диаметр барабана (ротора) фрезы;
- длина барабана (ротора) фрезы – длина обрабатываемой поверхности за 1 проход;
- количество зубьев (резцов);
- интервал изменения скорости вращения барабана (ротора);
- диапазон рабочей скорости движения машины (продольной подачи рабочего органа).

Также в технической информации к дорожным фрезам есть данные по форме и размерам рабочих зубьев (резцов), которые рекомендованы для применения.

В [2] приведена общая принципиальная схема взаимодействия зубьев (резцов) с поверхностью покрытия автомобильной дороги.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью является определение формы и геометрических размеров выбранного пространства после холодного фрезерования в зависимости от технологических параметров рабочего процесса и конструктивных особенностей рабочего органа.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На практике выполнения дорожно-восстановительных работ принято определять объемы ремонтной карты (рис. 2) по следующему алгоритму [4, 5]:

- 1) анализ формы и размеров выбоины (рис. 2а);
- 2) оконтуривание выбоины (с захватом не менее 5 см сверх максимального размера выбоины. Контур должен иметь прямоугольное очертание с обязательным условием, чтобы минимум две грани контура были перпендикулярны оси дороги) (рис. 2б);
- 3) оконтуривание дисковыми фрезами (швонарезчиками);
- 4) выборка внутреннего объема контура роторными фрезами (холодным или горячим методом) или отбойными молотками (рис. 2в).

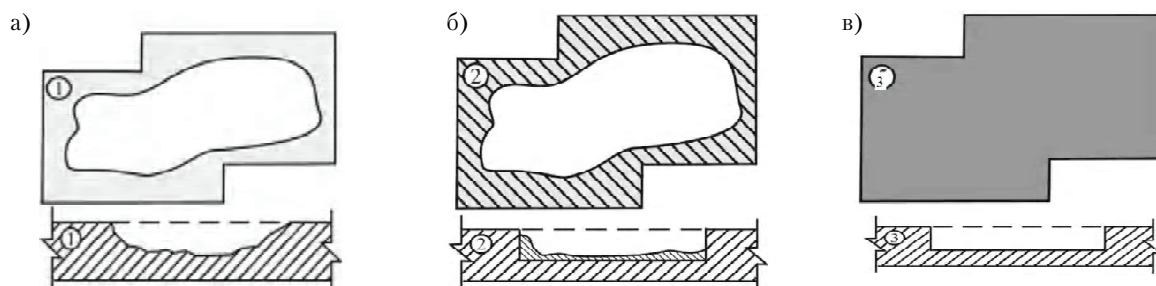


Рисунок 2 – Предварительная обработка ремонтной карты.

Следует отметить, что выполнение третьего пункта позволяет обеспечить вертикальность всех граней отфрезерованной рабочей карты, но значительно усложняет процесс фрезерования. С целью повышения производительности процесса фрезерования и сокращения трудоемкости при выполнении текущего ремонта оконтуривание дисковыми фрезами ремонтной карты зачастую не выполняется. Поэтому грани входа и выхода фрезы из фрезеруемого покрытия имеют скругленное очертание.

Задача выбранного направления статьи не предусматривает оценку влияния скругленных граней подготовленных ремонтных карт на надежность и долговечность отремонтированных поверхностей покрытия. В данном исследовании мы рассматриваем влияние скругленных очертаний граней и других геометрических параметров ремонтной карты на определение потребности в дорожно-строительных материалах (рис. 3). При определении очертания входа и выхода фрезы в покрытие основными критериями является:

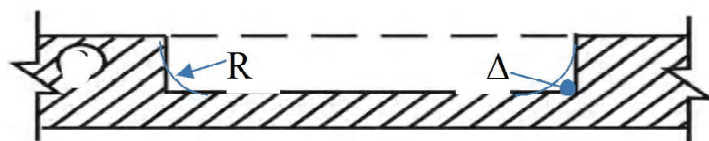


Рисунок 3 – Форма очертания скругленной грани ремонтной карты.

- скорость вращения барабана;
- диаметр барабана, с учетом высоты режущего зуба;
- глубина фрезерования (обычно при текущем ремонте не превышает 5 см).

При определении формы очертания поверхности нижней грани (рис. 4) основными критериями, от которых зависит чистота обработки, являются:

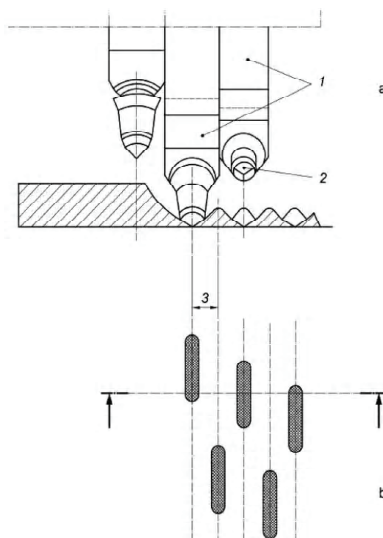


Рисунок 4 – Принципиальная схема фрезерования поверхности покрытия.



- количество резцов;
- пространственное расположение резцов на барабане (в линии по ободу барабана и в ряду по ширине барабана);
- скорость вращения барабана;
- рабочая скорость движения дорожной фрезы.

В процессе фрезерования покрытия не учитывается неоднородность слоя, т. к. холодное фрезерование композитного материала при текущем ремонте не значительно зависит от состава органической смеси и степени ее структурообразования.

В связи с тем, что выполнять физическую модель с учетом вышеуказанных параметров не представляется возможным, было решено использовать математическую модель, реализованную в среде Matlab 2021b. При определении формы очертания отфрезерованной поверхности определялась траектории точки вершины резца при совместном сочетании поступательного движения с вращательным (рис. 5).

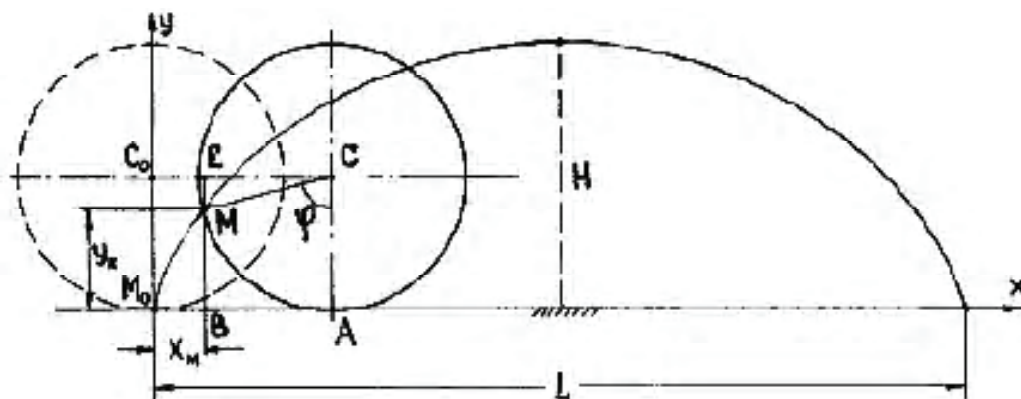


Рисунок 5 – Определение траектории вершины резца.

Математическое описание траектории движения одной точки не составляет труда. Однако получение траекторий  $n$  количества зубьев в одном ряду, смещенных друг относительно друга на некоторый угол для переменного количества рядов на барабане фрезы, а также смещенных друг относительно друга на произвольное расстояние и повернутых на некоторый переменный угол, уже не является тривиальной задачей. Она является достаточно трудозатратной и решение будет иметь частный характер.

Для выхода из данной ситуации было решено использовать имитационное моделирование. Применение системы автоматизированного моделирования Simulink с использованием доменов физических сетей, в частности Simscape Multibody, позволило создать модель работы дисковой фрезы с переменным количеством резцов, ширины барабана, количества рядов и смещения рядов относительно друг друга. Модель позволяет моделировать движение барабана и фиксирует на каждом временном шаге положение интересующих точек. Таким образом, в результате появляется массив точек, которые характеризуют положение каждого резца ниже уровня среза асфальта. Последующая математическая обработка методами, не реализованными в Matlab, даёт возможность получить только нижние точки траекторий. Именно эти точки характеризуют форму поверхности, полученную в результате реза.

Пример массива точек, характеризующих форму подготовленной карты при глубине среза до 150 мм с 8 рядами резцов при проходе длиной участка в 2000 миллиметров приведен на рисунке 6.

Получение полной формы поверхности покрытия возможно с помощью методов линейной интерполяции. В результате имеем окончательную поверхность отфрезерованного пространства (рис. 7), которое позволяет определить объем выбранного пространства с высокой точностью (рис. 7).

Разработанная имитационная модель холодного фрезерования покрытия автомобильной дороги в среде Simulink Simscape Multibody позволяет задавать следующие критерии и границы их варьирования:

- количество резцов в линии по ободу барабана – от 1 до 10;
- количество рядов по ширине барабана – вычисляется в зависимости от расстояния между рядами и ширины барабана;

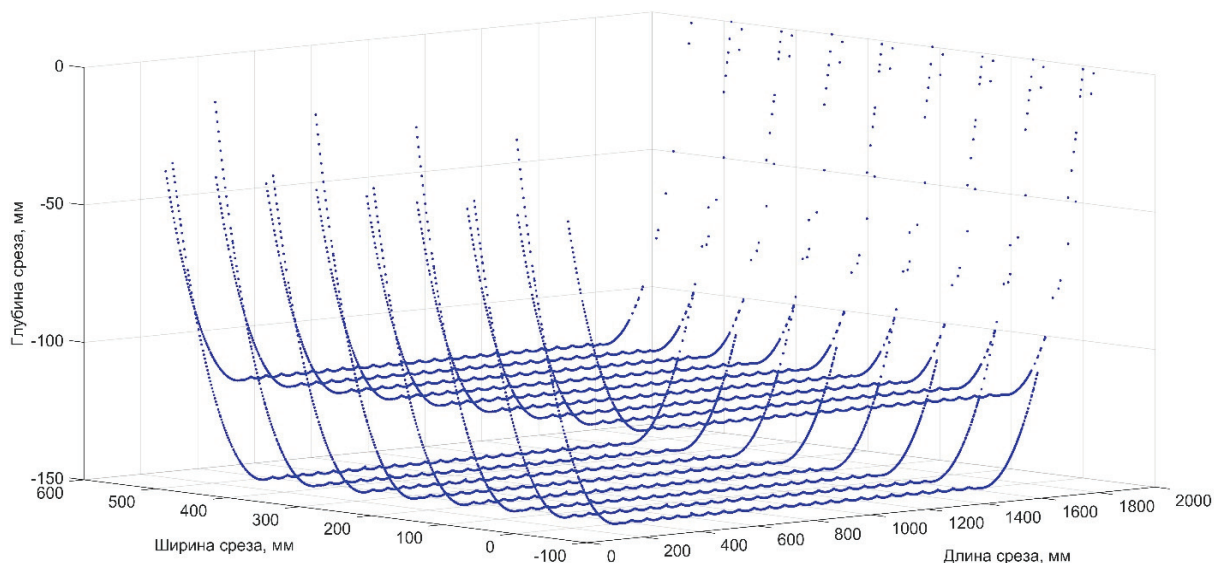


Рисунок 6 – Массив точек, характеризующих форму подготовленной карты.

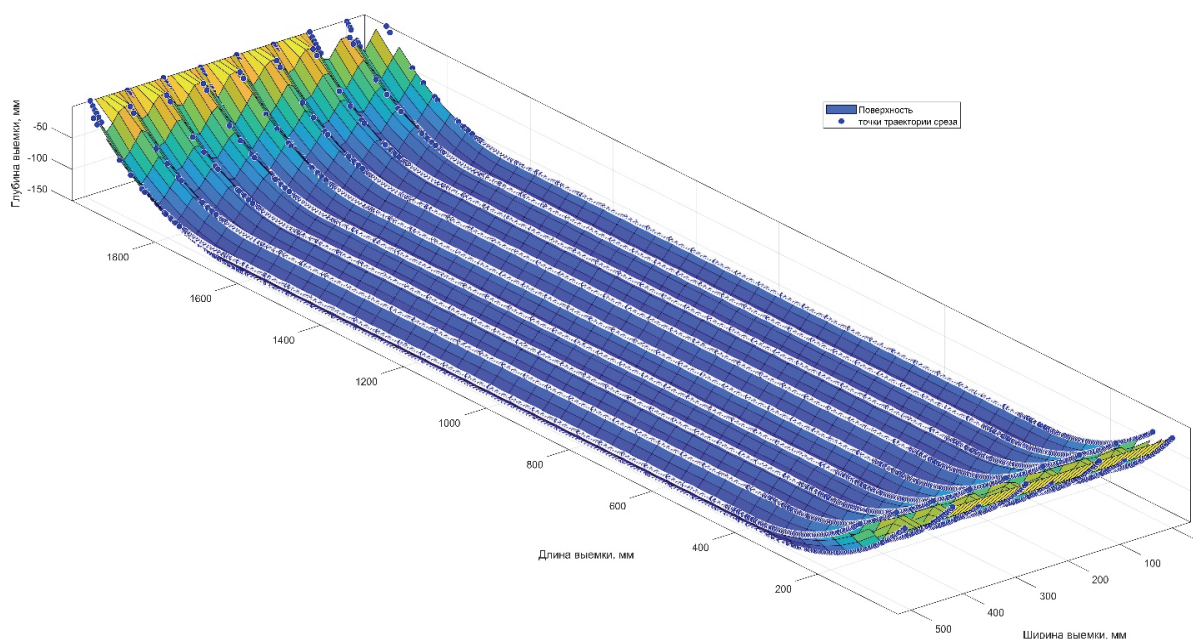


Рисунок 7 – Результат описания поверхности подготовленной технологической карты методами интерполяции.

- скорость вращения барабана – произвольная;
- рабочая скорость движения дорожной фрезы – произвольная;
- глубина фрезерования – произвольная.

Важной особенностью такой модели является лёгкость модернизации в случае изменения каких-либо конструктивных или технологических условий.

Применение имитационного моделирования позволяет планировать модельный численный эксперимент и исследовать влияние отдельных факторов на объём выбранного материала при фрезеровании [6].

## ВЫВОДЫ

Получена имитационная математическая модель в среде Simulink Simscape Multibody, которая позволяет исследовать влияние конструктивных и технологических факторов на форму очертания



поверхности отфрезерованной ремонтной карты при текущем ремонте покрытия автомобильной дороги.

Использование модели совместно с другими математическими методами позволяет на основании принятых критериев получать форму очертания поверхности отфрезерованной ремонтной карты и объем ремонтной смеси, необходимый для её заполнения.

Данная методика является обобщенной и будет совершенствоваться с учетом конкретных конструкций рабочих органов дорожных фрез и технологических параметров холодного фрезерования.

Использование предложенной методики позволит разработать систему поправочных коэффициентов при определении потребности в дорожно-строительных материалах [6] при выполнении текущего («ямочного») ремонта покрытий на автомобильных дорогах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги = Automobile roads : актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85\* : утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 272 : дата введения 2013-07-01 / ЗАО «СоюздорНИИ». – Москва : Изд-во стандартов, – 2013. – 111 с. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ ISO 15645-2016. Оборудование дорожное строительное и эксплуатационное. Дорожные механизмы для измельчения. Терминология и эксплуатационные требования (ISO 15645:2002, Amd.1:2013, IDT) : издание официальное : утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2016 г. № 1141-ст : введен впервые : дата введения 2016-02-29 / подготовлен обществом с ограниченной ответственностью «ИЦ "ЦНИП СДМ"» (ООО «ИЦ "ЦНИП СДМ"»). – Москва : Стандартинформ, 2019. – 12 с. – Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 32825-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений = Automobile roads of general use. Pavements. Methods of measurement of the geometric dimensions of damages : утверждения приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 февраля 2015 г. N 47-ст. : введен впервые : дата введения 2015-07-01 / разработан ООО «Центр метрологии, испытаний и стандартизации», межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 418 «Дорожное хозяйство». – Москва : Стандартинформ, 2019. – 19 с. – Текст : непосредственный.
4. Истомин, В. С. Практическое руководство по текущему ремонту асфальтобетонных покрытий городской дорожной сети / В. С. Истомин. – Москва : Прима-пресс-М, 2001. – 111 с. – Текст : непосредственный.
5. Методические рекомендации по восстановлению асфальтобетонных покрытий и оснований автомобильных дорог способами холодной регенерации : издание официальное : утверждено распоряжением Росавтодора № ОС-568-р от 27.06.2002 г. / Министерство транспорта Российской Федерации государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор). – Москва : Росавтодор, 2002. – 58 с. – Текст : непосредственный.
6. Шилин, И. В. Современные аспекты повышения эффективности ремонтно-восстановительных работ в региональных условиях / И. В. Шилин, В. Ю. Бурлай, В. В. Ушивцев. – Текст : непосредственный // «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» : материалы VI Международной научно-практической конференции, 27–28 мая 2020 г., Горловка. – Горловка : АДИ ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2020. – С. 173–177.

Получена 09.12.2021

І. В. ШИЛІН, А. В. ХІМЧЕНКО, Ю. М. СОКОЛОВА  
РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОНТУРА РЕМОНТНОЇ КАРТИ НА ДОРОЖНЬОМУ  
ПОКРИТТІ ПІСЛЯ ХОЛОДНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ  
Автомобільно-дорожній інститут ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет», м. Горлівка

**Анотація.** Виконано аналіз методики підготовки пошкоджених ділянок покриттів автомобільних доріг у процесі їх відновлення при виконанні поточного (ямкового) ремонту. Розглянуто узагальнені питання імітаційного моделювання процесу холодного фрезерування дорожнього покриття нежорсткого типу та наведено алгоритм створення імітаційної моделі. Описані вихідні дані та обмеження, що приймаються в процесі моделювання, від яких залежить чистота фрезерування деформованої поверхні покриття. Використання моделі спільно з іншими математичними методами дозволяє на підставі прийнятих критеріїв отримувати форму обриси поверхні відфрезерованої ремонтної карти і обсяг ремонтної суміші, необхідний для її заповнення. Дана методика є узагальненою і буде вдосконалюватися з точки зору обліку конкретних конструкцій робочих органів дорожніх фрез і технологічних параметрів холодного

фрезерування сформульовані основні відмінності в методиці визначення потреби в дорожньо-будівельних матеріалах в залежності від чистоти фрезерування, при прийнятих інтервалах варіювання встановлених факторів. Сформульовано основні відмінності у методиці визначення потреби у дорожньо-будівельних матеріалах залежно від чистоти фрезерування при прийнятих інтервалах варіювання встановлених факторів. Встановлено основні напрямки подальших досліджень на основі одержаних результатів імітаційного моделювання.

**Ключові слова:** дорожня фреза, технологічна карта, дорожнє покриття, різець.

IGOR SHILIN, ARKADII KHMICHENKO, YULIA SOKOLOVA  
DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE OUTLINE OF A REPAIR MAP ON A  
ROAD SURFACE AFTER COLD MILLING

Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka

**Abstract.** The analysis of the applied methodology for the preparation of damaged sections of road surfaces in the process of their restoration during the current (patching) repair is carried out. The generalized issues of simulation modeling of the process of cold milling of non-rigid pavement are considered and an algorithm for creating a simulation model is presented. The initial data and accepted limitations in the modeling process are described, on which the purity of milling of the deformed coating surface depends. The use of the model in conjunction with other mathematical methods allows, based on the accepted criteria, to obtain the shape of the outline of the surface of the milled repair card and the volume of the repair mixture required to fill it. This technique is generalized and will be improved from the point of view of taking into account the specific designs of the working bodies of road cutters and the technological parameters of cold milling, the main differences in the methodology for determining the need for road-building materials depending on the purity of milling, with the accepted intervals of variation of established factors, are formulated. The main differences in the methodology for determining the need for road-building materials, depending on the purity of milling, with the accepted intervals of variation of the established factors, are formulated. The main directions of further research are established on the basis of the obtained results of simulation modeling.

**Key words:** road milling cutter, routing, road surface, cutter.

**Шилин Игорь Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и искусственных сооружений АДИ ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка. Научные интересы: техническое обследование и осмотр инженерных сооружений, организация строительства автомобильных дорог, производственная база дорожного строительства.

**Химченко Аркадий Васильевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта; начальник НИЧ АДИ ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: автомобильный транспорт, автомобили, двигатели внутреннего сгорания, эксплуатация и диагностика технических средств автомобильного транспорта, имитационное моделирование сложных технических систем, применение искусственных нейронных сетей.

**Соколова Юлия Николаевна** – магистрант кафедры автомобильных дорог и искусственных сооружений АДИ ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка. Научные интересы: производство дорожно-строительных материалов, текущий ремонт покрытий.

**Шилін Ігор Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних шляхів та штучних споруд АДИ ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет», м. Горлівка. Наукові інтереси: технічне обстеження та огляд інженерних споруд, організація будівництва автомобільних доріг, виробнича база дорожнього будівництва.

**Хімченко Аркадій Васильович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту; начальник НДЧ АДИ ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: автомобільний транспорт, автомобілі, двигуни внутрішнього згоряння, експлуатація та діагностика технічних засобів автомобільного транспорту, імітаційне моделювання складних технічних систем, застосування штучних нейронних мереж.

**Соколова Юлія Миколаївна** – магістрант кафедри автомобільних шляхів та штучних споруд АДИ ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет», м. Горлівка. Наукові інтереси: виробництво дорожньо-будівельних матеріалів, ремонт покриттів.

**Shilin Igor** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka. Scientific interests: technical inspection and inspection of engineering structures, organization of road construction, production base of road construction.

**Khimchenko Arkadii** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka. Scientific interests: road transport, cars, internal combustion engines, operation and diagnostics of technical means of road transport, simulation of complex technical systems, the use of artificial neural networks.

**Sokolova Yulia** – master's student, Automobile Gates and Piece Equipment Department, of the Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka. Scientific interests: production of road-building materials, current repair of coatings.

УДК 691.342

**В. И. БРАТЧУН, Д. В. ГУЛЯК, В. В. ЖЕВАНОВ, Н. С. ЛЕОНОВ, Д. С. СКОРИК**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСНО-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДЕГТЕБЕТОНОВ**

**Аннотация.** Экспериментально установлено, что дегтебетоны, приготовленные с использованием комплексных каменноугольных вяжущих более долговечны под действием транспортных нагрузок, чем стандартные дегтебетоны. Об этом свидетельствуют: разнородность между остаточной пористостью и водонасыщением, которая показывает объем замкнутых пор в смесях на комплексных каменноугольных вяжущих (ККВ) на 20...30 % больше, чем для горячего дегтебетона; более высокие значения критических напряжений дегтеполимербетонов; более высокие значения модуля упругости при повышенных температурах (40...50 °С); интервал вязкоупругого поведения значительно шире у дегтеполимербетонов в сравнении с традиционными дегтебетонами и теплыми асфальтобетонами; физико-механические свойства дегтеполимербетонов и тяжелых асфальтобетонов идентичны, что определяет область их применения. Установлено, что между условной температурой стеклования бетона с использованием комплексных каменноугольных вяжущих и температурой стеклования органических вяжущих существует корреляционная зависимость. Это свидетельствует о том, что свойства комплексно-модифицированных вяжущих и определяют реологическое поведение дегтеполимербетонов. Установлено, что степенная зависимость модуля упругости от частоты деформирования, выраженная через коэффициент пластичности от температуры имеет экстремальный характер. Причиной тому являются релаксационные процессы, которые наиболее интенсивно происходят в асфальтобетоне, о чем свидетельствует его более высокие значения коэффициента пластичности в области низких температур, чем бетона с применением ККВ и горячего дегтебетона.

**Ключевые слова:** комплексно-модифицированные дорожные дегтеполимербетоны, деформационно-прочностные свойства и долговечность дегтеполимербетонов.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ**

Современные требования к расчетным характеристикам дегтебетона могут быть удовлетворены при условии, если он работает в области обратимых деформаций [1–3]. Наиболее простым способом определения области линейного вязкоупругого поведения является построение графической зависимости действующего напряжения от деформации. Критериями перехода из линейной в нелинейную зону служат критические напряжения и критические деформации, отвечающие нарушению линейной зависимости между ними. При этом за критическую принимается деформация, отвечающая десятипроцентному отклонению зависимости между напряжением в бетоне и относительной его деформацией от линейной [4, 5].

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Экспериментальное определение деформационно-прочностных характеристик комплексно-модифицированных дорожных дегтебетонов.

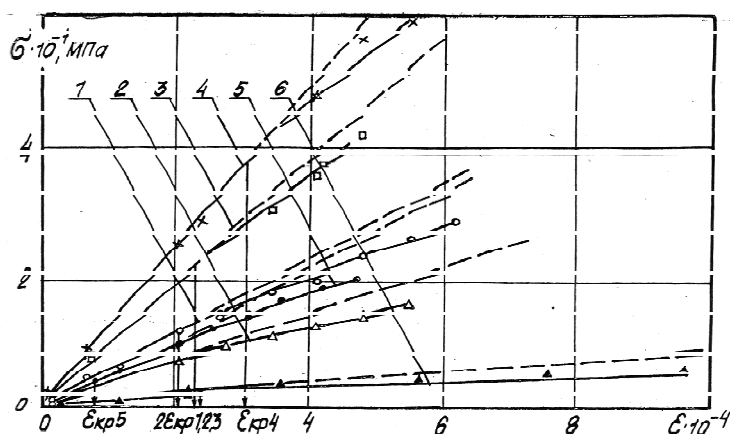
### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Материалы, принятые для исследования комплексно-модифицированных дегтебетонов, содержащие в своем составе каменноугольные дорожные дегти (ГОСТ 4641-80, актуализация 2017 г.), модифицированные отсевом поливинилхлорида (ПВХ) и полистирольной пылью (ПС) совместно с активными дисперсными наполнителями: древесным гидролизным лигнином (ДГА) и кубовыми

остатками дистилляции фталевого ангидрида (ОДА) [6]; дорожный асфальтобетон, приготовленный на нефтяном дорожном битуме БНД 200/300.

В настоящей работе, кроме стандартных методов исследований дорожных бетонов на органических вяжущих ГОСТ 11503, ГОСТ 11506, ГОСТ 25877, принят ряд специальных методов. Закономерности изменения модуля упругости в широком диапазоне температур и интенсивностей воздействия определяли методом вынужденных синусоидальных колебаний на вибростенде профессора В. А. Золотарева [4]. Прочность при изгибе дорожных дегтеполимербетонов в зависимости от температуры определяли на рычажном прессе [7].

Данные, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о больших значениях критических напряжений дегтеполимербетона (0,12...0,38 МПа), чем дегтебетона (0,045 МПа) и, тем более, асфальтобетона на битуме равной пенетрации с ККВ (0,025 МПа). Следовательно, бетон с применением комплексных каменноугольных вяжущих будет более долговечным под действием транспортных нагрузок.



**Рисунок 1** – Зависимость между напряжением  $\sigma$  в бетоне на органических вяжущих и относительной деформацией  $\epsilon$  при частоте деформирования 0,5 Гц и температуре 20 °С: 1 – каменноугольный деготь (КД)  $C_{30}^{10} = 200$  с с 2 % мас. ПВХ и 19 % мас. ДГЛ; 2 – КД,  $C_{30}^{10} = 200$  с с 3,75 % мас. ПС и 20 % мас. ДГЛ; 3 – КД,  $C_{30}^{10} = 50$  с с 2 % мас. ПВХ и 13,5 % мас. ОДА; 4 – КД,  $C_{30}^{10} = 250$  с с 3,3 % мас. ПС и 15 % мас. ОДА; 5 – КД,  $C_{30}^{10} = 75$  с; 6 – битум БНД 200/300.

Частотные зависимости динамического модуля упругости дегтеполимербетона в диапазоне температур +50 °С – минус 20 °С показывают, что с увеличением частоты и понижением температуры испытания наблюдается его рост. Темп изменения модуля упругости с частотой различный при разных температурах: минимальный в области высоких и низких температур, максимальный – в интервале от 10 до 35 °С. Следует отметить высокие значения модуля упругости бетона с использованием ККВ при повышенных температурах. Например, при 50 °С они значительно превышают таковые для стандартного горячего дегтебетона и, особенно, асфальтобетона (таблице).

Условная температура «механического» стеклования ( $T_{ст.}$ ) бетонов с применением лигнинодегтеполимерного вяжущего при частоте воздействия 0,01 Гц составляет минус 11 °С – минус 14 °С, в то время как для горячего дегтебетона она равна минус 9 °С, а для теплого асфальтобетона – минус 30,5 °С (рис. 2). Переход в хрупкое состояние бетона, содержащего в составе ККВ кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида, происходит при более высоких температурах, чем для бетона на основе традиционных органических вяжущих ( $T_{ст.} =$  минус 2 °С – минус 3,5 °С). Между условной температурой «механического» стеклования бетона с использованием ККВ и температурой их структурного стеклования также существует корреляционная зависимость. Этот факт подтверждает, что реологические свойства дегтеполимербетона определяются свойствами органического вяжущего, поразному структурированного поверхностью минеральных материалов.

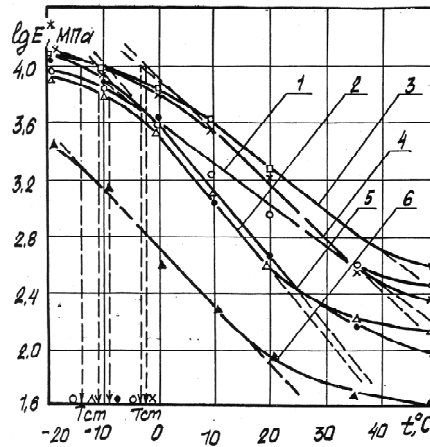
О релаксационном характере поведения бетона с применением комплексных каменноугольных вяжущих при динамических нагрузках свидетельствует зависимость, приведенная на рис. 3. Бетон, содержащий в качестве наполнителя вяжущего древесный гидролизный лигнин, менее температурочувствителен, чем дегтебетон и бетон на основе дегтеполимерных вяжущих, наполненных ОДА.

Таблица – Динамические зависимости модуля упругости

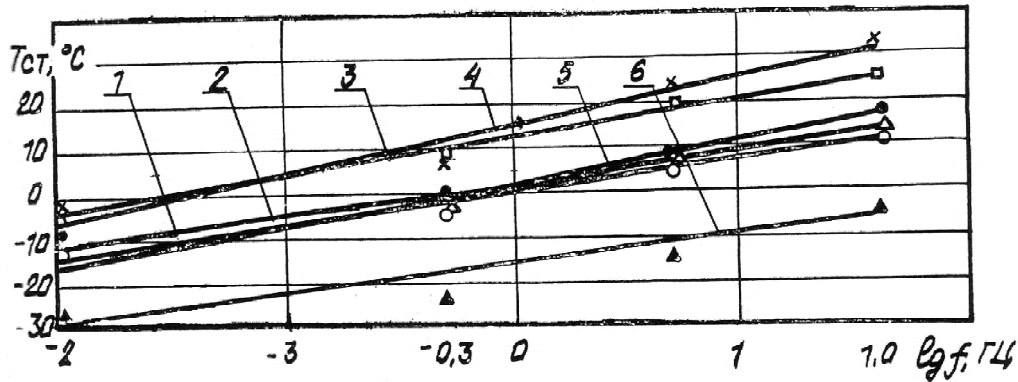
№ п/п	Вязущее	Температура, °С	Комплексный модуль упругости $E \cdot 10^3$ , МПа при частотах в Гц					
			0,01	0,1	1	5	20	40
1	Деготь ( $C_{30}^{10} = 200$ с с 2 % мас. ПВХ и 19 % мас. ДГЛ)	+50	0,318	0,399	0,562	0,797	0,886	0,994
		+35	0,399	0,724	1,129	1,534	1,737	2,345
		+20	0,608	1,303	2,345	3,561	4,169	5,209
		+10	2,041	3,257	5,081	7,513	8,729	12,081
		0	3,561	5,689	8,121	10,250	10,357	15,720
		-10	7,209	9,641	12,073	14,200	15,112	21,192
		-20	9,641	11,456	14,504	16,328	17,544	23,624
2	Деготь ( $C_{30}^{10} = 200$ с с 3,75 % мас. ПС и 20 % мас. ДГЛ)	+50	0,156	0,217	0,340	0,521	0,724	0,826
		+35	0,199	0,319	0,608	1,130	1,434	2,500
		+20	0,521	0,856	2,042	3,259	4,476	7,214
		+10	1,058	2,347	4,476	5,997	7,823	10,865
		0	3,042	5,997	7,823	10,256	12,082	16,138
		-10	5,862	9,040	12,986	15,124	18,166	26,684
		-20	8,431	9,648	12,082	13,299	14,515	18,775
3	Деготь ( $C_{30}^{10} = 50$ с с 2 % мас. ПВХ и 13,5 % мас. ОДА)	+50	0,374	0,591	0,761	1,188	1,614	2,188
		+35	0,868	1,348	2,147	3,427	3,907	6,306
		+20	1,508	3,427	6,306	8,255	10,144	15,902
		+10	4,067	6,306	9,185	12,063	13,503	21,659
		0	6,945	9,824	13,663	16,541	16,861	24,218
		-10	10,784	14,302	16,861	19,740	22,619	25,818
		-20	12,936	15,831	18,461	22,939	25,498	29,336
4	Деготь ( $C_{30}^{10} = 250$ с с 3,3 % мас. ПС и 15 % мас. ОДА)	+50	0,321	0,457	0,729	1,138	1,144	1,955
		+35	0,478	0,804	1,904	3,589	4,815	7,573
		+20	1,547	2,976	5,734	7,879	9,411	12,782
		+10	3,589	5,734	9,105	10,637	12,169	15,539
		0	7,266	9,718	12,169	15,233	15,846	18,910
		-10	9,718	12,169	15,233	19,523	20,748	24,425
		-20	12,659	15,846	19,523	21,974	24,425	26,8777
5	Деготь ( $C_{50}^{10} = 75$ с)	+50	0,047	0,154	0,282	0,446	0,512	0,598
		+35	0,180	0,313	0,587	0,961	1,409	2,456
		+20	0,512	1,110	2,605	4,699	5,894	10,081
		+10	1,110	2,306	4,848	7,689	8,586	14,267
		0	4,100	6,492	10,380	12,772	14,865	19,051
		-10	8,526	10,679	16,061	17,855	20,845	29,815
		-20	11,609	15,463	20,247	22,041	22,639	31,011
6	Битум (БНД 200/300)	+50	0,072	0,077	0,096	0,119	0,128	0,150
		+35	0,058	0,088	0,150	0,250	0,275	0,500
		+20	0,111	0,176	0,305	0,500	0,791	1,083
		+10	0,275	0,435	0,850	1,472	2,250	3,416
		0	0,500	0,791	1,958	3,270	3,707	6,040
		-10	1,229	2,541	4,000	4,874	,749	9,248
		-20	3,124	4,291	6,332	8,082	9,248	13,914

Степенная зависимость модуля упругости от частоты деформирования, выраженная через коэффициент пластичности от температуры (рис. 4) имеет экстремальный характер. Причиной тому являются релаксационные процессы, которые наиболее интенсивно происходят в асфальтобетоне, о чем свидетельствуют более высокие значения коэффициента пластичности его в области низких температур, чем бетона с применением ККВ и горячего дегтебетона (рис. 4). Следует отметить, что бетоны с использованием наполненных дегтеполимерных вяжущих, кроме бетона с применением системы деготь ( $C_{30}^{10} = 50$  с) с 3,3 % ПС и 15 % ОДА, по пластичности идентичны дегтебетону на дегте вязкостью  $C_{50}^{10} = 75$  с.

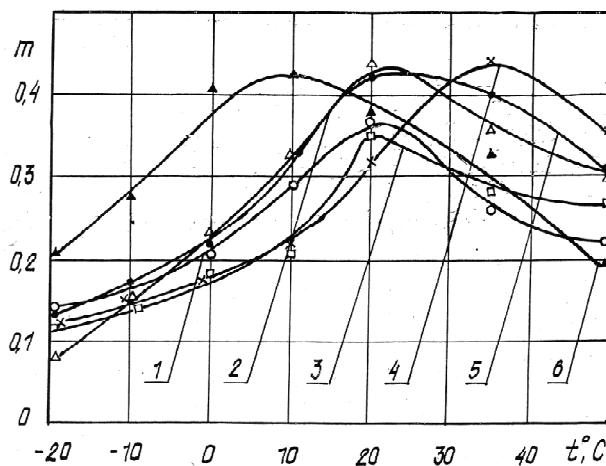
Вероятно, коэффициент пластичности в области линейного вязкоупругого поведения на зависимости модуля упругости от частоты не является простой характеристикой релаксационной способности асфальто- или дегтебетона. В низкотемпературной области, развивающейся в сторону стеклования,



**Рисунок 2** – Температурная зависимость комплексного модуля упругости  $E^*$  бетона при частоте деформирования 0,01 Гц; на органических вяжущих: 1 – каменноугольный деготь (КД)  $C_{30}^{10} = 200$  с с 2 % мас. ПВХ и 19 % мас. ДГЛ; 2 – КД,  $C_{30}^{10} = 200$  с с 3,75 % мас. ПС и 20 % мас. ДГЛ; 3 – КД,  $C_{30}^{10} = 50$  с с 2 % мас. ПВХ и 13,5 % мас. ОДА; 4 – КД,  $C_{30}^{10} = 250$  с с 3,3 % мас. ПС и 15 % мас. ОДА; 5 – КД,  $C_{50}^{10} = 75$  с; 6 – битум БНД 200/300.



**Рисунок 3** – Зависимость условной температуры «механического» стеклования  $T_{ст}$  бетона на органических вяжущих от частоты деформирования  $f$ : 1 – каменноугольный деготь (КД)  $C_{30}^{10} = 200$  с с 2 % мас. ПВХ и 19 % мас. ДГЛ; 2 – КД,  $C_{30}^{10} = 200$  с с 3,75 % мас. ПС и 20 % мас. ДГЛ; 3 – КД,  $C_{30}^{10} = 50$  с с 2 % мас. ПВХ и 13,5 % мас. ОДА; 4 – КД,  $C_{30}^{10} = 250$  с с 3,3 % мас. ПС и 15 % мас. ОДА; 5 – КД,  $C_{50}^{10} = 75$  с; 6 – битум БНД 200/300.



**Рисунок 4** – Температурная зависимость коэффициента пластичности  $m$  бетонов на органических вяжущих: 1 – каменноугольный деготь (КД)  $C_{30}^{10} = 200$  с с 2 % мас. ПВХ и 19 % мас. ДГЛ; 2 – КД,  $C_{30}^{10} = 200$  с с 3,75 % мас. ПС и 20 % мас. ДГЛ; 3 – КД,  $C_{30}^{10} = 50$  с с 2 % мас. ПВХ и 13,5 % мас. ОДА; 4 – КД,  $C_{30}^{10} = 250$  с с 3,3 % мас. ПС и 15 % мас. ОДА; 5 – КД,  $C_{50}^{10} = 75$  с; 6 – битум БНД 200/300.

коэффициент пластичности качественно характеризует отношение времени испытания ко времени релаксации, а в области высоких температур, развивающейся в направлении перехода материала к условно равновесному состоянию, он представляет собой отношение времени релаксации ко времени испытания. Максимальное значение коэффициента пластичности характеризует переходную зону между этими состояниями.

Температурная чувствительность ( $\Delta \lg E / \Delta t$ ) бетона на комплексном каменноугольном вяжущем с увеличением частоты уменьшается незначительно (для асфальтобетона  $\Delta \lg E / \Delta t$  и вообще не изменяется) и в диапазоне эксплуатационных интенсивностей не может существенно повлиять на оценку трещиностойкости при низких температурах.

Относительная критическая деформация, ограничивающая линейную вязкоупругую область, максимальна для бетона с использованием вяжущего деготь ( $C_{30}^{10} = 50$  с) с 3,3 % ПС и 15 % ОДА и минимальна для дегтебетона.

## ВЫВОДЫ

Бетоны на комплексных каменноугольных вяжущих более долговечны: критические напряжения перехода в нелинейную стадию деформирования равны 0,12...0,38 МПа против 0,045 МПа для дегтебетона; модуль упругости при 50 °С дегтеполимербетона  $(0,5...0,7) \cdot 10^3$  МПа, а для дегтебетона  $0,23 \cdot 10^3$  МПа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахрах, Г. С. Модель оценки срока службы дорожной одежды нежесткого типа / Г. С. Бахрах. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 3. – С. 35–41.
2. Илиополов, С. К. Динамика дорожных конструкций : монография / С. К. Илиополов, М. Г. Селезнев, Е. В. Углова. – Ростов-на-Дону : Ростовский гос. строй. ун-т, 2002. – 258 с. – Текст : непосредственный.
3. ОДН 218.04-01. Проектирование нежестких дорожных одежд : утверждены и введены в действие Распоряжением Государственной службы дорожного хозяйства (Росавтодора) Министерства транспорта Российской Федерации от 20.12.00 N ОС-35-Р. : взамен ВСН 46-83 : дата введения 2001-01-01 / разработаны УП «Союздорнии» с участием С.-Петербургского филиала «Союздорнии», Омского филиала «Союздорнии», МАДИ (ТУ) [и др.]. – Москва : Информавтодор, 2001. – 61 с. – Текст : непосредственный.
4. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В. А. Золотарев. – Харьков : Вища школа, 1977. – 116 с. – Текст : непосредственный.
5. Расчетные характеристики асфальтобетонов применительно к ВСН 46-83 / [А. О. Салль, В. А. Золотарев, Б. С. Радовский, Э. Б. Илев]. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги. – 1977. – № 5. – С. 28–30.
6. Дорожный дегтеполимербетон : монография / В. И. Братчун, В. А. Золотарев, А. Н. Бачурин. – Киев : Вища школа, 1987. – 107 с. – Текст : непосредственный.
7. Братчун, В. И. Повышение долговечности дегтебетонных покрытий / В. И. Братчун, В. И. Ходун, А. Г. Доля. – Текст : непосредственный // Автодорожний комплекс України в сучасних умовах: Проблеми та шляхи розвитку. – Київ : ПВКП. УкрНІІпроект, 1998. – С. 161–163.

Получена 10.12.2021

### В. І. БРАТЧУН, Д. В. ГУЛЯК, В. В. ЖЕВАНОВ, М. С. ЛЕОНОВ, Д. С. СКОРИК ДЕФОРМАЦІЙНО-МІЦНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСНО- МОДИФІКОВАНИХ ДЬОГТЕБЕТОНІВ ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Експериментально встановлено, що дьогтебетони, приготовані з використанням комплексних кам'яновугільних в'язучих, більш довговічні під дією транспортних навантажень, ніж стандартні дьогтебетони. Про це свідчать: різновид між залишковою пористістю та водонасиченням, що показує обсяг замкнутих пір у сумішах на комплексних кам'янокутних в'язучих (ККВ) на 20... 30 % більше, ніж для пального дьогтебетону; більш високі значення критичних напружень дьогтеполімербетонів; більш високі значення модуля пружності при підвищених температурах (40... 50 °С); інтервал в'язкопружної поведінки значно ширший у дьогтеполімербетонів у порівнянні з традиційними дьогтебетонами та теплими асфальтобетонами; фізико-механічні властивості дьогтеполімербетонів та важких асфальтобетонів ідентичні, що визначає область із застосування. Встановлено, що між умовною температурою скловання бетону з використанням комплексних кам'яновугільних в'язучих та температурою скловання органічних в'язучих існує кореляційна залежність. Це свідчить про те, що властивості комплексно-модифікованих в'язучих і визначають реологічну поведінку дьогтеполімербетонів. Встановлено, що статична залежність модуля пружності від частоти деформування, виражена через коефіцієнт пластичності від температури, має



екстремальний характер. Причиною тому є релаксаційні процеси, які найбільш інтенсивно відбуваються в асфальтобетоні, про що свідчить його вищі значення коефіцієнта пластичності в області низьких температур, ніж бетону із застосуванням ККВ та гарячого дьогтебетону.

**Ключові слова:** комплексно-модифіковані дорожні дьогтеполімербетони, деформаційно-міцнісні властивості та довговічність дьогтеполімербетонів.

VALERY BRATCHUN, DENIS GULYAK, VYACHESLAV ZHEVANOV,  
NIKITA LEONOV, DMITRIY SKORIK  
DEFORMATION-STRENGTH CHARACTERISTICS OF COMPLEX-MODIFIED  
TAR CONCRETE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** It has been experimentally established that tar concrete prepared using complex coal binders is more durable under the action of transport loads than standard tar concrete. This is evidenced by: a variety between residual porosity and water saturation, which shows the volume of closed pores in mixtures on complex coal binders (CCB) by 20...30 % more than for combustible tar concrete; higher values of critical stresses of tar polymer concrete; higher values of the modulus of elasticity at elevated temperatures (40... 50 °C); the interval of viscoelastic behavior is much wider for tar-polymer concretes in comparison with traditional tar- concretes and warm asphalt concretes; the physical and mechanical properties of tar polymer concrete and heavy asphalt concrete are identical, which determines the scope of their application. It has been established that there is a correlation between the conditional glass transition temperature of concrete using complex coal binders and the glass transition temperature of organic binders. This indicates that the properties of complex-modified binders determine the rheological behavior of tar-polymer concrete. It has been established that the power-law dependence of the elastic modulus on the frequency of deformation, expressed in terms of the coefficient of plasticity on temperature, has an extreme character. The reason for this is the relaxation processes that occur most intensively in asphalt concrete, as evidenced by its higher values of the coefficient of plasticity at low temperatures than concrete with the use of CCA and hot tar concrete.

**Key words:** complex-modified road tar polymer concrete, deformation-strength properties and durability of tar polymer concrete.

**Братчун Валерій Іванович** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенного сировини в компоненти композиційних матеріалів.

**Гуляк Денис Вячеславович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Жеванов Вячеслав Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів.

**Леонов Никита Сергеевич** – асистент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенного сировини в компоненти композиційних матеріалів.

**Скорик Дмитрій Сергеевич** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, арміровані полімерними волокнами.

**Братчун Валерій Іванович** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

**Гуляк Денис Вячеславович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежесткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

**Жеванов В'ячеслав Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів.

**Леонов Микита Сергійович** – асистент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

**Скорик Дмитро Сергійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, що армовані полімерними волокнами.

**Bratchun Valery** – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and lasting road concretes for building of structural layers of non-rigid road coats on the basis of modification of organic astringent and complex microstructure modification of concretes; elaboration of effective technologies of processing of technogenous raw material in to the components of compositional materials.

**Gulyak Denis** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: receipts of technological and lasting travelling concretes for building of structural layers of non-rigid travelling clothes on the basis of retrofitting of organic astringent.

**Zhevanov Vyacheslav** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: getting-tech and durable road concretes for building structural layers of non-rigid pavements.

**Leonov Nikita** – assistant, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

**Skorik Dmitriy** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex-modified asphalt polymer concrete reinforced with polymer fibers.

УДК [339.133:675.6]:330.4

**В. Н. КИБЗУН, Н. П. НАГОРНАЯ**

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ АССОРТИМЕНТА И  
КАЧЕСТВА КОЖГАЛАНТЕРЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА РЫНКЕ Г. ДОНЕЦКА**

**Аннотация.** Целью статьи является изучение факторов формирования ассортимента и качества кожгалантерейных изделий на региональных рынках г. Донецка. Научная новизна состоит в разработке способов модификации ассортиментной политики предприятия на основе потребительской оценки, структурированного анализа экспериментальных данных, определения оптимальных показателей потребительских свойств кожаной галантереи, а также совершенствование методики их оценки качества и конкурентоспособности. Конкретизированы факторы, формирующие ассортимент кожгалантерейных изделий, показано их влияние на формирование ассортимента предприятия и в целом произведен анализ местного рынка и поставщиков кожаной галантереи на фактическом материале. Установлено, что методы исследования, использованные в работе можно применить и при экспертизе качества кожгалантерейных изделий, что повысит, несомненно, эффективность работы.

**Ключевые слова:** товарный рынок, конкурентоспособность, потребительские свойства, спрос, экспертиза, кожаная галантерея.

**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Для изучения потребностей, выявления необходимого ассортимента кожгалантерейных изделий следует прежде всего изучить и обосновать их классификацию. Выявить основные признаки формирования ассортимента, изучение которых целесообразно осуществлять с учетом основных показателей: назначения используемых материалов, способов производства и характера отделки. Эти признаки должны быть положены в основу формирования торгового ассортимента, так как потребитель при покупке изделий использует их. Исходя из приведенных признаков классификации кожгалантерейных изделий, представляется возможным детализировать систему построения торгового ассортимента и его оптимизацию. Современный рынок кожгалантерейных изделий в г. Донецке формируется под влиянием многих взаимосвязанных факторов, каждый из которых в определенной ситуации может как стимулировать, так и сдерживать его развитие. Изменяются как объем и структура ассортимента кожгалантерейных изделий мирового, европейского и отечественного производства, так и объем импорта и экспорта, состояние рынка кожевенного сырья и других материалов, динамики уровня цен, количество населения и его социальный состав. Конъюнктура рынка галантерейных изделий, в том числе кожаных, изучена на материалах ФЛП «МегаТоп» г. Донецка. Конъюнктура рынка определяется соотношением спроса и предложения, уровнем и структурой цен, состоянием товарных запасов, сезонными колебаниями в спросе населения, кратковременным действием других разных факторов.

Недостаточно изучены вопросы формирования конкурентоспособного ассортимента и качества кожгалантерейных изделий в условиях современного рынка и их дальнейшее развитие.

**ЦЕЛЬ**

Целью статьи является изучение факторов формирования ассортимента и качества кожгалантерейных изделий на региональных рынках г. Донецка.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В статье рассмотрены современные представления о формировании ассортимента и качества кожгалантерейных изделий на региональных рынках г. Донецка. Изучены классификация и факторы, формирующие ассортимент и качество кожгалантерейных изделий, представлена их квалиметрическая оценка, приведены современные направления в модификации ассортимента. Показана роль анатомо-физиологических особенностей строения кисти для рационального создания формы кожаных перчаток. Одним из показателей качества перчаток является соответствие их размеров и формы кисти руки. Установлено, что морфологические признаки, определяющие форму кисти руки человека, колеблются в зависимости от пола, возраста людей, эпохальных изменений и др. Наблюдается разнообразие не только отдельных размеров, но и пропорций кистей рук человека. Обычно для получения точных и сравнимых данных кисти рук проводят измерения между определенными антропометрическими точками и по очерченным границам на мягких тканях или по специфическим кожным образованиям, например по первой и второй дугам тенара (тенар – мышцы возвышения большого пальца).

Главным определяющим фактором формирования ассортимента кожгалантерейных товаров являются используемые материалы, определяющие их функциональные и эстетические свойства. Для изготовления кожгалантерейных изделий используются почти все виды натуральных кож. Галантерейные кожи должны иметь достаточную прочность на разрыв, малую тягучесть (за исключением кож для перчаток и рукавиц) и хорошо сохранять приданную форму. Кожи, используемые для производства кожгалантерейных изделий, подразделяются на кожи хромового, алюминиевого (лайка) и жирового (замша) дубления. Используются также искусственные кожи и текстильные материалы. Из текстильных материалов наиболее широкое применение находят те, которые по функциональным свойствам приближаются к натуральным козам (ткани, трикотажные полотна). Что касается искусственных кож, то они по технологическим и потребительским параметрам должны соответствовать натуральным козам. Из современного ассортимента искусственных кож в производстве кожгалантерейных изделий наиболее широко применяют Винилискожи [1].

Что касается классификации отдельных изделий, следует отметить некоторую модернизацию ассортимента, связанную с формой и фасоном изделий. Все кожгалантерейные изделия по назначению делят на: предметы для туалета; принадлежности для хранения документов, бумаг и денег; дорожные принадлежности. Ниже приводится краткая характеристика ассортимента кожгалантерейных изделий, связанная с их потребительскими свойствами. Так, дорожные принадлежности включают: чемоданы, рюкзаки, спальные мешки, ремни багажные, портпледы (мешки дорожные для белья), саквояжи, мешки дорожные. По конструкции кожгалантерейные изделия делятся на жесткие, полужесткие, с подкладкой, с трансформирующимся объемом и на колесиках. По отделке они могут быть: с окантовкой, со строчкой, с фурнитурой и т. д. Предметы для туалета включают: сумки, перчатки, рукавицы. Из принадлежностей для хранения денег, документов и бумаг поступают в основном кошельки, бумажники и портмоне. Характерной особенностью текущего ассортимента кожаной галантереи является эргономическая привлекательность и современная эстетичность.

Кожгалантерейные изделия импортируют на рынок Донецкой Народной Республики предприятия различных стран: России, Белоруссии, Италии, Германии, Польши, Франции, Турции, Китая и др. Основные предприятия-изготовители России: ЗАО «КОКИ» (Краснодарский край) производит портфели; ЗАО «Докофа-стиль» (Тульская обл.) производит сумки, папки; фирмы «Болини» (Москва-Италия) и «Эдминс» (Москва) – производят кожаные перчатки, зонты, портмоне, дорожные сумки, чемоданы, ремни, дорожную галантерею и аксессуары. Можно также встретить продукцию российской компании Robinzon, которая шьет дорожные сумки. Товары этой фирмы стоят немного дороже, чем фирмы «Медведкова». Перчатки производит кожгалантерейное предприятие г. Торжок (Тверская обл.). Анализируя продукцию, выпускаемую в России, можно отметить большое разнообразие видов продукции и стабильный уровень ее качества. Предприятие ЗАО «Галантея» (г. Минск) – производит сумки женские из натуральной и искусственной кожи, сумки для учащихся, портфели, ранцы, рюкзаки, дипломаты, чемоданы, ремни поясные для часов, изделия мелкой галантереи. Одновременно изготавливается на предприятии более 200 моделей. Перчатки и мелкую галантерею производит Гродненская перчаточная фабрика ОАО «Акцент» г. Гродно. Продукция Белоруссии также отличается разнообразием ассортимента, однако имеет красивый национальный колорит [2].

Что касается ассортимента кожгалантерейных изделий других инофирм, то можно отметить использование ими разнообразных материалов, современных технологий производства и конструктивных особенностей изделий, а также современный дизайн. Пользуются спросом изделия фирм

производителей: «DELSY» (Франция), «RONCATO» (Италия), «JAGUAR» (Польша), «Профессионал» (Германия), «Zero Halliburton» (США). Изделия инофирм пользуются повышенным спросом благодаря высоким потребительским свойствам. Так, чемоданы из авиационного алюминия стоимостью \$ 1.300 предлагает американская компания Zero Halliburton. Этот чемодан может выдержать большие перепады температур (до +450 градусов по Цельсию), он не пропускает воду, способен выдержать массу механических воздействий и не покрывается ржавчиной. К нему в комплект входит легкий алюминиевый кейс (от \$ 700) производства той же Zero Halliburton. Эти изделия выпускают также британская компания Tergan (\$ 300), итальянская фирма Mandarinina Duck (\$ 200) и Samsonite (\$ 150).

Предлагают и более сдержанные по цене чемоданы итальянской фирмы Roncato (\$ 200), бельгийской Samsonite (\$ 250), тайваньской Redmond (\$ 70) и российской Robinzon (\$ 50). Все они изготовлены из прочного пластика (полипропилена) и снабжены кодовыми замками, вешалками, различными ручками, карманчиками (в том числе специальными для ноутбука и мобильного телефона) и колесиками. Внешний вид пластиковых чемоданов – динамичный и одновременно они надежны.

Для путешественников предусмотрены специальные кейсы, в которых безопасно хранятся не только личные вещи, но и компьютер, дискеты и деловые бумаги, предусмотрен карман для сотового телефона. Для женщин разработана удобная косметичка (бьюти-кейс), куда свободно помещается губная помада, пудреница, духи и зеркальце. Вся эта продукция имеет многоуровневую защиту от несанкционированного проникновения, стихийных бедствий и форс-мажорных обстоятельств, а также имеет элегантный внешний вид.

Современные чемоданы, сохранив форму и способ практического применения, изменили внешний вид в основном благодаря новым материалам, из которых их изготавливают. На смену дорогостоящей коже пришли искусственные кожи, пластик, металл (авиационный алюминий) для производства чемоданов. Изделия из металла предлагает американская компания Zero Halliburton. Обтекаемой формы корпус чемодана действительно выдерживает высокую температуру (21211 до 480 градусов) и любые механические воздействия, не пропускает воду и не поддается коррозии, имеет небольшую массу. Внутри чемодана имеются – шелковая подкладка, съемные вешалки и портплед. Единственный недостаток чемодана на колесиках высокая стоимость, который стоит, как минимум, \$ 750, а самая высокая стоимость находится в пределах \$ 2 500.

Рынок рюкзаков сейчас вполне разнообразен. Рюкзаки выпускают и кожгалантерейные фирмы, и спортивные компании, и частные фирмы. Последние, например Naf-Naf, Sasch, Robinzon шьют декоративные заплечные мешочки (их средняя цена – \$ 50). Такие рюкзаки (преимущественно светлых расцветок) хотя и привлекательные с виду, но для серьезных путешествий не вместительные и не прочные.

Моду на кожаную галантерею диктует Италия. Их продукция (сумки, чемоданы, кошельки, поясные ремни) – считается самой лучшей в мире [3].

Каждую осень в Милане проходит самая большая ярмарка – выставка кожгалантерейных изделий, где представлены практически все страны, которые производят эти изделия. Сегодня Италия экспортирует кожгалантерейные изделия в 36 стран мира, в том числе и в Донецкую Народную Республику.

В работе проведен структурированный анализ ассортимента кожгалантерейных изделий, реализуемых в ФЛП «МегаТоп». Показано, что импортные кожгалантерейные изделия в 2020 году поступали в небольшом количестве (12,5 %). Некоторые изделия имеют рекламные проспекты. В таблицах 1, 2, 3, 4 показаны динамика и структура реализации кожгалантерейных изделий в ФЛП «МегаТоп» г. Донецк.

**Таблица 1** – Динамика и структура реализации кожгалантерейных изделий в ФЛП «МегаТоп»

Наименование групп	Объем реализации по годам				Динамика 2020/2019 %
	2019 г.		2020 г.		
	Объем, руб.	Доля, %	Объем, руб.	Доля, %	
1. Предметы для туалета	1 376,1	51,56	1 318,4	49,56	95,81
2. Принадлежности для хранения документов, бумаг, денег	245,6	9,20	227,2	8,54	92,51
3. Дорожные	1 047	39,23	1 114,6	41,90	106,46
Итого:	26 668,7	100	2 660,2	100	99,68

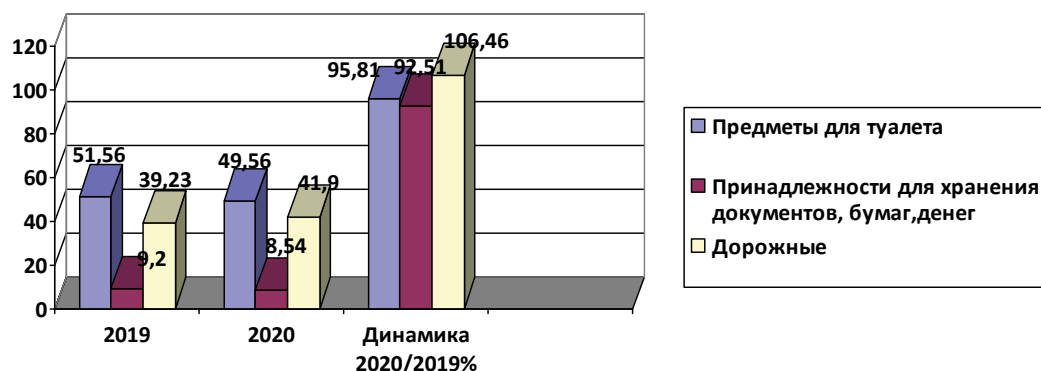


Рисунок 1 – Динамика и структура реализации кожгалантерейных изделий в ФЛП «МегаТоп».

Таблица 2 – Динамика и структура реализации предметов для туалета в ФЛП «МегаТоп» г. Донецк

Наименование видов	Объем реализации по годам				Динамика 2020/2019 *100%
	2019 г.		2020 г.		
	Объем	Доля, %	Объем	Доля, %	
1. Предметы для туалета:	1 376,1	100	1 318,4	100	95,81
1. Сумки, в том числе:	1 254,1	91,13	1 196,4	90,75	95,4
– молодежные	315	22,89	375	28,44	119,05
– женские	705	51,23	657	49,83	93,19
– сумки-папки	3,6	0,26	3,6	0,27	100
– летние	130	9,45	60,4	4,58	46,46
– мужские	79,1	6,31	78,8	5,98	99,62
– для обуви	1,2	0,09	1,4	0,11	116,67
– детские	20,2	1,47	20,2	1,53	100
2. Ремни поясные, в том числе:	64	4,65	62	4,7	96,88
– ремни поясные мужские	50,6	3,68	54,8	4,16	108,3
– ремни поясные женские	4,6	0,33	4	0,3	86,96
– ремни поясные детские	6,8	0,49	2,8	0,21	41,18
– ремни поясные молодежные	2	0,15	0,4	0,03	20
3. Ремни для часов, в том числе:	58	4,21	60	4,55	103,45
– ремни для часов мужские	51,4	3,47	53,4	4,05	103,89
– ремни для часов женские	6,6	0,48	6,6	0,5	100
4. Перчатки, в том числе:	107,7	7,83	108,1	8,2	100,37
– перчатки мужские	15,9	1,16	15,9	1,21	100
– перчатки женские	91,8	6,67	92,2	6,99	100,44
5. Рукавицы, в том числе:	6,4	0,47	6	0,46	93,75
– женские рукавицы	0,4	0,03	2	0,15	500
– детские рукавицы	6	0,44	4	0,3	66,67

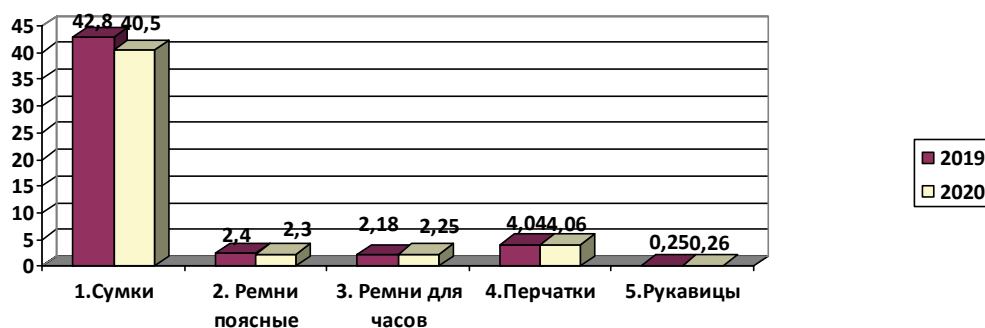
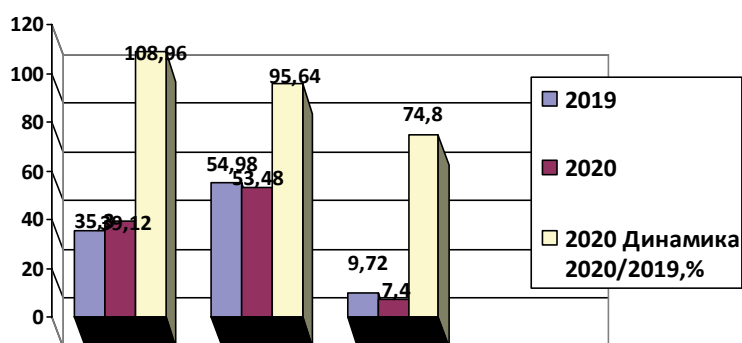


Рисунок 2 – Динамика и структура реализации предметов для туалета в ФЛП «МегаТоп» г. Донецк.

Как видно из данных таблицы 2 большую долю в реализации занимают предметы для туалета (2019 г. – 51,56 %, 2020 г. – 49,56 %). На долю изделий для хранения денег и бумаг приходится 8,54 % (2020 г.), на долю дорожных принадлежностей – 41,9 % (2020 г.).

**Таблица 3** – Динамика и структура реализации принадлежностей для хранения документов, бумаг и денег

Наименование видов	Объем реализации по годам				Динамика 2019/2020 %
	2019 г.		2020 г.		
	Объем, руб.	Доля, %	Объем, руб.	Доля, %	
1. Принадлежности для хранения денег	134	35,3	146	39,12	108,96
В т. ч.: – кошельки	49,4	13,01	58	15,54	117,41
– портмоне	65,8	17,33	66,6	17,85	101,22
– бумажники	18,8	4,95	21,4	5,73	113,83
2. Принадлежности для хранения документов, бумаг	208,7	54,98	199,6	53,48	95,64
В т. ч.: – портфели деловые	5,8	1,53	5,8	1,55	100
– папки кожаные	14,7	3,87	15,4	4,13	104,76
– портфели ученические	31,2	8,22	22,4	6	71,79
– ранцы ученические	99,8	26,29	87,2	23,37	87,37
– сумки для учащихся	57,2	15,07	68,8	18,44	120,28
3. Прочие	36,9	9,72	27,6	7,4	74,80
В т. ч.: – футляры для очков	7,5	1,98	5,6	1,5	74,67
– футляры для ключей	2,6	0,68	1,4	0,38	53,85
– футляры для косметики	26,8	7,06	20,6	5,52	76,87
Итого:	379,6	100	373,2	100	98,31

**Рисунок 3** – Динамика и структура реализации принадлежностей для хранения документов, бумаг и денег.

Среди предметов для туалета (табл. 2) большая доля приходится на сумки (2019 г. – 91,13 %, 2020 г. – 90,75 %). На долю рукавиц и перчаток приходится: 2019 г. 8,3 %, 2020 г. – 8,7 %. Ремни составляют – 9,3 % (2020 г.), в том числе поясные 4,7 % (2020 г.), ремни для часов – 4,6 % (2020 г.).

В подгруппе изделий для хранения денег на долю кошельков приходится 22,53 % (2020 г.), портмоне – 29,31 %, бумажников – 19,42 %. На долю портфелей деловых приходится 2,55 %, на долю ранцев ученических – 33,38 %, сумок ученических – 30,28 % (табл. 3).

В группе дорожных принадлежностей большая доля приходится на сумки (51,82 %). На долю чемоданов приходится 25,57 %, в том числе на долю дипломатов – 12,38 %, ремней багажных – 5,38 % (табл. 4).

Динамика реализации кожгалантерейных изделий показывает, что по всем группам, кроме дорожных принадлежностей, объем реализации кожгалантерейных изделий в ФЛП «МегаТоп» г. Донецк в 2020 г. ниже, чем в 2019 году (табл. 4).

Проведена в работе демоскопия ассортимента кожгалантерейных изделий отечественного и зарубежного производства. С целью установления спроса на кожгалантерейные изделия требованиям потребителей в работе проводилась потребительская и экспертная оценка состояния спроса. В качестве экспертов выступали преподаватели Донецкого университета экономики и торговли и ведущие специалисты ФЛП «МегаТоп» г. Донецка. Данные обрабатывались с помощью методов математической статистики.

Изделия кожгалантереи играют важную роль в удовлетворении потребностей населения. Они должны отвечать требованиям потребителей по эстетическим, эргономическим параметрам и надежности [4].



Таблица 4 – Динамика и структура реализации дорожных принадлежностей в ФЛП «МегаТоп» г. Донецк

Наименование видов	Объем реализации по годам				Динамика 2019/2020, %
	2019 г.		2020 г.		
	Объём	Доля, %	Объём	Доля, %	
1. Сумки дорожные	550	52,53	577,6	51,82	105,02
2. Саквояжи					
3. Чемоданы	255	24,36	285	25,57	111,76
4. Чемоданы на роликовых опорах	32	3,06	44	3,95	137,5
5. Чемоданы типа дипломат	142	13,56	138	12,38	97,18
6. Чемоданы детские	10	0,95	10	0,9	100
7. Ремни багажные	58	5,54	60	5,38	103,45
Итого:	1 047	100	1 114,6	100	106,46

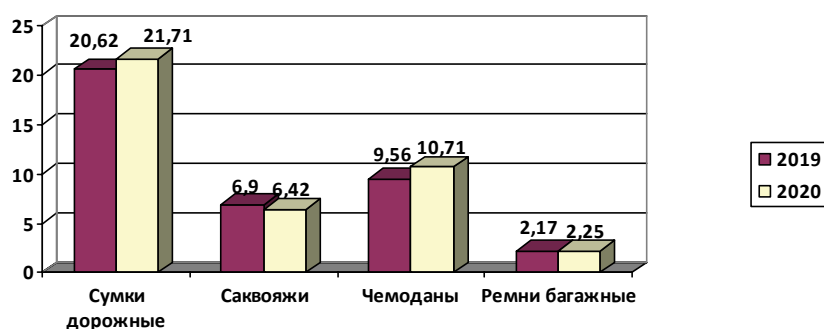


Рисунок 4 – Динамика и структура реализации дорожных принадлежностей в ФЛП «МегаТоп» г. Донецк.

Эстетические – это требования к внешнему виду, художественно-колористическому оформлению изделий, их соответствие современному направлению моды. Эргономические – это требования к безопасности, безвредности, удобству в пользовании и гигиеничности изделий. Безвредность и безопасность кожаной галантереи зависит от применяемых материалов, качества обработки поверхности изделий и фурнитуры.

Гигиенические требования к кожгалантерейным товарам сводятся к тому, чтобы изделия меньше загрязнялись и легко очищались.

Надежность кожгалантерейных изделий зависит от качества материалов, конструкции, соединения деталей, крепления фурнитуры и ручек, качества фурнитуры. При эксплуатации изделия должны сохранять форму и размеры.

Как видно из данных, повышенным спросом пользуются сумки молодежные (37,5 %) и изделия для хранения денег и бумаг (28,8 %). Умеренным спросом пользуются сумки детские (12,3 %), папки (8,4 %), чемоданы (10,2 %).

Основными факторами, по которым не удовлетворяется покупательский спрос, является несоответствие моде (не удовлетворяет фасон, размер), высокая цена, невысокое качество изделий.

Анализ полученных данных показывает, что решение потребителей и экспертов в освещении потребительских свойств совпадает. На первое место ставят функциональные свойства (37,4 %), на второе – соответствие моде (27,4 %) и третье – совершенство производственного исполнения, то есть отсутствие производственных дефектов (18,7 %).

Для определения степени согласованности мнений экспертов по сумкам (предмет женского туалета) рассчитан коэффициент конкордации, который равен  $W = 0,439$ . Значение коэффициента конкордации находится в пределах 0–1. Так как коэффициент конкордации значительно больше нуля, то между мнениями экспертов имеется связь. Была установлена статистическая значимость коэффициента конкордации. Согласованность мнений для каждой пары экспертов определяется по коэффициентам Спирмена. Результаты расчета коэффициентов Спирмена проверялись на статистическую значимость. В результате проверки были установлены три группы пар экспертов, мнения которых совпадают. Поэтому четко прослеживается три сегмента потребителей; две группы потребителей, мнения которых противоположны о качественных характеристиках сумок; третья группа безразлична к сумкам как предметам женского туалета. У первой группы пар экспертов (1,2), (1,4),

(2,3), (4,5), (5,6) мнения согласованы у второй группы пар (5,1), (5,2), (6,1), (6,2), (6,3), (6,4) мнения согласованы противоположно, а третья группа пар безразлична к сумкам как предметам женского туалета.

Таким образом, ФЛП «МегаТоп» при изучении спроса, в том числе на галантерейные товары, следует учитывать мнения покупателей. Хотя на многие изделия спрос в настоящее время становится предельно конкретным. Связано это с ценой изделий и с требованиями моды. Поэтому ФЛП «МегаТоп» должен чаще проводить анкетирование покупателей, организовывать выставки-продажи, конференции. Реклама также должна больше подчеркивать потребительскую ценность отдельных галантерейных изделий, удобство пользования ими, информационную выразительность, композиционную целостность, совершенство производственного исполнения [5].

В работе определены показатели качества кожгалантерейных изделий и методы их определения по действующим стандартам. Приведены результаты лабораторных исследований кожгалантерейных изделий и их анализ. Стандартами предусмотрены такие показатели, как толщина, предел прочности на разрыв, устойчивость окраски к сухому и мокрому трению, прочность швов. Для оценки качества применяют две группы показателей: объективные (технические), предусмотренные в стандартах, и органолептические, определяемые визуально.

Для проведения лабораторных исследований были подготовлены образцы перчаточных кож различных поставщиков: Белоруссии, России, Турции, Китая и др. Образец 1 изготовлен из козлины черного цвета барабанного крашения (Белоруссия); образец 2 – из козлины черного цвета барабанного крашения (Россия); образец 3 – из козлины красного цвета покрывного крашения с лаковым покрытием (Турция); образец 4 – кожа свиная цветная с подшлифованной лицевой поверхностью покрывного крашения с нитроцеллюлозным покрытием (Китай).

В работе определяли следующие показатели качества перчаточных кож: влажность, прочность и удлинение при разрыве, толщину, вид покрытия, устойчивость покрытия к сухому и мокрому трению и другие [6].

В соответствии с требованиями ГОСТ 15092 влажность испытываемых кож составляет менее 0,7 %, что отвечает нормируемым требованиям.

Определения толщины, прочности и удлинения при растяжении перчаточных кож проводились в соответствии с ГОСТ 938.11 на разрывной машине.

Результаты лабораторных исследований перчаточных кож показывают, что наилучшие физико-механические показатели имеют – образец 2 (Россия). Средняя толщина составляет 0,742 мм, максимальное отклонение от среднего в серии опытов составляет 2,96 %. Предел прочности при растяжении составляет 1,14 10 МПа, что выше нормы, максимальное отклонение от среднего равно 4,1 %. Удлинение при растяжении составляет 40,1 %, максимальное отклонение от среднего равно 2 %, что свидетельствует о достаточно высоком качестве перчаточных кож.

Образец 1 (Белоруссия) несколько уступают по этим показателям образцу 2. Средняя толщина составляет 0,778 мм, максимальное отклонение от среднего в серии опытов составляет 4,74 %. Предел прочности при растяжении составляет 0,97 10 МПа, максимальное отклонение от среднего составляет 1,7 %, что свидетельствует о соответствии их нормам нормативной документации.

Образец 3 (Турция) по результатам исследований имеют следующие показатели: средняя толщина составляет 0,786 мм, максимальное отклонение от среднего в серии опытов составляет 7,86 %. Предел прочности при растяжении равен 0,93 10 МПа, максимальное отклонение от среднего составляет 4,9 %. Удлинение при растяжении равно 42,2 %, что несколько выше нормы, максимальное отклонение от среднего оставляет 2,3 %, что свидетельствует о недостаточном качестве перчаточных кож.

Последнее место занимают перчаточные кожи образец 4 (Китай), по всем физико-механическим показателям они не соответствуют требованиям ГОСТ и имеют значительный разброс, что свидетельствует о их низком качестве. Средняя толщина равна 1,02 мм, разброс составил 10,7 %; предел прочности при растяжении составил 0,74 10 МПа (при норме 1 10 МПа), разброс равен 5,09 %; удлинение при растяжении очень большое 43,96 % (при норме 40 %), разброс составил 5,6 %.

В работе проводились определения природы и устойчивости покрывного крашения перчаточных кож к трению. Получены следующие результаты: по устойчивости покрывного крашения кож к сухому и мокрому трению – все кожи отвечают требованиям ГОСТ. Однако при действии растворителя (аcetона) лучшими являются образец 2 (Россия) и образец 3 (Турция), однако покрытие нитроцеллюлозное (образец 4, Китай) и лаковое покрытия (образец 3) снижает гигиенические свойства кожи.

Нитроцеллюлозное покрытие (образец 4, Китай) хотя и придает коже водостойкость, но резко снижает ее паро- и воздухопроницаемость, придавая коже жесткость. Кожа быстро стареет, теряя эластичность.

В работе также определялись линейные размеры перчаток различных поставщиков и соответствие их нормативным документам. Для чего были проведены обмеры женских перчаток (по 5 изделий) различных поставщиков [7].

Результаты линейных измерений женских перчаток следующие: линейные размеры перчаток производства: Белоруссии, России и Турции не имеют отклонений. Что касается перчаток производства Китай, отклонения по длине составляют 1,9 см, а по ширине 1,1 %.

Для определения уровня конкурентоспособности кожгалантерейных изделий были взяты перчатки тех же производителей, на которых проводились лабораторные исследования: образец 1 – перчатки женские летние из козчины, производства Белоруссии, без подкладки черного цвета, соединенные строковым швом с узором по всей длине изделия, размер 18, длина 230 мм; образец 2 – перчатки летние женские из шевро (козлина), производства Россия без подкладки черного цвета, соединенные дентовым швом, украшенные художественным швом, размер 18, длина 230 мм; образец 3 – перчатки летние женские из козчины, красного цвета с лаковым покрытием, производства Турция, без подкладки, соединенные через-крайним швом, размер 18 длина 230 мм; образец 4 – перчатки женские летние с натуральной свиной кожи, производство Китай, синего цвета с нитроцеллюлозным покрытием, застежка – кнопка, размер 18, длина 230 мм.

Оценки качества перчаток проводилась путем расчета интегрального показателя качества потребительских свойств перчаток методом экспертных оценок. Были выбраны следующие показатели потребительских свойств: функциональные (соответствие назначению, надежность), эргономические (антропометрия; гигиеничность) и эстетические (информационная выразительность, рациональность формы, совершенство производственного исполнения) [8].

Места значимости показателей женских кожаных перчаток были определены методом ранжирования. При ранжировании наиболее значимый показатель оценивали рангом -8, наименее значимый рангом -1. Результаты ранжирования были использованы для оценки относительной значимости показателей. В результате ранжирования выявлены наиболее значимые показатели для женских кожаных перчаток на этапе потребления ( $V_2 = 0,258$  – антропометрические;  $V_3 = 0,230$  – соответствие моде;  $V_1 = 0,213$  – совершенствование производственного исполнения). Для определения согласованности мнений экспертов по результатам ранжирования определяли коэффициент конкордации. Значение коэффициента координации ( $W$ ) находится в пределах  $0 < W < 1$ . Если коэффициент  $W$  значительно больше 0, считается, что между мнениями экспертов имеется связь. В данном случае значение  $W$  равняется 0,773 ( $0 < 0,773 < 1$ ) то есть больше нуля, поэтому можно утверждать, что между мнениями экспертов имеется тесная связь. Однако, как следует из таблицы, эксперты не всегда одинаково ранжируют свойства, поэтому значимость коэффициента координации проверяли по критерию  $\chi^2$ . Полученное фактическое  $\chi^2 = 37,9$ , сравнивается с табличным для числа показателей  $8-1 = 7$ . Так как  $37,9 > 15,5$ , т. е. рассчитанный коэффициент конкордации не случаен, а значим, данные экспертов и их мнения являются достаточно согласованными.

Экспертная оценка выбранных показателей в баллах для оцениваемых образцов женских кожаных перчаток показала, что полученные обобщенные показатели качества таковы: для базового образца 2 производства России – 4,27 балла, для образца 1 производства Белоруссии – 4,05 балла, для образца 3 производства Турция – 3,85 балла, для образца 4 производства Китай – 3,74 балла.

Для определения уровня конкурентоспособности изделий был выбран дифференциальный метод. Он основан на сравнении показателей качества и цены данных образцов с базовым показателем [9].

Обобщающий показатель качества для образцов женских кожаных перчаток составил: образец 2 Россия  $Q = 4,27 / 4,27 = 1$ ; образец 1 Белоруссия  $Q = 4,05 / 4,27 = 0,94$ ; образца 4 Китай  $Q_4 = 3,74 / 4,27 = 0,876$ ; образец 3 Турция  $Q_3 = 3,85 / 4,27 = 0,810$ . Следует отметить, что все образцы имеют достаточно высокое качество и могут быть успешно реализованы.

Относительный показатель цены для рассчитываемых женских кожаных перчаток: образец 1 Белоруссия –  $2\ 300 / 2\ 450 = 0,939$ ; образец 3 Турция  $2\ 000 / 2\ 450 = 0,816$ ; образец 4 Китай  $2\ 850 / 2\ 450 = 1,163$ .

Расчет уровня конкурентоспособности перчаток ( $K$ ) представлен в таблице 5.

Таким образом, перчатки производства предприятия Белоруссии имеют более высокий уровень конкурентоспособности 1.021 (за базовый образец взят образец 2 Россия). На втором месте перчатки производства предприятия Турции, имеющие уровень конкурентоспособности 0,993. Третье место

Таблица 5 – Уровень конкурентоспособности перчаток (К)

	Производители	Уровень конкурентоспособности
1	Беларусь	$0,940/0,939 = 1,021$
2	Турция	$0,810/0,816 = 0,993$
3	Китай	$0,876/1,163 = 0,702$

занимают перчатки производства предприятия Китая, имеющие уровень конкурентоспособности равный 0,702.

## ВЫВОДЫ

1. В процессе исследования установлено, что ассортимент кожгалантерейных изделий ФЛП «МегаТоп» формируется главным образом зарубежными фирмами. На их долю приходится около 70 %. Это в основном сумки дорожные, рюкзаки и чемоданы. На отечественном рынке преимущественно представлены изделия фирм Китая, России, Германии, Турции. Среди отечественных предприятий кожгалантерейные изделия поставляет Снежнянская фабрика (Донецкая область) и Северодонецкое ПО «Азот» (Луганская область). Их ассортимент представлен сумками дорожными из искусственной кожи и чемоданами.

2. Изучена структура реализации кожгалантерейных изделий в торговых предприятиях. В результате выявлено, что на их долю приходится 49...50 %. Этот уровень более или менее стабильный. Узок ассортимент перчаток, рукавиц (более 8 %), но зато доля сумок дорожных достаточно высокая (82...83 %).

3. Демоскопическая оценка ассортимента кожгалантерейных изделий показывает, что стабильным и большим спросом пользуются сумки молодежные (37,5 %). Умеренным спросом – сумки детские (12,3 %), папки (8,4 %) и чемоданы (10,2 %).

4. Лабораторные исследования материалов, из которых изготовлены перчатки, показали, что все они соответствуют требованиям нормативно-технической документации. Так деформационные свойства, особенно релаксация материалов, составляет более 40 %. Это означает, что перчатки плотно облегают кисть руки. Но наблюдаются небольшие отклонения у перчаток производства Китая. Прочностные свойства перчаточных свойств влияют на их износостойкость и также соответствуют нормативам действующих стандартов. Однако прочность перчаточных кож китайского производства несколько ниже установленных норм, что связано, очевидно, с использованием свиной кожи со шлифованной поверхностью.

5. Существенное влияние на деформационную выносливость перчаточных кож оказывает отделка, то есть мера ее адгезии с поверхностным слоем красителя.

6. Установлено, что на долговечность перчаток существенное влияние оказывает технология крашения. Кожи, окрашенные барабанным методом более стойкие к износу. В этом плане изделия из России заняли первое место. Выявлено, что нитроцеллюлозное покрытие перчаточной кожи производства Китай, хотя и приобретает водостойкость, но резко снижает ее паро- и воздухопроницаемость, и придавая жесткость, при этом кожа быстро стареет, теряя эластичность. Имеются отклонения по линейным размерам в изделиях производства Китай.

7. Экспертная оценка кожаных женских перчаток производства России показала высокий уровень комплексного показателя 4,27 баллов. На втором месте перчатки производства Беларусь, имеющие комплексный показатель потребительских свойств 4,04 баллов. Третье место занимают перчатки производства Турции, имеющие комплексные показатели потребительских свойств равные 3,85 баллов. Наихудшее положение у перчаток производства Китай, которые имеют наименьший комплексный показатель 3,74 балла.

Данные, полученные лабораторным путем, коррелируют с полученными результатами экспертных оценок. Коэффициент корреляции равен 0,668.

8. По уровню конкурентоспособности места для женских кожаных перчаток распределились следующим образом: перчатки производства предприятия Беларуси – 1,021; перчатки производства Турции – 0,993 и перчатки производства предприятия Китая – 0,702 (за базовый образец взяты перчатки производства Россия).

9. Дальнейшие направления исследования должны быть направлены на изучение возникающих проблем, связанных с совершенствованием торговли кожгалантерейными изделиями в торговом предприятии ФЛП «МегаТоп». При этом целесообразно совершенствовать технологию их продажи,

учитывая требования покупателей и осуществлять систематический контроль за качеством. В качестве основного показателя эффективности торговой деятельности использовать уровень конкурентоспособности реализуемых изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуревич, Б. С. Галантерейные, трикотажные парфюмерно-косметические товары : допущено в качестве учебника для экономических техникумов / Б. С. Гуревич, М. Е. Сергеев, М. Н. Сучкова ; под редакцией Н. А. Архангельского. – Москва : Госторгиздат, 1945. – 167 с. – (Товароведение промышленных товаров, Ч. 4). – Текст : непосредственный.
2. Жуков, Ю. В. Мониторинг рынка кожгалантерейных изделий / Ю. В. Жуков. – Текст : непосредственный // Кожевенно-обувная промышленность. – 2002. – № 4. – С. 15–17.
3. Зими́на, Т. И. Кожгалантерея / Т. И. Зими́на, Ю.И. Поздняков, В.А. Ильина. – Текст : непосредственный // Обувь и кожгалантерея. – 2012. – № 9. – С. 20–21.
4. Николаева, М. А. Теоретические основы товароведение : учебник для вузов / М. А. Николаева. – Москва : Норма, 2006. – 448 с. – Текст : непосредственный.
5. Крылова, Е. Г. Маркетинговые исследования товаров и потребителей : учебное пособие / Е. Г. Крылова. – Минск : БГЭУ, 2016. – 52 с. – Текст : непосредственный.
6. Платонов, В. Н. Организация торговли : учебное пособие / В. Н. Платонов. – Минск : БГЭУ, 2015. – 165 с. – Текст : непосредственный.
7. Семенова, В. В. История формообразования различных обувных и кожгалантерейных изделий / В. В. Семенова, Н. А. Ломакина. – Текст : непосредственный // Дизайн. Материалы. Технология. – 2008. – № 4 (7). – С. 70–76.
8. Шишкина, И. В. Товароведение и экспертиза галантерейных товаров : учебное пособие / И. В. Шишкина. – Москва : Издательский центр «Академия», 2003. – 192 с. – Текст : непосредственный.
9. Кибзун, В. Н. Товароведение галантерейных товаров : курс лекций для студентов очной и заочной формы обучения, направления подготовки 38.04.07 «Товароведение», профиля «Товароведение и коммерческая деятельность», специализации «Товароведение непродовольственных товаров и коммерческая деятельность» / В. Н. Кибзун, Ю. А. Павлушенко ; Министерство образования и науки ДНР, ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». – Донецк : ГО ВПО «ДонНУЭТ», 2017. – 106 с. – Текст : непосредственный.

Получена 13.12.2021

В. М. КІБЗУН, Н. П. НАГОРНА  
ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ ТА ЯКОСТІ  
ШКІРГАЛАНТЕРЕЙНИХ ВИРОБІВ НА РИНКУ М. ДОНЕЦЬКА  
ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла  
Туган-Барановського»

**Анотація.** Метою статті є вивчення факторів формування асортименту та якості шкіргалантерейних виробів на регіональних ринках м. Донецька. Наукова новизна полягає в розробці шляхів модифікації асортиментної політики підприємства на основі споживчої оцінки, структурованого аналізу експериментальних даних, визначення оптимальних показників споживчих властивостей шкіряної галантереї, а також удосконалення методики їх оцінки якості та конкурентоспроможності. Конкретизовані фактори формують асортимент шкіргалантерейних виробів, показано їх вплив на формування асортименту підприємства і в цілому проведено аналіз місцевого ринку і постачальників шкіряної галантереї на фактичному матеріалі. Встановлено, що методи дослідження, використані в роботі можна застосувати і при експертизі якості шкіргалантерейних виробів, що підвищить безсумнівно ефективність роботи.

**Ключові слова:** товарний ринок, конкурентоспроможність, споживчі властивості, попит, експертиза, шкіряна галантерея.

VALENTINA KIBZUN, NINA NAGORNAYA  
THEORETICAL ASPECTS OF THE FORMATION OF THE ASSORTMENT AND  
QUALITY OF LEATHER GOODS ON THE MARKET OF DONETSK  
State Organization of Higher Professional Education «Mikhail Tugan-Baranovsky Donetsk  
National University of Economics and Trade»

**Abstract.** The purpose of the article is to study the factors of the formation of the assortment and quality of leather goods in the regional markets of Donetsk. The scientific novelty consists in the development of

ways to modify the assortment policy of the enterprise on the basis of consumer evaluation, structured analysis of experimental data, determination of optimal indicators of consumer properties of leather haberdashery, as well as improvement of the methodology for their assessment of quality and competitiveness. The factors forming the assortment of leather goods are specified, their influence on the formation of the assortment of the enterprise is shown, and in general, an analysis of the local market and suppliers of leather goods is made on the actual material. It is established that the research methods used in the work can be applied in the examination of the quality of leather goods, which will undoubtedly increase the efficiency of work.

**Key words:** commodity market, competitiveness, consumer properties, demand, expertise, leather haberdashery.

**Кибзун Валентина Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: исследование потребительных свойств одежно-обувных и пушно-меховых товаров.

**Нагорная Нина Павловна** – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Кибзун Валентина Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: дослідження споживацьких властивостей одяго-взуттєвих і пушинно-хутрових товарів.

**Нагорна Ніна Павлівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

**Kibzun Valentina** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, State Organization of Higher Professional Education «Mikhail Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: research of consumer properties of clothing, footwear and fur-fur goods.

**Nagorna Nina** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, State Organization of Higher Professional Education «Mikhail Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

УДК 666.9.017

**М. Э. ВОРОНЕНКО, А. А. СКИБИНА, Е. В. ЕГОРОВА, С. В. ЛАХТАРИНА, И. Ю. ПЕТРИК**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ТЯЖЕЛЫЙ БЕТОН ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**Аннотация.** В статье дано теоретическое и экспериментальное обоснование целесообразности применения пуццолановых цементов и химических добавок в составе тяжелых бетонов. Для получения наиболее плотного и долговечного бетона выполнен подбор массового соотношения крупного и мелкого заполнителей. В результате экспериментальных исследований установлено, что при использовании крупного заполнителя фракций 5...10 / 10...20 мм оптимальное их количество и соотношение составляет 30/70 и 70/30 %. Заполнить остаточное межзерновое пространство целесообразно мелким заполнителем при его содержании 43 % от общей массы всех заполнителей. В частности использование в составе бетонных смесей золы-уноса Зуевской ТЭС в количестве 30 % взамен цемента в составе комбинированного вяжущего и суперпластификатора Р7 торговой марки «ГринТермо» позволяет получить бетоны с улучшенными характеристиками, при использовании мелкого заполнителя, не отвечающего требованиям нормативных документов.

**Ключевые слова:** гидротехнический бетон, состав бетона, зола-уноса, суперпластификатор, пустотность, подвижность, прочность.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ**

Гидротехнический бетон используется в конструкциях, которые подвергаются переменному или постоянному воздействию воды. Следовательно, данный бетон должен иметь повышенные показатели плотности и прочности, водонепроницаемости и морозостойкости. Основное отличие гидротехнического бетона от обычного тяжелого в том, что он имеет определенный компонентный состав, который обеспечивает повышенную долговечность и работоспособность конструкции, прежде всего эксплуатируемых в зоне переменного уровня вод и в подводной части сооружений.

В настоящее время существуют несколько способов повышения плотности и гидроизоляционных свойств бетона [1]:

1. Подбор оптимального фракционного состава заполнителя, а именно соотношение фракций заполнителей должно обеспечить минимальную межзерновую пустотность.

2. Выбор и обоснование вида цемента. В гидротехническом бетоне разрешается применение обычного портландцемента, пластифицированного, гидрофобного, сульфатостойкого и пуццоланового цементов. Кроме того, целесообразно использовать в составе бетонной смеси, для замены части цемента, уменьшения тепловыделения при твердении и повышения прочностных показателей, в качестве микрозаполнителей активные минеральные добавки (микрокремнезем, зола-уноса).

3. Уменьшение количества воды в бетонной смеси и использование пластифицирующих добавок, что повлечет за собой изменение удобоукладываемости.

4. Уплотнение бетонной смеси. При формировании конструкций необходимо следить за режимом уплотнения бетонной смеси и добиваться получения как можно более плотной структуры бетона.

5. Применение ускоренных способов набора бетоном прочности. Допускается как использование искусственного прогрева бетонной смеси, так и применение химических добавок – ускорителей твердения.

6. Повышение плотности методом инъектирования. В поры, трещины и другие дефекты структуры бетона нагнетаются торкрет-растворы, которые в бетоне набирают прочность и создают барьер для фильтрации воды и уплотняют структуру бетона. Инъекция бетона осуществляется несколькими способами: цементация (нагнетание цементного молока), силикатизация (нагнетание жидкого стекла) и смолизация (нагнетание синтетических смол).

© М. Э. Вороненко, А. А. Скибина, Е. В. Егорова, С. В. Лахтарина, И. Ю. Петрик, 2022



На долговечность гидротехнических бетонов основное влияние оказывает нецелесообразное использование минеральных и химических добавок, нарушение технологии производства, транспортирования и укладки бетонной смеси. Основной проблемой гидротехнического бетона является его разрушение под действием впитываемой влаги.

Главный критерий оценки качества гидротехнических бетонов – стойкость к агрессивной внешней среде. Также следует обеспечить минимальный показатель тепловыделения в процессе гидратации портландцемента. Это можно решить с применением золы-уноса ТЭС в качестве компонента вяжущих веществ в составе бетонов. Однако применение пуццолановых добавок вызывает ряд проблем, оказывающих влияние на свойства бетона. Тип золы, ее различная активность, минералогический и гранулометрический составы – все эти характеристики влияют на свойства затвердевшего бетона.

При массивном строительстве необходимо добиться высокой подвижности бетонной смеси для быстрого возведения конструкции [2]. Для бетона в зоне переменного уровня воды применяют щебень или гравий со средней плотностью зерен не ниже 2 500 кг/м<sup>3</sup> и водопоглощением не более 0,5 % для заполнителей из изверженных и метаморфических пород и 1 % для осадочных пород. Для бетона внутренней, подводной и надводной зон плотность зерен крупного заполнителя должна быть не ниже 2 300 кг/м<sup>3</sup>, а водопоглощение – не более 0,8 % для заполнителя из изверженных и метаморфических пород и 2 % – для осадочных пород [3]. Для бетонов гидротехнических сооружений допускается использовать песок с модулем крупности от 1,5 до 3,5. При этом мелкий песок с крупным модулем равным или меньшим 2,0, используется при обязательном применении пластифицирующих поверхностно-активных добавок [4].

**Целью исследования** является теоретическое и экспериментальное обоснование целесообразности применения пуццолановых и химических добавок; подбор оптимального соотношения фракций щебня для получения наиболее плотного и долговечного гидротехнического бетона.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для определения целесообразности исследования применения минеральной добавки на свойства бетонных смесей и бетонов были приготовлены составы с использованием золы ТЭС в качестве замены части цемента.

Добавка-суперпластификатор Р7 предназначена для получения растворных и бетонных смесей повышенной подвижности и растекания. Кроме этого, она способствует ускорению процесса перемешивания и транспортирования смесей насосами к месту укладки, а также повышает морозостойкость бетона в конструкции.

В качестве компонентов для приготовления бетонных смесей приняты:

- портландцемент (ПЦ) ПЦ I-500 ООО «Донцемент» (Суд. = 357 м<sup>2</sup>/кг; НГ = 26,2 %, R<sub>28</sub> = 51,5 МПа);
- песок кварцевый (П) Ясиноватского карьера с Мк = 1,3 (содержание ПИГ = 3 %, насыпная плотность = 1 207 кг/м<sup>3</sup>);
- щебень (Щ) гранитный Тельмановского месторождения (фракции 5...10 мм, 10...20 мм; марка по дробимости Др1000);
- минеральная добавка: зола-уноса (ЗУ) Зуевской ТЭС (удельная поверхность по Блэйнму 290 м<sup>2</sup>/кг; потери при прокаливании 6,92 %);
- суперпластификатор (СП) Р7 торговой марки «ГринТермо, г. Торез (плотность дисперсии 1,14 г/см<sup>3</sup>, рН = 10...11).

Химико-минералогический и фракционный составы даны в таблицах 1 и 2 соответственно.

**Таблица 1** – Химико-минералогический состав золы-уноса Зуевской ТЭС

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	BaO	MnO	ZrO <sub>2</sub>	SrO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	ZnO	CuO
57,19	25,05	8,94	3,09	1,79	1,45	1,05	0,67	0,27	0,18	0,08	0,07	0,04	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01

Для получения наиболее плотной структуры бетона были выполнены испытания по подбору оптимального соотношения фракций мелкого и крупного заполнителей. Первый этап подбора заключался в установлении, при каком соотношении фракций 5...10 мм и 10...20 мм достигается наименьшая пустотность крупного заполнителя. Результаты по определению насыпной плотности и межзерновой пустотности крупного заполнителя приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Фракционный состав золы-уноса Зуевской ТЭС

Размер частиц, мкм		Массовая доля фракций золы, %
минимальный	максимальный	
0,3	0,5	1,56
0,5	1	1,64
1	2	2,66
2	3	1,68
3	4	1,61
4	5	1,68
5	10	8,31
10	20	17,82
20	30	18,01
30	40	14,21
40	50	9,74
50	60	6,36
60	70	4,28
70	80	2,93
80	90	2,01
90	100	1,48
100	120	1,87
120	150	1,53
150	200	1,12
200	299	0,48

Таблица 3 – Результаты определения насыпной плотности и межзерновой пустотности крупного заполнителя

№ состава	Масса крупного заполнителя, г		Насыпная плотность, $\rho_{нас}$ , кг/м <sup>3</sup>	Пустотность, $\Pi_0$ , %
	фракция 5...10 мм	фракция 10...20 мм		
1	3 000	0	1 335	49,85
2	0	3 000	1 293	51,43
3	300	2 700	1 343	49,55
4	600	2 400	1 378	48,23
5	900	2 100	1 401	47,37
6	1 200	1 800	1 359	48,95
7	1 500	1 500	1 379	48,20
8	1 800	1 200	1 360	48,91
9	2 100	900	1 386	47,93
10	2 400	600	1 380	48,16
11	2 700	300	1 362	48,83

Из полученных данных следует, что наименьшими значениями пустотности характеризуются составы № 5 и 9, с соответственно сочетанием фракций крупного заполнителя 5...10/10...20 мм при их соотношении 30/70 и 70/30 %.

На втором этапе подбора определим, на каком процентном соотношении мелкого заполнителя в общей массе крупного заполнителя смесь будет иметь наибольшее значение насыпной плотности. Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Из таблицы следует, что наибольшее значение насыпной плотности – 1 782 кг/м<sup>3</sup> достигается при содержании мелкого заполнителя в смеси с крупным в количестве 43 %. В дальнейшем происходит вытеснение крупного заполнителя мелким, что снижает значения насыпной плотности.

Исходя из полученных результатов разработаны проектные составы тяжелых бетонов с использованием соотношения фракций щебня 5...10 / 10...20 мм в количестве 70/30 % (1, 3 составы) и 30/70 % (2, 4 составы). Количество мелкого заполнителя от общей массы всех заполнителей – 43 %. Кроме основных компонентов, в состав бетонной смеси были введены суперпластификатор в количестве 0,8 и 1,0 % от массы вяжущего и зола-уноса в количестве 10 и 30 % взамен части портландцемента в составе вяжущего. Составы бетонных смесей (на 1 м<sup>3</sup>) приведены в таблице 5.

**Таблица 4** – Результаты определения насыпной плотности смеси заполнителей

№ состава	Масса заполнителя, г		Насыпная плотность, $\rho_{нас}, \text{кг/м}^3$
	крупный (Щ)	мелкий (П)	
1	3 000	600	1 530
2	3 000	700	1 548
3	3 000	800	1 592
4	3 000	900	1 642
5	3 000	1 000	1 661
6	3 000	1 100	1 714
7	3 000	1 200	1 734
8	3 000	1 300	1 782
9	3 000	1 400	1 765
10	3 000	1 500	1 749
11	3 000	1 600	1 761

**Таблица 5** – Составы бетонных смесей

№ состава	Содержание компонентов, $\text{кг/м}^3$					
	Щ	П	ПЩ	ЗУ	СП	В
1	1 030	776	233	100	1 % $m_b$	200
2	1 030	776	233	100		200
3	1 030	776	300	33	0,8 % $m_b$	200
4	1 030	776	300	33		200

Подвижность бетонных смесей определена по стандартной методике с использованием нормального конуса. Физико-механические свойства бетонов определены по стандартным методикам. Прочностные показатели бетонов определены на образцах-кубах с размером ребра 0,1 м (предел прочности при сжатии). Образцы твердели в нормальных условиях при температуре  $t = 20 \pm 2$  °С и относительной влажности 100 % в течение 28 суток. Результаты испытаний приведены в таблице 6.

**Таблица 6** – Свойства бетонных смесей и бетонов

№ состава	Подвижность бетонной смеси, ОК, см	Средняя плотность бетона, $\rho_0, \text{кг/м}^3$	Предел прочности на сжатие, $R_{сж}, \text{МПа}$
1	14	2 307	41,5
2	12	2 281	38,5
3	6	2 218	34,6
4	7	2 236	30,5

## ВЫВОДЫ

Установлено, что при подборе количества и соотношения фракций крупного и мелкого заполнителей можно регулировать такие свойства бетонов, как плотность, прочность и, как следствие, долговечность.

Использование в составе бетонных смесей золы-уноса совместно с суперпластификатором позволяет получить смеси с подвижностью П2-П3. На величину подвижности влияет количество золы-уноса, наибольшие показатели у составов с 30 % заменой части портландцемента в составе вяжущего. Это связано со сферической формой зерен золы-уноса, что подтверждается исследованиями [5, 6].

Составы бетона №№ 1 и 2, содержащие 30 % золы-уноса и 1 % суперпластификатора отличаются более высокими значениями по средней плотности. Вероятно, это связано с тем, что с помощью пуццолановых сферических частиц золы создается так называемый эффект заполнения пор, что способствует увеличению плотности. Это подтверждается более высокими значениями пределов прочности при сжатии у данных составов.

Таким образом, использование золы-уноса Зуевской ТЭС в количестве 30 % взамен части цемента и суперпластификатора Р7 торговой марки «ГринТермо» позволяет получить бетоны с улучшенными характеристиками с применением мелкого заполнителя невысокого качества.

В дальнейшем предполагается исследовать морозостойкость и коррозионную стойкость предложенных составов бетонов и возможность их использования в конструкциях, испытывающих воздействие переменного уровня воды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корсун, В. И. Современные методы повышения плотности и гидроизоляционных свойств бетона / В. И. Корсун, К. С. Никитина, С. А. Шатилова. – Текст : электронный // Новые идеи нового века. – 2020. – № 2020 (3). – С. 515–522. – URL: <https://pnu.edu.ru/media/nionc/articles-2020/515-522.pdf> (дата обращения 03.05.2021).
2. Стольников, В. В. Исследования по гидротехническому бетону / В. В. Стольников. – Москва : Госэнергоиздат, 1962. – 330 с. – Текст : непосредственный.
3. Грушко, И. М. Повышение прочности и выносливости бетона / И. М. Грушко, А. Г. Ильин, Э. Д. Чихладзе. – Харьков : Вища школа, 1986. – 149 с. – Текст : непосредственный.
4. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 сентября 2014 г. N 70-П) : взамен ГОСТ 8736-93 : дата введения 2015-04-01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт по проблемам добычи, транспорта и переработки минерального сырья в промышленности строительных материалов» (ФГУП «ВНИИПИИстромсырье»). – Москва : Стандартинформ, 2019. – 16 с. – Текст : непосредственный.
5. Modification of the Fine-Aggregate Concrete by High Disperse Silica Fume and Carbon Nanoparticles Containing Modifiers / S. S. Kiski, A. N. Ponomarev, I. V. Ageev, Cun Chang. – Текст : непосредственный // Advanced Materials Research. – 2014. – Volume 941–944. – P. 430–435.
6. Velichko, E. Modification of Foam Concrete with Organo-mineral Admixture / E. Velichko, O. Pustyl'nik. – Текст : электронный // Materials Science Forum. – 2019. – Volume 945. – P. 199–204. – URL: <https://www.scientific.net/MSF.945.199> (дата обращения: 01.11.2021).

Получена 14.12.2021

М. Е. ВОРОНЕНКО, А. А. СКИБИНА, О. В. ЄГОРОВА, С. В. ЛАХТАРИНА,  
І. Ю. ПЕТРИК  
ВАЖКИЙ БЕТОН ДЛЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД  
ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У статті дано теоретичне та експериментальне обґрунтування доцільності застосування пуцоланових цементів та хімічних добавок у складі важких бетонів. Для отримання найбільш щільного та довговічного бетону виконано підбір масового співвідношення крупного та дрібного заповнювачів. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що при використанні великого заповнювача фракцій 5...10/10...20 мм оптимальна їх кількість та співвідношення становить 30/70 та 70/30 %. Заповнити залишковий міжзерновий простір доцільно дрібним заповнювачем за його вмістом 43 % від загальної маси всіх заповнювачів. Зокрема, використання у складі бетонних сумішей золи-віднесення Зуївської ТЕС у кількості 30 % замість цементу у складі комбінованого в'язучого та суперпластифікатора P7 торгової марки «Грін Термо» дозволяє отримати бетони з покращеними характеристиками при використанні дрібного заповнювача, який не відповідає вимогам нормативних документів.

**Ключові слова:** гідротехнічний бетон, склад бетону, зола-віднесення, суперпластифікатор, пустотність, рухливість, міцність.

MAXIM VORONENKO, ANASTASIA SKIBINA, ELENA YEGOROVA,  
SERGEY LAKHTARYINA, IRINA PETRIK  
HEAVY CONCRETE FOR HYDRAULIC STRUCTURES  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The article provides a theoretical and experimental justification of the feasibility of using pozzolan cements and chemical additives in heavy concrete. To obtain the most dense and durable concrete, the selection of the mass ratio of large and small aggregates was carried out. As a result of experimental studies, it was found that when using a large aggregate of fractions 5...10/10...20 mm, their optimal number and ratio is 30/70 % and 70/30 %. It is advisable to fill the residual intergranular space with a fine aggregate with its content of 43 % of the total mass of all aggregates. In particular, the use in the composition of concrete mixtures of fly ash from Zuevskaya TPP in the amount of 30 % instead of cement in the combined binder and superplasticizer P7 of the «Green Thermo» trademark makes it possible to obtain concretes

with improved characteristics when using fine aggregate that does not meet the requirements of regulatory documents.

**Key words:** hydraulic concrete, concrete composition, fly ash, superplasticizer, voidness, mobility, strength.

**Вороненко Максим Эдуардович** – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с высокими эксплуатационными характеристиками.

**Скибина Анастасия Андреевна** – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: применение химических добавок в высокофункциональных бетонах.

**Егорова Елена Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: самоуплотняющиеся бетоны.

**Лахтарина Сергей Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: легкие высокопрочные бетоны.

**Петрик Ирина Юрьевна** – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с обогащенной золой-уноса ТЭС.

**Вороненко Максим Едуардович** – магистрант кафедры технологий будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони з високими експлуатаційними характеристиками.

**Скібіна Анастасія Андріївна** – магистрант кафедры технологий будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: застосування хімічних добавок у високофункціональних бетонах.

**Егорова Елена Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони, що самоущільнюються.

**Лахтарина Сергій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: легкі високоміцні бетони.

**Петрик Ирина Юрїївна** – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони із збагаченою золою-віднесення ТЕС.

**Voronenko Maxim** – master's student; Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes with high performance characteristics.

**Skibina Anastasia** – master's student; Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the use of chemical additives in high-functional concrete.

**Yegorova Elena** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: self-compacting concretes..

**Lakhtaryina Sergey** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: lightweight high strength concrete.

**Petrik Irina** – Assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concrete with enriched fly ash from TPP.

УДК 678.686

**Ю. С. КОЧЕРГИН, В. В. ЗОЛОТАРЁВА**

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»

**РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА  
ОСНОВЕ ЭПОКСИДНО-КАУЧУКОВЫХ СМЕСЕЙ, ОТВЕРЖДЕННЫХ  
КАРДОВЫМ ПОЛИАРИЛАТОМ**

**Аннотация.** Методом динамического механического анализа исследована кинетика отверждения полиарилатом эпоксидной смолы ЭД-20 и продукта предварительной реакции этерификации ее с бутадиенакрилонитрильным карбоксилатным каучуком СКН-30. В качестве полиарилата был использован полиэфир терефталевой кислоты и фенолфталеина. На основе температурных зависимостей тангенса угла механических потерь и динамического модуля сдвига определены границы интервала реакции отверждения за счет взаимодействия эпоксидных циклов со сложноэфирной группой, получена первичная информация о свойствах получаемого продукта. Методом электронной микроскопии показано, что отверждение эпоксидно-каучуковых композиций полиарилатом приводит к образованию микрогетерофазных структур. Благодаря значительному различию в значениях параметров растворимости полиарилата и каучука происходит микрорасслоение системы с выделением каучука в частицы самостоятельной фазы. Сцепление между каучуковой фазой и полиарилатом осуществляется с помощью смоляной части продукта предварительной реакции этерификации, которая благодаря термодинамическому родству хорошо смешивается с полигетероариленом, образуя межфазный слой. Последующий прогрев композиций при 453 К, приводящий к химическому взаимодействию ЭС с полиарилатом, в еще большей степени усиливает это сцепление, что находит свое отражение в более высоком значении динамического модуля сдвига в широком интервале температур от 293 до 550 К. Наличие каучуковой компоненты в составе композиции приводит к большей ползучести материала под действием механической нагрузки.

**Ключевые слова:** эпоксидная смола, бутадиенакрилонитрильный карбоксилатный каучук, полиарилат, динамический модуль сдвига, тангенс угла механических потерь, ползучесть.

**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

До настоящего времени не теряет актуальности задача повышения теплостойкости эпоксидных полимеров (ЭП). В этом плане весьма перспективным представляется создание композиционных материалов на основе смесей эпоксидных смол (ЭС) и высокомолекулярных полигетероариленов различного строения [1–4]. Среди последних особый интерес представляют кардовые полигетероарилены, которые содержат в повторяющемся звене цепи, по крайней мере, один элемент, входящий в состав боковой циклической группировки [2–7]. Эти циклические боковые группы можно рассматривать как петли в отношении основной цепи макромолекулы. Поэтому такие полимеры было предложено называть кардовыми, от латинского слова «cardo» – петля. Повышая жесткость основной цепи, кардовые полярные группировки способствуют усилению межмолекулярного взаимодействия с растворителем, что приводит к улучшению их растворимости. Применение таких полигетероариленов для модификации ЭС определяется рядом факторов, наиболее важными из которых являются возможность химического взаимодействия между ними и хорошая совместимость компонентов в широком температурном диапазоне.

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

В работах [8, 9] изучено взаимодействие эпоксидных групп различного типа ЭС со сложноэфирной, амидной, феноксифталидидной группами ароматических полигетероариленов. Реакции идут при

температурах 423–453 К и эффективно ускоряются введением каталитических добавок солей слабых кислот. При реакции с олигомерными эпоксидами образуются пространственные сшивки, а рассматриваемые полигетероарилены выступают в роли отвердителей. Материалы на основе ЭС и полигетероариленов характеризуются высокими прочностью и жесткостью, очень малой ползучестью при действии весьма больших механических нагрузок, хорошими вибродемпфирующими свойствами [10, 11]. Вместе с тем их ударная прочность довольно низка, а температура стеклования убывает с увеличением концентрации ЭС. Повышение ударостойкости композиций введением традиционных отвердителей ЭС (например полиангирида себациновой кислоты УП-607) недостаточно эффективно, поскольку приводит к еще большему снижению теплостойкости. Известно [12, 13], что одним из наиболее эффективных путей повышения ударо- и трещиностойкости ЭП является модификация их низкомолекулярными каучуками с концевыми реакционноспособными группами. Хотя механизм упрочнения ЭП каучуками до настоящего времени в полной мере не установлен, эффект широко используется для повышения статической и динамической адгезионной прочности, ударо- и вибро-стойкости эпоксидных материалов [14, 15].

В свете изложенного представляло несомненный интерес исследовать свойства эпоксидно-каучуковых композиций (ЭКК), отвержденных теплостойкими полигетероариленами.

**Целью** настоящей работы явилось исследование структуры, а также динамических и статических релаксационных свойств композиционных материалов на основе эпоксидно-каучуковых продуктов, отвержденных кардовым полиарилатом.

#### Методология

Объектами исследования являлись промышленная эпоксидно-диановая смола марки ЭД-20 (массовая доля эпоксидных групп 22,6 %, вязкость 12 Па·с при 25 °С). В качестве каучука был использован жидкий сополимер олигобутадиена и акрилонитрила с концевыми карбоксильными группами марки СКН-30КТР (молекулярная масса (ММ) 3200, содержание акрилонитрила 27,3 %, концентрация карбоксильных групп 2,97 %). Для усиления эффекта модифицирования совмещение каучука с эпоксидной смолой проводили при повышенной температуре (160 °С) в течение двух часов. В этих условиях, как было показано ранее [12, 14], происходит химическое связывание молекул каучука и смолы за счет реакции этерификации карбоксильных групп с эпоксигруппами. Были использованы два продукта реакции этерификации (ПРЭ): ПРЭ-80/20, содержащий 80 масс. ч. ЭД-20 и 20 масс. ч. СКН-30 КТР, и ПРЭ-30/70, содержащий 30 масс. ч. смолы и 70 масс. ч. каучука. В качестве кардового полигетероарилена был использован полиэфир терефталевой кислоты и фенолфталеина (полиарилат Ф-2) с ММ 40 тысяч. Совмещение полиарилата с эпоксидными продуктами проводили через их совместный раствор в хлороформе. Далее раствор выливался на гладкую подложку, растворитель испарялся и получалась пленка толщиной примерно 100 мкм. Затем пленки высушивали в вакуумном шкафу при 353К и давлении 3 мм рт. ст.

Электронно-микроскопические исследования проводили на электронном микроскопе УЭМВ-100К методом двухступенчатых реплик с хрупкого скола. В качестве первичной реплики использовали 2 % раствор желатины, на которую затем напылялась угольно-палладиевая реплика.

Параметр растворимости определяли расчетным путем по формуле [17]:

$$\delta = \left( \frac{\sum \Delta E_i^*}{N_A \sum \Delta V_i} \right)^{1/2},$$

где  $\Delta E_i$  – вклад каждого атома и типа межмолекулярного взаимодействия в величину эффективной мольной энергии когезии;  
 $N_A$  – число Авогадро;  
 $\Delta V_i$  – вандерваальсовый объем молекулы, складывающийся из вандерваальсовых объемов атомов.

Запись кривых ползучести пленочных образцов проводили на установке [16] при постоянной растягивающей нагрузке 30 МПа. Динамические механические свойства (тангенс угла механических потерь  $\text{tg } \delta$  и динамический модуль упругости  $G'$ ) измеряли на установке ДМА 983 термоаналитического комплекса DuPont 9900.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

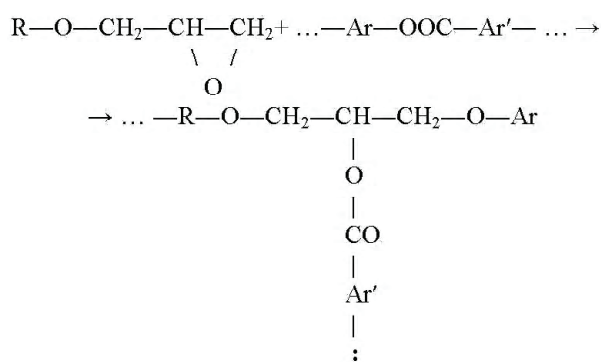
В последнее время для исследования кинетики отверждения с успехом применяется динамический механический метод [13, 18]. Поскольку процесс отверждения представляет собой химическую реакцию, сопровождаемую конформационными перегруппировками молекул полимера, можно предположить, что этот метод удобно использовать для изучения кинетики не только отверждения, но и вообще любой реакции, происходящей в твердой фазе. И в этом случае высокотеплостойкие полимеры дают исследователям уникальные возможности. Действительно, вследствие вырождения релаксационных переходов, обусловленных вращательной подвижностью, и благодаря высоким температурам размягчения теплостойкие полимеры могут иметь большие области температур, в которых их собственная релаксация не проявляется. Преимущество такого метода анализа химических превращений заключается в том, что в результате одного опыта по изменению компонентов комплексного модуля упругости можно судить как о наличии химических превращений, так и о кинетических параметрах процесса с одновременной оценкой важных механических показателей системы и ее теплостойкости.

Сущность подхода сводится к следующему. Вещество, претерпевающее химические превращения при нагревании, вводится в матрицу теплостойкого полимера через раствор в общем растворителе. Затем раствор выливается на гладкую подложку, растворитель испаряется и получается пленка, представляющая собой смесь реакционноспособного компонента и теплостойкого полимера. В качестве первого можно взять низко- или высокомолекулярные вещества, которые хорошо совмещаются с теплостойким полимером либо образуют с ним гетерогенную систему с явным разделением на микрофазы.

В качестве теплостойких систем можно использовать ароматические полиимиды, полиэферы, полиамиды и другие полигетероарилены, хорошо растворяющиеся в доступных растворителях и имеющие высокую температуру размягчения.

При этом, очевидно, возможны несколько вариантов: 1) реакционноспособное вещество претерпевает химические превращения при нагревании, не взаимодействуя с полимерной матрицей; 2) реакционноспособное вещество взаимодействует с полимерной матрицей, при этом образуется новое полимерное вещество; 3) полимерное вещество в отсутствие добавок претерпевает химические изменения при нагревании и превращается в другое полимерное вещество.

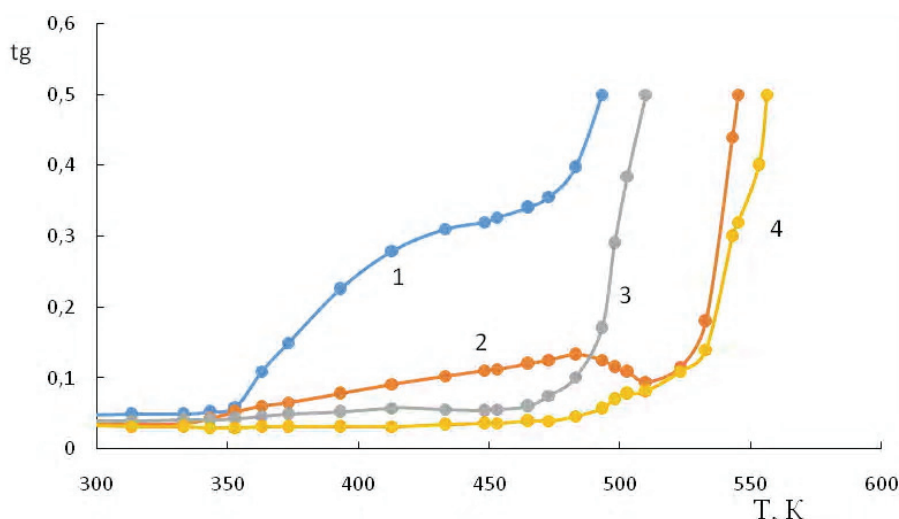
Метод динамического механического анализа ранее был с успехом применен для исследования кинетики отверждения эпоксидной смолы полиарилатом Ф-2 [10]. Такое отверждение происходит за счет реакции эпоксидных циклов со сложноэфирной группой по схеме:



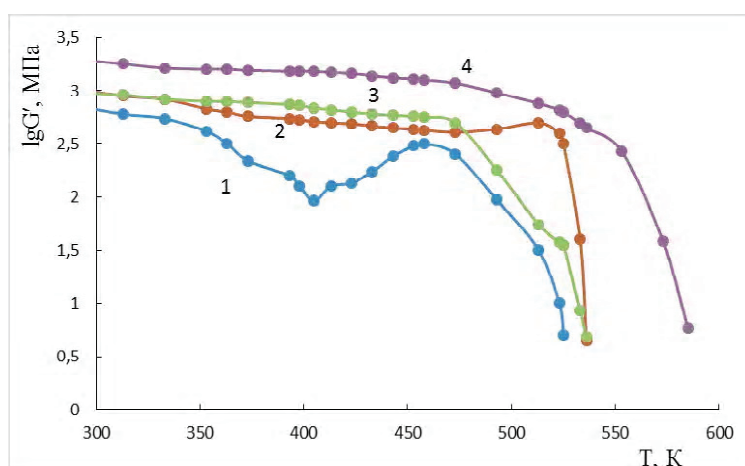
На скорость и температуру начала реакции существенное влияние оказывает химическое строение как ЭП, так и полиэфера. Реакция протекает и при отверждении композиций, содержащих традиционные отвердители в сочетании с полиэферами. В результате образуется полимер сетчатого строения, обладающий рядом интересных механических свойств [10].

Рассмотрим прежде всего кинетику отверждения полиарилатом Ф-2 продукта ПРЭ в сравнении с ЭС ЭД-20, применив для этого динамический механический метод. Как следует из рис. 1 и 2, для обеих систем реакция между компонентами охватывает очень широкую область температур от 350 до 473÷508 К. В этом диапазоне на зависимостях  $\lg \delta$ - $T$  наблюдается значительный рост молекулярной абсорбции, а на кривых температурных зависимостей динамического модуля сдвига отчетливо проявляются перегибы. Причем если для композиции на основе немодифицированного ЭО  $\lg \delta$  непрерывно возрастает с повышением температуры, то для системы, содержащей ПРЭ, наблюдается максимум





**Рисунок 1** – Температурные зависимости тангенса угла механических потерь  $\text{tg } \delta$  для смесей полиарилата с эпоксидной смолой ЭД-20 (1,3) и ПРЭ-30/70 (2,4): 1, 2 – исходные, 2, 4 – термообработанные (453 К / 8 ч) образцы. Соотношение компонентов смеси 1:1.

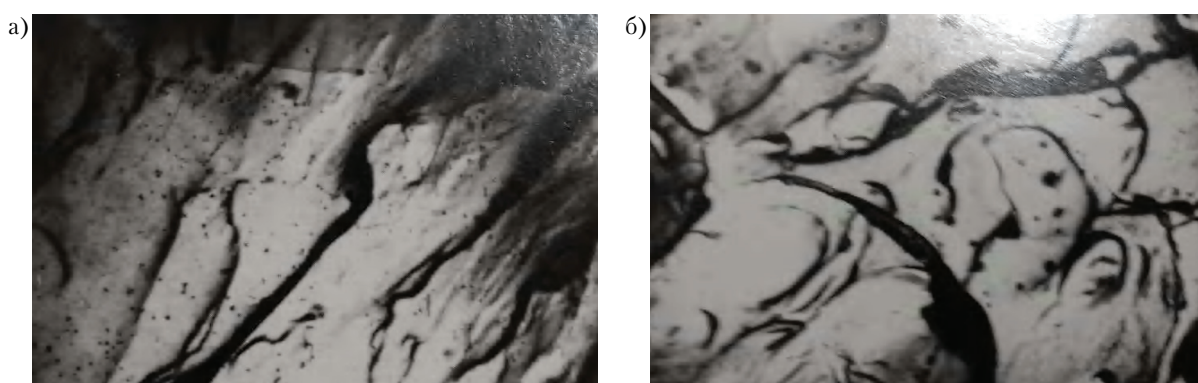


**Рисунок 2** – Температурные зависимости  $\lg G'$  для смесей полиарилата с эпоксидной смолой ЭД-20 (1,3) и ПРЭ-30/70 (2,4): 1, 2 – исходные, 2, 4 – термообработанные (453 К / 8 ч) образцы. Соотношение компонентов смеси 1:1.

(примерно при  $\sim 483$  К), соответствующий наибольшей скорости реакции эпоксидных групп со сложнэфирными группами полиарилата. При этом абсолютное значение  $\text{tg } \delta$  для смеси на основе ПРЭ намного ниже, чем для исходной смолы, что вполне объяснимо, учитывая существенно меньшую концентрацию эпоксидных групп в ПРЭ (примерно 30 % от их содержания в немодифицированном эпоксиде).

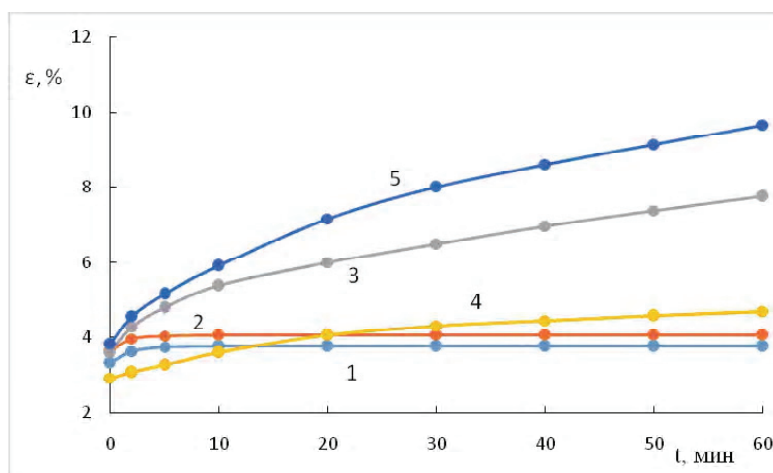
Отсутствие пика на зависимости  $\text{tg } \delta$  от температуры для исходной смолы обусловлено тем, что в области возможного спада  $\text{tg } \delta$ , связанного с исчерпанием реакционноспособных групп, начинается резкий рост молекулярной подвижности вследствие размягчения системы как единого целого. Вместе с тем на зависимости  $\lg G'-T$  хорошо видны и перегиб (при  $\sim 400$  К), и пик (при  $\sim 455$  К), связанный с увеличением модуля за счет образования поперечной сетки химических связей. Для композиции на основе ПРЭ точки перегиба и максимума динамического модуля сдвинуты в область более высоких температур (478 и 508 К соответственно). Подтверждением того факта, что наблюдаемые эффекты действительно обусловлены химическим взаимодействием, могут служить результаты повторного сканирования тех же систем, прогретых при 453 К в течение 8 ч (рис. 1 и 2, кривые 3 и 4). Видно, что в данном случае максимумы  $\text{tg } \delta$  и перегибы на зависимостях  $\lg G'-T$  в указанном диапазоне температур не проявляются. В силу этого для отверждения эпоксидных композиций полиарилата был выбран режим 453 К / 8 ч.

Увеличение динамического модуля сдвига при использовании ПРЭ можно, по-видимому, объяснить следующим образом. Уже в процессе формирования пленок из раствора в силу значительного различия в значениях параметров растворимости полиарилата (21,9) и каучука ( $17,8 \text{ (Дж/см}^3)^{0,5}$ ) происходит микрорасслоение системы с выделением каучука в виде частиц самостоятельной фазы. Данные электронной микроскопии (рис. 3) подтверждают это предположение. Однако выделение каучука в самостоятельную фазу не является достаточным условием реализации эффекта упрочнения. В случае ЭКК, полученных с использованием традиционных отвердителей, было показано, что необходимое условие обеспечения высокого модифицирующего эффекта помимо выделения каучука в самостоятельную фазу, состоит в химическом связывании молекул каучука и эпоксидной матрицы [12, 14]. Для исследуемых систем, по всей вероятности, сцепление между каучуковой фазой и полиарилатом осуществляется с помощью смоляной части продукта ПРЭ, которая благодаря термодинамическому средству хорошо смешивается с полигетероариленом, образуя межфазный слой. Прогрев композиций при 453 К, приводящий к химическому взаимодействию ЭС с полиарилатом, в еще большей степени усиливает это сцепление.



**Рисунок 3** – Электронные микрофотографии композиций на основе эпоксидной смолы ЭД-20 (а) и ПРЭ-30/70 (б), отвержденных полиарилатом. Соотношение компонентов равно 100:100 масс. ч. Увеличение 6000х.

На рис. 4 приведены кривые ползучести пленок исходного полиарилата и его смесей с эпоксидной смолой и продуктом реакции этерификации смолы с каучуком. Видно, что по сравнению с композициями, содержащими немодифицированную эпоксидную смолу, системы на основе ПРЭ характеризуются меньшей начальной деформацией ползучести (рис. 4, кривая 4), что и можно было ожидать, поскольку для них выше модуль упругости (рис. 2, кривая 4), величиной которого и определяется



**Рисунок 4** – Кривые ползучести полиарилата (1) и его смесей с ЭД-20 (2,3) и ПРЭ-30/70 (4,5). Концентрация эпоксидных олигомеров равна 20 (2, 4) и 100 (3, 5) масс. ч. на 100 масс. ч. полиарилата. Образцы термообработаны при 453 К.

удлинение образца в начальный момент приложения нагрузки. Однако уже по истечении относительно небольшого промежутка времени картина меняется на обратную, что, очевидно, обусловлено большей скоростью развития релаксационных процессов в образцах, содержащих каучуковую компоненту.

## ВЫВОДЫ

Методом динамической механической спектроскопии исследована кинетика отверждения эпоксидной смолы ЭД-20 и продукта предварительной реакции этерификации ее с бутадиенакрилонитрильным карбоксилатным каучуком СКН-30 полиарилатом, представляющим собой полиэфир терефталевой кислоты и фенолфталеина. На основе температурных зависимостей тангенса угла механических потерь и динамического модуля сдвига определены границы интервала реакции отверждения за счет взаимодействия эпоксидных циклов со сложноэфирной группой полиарилата, получена первичная информация о свойствах получаемого продукта. Методом электронной микроскопии показано, что отверждение эпоксидно-каучуковых композиций полиарилатом приводит к образованию микрогетерофазных структур. Предположено, что сцепление между каучуковой фазой и полиарилатом осуществляется с помощью смоляной части продукта предварительной реакции этерификации, которая благодаря термодинамическому сродству хорошо смешивается с полигетероариленом, образуя межфазный слой. Последующий прогрев композиций при 453 К, приводящий к химическому взаимодействию ЭС с полиарилатом, в еще большей степени усиливает это сцепление, что находит свое отражение в более высоком значении динамического модуля сдвига в широком интервале температур от 293 до 550 К. В результате проведенного исследования установлено, что отвержденные полиарилатом продукты предварительной реакции этерификации эпоксидной смолы и жидкого олигобутадиенового каучука с концевыми карбоксильными группами характеризуются более широким температурным диапазоном работоспособности. Показано также, что использование каучуковой компоненты в составе композиции приводит к большей ползучести материала под действием механической нагрузки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бюллер, К. У. Тепло- и термостойкие полимеры / К. У. Бюллер ; перевод с немецкого Н. В. Афанасьева, Г. М. Цейтлина. – Москва : Химия, 1984. – 1056 с. – Текст : непосредственный.
2. Аскадский, А. А. Структура и свойства теплостойких полимеров / А. А. Аскадский. – Москва : Химия, 1981. – 320 с. – Текст : непосредственный.
3. Аскадский, А. А. Лекции по физико-химии полимеров / А. А. Аскадский. – Москва : МГУ, 2001. – 220 с. – Текст : непосредственный.
4. Аскадский, А. А. Введение в физико-химию полимеров / А. А. Аскадский, А. Р. Хохлов. – Москва : Научный мир, 2009. – 320 с. – Текст : непосредственный.
5. Виноградова, С. В. Кардовые полигетероарилены. Синтез, свойства и своеобразие / С. В. Виноградова, В. А. Васнев, Я. С. Выгодский. – Текст : непосредственный // Успехи химии. – 1996. – Том 65, № 3. – С. 266–195.
6. Подходы к синтезу кристаллизующихся кардовых ароматических поликетонов / С. Н. Салазкин, К. И. Донецкий, Г. В. Горшков [и др.]. – Текст : непосредственный // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 1997. – Том 39, № 9. – С. 1431–1437.
7. Закономерности синтеза и свойства кардовых полиариленэфиркетонов / В. В. Шапошникова, С. Н. Салазкин, К. И. Донецкий [и др.]. – Текст : непосредственный // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 1999. – Том 41, № 2. – С. 217–225.
8. Komarova, L. I. Interaction of epoxy polymers with polyamides. / L. I. Komarova, S. N. Salazkin, I. A. Bulgakova. – Текст : непосредственный // J. Polym. Sci.: Polymer Chem. Ed. – 1978. – Volume 16, № 7. – P. 1643–1657.
9. Komarova, L. I. Interaction of polyesters with epoxy polymers / L. I. Komarova, I. A. Bulgakova, S. N. Salazkin. – Текст : непосредственный // J. Polym. Sci. Polymer Lett. Ed. – 1976. – Volume 14, № 3. – P. 179–181.
10. Аскадский, А. А. Структура и свойства сеток на основе теплостойких полимеров / А. А. Аскадский, Ю. С. Кочергин. – Текст : непосредственный // Успехи в химии. – 1980. – Том 49, № 5. – С. 848–878.
11. Новые полимеры и полимерные системы на основе эпоксидных олигомеров и полигетероариленов (обзор) / Л. И. Комарова, С. Н. Салазкин, Я. С. Выгодский, С. В. Виноградова. – Текст : непосредственный // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 1990. – Том 32, № 8. – С. 1571–1592.
12. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции / Ю. С. Зайцев, Ю. С. Кочергин, М. К. Пактер, Р. В. Кучер. – Киев : Наукова думка, 1990. – 200 с. – Текст : непосредственный.
13. Бабаевский, П. Г. Трещиностойкость отвержденных полимерных композиций / П. Г. Бабаевский, С. Г. Кулик. – Москва : Химия, 1991. – 336 с. – Текст : непосредственный.
14. Кочергин, Ю. С. Высокопрочные эпоксидные клеи холодного отверждения / Ю. С. Кочергин, Т. А. Кулик, Т. И. Григоренко. – Текст : непосредственный // Пластические массы. – 1993. – № 1. – С. 58–60.

15. Динамическая прочность эпоксикаучуковых клеевых композиций в адгезионном соединении / Ю. С. Кочергин, Т. А. Кулик, В. И. Ривкин, Ю. С. Зайцев. – Текст : непосредственный // Пластические массы. – 1984. – № 11. – С. 22–23.
16. Малкин, А. Я. Методы измерения механических свойств полимеров / А. Я. Малкин, А. А. Аскадский, В. В. Коврига. – Москва : Химия, 1978. – 336 с. – Текст : непосредственный.
17. Аскадский, А. А. Химическое строение и физические свойства полимеров / А. А. Аскадский, Ю. И. Матвеев. – Москва : Химия, 1983. – 248 с. – Текст : непосредственный.
18. Papanicolaou, G. C. Crosslinking studies in plasticized epoxies by means of dynamic measurements / G. C. Papanicolaou, S. A. Paipetis, P. S. Theocaris. – Текст : непосредственный // J. Appl. Polym. Sci. – 1976. – N 4. – P. 903–910.

Получена 15.12.2021

Ю. С. КОЧЕРГІН, В. В. ЗОЛОТАРЬОВА  
РЕЛАКСАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА  
ОСНОВІ ЕПОКСИДНО-КАУЧУКОВИХ СУМІШІВ, ЗАТВЕРДЖЕНИХ  
КАРДОВИМ ПОЛІАРИЛАТОМ  
ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла  
Туган-Барановського»

**Анотація.** Методом динамічного механічного аналізу досліджено кінетику затвердіння поліарилатом епоксидної смоли ЕД-20 та продукту попередньої реакції етерифікації її з бутадієнакрилонітрильним карбоксилатним каучуком СКН-30. Як поліарилат було використано полієфір терефталевої кислоти та фенолфталеїну. На основі температурних залежностей тангенсу кута механічних втрат і динамічного модуля зсуву визначено межі інтервалу реакції затвердіння за рахунок взаємодії епоксидних циклів зі складноєфірною групою, отримана первинна інформація про властивості продукту. Методом електронної мікроскопії показано, що затвердіння епоксидно-каучукових композицій поліарилатом призводить до утворення мікрогетерофазних структур. Завдяки значній відмінності у значеннях параметрів розчинності поліарилату та каучуку відбувається мікророзшарування системи з виділенням каучуку в частинки самостійної фази. Зчеплення між каучуковою фазою і поліарилатом здійснюється за допомогою смоляної частини продукту попередньої реакції етерифікації, яка завдяки термодинамічній спорідненості добре змішується з полігетероариленом, утворюючи міжфазний шар. Наступний прогрів композицій при 453 К, що призводить до хімічної взаємодії ЕС з поліарилатом, ще більшою мірою посилює це зчеплення, що знаходить своє відображення у вищому значенні динамічного модуля зсуву в широкому інтервалі температур від 293 до 550 К. Наявність каучукової компоненти у складі композиції призводить до більшої повзучості матеріалу під впливом механічного навантаження.

**Ключові слова:** епоксидна смола, бутадієнакрилонітрильний карбоксилатний каучук, поліарилат, динамічний модуль зсуву, тангенс кута механічних втрат, повзучість.

YURIY KOCHERGIN, VIKTORIYA ZOLOTAREVA  
RELAXATION PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON EPOXY-  
RUBBER MIXTURES CURED WITH CARDO-POLYARILATE  
State Organization of Higher Professional Education «Mikhail Tugan-Baranovsky Donetsk  
National University of Economics and Trade»

**Abstract.** The kinetics of curing of ED-20 epoxy resin with polyarylate and the product of its preliminary esterification reaction with SCN-30 butadiene acrylonitrile carboxylate rubber was investigated by dynamic mechanical analysis. Polyester terephthalic acid and phenolphthalein were used as polyarylate. On the basis of temperature dependences of the tangent of the angle of mechanical losses and the dynamic shear modulus, the boundaries of the curing reaction interval due to the interaction of epoxy cycles with the ester group are determined, primary information on the properties of the resulting product is obtained. Electron microscopy has shown that the curing of epoxy-rubber compositions with polyarylate leads to the formation of microheterophase structures. Due to the significant difference in the values of the solubility parameters of polyarylate and rubber, micro-stratification of the system occurs with the release of rubber into particles of an independent phase. The coupling between the rubber phase and the polyarylate is carried out by the resin portion of the product of the preliminary esterification reaction, which due to the thermodynamic affinity mixes well with the polyheteroarylene, forming an interfacial layer. Subsequent heating of the compositions at 453 K, resulting in chemical interaction with polyarylate, further enhances this adhesion, which is reflected in a higher value of the dynamic shear modulus in a wide temperature range from 293 to 550 K. The presence of a rubber component in the composition leads to greater creep of the material under mechanical load.

**Key words:** epoxy resin, butadiene acrylonitrile carboxylate rubber, polyarylate, dynamic shear modulus, tangent of the angle of mechanical losses, creep.

**Кочергин Юрий Сергеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры общинженерных дисциплин ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: химия, технология, физико-механика полимерных и композиционных материалов.

**Золотарева Виктория Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: технология полимерных и композиционных материалов.

**Кочергін Юрій Сергійович** – доктор технічних наук, професор кафедри загально-інженерних дисциплін ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: хімія, технологія, фізико-механіка полімерних та композиційних матеріалів.

**Золотарьова Вікторія Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: хімія, технологія, фізико-механіка полімерних та композиційних матеріалів.

**Kochergin Yuriy** – D. Sc. (Eng.), Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, State Organization of Higher Professional Education «Mikhail Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: chemistry, technology, physicomechanics of polymer and composite materials.

**Zolotareva Viktoriya** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, State Organization of Higher Professional Education «Mikhail Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: chemistry, technology, physicomechanics of polymer and composite materials.

УДК 678.686

**Ю. С. КОЧЕРГИН, В. В. ЗОЛОТАРЁВА**

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»

**СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ,  
МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОЛОВООРГАНИЧЕСКИМ ГАЛОГЕНИДОМ**

**Аннотация.** Синтезирована модифицированная смола на основе оловоорганического галогенида, в качестве которого использован дибромид дибутилолова, и промышленной эпоксидной смолы марки ЭД-16. Проведено сравнительное исследование комплекса физико-механических и релаксационных свойств композитов на основе исходной и модифицированной смол, отвержденных при комнатной температуре и подвергнутых термообработке. Установлено, что композиционные материалы на основе модифицированной смолы характеризуются меньшими значениями прочности при растяжении, модуля упругости, работы растяжения и температуры стеклования по сравнению с образцами на основе исходной эпоксидной смолы. Значения деформации при разрыве примерно одинаковы для обеих смол. Наблюдаемое изменение деформационно-прочностных свойств образцов при их экспозиции в жидкой среде объяснено наложением эффектов пластифицирования и доотверждения эпоксидных полимеров. При малых временах экспозиции действие сорбируемой жидкости направлено главным образом на ослабление межмолекулярного взаимодействия в образце, вследствие чего снижается его прочность при растяжении и растет деформационная способность. При больших временах экспозиции, когда количество поглощенной жидкости становится достаточно большим и происходит интенсивное молекулярное движение, превалируют процессы доотверждения, приводящие к увеличению плотности поперечного сшивания и, как следствие, к снижению деформационной способности и росту показателя прочности. Показано, что эпоксидные композиты, содержащие смолу, модифицированную дибромидом дибутилолова, отличаются повышенной стойкостью к развитию грибов и плесени, а также лучшей огнестойкостью. Исследованные полимеры могут рассматриваться как перспективные для получения на их основе противообрастающих покрытий для гидротехнического оборудования, морских и речных судов.

**Ключевые слова:** эпоксидный композит, оловоорганический галогенид, деформационно-прочностные и релаксационные свойства, огнестойкость, противообрастающие грибоустойчивые покрытия.

**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Обрастание водорослями и моллюсками является одной из основных проблем, затрагивающих промышленные теплообменники с использованием воды из природных источников (озер, рек и морей) для охлаждения. Негативными последствиями формирования обрастания являются сокращение передачи тепла, потеря эффективности охлаждения, преждевременный износ объектов и увеличение расходов на эксплуатацию и техническое обслуживание [1–5].

**АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

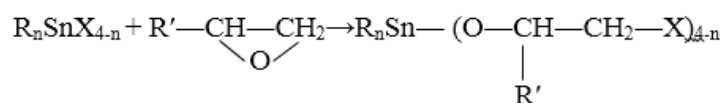
В настоящее время для профилактики обрастания используются специальные покрытия, содержащие в своём составе медь или другие токсические вещества (биоциды), обладающие большей токсичностью и большим сроком службы. Классическим примером является применение в защитных покрытиях, препятствующих обрастанию днищ кораблей от морских наростов, в качестве биоцида порошкообразной меди и ее оксида. Применяются также другие металлы и их соли, в первую очередь, олово [6]. Оловоорганические полимеры обладают высокой антимикробной и антигрибковой активностью [7–9]. В состав связующих, используемых в судостроении, часто вводят галогенсодержащие полимеры, которые предназначены для повышения огнестойкости компонентов [10].

Эффективными биоцидами являются оловоорганические галогениды (ООГ), благодаря чему они получили широкое применение в качестве антимикробных и антигрибковых добавок для лакокрасочных материалов. В отличие от окисей металлов добавки ООГ в полимерные материалы не вызывает вторичных коррозионных эффектов. При этом в морской воде ООГ легко разлагаются на безопасные для фауны моря продукты. В настоящее время также известно применение ООГ в качестве катализаторов отверждения эпоксидных смол и латентных отвердителей каталитического действия. Введение каталитических количеств ООГ в эпоксидные композиции позволяет снизить температуру отверждения, а материалы, полученные на основе этих композиций, обладают хорошими деформационно-прочностными и адгезионными свойствами [11].

Применение ООГ для создания олово- и галогеносодержащих эпоксидных материалов в доступной литературе описано весьма скупо. Известно применение ООГ в качестве реагентов для синтеза оловосодержащих отвердителей для эпоксидных смол [12]: отвердители получают взаимодействием  $R_2SnX_2$  и  $R_2SnO$  с карбоновыми кислотами и ангидридами. Содержание олова в таких отвердителях достигает 10 %. Однако такие отвердители не являются галогеносодержащими, поскольку в ходе реакции выделяется галогенводородная кислота. Применение ООГ в качестве сшивающих агентов для эпоксидных смол имеет несколько недостатков: отверждение проводится при высоких температурах 150...180 °С, а полученные при этом материалы обладают высокой хрупкостью и малой прочностью.

Низкоактивные отвердители, содержащие в своем составе атом азота, олова и галогена описаны авторами работы [13]. В качестве отвердителей используются бис-(2-хлор-5-аминобензоат)-тетрабутилдиэтаноксан и бис-(2-хлор-5-аминобензоат)-тетрабутилдиэтанан. Композиции с такими отвердителями отверждаются при 150 °С в течение 14 часов. Содержание олова в композициях составляет 4...7 %, галогена 3...5 %, что недостаточно для создания материалов с пониженной горючестью и достаточной антигрибковой и антимикробной активностью.

Получить композиции с большим содержанием олова и галогена нам удалось с использованием продуктов взаимодействия ООГ с эпоксидными смолами по схеме:



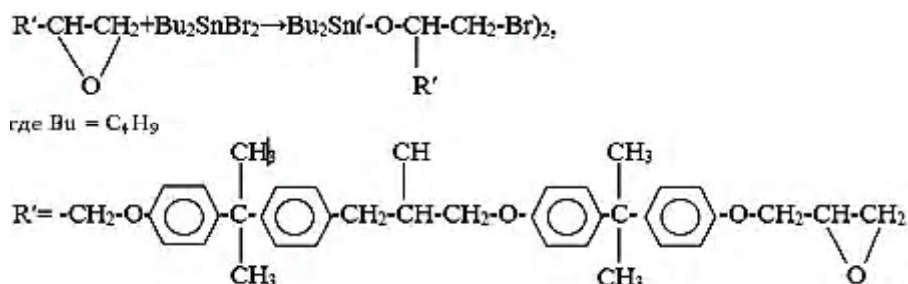
где R – алкил или арил, X – галоген, n = 1÷3.

Полученный алкоголь способен к дальнейшему взаимодействию с эпоксидными циклами. При этом вновь образуется алкоголь, что дает основание предположить возможность полимеризации эпоксидной смолы в присутствии ООГ.

В настоящее время свойства композитов на основе оловогалогенсодержащих смол изучены явно недостаточно. В связи с этим **целью** настоящей работы явилось исследование физико-механических и релаксационных свойств композиционных материалов, на основе продуктов взаимодействия эпоксидных смол и оловоорганических галогенидов.

#### Методология

В качестве объектов исследования выбраны промышленная эпоксидная смола марки ЭД-16 с массовой долей эпоксидных групп 17,3 % и молекулярной массой 495 и продукт ее взаимодействия с дибромидом дибутилолова по схеме:





В ходе реакции дибромид дибутилолова добавлялся в таком количестве, чтобы сохранялись свободные оксирановые циклы. В результате был получен продукт с молекулярной массой 1 350 и содержанием эпоксидных групп 10,7 %.

Отвердителем служил диэтилентриаминометилфенол марки УП-583Д. Отверждение композиций проводили по режимам 20 °С / 240 ч (отверждение без подвода тепла извне, т.е. при комнатной температуре) и 20 °С / 240 ч + 120 °С / 3 ч (отверждение с термообработкой). Объекты исследования представляли собой пленки толщиной 100...150 мкм, полученные при отверждении полимерных композиций между двумя полированными поверхностями металлических плит, покрытых тонким слоем антиадгезива.

Определение температуры стеклования  $T_{ст}$  проводили на установке [14]. На этой же установке изучали процесс ползучести композитов при постоянном механическом напряжении 10 МПа. Механические свойства при одноосном растяжении (разрушающее напряжение  $\sigma_p$  и деформация при разрыве  $\epsilon_p$ ) определяли на приборе типа Поляни с жестким динамометром и автоматической регистрацией измеряемых величин [14]. На этом приборе изучали процесс релаксации напряжения при заданной величине деформации. Модуль упругости  $E$  рассчитывали по наклону начального участка кривой  $\sigma-\epsilon$ . Водопоглощение  $W$  определяли по приращению массы пленочных образцов после выдержки в воде в течение 24 ч. Плотность образцов  $\rho$  измеряли методом градиентной колонки по ГОСТ 15139-69. Оценку устойчивости композита к воздействию плесени проводили по ГОСТ 9.048-89 «Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов». В испытаниях использован метод 2. Сущность метода заключается в том, что изделие без очистки от внешних загрязнений заражают водной суспензией спор грибов и выдерживают в условиях, оптимальных для их развития, в течение 28 сут. Кислородный индекс определяли по ГОСТ 21793-76.

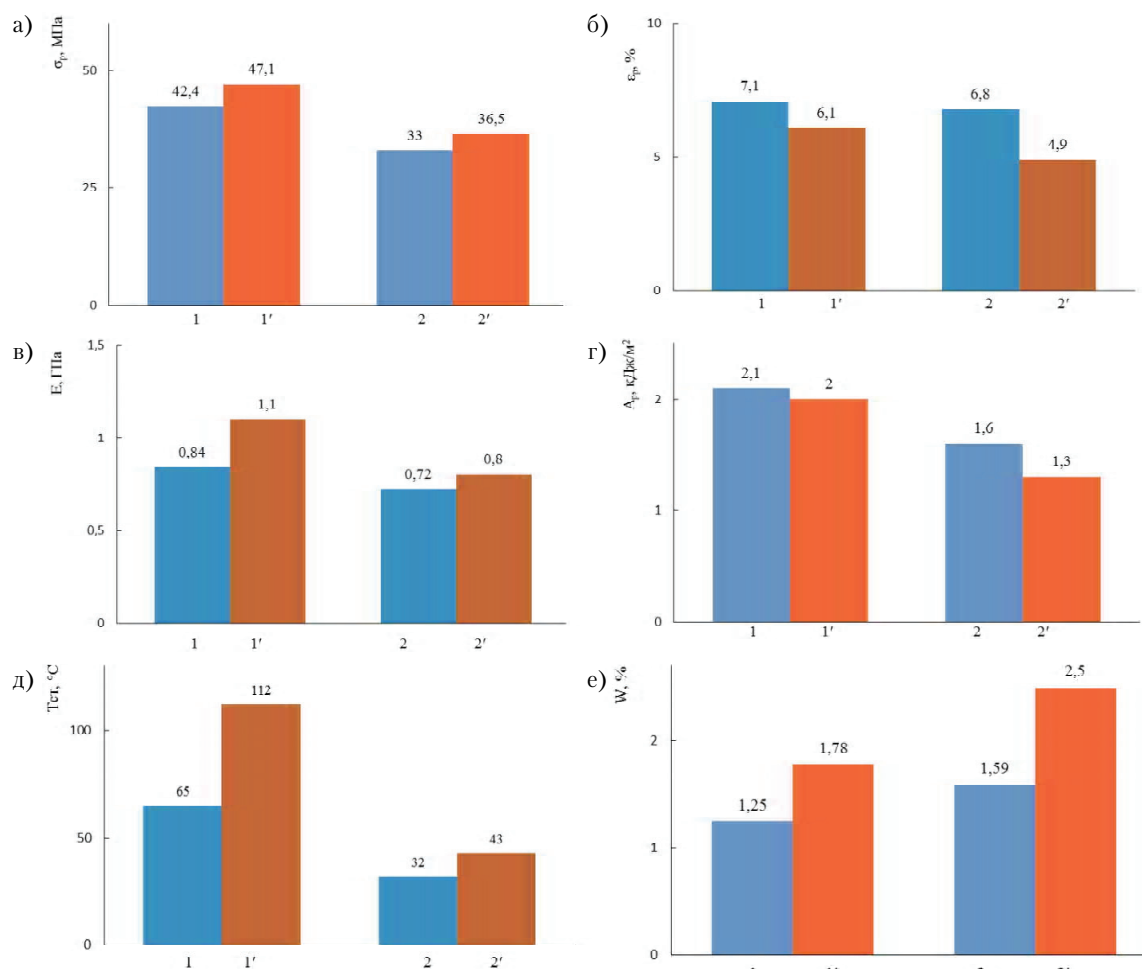
## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Как видно из рис. 1, образцы на основе эпоксидной смолы, содержащей ООГ (в дальнейшем модифицированная смола), характеризуются существенно меньшими значениями прочности при растяжении, деформации при разрыве, модуля упругости, работы разрушения и температуры стеклования по сравнению с образцами на основе исходной смолы ЭД-16. Наблюдаемый эффект может быть связан с меньшей скоростью перемещения более громоздких молекул модифицированной смолы, а также наличием в ней тяжелых атомов олова и брома, которые, в свою очередь, обуславливают снижение молекулярной подвижности. В результате образуется менее плотная и более дефектная химическая сетка. После термообработки для всех образцов несколько возрастают значения  $\sigma_p$ ,  $E$  и  $T_{ст}$ , а величины параметров  $\epsilon_p$  и  $A_p$ , наоборот, уменьшаются, что объясняется формированием более плотной химической сетки вследствие доотверждения образцов при воздействии повышенной температуры.

В образующейся в результате этого более плотной химической сетке, благодаря сближению молекул, возрастает вероятность образования водородных связей между ОН-группами и атомами брома. При повышении температуры физическая сетка разрушается в первую очередь, а более редкая химическая сетка в композитах на основе модифицированной смолы в меньшей степени сопротивляется механической нагрузке. Это находит свое отражение в меньшей величине  $T_{ст}$  (рис. 1 г) и более быстром уменьшении прочности при растяжении (рис. 2а, кривая 2) и значительном увеличении деформации при разрыве (рис. 2б, кривая 2) для образцов на основе модифицированной смолы уже при небольшом повышении температуры. Очевидно, что подобное поведение может быть связано с расстеклованием эпоксидной матрицы и переходом полимера в вынужденно-эластическое состояние.

Поскольку оловосодержащие полимеры предназначены в первую очередь для защиты от обрастания гидротехнических сооружений и механизмов, а также морских и речных судов, работающих в водной среде, представляло интерес исследовать влияние воды и других жидких сред на их деформационно-прочностные свойства. Видно (рис. 3), что параметр  $\sigma_p$  сложным образом зависит от времени выдержки ( $t_B$ ) образца в воде. При малых временах  $t_B$  (около 24 ч) для образца на основе исходной смолы наблюдается уменьшение  $\sigma_p$  на 10 % (отверждение без подогрева) и на 33,7 % для термообработанного композита. Для образцов на основе модифицированной смолы снижение  $\sigma_p$  для непрогретого и термообработанного образцов примерно одинаково (29,4 и 35,2 % соответственно). После достижения точки минимума происходит рост прочности с образованием максимума при  $t_B = 360$  ч для образцов на основе исходной смолы независимо от режима отверждения. При этом в точке максимума



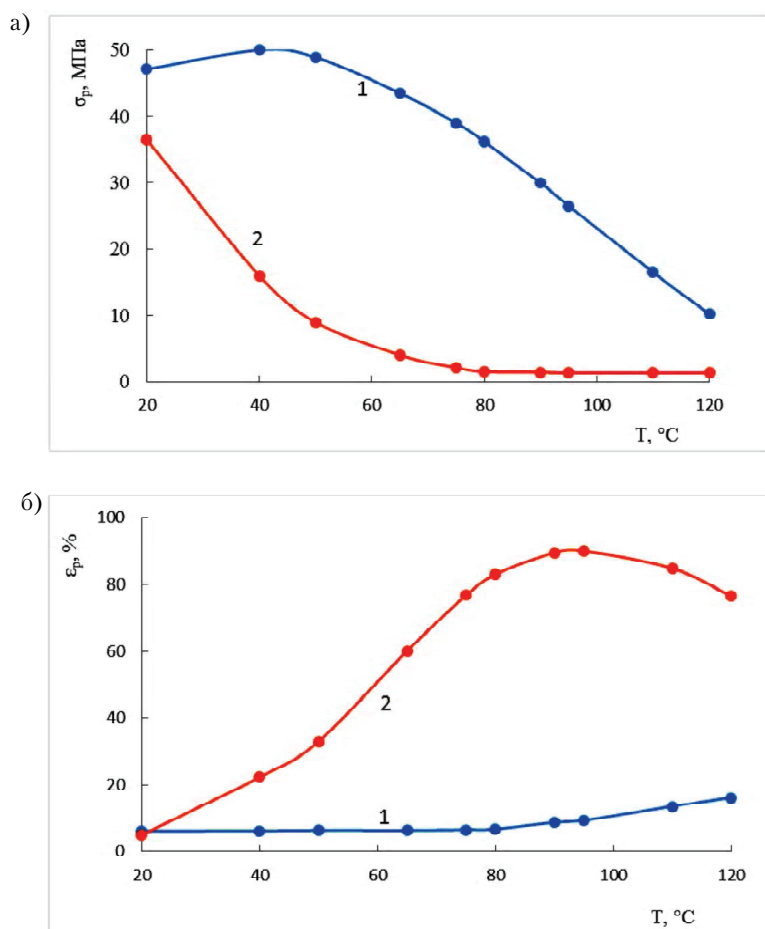


**Рисунок 1** – Зависимость  $\sigma_p$  (а),  $\epsilon_p$  (б), E (в),  $A_p$  (г),  $T_{ст}$  (д) и W (е) от типа эпоксидной смолы и режима отверждения для образцов составов: 1, 1' – ЭД-16 + УП-583; 2, 2' – (ЭД-16 + ООГ) + УП-583. Образцы отверждены по режимам 20 °C / 240 ч (1, 2) и 20 °C / 240 ч + 120 °C / 3ч (1', 2').

величины  $\sigma_p$  превосходят начальные значения на 34,4 % для непрогретого образца и на 45,0 % для термообработанного образца. После максимума  $\sigma_p$  достаточно быстро снижается, достигая через 720 ч примерно таких значений, как начальные (т. е. при  $t_B = 0$ ). Для композитов на основе модифицированной смолы после достижения минимума увеличение показателя прочности наблюдается во всем исследованном интервале времен экспозиции с выходом практически на плато при  $t_B = 240$  ч. При этом величина  $\sigma_p$  в зоне плато ниже на 8 %, чем начальное значение прочности, для непрогретого образца и на 15 % для термообработанного образца.

При выдержке образцов в этиловом спирте наблюдается несколько отличная картина (рис. 4). Для образцов на основе исходной смолы, отвержденных как без подогрева, так и с термообработкой, отсутствует снижение  $\sigma_p$  при малых  $t_B$ . Уже при  $t_B = 12$  ч наблюдается заметный рост прочности. Увеличение  $\sigma_p$  происходит до  $t_B = 240$  ч для образцов, отвержденных при комнатной температуре, с образованием максимума, после чего прочность убывает, но тем не менее даже при  $t_B = 720$  ч прочность образца, выдержанного в спирте, выше, чем прочность исходного образца (51,5 против 42,4 МПа). Для термообработанного образца максимум прочности достигается уже через 48 ч экспозиции в спирте, а при  $t_B = 720$  ч параметр  $\sigma_p$  снижается до значений, меньших, чем начальная прочность (35,3 против 47,1 МПа соответственно). В то же время для образцов на основе модифицированной смолы при малых временах выдержки (24 ч) в спирте наблюдается резкое снижение прочности на 78...90 %, после чего происходит монотонный подъем значений  $\sigma_p$ .

При этом для образцов, отвержденных при комнатной температуре, их прочность при  $t_B = 720$  ч на 39 % ниже начальной (20,2 против 33,0 МПа), а для термообработанных образцов прочность при  $t_B = 720$  ч на 68 % ниже, чем у исходного образца (11,5 против 36,5 МПа). Одной из причин такого



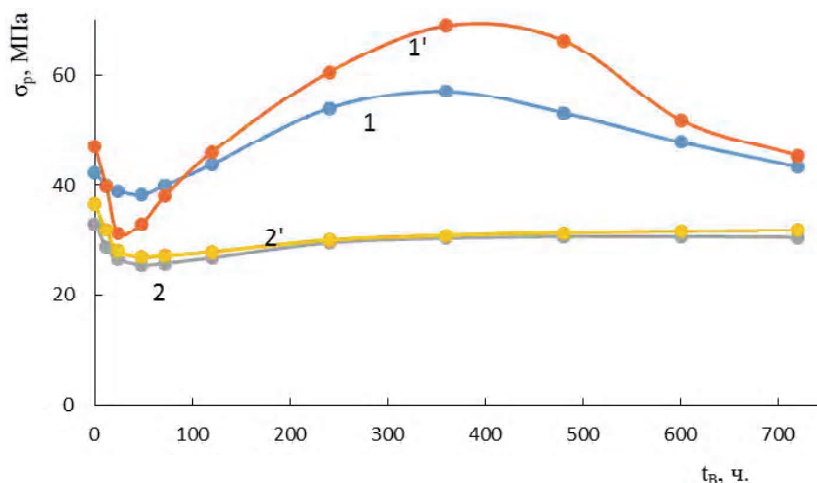
**Рисунок 2** – Температурные зависимости  $\sigma_p$  (а) и  $\epsilon_p$  (б) для эпоксидных полимеров на основе исходной (1) и модифицированной ООГ (2) эпоксидной смолы ЭД-16. Образцы отверждены по режиму  $20\text{ }^\circ\text{C} / 240\text{ ч} + 120\text{ }^\circ\text{C} / 3\text{ ч}$ .

разного поведения образцов, выдержанных в спирте и воде, может быть существенное отличие в количествах сорбированной жидкой среды (7,74 % в спирте и 1,25 % в воде).

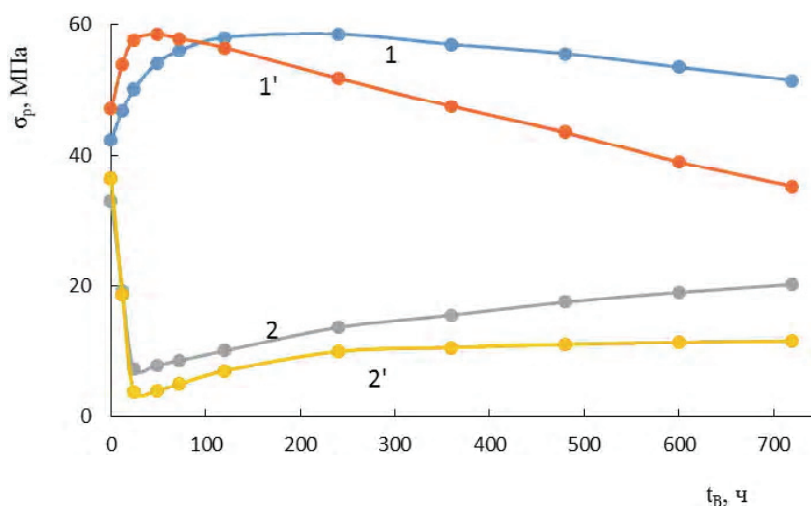
Зависимости деформации при разрыве от времени выдержки в спирте представляют (рис. 5) экстремальные кривые с максимумом при  $t_B = 72\text{ ч}$  для композитов на основе исходной смолы, отвержденных как с подогревом, так и без него. После достижения максимума  $\epsilon_p$  монотонно убывает с увеличением  $t_B$  до значений почти в два раза меньших, чем у исходных образцов. Максимумы на зависимостях  $\epsilon_p - t_B$  для композитов на основе модифицированной смолы выражены более рельефно. При этом величина деформации у образца, отвержденного без подогрева, в 10,3 раза больше, чем у исходного. Для композита, доотвержденного при  $120\text{ }^\circ\text{C}$ , увеличение деформации еще больше и составляет около 11 раз.

Наблюдаемое изменение деформационно-прочностных свойств под воздействием воды и спирта может быть объяснено в свете предположения о наложении эффектов пластифицирования и доотверждения эпоксидных полимеров при их экспозиции в жидкой среде. При малых  $t_B$  действие сорбируемой влаги (или другой физически активной жидкости) направлено главным образом на ослабление межмолекулярного взаимодействия в образце, вследствие чего снижается его прочность и растет деформация при разрыве. При больших значениях  $t_B$ , когда количество поглощенной воды становится достаточно большим и развивается довольно интенсивная молекулярная подвижность, преобладают процессы доотверждения, приводящие к увеличению плотности поперечного сшивания и, как следствие, к снижению деформационной способности и росту показателя прочности.

На рис. 6 приведены кривые ползучести. Видно, что образцы на основе модифицированной смолы характеризуются большей величиной и скоростью ползучести по сравнению с образцами на основе исходной смолы. При этом небольшое повышение температуры испытания существенно ускоряет



**Рисунок 3** – Зависимость  $\sigma_p$  от времени выдержки  $t_B$  в воде образцов составов: 1, 1' – ЭД-16 + УП-583; 2, 2' – (ЭД-16 + ООГ) + УП-583. Образцы отверждены по режимам 20 °С / 240 ч (1, 2) и 20 °С / 240 ч + 120 °С / 3 ч (1', 2').

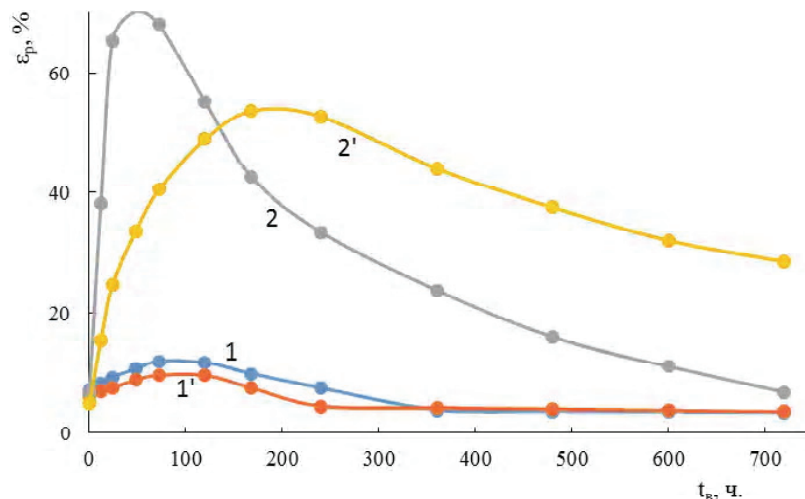


**Рисунок 4** – Зависимость  $\sigma_p$  от времени выдержки  $t_B$  в спирте образцов составов: 1, 1' – ЭД-16 + УП-583; 2, 2' – (ЭД-16 + ООГ) + УП-583. Образцы отверждены по режимам 20 °С / 240 ч (1, 2) и 20 °С / 240 ч + 120 °С / 3 ч (1', 2').

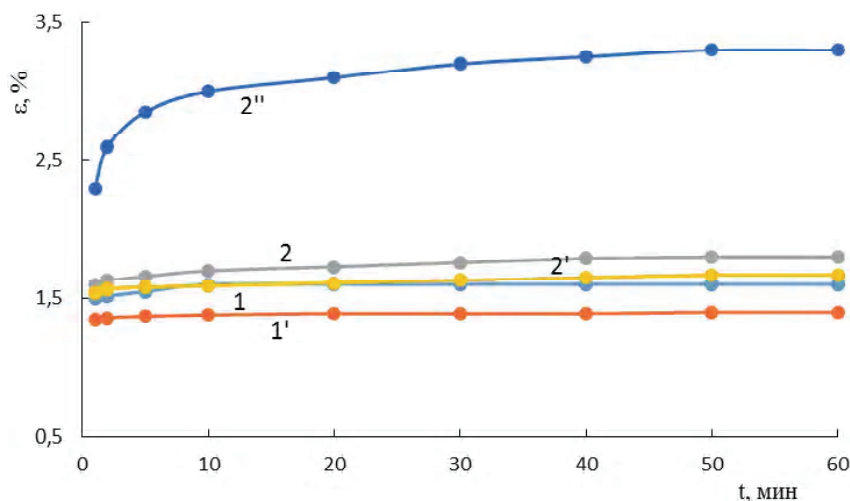
процесс (рис. 6, кривая 2''). Это обстоятельство необходимо учитывать в том случае, когда от материала требуется сохранение размеров и формы под действием нагрузки с течением времени.

Как следует из рис. 7, образцы на основе модифицированной смолы отличаются большей скоростью и глубиной спада механического напряжения в процессе его релаксации. Так, для исходной смолы снижение напряжения за 60 мин процесса релаксации составляет 17,7 % для композита, отвержденного на холоду, и 8,3 % для образца, отвержденного с термообработкой. В то же время для композита на основе модифицированной смолы спад напряжения составляет более 32 % независимо от режима отверждения. Очевидно, что материалы на основе модифицированной смолы более предпочтительны в тех случаях, когда важно не сохранение уровня приложенного напряжения, а, наоборот, его ослабление.

Благодаря тому, что исследуемый материал на основе продукта взаимодействия эпоксидной смолы с ООГ содержит 8,4 % олова и 11,3 % брома, он обладает хорошей фунгитоксичностью и пониженной горючестью. Его кислородный индекс составляет 27 % против 21 % у полимеров на основе исходной смолы ЭД-16. Как известно [15, 16], полимеры с КИ от 20 до 27 относятся к медленно горючим, а полимеры с КИ >27 считаются трудногорючими и относятся к самозатухающим при выносе из огня. Оценка устойчивости композита к воздействию плесневых грибов, показала, что обладает достаточ-



**Рисунок 5** – Зависимость  $\epsilon_p$  от времени выдержки  $t_{в}$  в спирте образцов составов: 1, 1' – ЭД-16 + УП-583; 2, 2' – 2, 2' – (ЭД-16 + ООГ) + УП-583. Образцы отверждены по режимам 20 °С / 240 ч (1, 2) и 20 °С / 240 ч + 120 °С / 3 ч (1', 2').

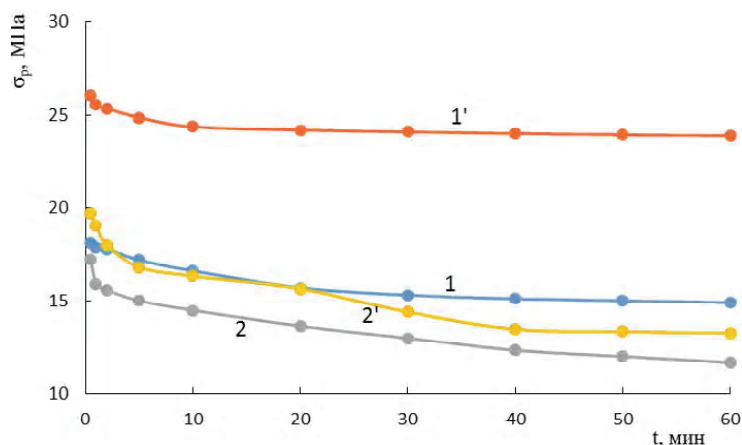


**Рисунок 6** – Кривые ползучести образцов на основе исходной (1, 1') и модифицированной ООГ (2, 2', 2'') эпоксидной смолы ЭД-16, отвержденной по режимам 20 °С / 240 ч (1, 2, 2'') и 20 °С / 240 ч + 120 °С / 3ч (1', 2'). Температуры испытания 22 °С (1, 1', 2, 2') и 35 °С (2'').

ной фунгитоксичностью: степень роста плесени 0 (то есть рост плесени под микроскопом не наблюдается) против 2 (слабое развитие плесени) для образцов на основе исходной смолы. Все это расширяет возможные области применения таких композиций, в первую очередь, в качестве противообрастающих и трудногорючих покрытий.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, разработан способ синтеза модифицированной эпоксидной смолы на основе оловоорганического галогенида и промышленной эпоксидной смолы ЭД-16. Показано, что эпоксидные композиты, содержащие модифицированную смолу, хотя и уступают по комплексу физико-механических свойств и водостойкости материалам на основе исходной смолы, но превосходят их по стойкости к развитию грибов и плесени, а также огнестойкости. Исследованные полимеры являются перспективными для получения на их основе противообрастающих покрытий для гидротехнического оборудования, эксплуатирующегося при наличии в окружающей среде водорослей, грибов и других микроорганизмов.



**Рисунок 7** – Кривые релаксации напряжения в образцах на основе исходной (1, 1') и модифицированной ООГ (2, 2') эпоксидной смолы ЭД-16, отвержденной по режимам 20 °С / 240 ч (1, 2) и 20 °С / 240 ч + 120 °С / 3 ч (1', 2'). Заданная деформация 2 %. Температура испытания 22 °С.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Звягинцев, А. Ю. Обрастание морских систем технического водоснабжения и анализ методов защиты от обрастания в водоводах (аналитический обзор) / А. Ю. Звягинцев, О. П. Полтаруха, С. И. Масленников. – Текст : непосредственный // Вода: химия и экология. – 2015. – № 1. – С. 37–60.
- Парталы, Е. М. Обрастание в Азовском море / Е. М. Парталы. – Мариуполь : Рената, 2003. – 378 с. – Текст : непосредственный.
- Monitoring and assessment of an industrial antifouling treatment. Seasonal effects and influence of water velocity in an open once-through seawater cooling system / D. Rubio, C. Lopez-Galindo, J. E. Casanueva, E. Nebot. – Текст : непосредственный // Applied Thermal Engineering. – 2014. – Volume 67, issue 1–2. – P. 378–387.
- Патент № 2713354 RU, МПК C09D163/00, C09D5/16, C08L63/00. Способ получения противообрастающей эмали : № 2019119855 : заявл. 26.06.2019 ; опубл. 04.02. 2020 / Дринберг А. С. ; патентообладатель АО «Русские краски» (RU). – 8 с. – Текст : непосредственный.
- Патент № 2703636 RU, МПК C09D163/00, C09D5/16, C08L63/00. Эмаль для атмосферостойкого радиационно-стойкого дезактивируемого противообрастающего грибостойкого покрытия : № 201814584 ; заявл. 24.12.2018 ; опубл. 21.10.2019 / Лысов А. А., Мещеряков Ю. Я., Ковальчук Ю. Л., Карпов В. А. ; патентообладатели ООО «Всесоюзный научно-исследовательский институт электроизоляционных материалов ВНИИЭИМ» (RU), АО «научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии – Атомстрой» (RU). – 11 с. – Текст : непосредственный.
- Наполнители для полимерных композиционных материалов : справочное пособие / перевод с английского Г. С. Кац, Д. В. Милевски ; под редакцией П. Г. Бабаевского. – Москва : Химия, 1981. – 736 с. – Текст : непосредственный.
- Мэтьюз Ф. Композиционные материалы. Механика и технология / Ф. Мэтьюз, Р. Ролингс. – Москва : Техносфера, 2004. – 407 с. – Текст : непосредственный.
- Журавлева, Н. И. Высокомолекулярные соединения : учебное пособие. Часть VI. Синтетические полимеры / Н. И. Журавлева, В. А. Акоюн. – Самара : Изд-во «Самарский университет», 2014. – 528 с. – Текст : непосредственный.
- Элементоорганические олигомерные модификаторы эластомерных композиций / В. Ф. Каблов, О. М. Новопольцева, Н. А. Кейбал [и др.]. – Текст : непосредственный // Вестник технологического университета. – 2015. – Том 18, № 14. – С. 59–61.
- Справочник по композиционным материалам : в 2-х кн. Книга 2 / под редакцией Дж. Любина ; перевод с английского А. Б. Геллера [и др.]. – Москва : Машиностроение, 1988. – 584 с. – Текст : непосредственный.
- Сорокин, М. Ф. Химия и технология пленкообразующих веществ / М. Ф. Сорокин, З. А. Кочнова, Л. Г. Шодэ. – Москва : Химия, 1989. – 480 с. – Текст : непосредственный.
- Патент № 3622524 США, МПК2 C 08 D 30/10. Compositions of epoxy resins cured with organotin compounds : № 757168 : заявл. 03.09.1968 ; опубл. 23.11.1971 / Markowitz M., Kohn L. S. General Electric Co. – 8 с. – Текст : непосредственный.
- Фосфор- и оловосодержащие отвердители эпоксидных смол / Л. К. Попов, Н. И. Пляничник, А. И. Ситкин, В. А. Огнева. – Текст : непосредственный // Пластмассы. – 1985. – № 8. – С. 41–42.
- Малкин, А. Я. Методы измерения механических свойств полимеров / А. Я. Малкин, А. А. Аскадский, В. В. Коврига. – Москва : Химия, 1978. – 336 с. – Текст : непосредственный.

15. Кодолов, В. И. Замедлители горения полимерных материалов / В. И. Кодолов. – Москва : Химия, 1980. – 269 с. – Текст : непосредственный.
16. Воспламеняемость и дымообразующая способность эпоксидных композиционных материалов / В. А. Ушков, О. Л. Фиговский, А. В. Копытин, Е. А. Шувалова. – Текст : непосредственный // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 1. – (24 с.). – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly2017/3991](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/nly2017/3991) (дата обращения: 15.01.2022).

Получена 17.12.2021

Ю. С. КОЧЕРГІН, В. В. ЗОЛОТАРЬОВА  
ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ЕПОКСИДНОЇ СМОЛИ,  
МОДИФІКОВАНОЇ ОЛОВООРГАНІЧНИМ ГАЛОГЕНІДОМ  
ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла  
Туган-Барановського»

**Анотація.** Синтезована модифікована смола на основі оловоорганічного галогеніду, в якості якого використаний дибромід дибутилолова, та промислової епоксидної смоли марки ЕД-16. Проведено порівняльне дослідження комплексу фізико-механічних та релаксаційних властивостей композитів на основі вихідної та модифікованої смол, затверділих при кімнатній температурі та підданих термообробці. Встановлено, що композиційні матеріали на основі модифікованої смоли характеризуються меншими значеннями міцності при розтягуванні, пружності модуля, роботи розтягування і температури склування в порівнянні зі зразками на основі вихідної епоксидної смоли. Значення деформації при розриві приблизно однакові обох смол. Зміна деформаційно-міцнісних властивостей зразків, що спостерігається, при їх експозиції в рідкому середовищі, пояснюється накладенням ефектів пластифікування і дотвердження епоксидних полімерів. За малого часу експозиції дія рідини, що сорбується, спрямована головним чином на ослаблення міжмолекулярної взаємодії в зразку, внаслідок чого знижується його міцність при розтягуванні і зростає деформаційна здатність. За великого часу експозиції, коли кількість увібраної рідини стає досить великою і відбувається інтенсивний молекулярний рух, превалюють процеси дотвердження, що призводять до збільшення щільності поперечного зшивання і, як наслідок, зниження деформаційної здатності і зростання показника міцності. Показано, що епоксидні композити, які містять смолу, модифіковану дибромідом дибутилолова, відрізняються підвищеною стійкістю до розвитку грибків та цвілі, а також кращою вогнестійкістю. Досліджені полімери можуть розглядатися як перспективні для отримання на їх основі протиобрастаючих покриттів для гідротехнічного обладнання, морських і річкових суден.

**Ключові слова:** епоксидний композит, оловоорганічний галогенід, деформаційно-міцнісні та релаксаційні властивості, вогнестійкість, протиобрастаючі грибостійкі покриття.

YURIY KOCHERGIN, VIKTORIYA ZOLOTAREVA  
PROPERTIES OF COMPOSITES BASED ON EPOXY RESIN MODIFIED WITH  
ORGANIC TIN HALIDE  
State Organization of Higher Professional Education «Mikhail Tugan-Baranovsky Donetsk  
National University of Economics and Trade»

**Abstract.** A modified resin based on organic tin halide, which is used as dibromide dibutyltin, and industrial epoxy resin of the ED-16 brand was synthesized. A comparative study of the complex of physical-mechanical and relaxation properties of composites based on the initial and modified resins cured at room temperature and subjected to heat treatment is carried out. It was found that composite materials based on modified resin are characterized by lower values of tensile strength, elastic modulus, tensile strength and glass transition temperature compared to samples based on the original epoxy resin. The values of strain at break are approximately the same for both resins. The observed change in the deformation and strength properties of samples during their exposure in a liquid medium is explained by the superposition of the effects of plasticization and re-hardening of epoxy polymers. At short exposure times, the action of the sorbed liquid is mainly aimed at weakening the intermolecular interaction in the sample, which reduces its tensile strength and increases its deformation capacity. At long exposure times, when the amount of absorbed liquid becomes sufficiently large and intense molecular movement occurs, pre-hardening processes prevail, leading to an increase in the cross-linking density and, as a result, to a decrease in the deformation ability and an increase in the strength index. It is shown that composites containing epoxy resin modified with dibromide dibutyltin are characterized by increased resistance to the development of fungi and mold, as well as better fire resistance. The studied polymers can be considered as promising for obtaining antifouling coatings based on them for hydraulic equipment, sea and river vessels.

**Key words:** epoxy composite, organic tin halide, deformation-strength and relaxation properties, fire resistance, antifouling fungus-resistant coatings.

**Кочергин Юрий Сергеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: химия, технология, физико-механика полимерных и композиционных материалов.

**Золотарева Виктория Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: технология полимерных и композиционных материалов.

**Кочергін Юрій Сергійович** – доктор технічних наук, професор кафедри загально-інженерних дисциплін ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: хімія, технологія, фізико-механіка полімерних та композиційних матеріалів.

**Золотарьова Вікторія Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: хімія, технологія, фізико-механіка полімерних та композиційних матеріалів.

**Kochergin Yuriy** – D. Sc. (Eng.), Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, State Organization of Higher Professional Education « Mikhail Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: chemistry, technology, physics and mechanics of polymer and composite materials

**Zolotareva Viktoriya** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, State Organization of Higher Professional Education « Mikhail Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: technology of polymer and composite materials.



УДК 691.16:662

**В. Л. БЕСПАЛОВ, А. Р. МАРКОВ, А. В. ЮХНОВ, В. В. СИРЕНКО, Р. С. МАЙДАНИЧЕНКО**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**КОМПЛЕКСНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ  
ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ ВТОРИЧНЫХ КУБОВЫХ ОСТАТКОВ  
ФЕНОЛЬНО-АЦЕТОНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Аннотация.** Целью настоящей работы является получение из ВКОФАП (вторичного кубового остатка фенольно-ацетонового производства) органического вяжущего соответствующего нормативным требованиям. ВКОФАП модифицировали комплексной добавкой, представленной отсевом поливинилхлорида и кубовыми остатками дистилляции фталевого ангидрида. Вторичный вязкопластичный ВКОФАП образуется из первичного ВКОФАП при совместном производстве фенола и ацетона методом кумольного синтеза и содержит в своем составе до 50 % продуктов осмоления и конденсации, димеры и летучие компоненты:  $\alpha$ -метилстирол, фенол, ацетофенон. Показатели физико-механических свойств бетонов, приготовленных на комплексном органическом вяжущем, превосходят таковые горячих дегтебетонов. Для них характерна более высокая прочность при сжатии при 50 °С и более широкий температурный интервал работоспособности в вязкоупругом состоянии; меньшая температурная чувствительность механических свойств. Следовательно, покрытия, построенные из бетонных смесей на комплексном органическом вяжущем, будут долговечными под действием транспортных нагрузок.

**Ключевые слова:** дорожный асфальтобетон, вязкопластичный вторичный кубовый остаток фенольно-ацетонового производства, поливинилхлорид, кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида.

**ПОСТАНОВКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ**

Для строительства автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием в зависимости от ее категории необходимо израсходовать 50...200 т битума на один километр дороги. Используемые в дорожном строительстве органические вяжущие представлены в основном битумами и каменно-угольными дегтями, а также модифицированными вяжущими на их основе. В связи с этим возникает задача поиска альтернативных видов вяжущих, прежде всего, из вязкопластичных отходов нефте- и коксохимии.

При современном уровне материального потребления дорожным строительством значение фактора полноты использования и вовлечения отходов производства нефтехимического синтеза и переработки угля, в частности вторичных кубовых остатков фенольно-ацетонового производства (ВКОФАП) [1] и кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида [2], позволит: уменьшить ресурсную зависимость за счет использования техногенного сырья как основы органических вяжущих для дорожного строительства и снизить затраты нефтяного битума: значительно уменьшить техногенное влияние ВКОФАП на окружающую среду и соответственно уменьшить площадь земли, которая используется для захоронения данного отхода; получить прибыль в результате реализации органических вяжущих, основу которых составляет ВКОФАП.

**Целью настоящей работы** является получение из вязкопластичного ВКОФАП органического вяжущего, соответствующего требованиям ГОСТ 22245-90, модификацией ВКОФАП комплексной добавкой, представленной отсевом поливинилхлорида и кубовыми остатками дистилляции фталевого ангидрида.



## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Вторичный вязкопластичный ВКОФАП образуется из первичного ВКОФАП при совместном производстве фенола и ацетона методом кумольного синтеза и содержит в своем составе до 50 % продуктов осмоления и конденсации, димеры и летучие компоненты:  $\alpha$ -метилстирол, фенол, ацетофенон [3].

Вторичный ВКОФАП характеризуется условной вязкостью  $C_{50}^{10} = 5...20$  с, содержанием альфа-, бета- и гамма фракций 3,0, 9,8 и 87,2 % соответственно; температура хрупкости  $T_{xp} = -10,7$  °С, растяжимость при 25 °С,  $D_{25} = 0,37$  м, при 0 °С,  $D_0 = 0,7$  м [4]. Средняя плотность бетонов, приготовленных на вязкопластичном ВКОФАП,  $\rho_0 = 2\,410$  кг/м<sup>3</sup>, водонасыщение  $W = 1,52$  %, набухание  $H = 0,47$  %; предел прочности при сжатии при 0 °С  $R_0 = 28,28$  МПа, при 20 °С  $R_{20} = 5,48$  МПа, при 50 °С  $R_{50} = 1,04$  МПа; коэффициент температурной чувствительности  $K_T = R_0/R_{50} = 27,19$ . Из-за высокого значения предела прочности при сжатии при 0 °С и температурной чувствительности бетонов следует ожидать низкой трещиностойкости и динамической прочности покрытий автомобильных дорог, которые построены из бетонных смесей с применением вязкопластичного ВКОФАП. Следовательно, ВКОФАП необходимо модифицировать в направлении расширения интервала пластичности и понижения температурной чувствительности реологических свойств.

Для модификации вязкопластичного ВКОФАП использованы отсев поливинилхлорида Днепродзержинского объединения «Азот» (марка ПВХ-С0-1) со следующими характеристиками: константа Фикентчера  $K = 66-69$ ; насыпная плотность 400 кг/м<sup>3</sup>; удельная поверхность 300 м<sup>2</sup>/кг; частные остатки (%) после просева на ситах с размером отверстий (мм) 0,4...81, 0,25...13; плотность 1 400 кг/м<sup>3</sup>; среднечисленная молекулярная масса  $10 \cdot 10^4$  и кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида ( $C_8H_4O_3$ ). В ОДФА содержатся: фталевая кислота, минеральные вещества ( $CaCO_3$ , сульфаты) от 1 до 7 % и зола 3 %. [5]. ОДФА характеризуются следующими показателями качества; плотность – 1 527 кг/м<sup>3</sup>; влажность – 2 %; содержание гидроксильных групп,  $OH = 2,4$  мг-экв/г. Кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида измельчали в лабораторной мельнице до удельной поверхности  $S = 450$  м<sup>2</sup>/кг.

Известно, что растворителями ПВХ являются соединения, содержащие в своем составе полярные и поляризующиеся атомные группировки. ВКОФАП содержат в своем составе: фенолы ( $\nu_{с-н} = 3\,507$  см<sup>-1</sup>), ароматические соединения ( $\nu_{с-н}$  при 3 066, 3 049, 3005 см<sup>-1</sup>,  $\nu_{с-с}$  при 1 379 и 1 357 см<sup>-1</sup>), простые ароматические эфиры (полосы поглощения в области 571 и 554 см<sup>-1</sup>).

При модификации ВКОФАП комплексной добавкой в подогретый до оптимальной температуры вязкопластичный отход (115...125 °С) в условиях турбулентности потока вяжущего вводили ОПВХ, систему перемешивали 30–35 минут, после чего добавляли тонкодисперсный ОДФА и комплексное органическое вяжущее продолжали перемешивать 25–30 минут.

Состав комплексного органического вяжущего оптимизирован: факторы варьирования – концентрации ОПВХ 1...2 % масс. ( $X_1$ ) и концентрации ОДФА 20...40 % масс. ( $X_2$ ) в вязкопластичном ВКОФАП; параметры оптимизации: пределы прочности при сжатии при 0 °С ( $Y_1$ )  $R_0$  не более 13,0 МПа, при 20 °С ( $Y_2$ )  $R_{20}$  не менее 2,5 МПа; при 50 °С ( $Y_3$ )  $R_{50}$  не менее 1,0 МПа; коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении ( $Y_4$ )  $K_{вд}$  не менее 0,8. Построение математических моделей (1–4) осуществлено на ПВЭМ с использованием программ Astat 2,0° и выполнено в среде MathCAD 7.0, for Windows

$$Y_1(x_1, x_2) = 12,067 + 1,22 \cdot x_2 - 1,389 \cdot x_1^2. \quad (1)$$

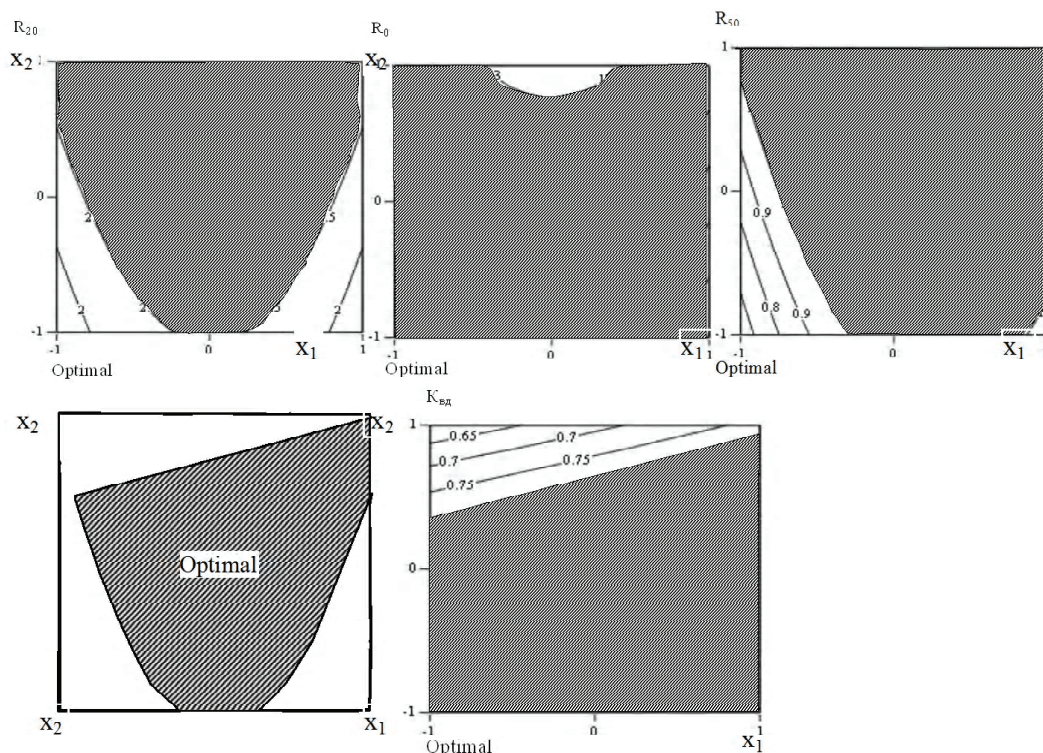
$$Y_2(x_1, x_2) = 3,113 + 0,56 \cdot x_2 - 0,902 \cdot x_1^2. \quad (2)$$

$$Y_3(x_1, x_2) = 1,27 + 0,156 \cdot x_1 + 0,201 \cdot x_2 - 0,271 \cdot x_1^2. \quad (3)$$

$$Y_4(x_1, x_2) = 10,904 + 0,041 \cdot x_1 - 0,078 \cdot x_2 + 0,039 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,126 \cdot x^2. \quad (4)$$

Уравнения регрессии проверены на адекватность и удовлетворяют критерию Фишера; коэффициенты множественной корреляции составляют 0,962 (1), 0,955 (2), 0,924 (3), и 0,96 (4) соответственно.

Таким образом, оптимально развитая сопряженная структура вязкопластичного ВКОФАП, модифицированного комплексной добавкой ОПВХ с ОДФА, состоящая из узлов-частиц кубовых остатков очистки дистилляции фталевого ангидрида, связанных между собой через адсорбционно-сольватные прослойки комплексного органического вяжущего, образуется при концентрации в модифицированном вяжущем ОПВХ 1,25...1,75 % мас. и ОДФА 25...35 % мас. (рис. 1).



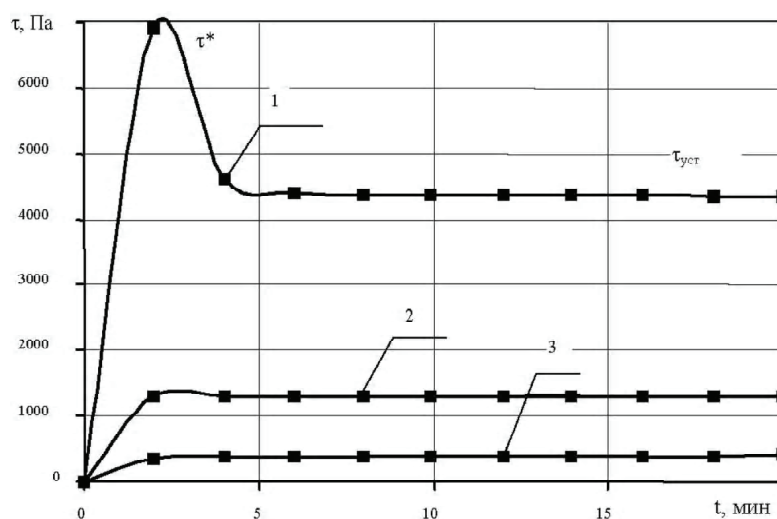
**Рисунок 1** – Зависимость предела прочности при сжатии при 20 °С ( $R_{20}$ ), при 0 °С ( $R_0$ ), при 50 °С ( $R_{50}$ ) и коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении ( $K_{ва}$ ), а также область оптимальных составов комплексного органического вяжущего (Opt) при фиксированных значениях факторов  $x_1$  и  $x_2$ .

Переход от кодированных значений к натуральным осуществляется по формулам 5 и 6

$$X_1 = 1,5 + 05 x_1. \quad (5)$$

$$X_2 = 30 + 10 x_2. \quad (6)$$

Комплексное органическое вяжущее оптимального состава характеризуется следующими показателями качества:  $\Pi_{25} = 255$  град.;  $\Pi_0 = 102$  град.;  $T_p = 46,8$  °С;  $T_{xp} = -10,7$  °С;  $D_{25} = 0,69$  м (рис. 2).



**Рисунок 2** – Кинетика выхода напряжений  $\tau$  на установившийся режим течения комплексного органического вяжущего при скоростях сдвига: 1 –  $\gamma = 1,5912 \text{ c}^{-1}$ ; 2 –  $\gamma = 0,31824 \text{ c}^{-1}$ ; 3 –  $\gamma = 0,1326 \text{ c}^{-1}$  и температуре 50 °С.

Показатели физико-механических свойств бетонов, приготовленных на комплексном органическом вяжущем, превосходят таковые горячих дегтебетонов (таблица). Для них характерна более высокая прочность при сжатии при 50 °С и более широкий температурный интервал работоспособности в вязкоупругом состоянии; меньшая температурная чувствительность механических свойств  $K_T = 8,4$ , чем у горячих дегтебетонов и асфальтобетонов  $K_T > 10$  (таблица).

Таблица – Физико-механические свойства бетонов

№ п/п	Вид вяжущего в мелкозернистом бетоне (тип В)	$\rho_a^m$ , кг/м <sup>3</sup>	Н, %	W, %	Предел прочности при сжатии, МПа при			K <sub>вд</sub>	$K_T = \frac{R_0}{R_{50}}$
					0 °С	20 °С	50 °С		
1.	Комплексное органическое вяжущее (вязкопластичный ВКОФАП модифицирован 1,5 % мас. ОПВХ и 30 % мас. ОДФА)	2 452	0,63	1,12	9,80	3,14	1,15	0,90	8,52
3.	Каменноугольный дорожный деготь, $C_{50}^{10} = 75$ с	2 400	0,83	3,60	10,4	3,90	1,00	0,74	10,40
4.	Битум нефтяной дорожный БНД 40/60	2 451	0,58	1,40	9,57	3,13	0,95	0,92	10,26

Данные, приведенные на рис. 3, свидетельствуют о достаточно высоких критических напряжениях бетона с использованием комплексного органического вяжущего  $\sigma_{кр} = 0,7$  МПа.

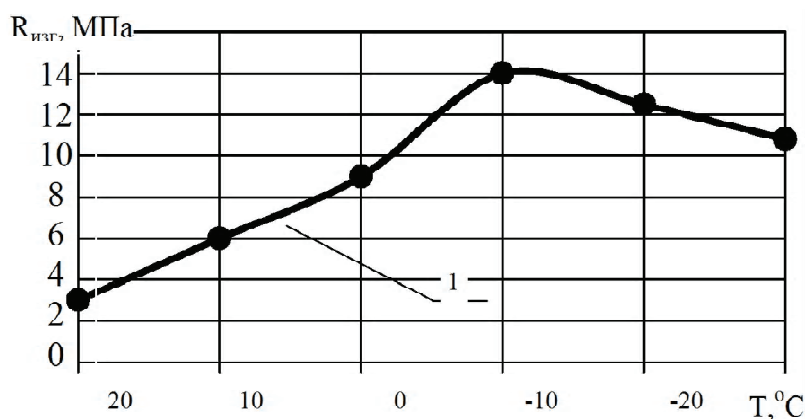


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности при изгибе  $R_{изг}$  мелкозернистого бетона (тип В) от температуры T с использованием вяжущего: 1 – комплексное органическое вяжущее (вязкопластичный ВКОФАП, модифицированный 1,5 % масс. ОПВХ и 30 % ОДФА).

## ВЫВОД

Покрытия, построенные из бетонных смесей на комплексном органическом вяжущем, будут долговечными под действием транспортных нагрузок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беспалов, В. Л. О получении модифицированных органических вяжущих из вторичного кубового остатка фенольно-ацетонового производства / В. Л. Беспалов. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2000. – Випуск 2 (22). – С. 58–62.
- Ремонт и содержание автомобильных дорог : справочник инженера-дорожника / А. П. Васильев, В. И. Баловнев, М. Б. Корсунский [и др.] ; под редакцией А. П. Васильева. – Москва : Транспорт, 1989. – 237 с. – Текст : непосредственный.
- Лысихина, А. И. Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей / А. И. Лысихина. – Москва : Автотрансиздат, 1962. – 360 с. – Текст : непосредственный.
- Тарасенко, Л. П. Использование отходов промышленности в строительстве сельских дорог / Л. П. Тарасенко. – Москва : Транспорт, 1973. – 64 с. – Текст : непосредственный.
- Гунн, Р. Б. Нефтяные битумы / Р. Б. Гунн. – Москва : Химия, 1973. – 432 с. – Текст : непосредственный.

Получена 20.12.2021

В. Л. БЕСПАЛОВ, А. Р. МАРКОВ, А. В. ЮХНОВ, В. В. СИРЕНКО,  
Р. С. МАЙДАНІЧЕНКО  
КОМПЛЕКСНІ ОРГАНІЧНІ В'ЯЖУЧІ НА ОСНОВІ ВТОРИННИХ  
В'ЯЗКОПЛАСТИЧНИХ ВТОРИННИХ КУБОВИХ ЗАЛИШКІВ ФЕНОЛЬНО-  
АЦЕТОНОВОГО ВИРОБНИЦТВА  
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Метою цієї роботи є отримання з ВКЗФАВ (вторинного кубового залишку фенольно-ацетонового виробництва) органічного в'язучого, що відповідає нормативним вимогам. ВКЗФАВ модифікували комплексною добавкою, представленою відсіванням полівінілхлориду та кубовими залишками дистиляції фталевого ангідриду. Вторинний в'язкопластичний ВКЗФАВ утворюється з первинного ВКЗФАВ при спільному виробництві фенолу та ацетону методом кумольного синтезу та містить у своєму складі до 50 % продуктів осмолення та конденсації, димери та легкі компоненти:  $\alpha$ -метилстирол, фенол, ацетофенон. Показники фізико-механічних якостей бетонів, виготовлених на комплексному органічному в'язучому, перевершують такі гарячих дьогтебетонів. Для них властива більш висока міцність при стисканні при 50 °С продуктів та більший температурний інтервал працездатності у в'язкопружному стані; менша температурна чутливість механічних властивостей. Отже, покриття, збудовані з бетонних сумішей на комплексному органічному в'язучому, будуть довговічними під дією транспортних навантажень.

**Ключові слова:** дорожній асфальтобетон, в'язкопластичний вторинний кубовий залишок виробництва фенолу-ацетону, полівінілхлорид, кубові залишки перегонки фталевого ангідриду.

VITALY BESPALOV, ARTUR MARKOV, ANATOLY YUKHNOV, VLADISLAV  
SIRENKO, RODION MAIDANICHENKO  
COMPLEX ORGANIC BINDER BASED VISCO-PLASTIC SECONDARY VAT  
RESIDUES PHENOL-ACETONE PRODUCTION  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The purpose of this work is to obtain from VKOFAP (secondary VAT residue of phenol-acetone production) an organic binder that meets regulatory requirements. VCOFAP was modified with a complex additive represented by polyvinyl chloride screening and distillation residues of phthalic anhydride distillation. Secondary viscoplastic HCOFAP is formed from primary HCOFAP during the joint production of phenol and acetone by the cumene synthesis method and contains up to 50 % of resinous and condensation products, dimers and volatile components:  $\alpha$ -methylstyrene, phenol, acetophenone. The indicators of physical and mechanical properties of concrete prepared on a complex organic binder exceed those of hot tar concrete. They are characterized by higher compressive strength at 50 °C and a wider temperature range of performance in the viscoelastic state; lower temperature sensitivity of mechanical properties. Consequently, coatings built from concrete mixes based on a complex organic binder will be durable under the action of transport loads.

**Key words:** road asphalt concrete, viscoplastic secondary cubic residue of phenolic-acetone production, polyvinyl chloride, cubic residues of distillation of phthalic anhydride.

**Беспалов Виталий Леонидович** – доктор технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: синтез органических вяжущих для производства композиционных дорожно-строительных материалов, используемых при строительстве конструктивных слоев жестких дорожных одежд автомобильных дорог повышенной долговечности.

**Марков Артур Романович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев жестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Юхнов Анатолий Вячеславович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев жестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Сиренко Владислав Викторович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев жестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Майданиченко Радион Сергеевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Беспалов Віталій Леонідович** – доктор технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія 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.

**Марков Артур Романович** – магистрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Юхнов Анатолій Вячеславович** – магистрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Сиренко Владислав Вікторович** – магистрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Майданиченко Радіон Сергійович** – магистрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Bespalov Vitaly** – D. Sc. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: synthesis of organic binders for the production of composite road-building materials used in the construction of structural layers of non-rigid road clothes of highways of increased durability.

**Markov Artur** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Yukhnov Anatoly** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Sirenko Vladislav** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Maidanichenko Rodion** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

УДК 691.175/.115

**В. В. ЮРЧЕНКО<sup>а</sup>, А. Ю. КОТ<sup>б</sup>, Н. С. КУРОЧКИНА<sup>б</sup>, Е. А. ПЕТРУШИНА<sup>б</sup>**<sup>а</sup> ГОО ВПО «Донецкий институт железнодорожного транспорта», <sup>б</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА КОМПОЗИЦИОННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ИЗ ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ И МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ**

**Аннотация.** Выполнена оптимизация фракционного состава композиционного строительного материала на основе полиэтилена высокого давления марки 15803-020 и мелкодисперсных отходов переработки древесины фракции 0,33...5,00 мм. Определен оптимальный фракционный состав композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины. Распределение древесного наполнителя по массе и размерам показало, что наибольшую массу имеет фракция 0,63...1,25 мм – 49,9 %. Оптимальный фракционный состав частиц вторичного полиэтилена высокого давления обеспечен фракцией менее 0,63 мм. Экспериментально установлены оптимальные концентрации компонентов в изделии, которое варьируется в следующем диапазоне: древесный наполнитель 69...71 % мас., вторичный полиэтилен высокого давления 26...28 % мас., модифицирующие добавки 3 % мас. (воск – 2,5 % мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 – 0,3 % мас., антипирены – 0,2 % мас.).

**Ключевые слова:** вторичный полиэтилен высокого давления, мелкодисперсный древесный наполнитель, фракционный состав, композиционный полимерный материал.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Полимерный и древесный наполнители, образующиеся от переработки отходов, характеризуются различным фракционным составом. Частицы наполнителей отличаются размерами, формой, удельной наружной поверхностью, фракционным составом. Эти параметры в значительной степени влияют на свойства древесно-полимерного композита.

### **ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Обоснование и определение оптимального фракционного состава композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины.

### **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Дисперсионный анализ полимерного и древесного наполнителя с заданными размерами частиц и распределением их по размерам выполнен ситовым методом и использован для расчета состава композиционного материала с целью обеспечения оптимальных технологических и эксплуатационных свойств древесно-полимерного композита.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

На основании анализа литературных данных [1–5] в качестве основных выбраны следующие параметры древесных частиц: удельная поверхность  $S_{уд}$ , характеризующая степень измельчения древесины; приведенная длина, ширина и толщина  $L_{пр}$ ,  $b_{пр}$ ,  $h_{пр}$ . Дисперсионный анализ выполнен

© В. В. Юрченко, А. Ю. Кот, Н. С. Курочкина, Е. А. Петрушина, 2022

методом ситового анализа. Использован стандартный набор сит с размерами ячеек № 0,33, 0,63, 1,25, 2,5, 5 мм. Масса древесного наполнителя составляла 1 000 г. Результаты распределения исследуемого древесного наполнителя по фракциям приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Массовое распределение древесного наполнителя по фракционному составу

Фракция наполнителя, L, мм	0,33	0,63	1,25	2,5	5
Масса фракции, прошедшей через сито, P, г	115	179	499	322	24
Удельное содержание фракции, m, %	11,5	17,9	49,9	32,2	2,4
Насыпная плотность фракции, ρ, г/см <sup>3</sup>	0,271	0,263	0,258	0,247	0,235

Геометрические размеры частиц древесного наполнителя различных фракций определяли микроскопическим методом [6]. Приведённые параметры частиц  $L_{np}$ ,  $b_{np}$ ,  $h_{np}$  определяются по формуле (1):

$$\left. \begin{aligned} L_{np} &= \frac{\sum m_i}{\alpha \cdot (\sum b_i \cdot h_i)}, \\ b_{np} &= \frac{\sum m_i}{L_i \cdot (\sum \alpha_i \cdot h_i)}, \\ h_{np} &= \frac{\sum m_i}{L_i \cdot (\sum a \cdot b_{np})} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $L_{np}$ ,  $b_{np}$ ,  $h_{np}$  – приведенная длина, ширина, толщина частиц, мм;  
 $L_i$ ,  $b_i$ ,  $h_i$  – длина, ширина, толщина i-й частицы, мм;  
 $\alpha$  – плотность древесины, г/см<sup>3</sup>;  
 $m_i$  – масса i-й частицы, мм;  
 $n$  – число частиц.

Расчетные значения удельной поверхности частиц древесного наполнителя, с учетом кривой распределения определены по формуле (2) [7]:

$$S_{уд} = \frac{K}{\alpha} \cdot \left( \sum \frac{dW}{L_{np}} \right), \quad (2)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий форму частиц. Для кубических частиц  $K = 6$ , для частиц прямоугольной формы  $K = 4$ ;  
 $\alpha$  – плотность материала, г/см<sup>3</sup>;  
 $dW$  – доля частиц данной фракции;  
 $L_{np}$  – среднее значение размера частиц, соответствующей фракции, мм.

Форма частиц древесного наполнителя зависит от способа их получения.

Выполненные измерения геометрических параметров частиц и их удельной поверхности показывают, что все три параметра  $L$ ,  $b$ ,  $h$  частиц существенно отличаются между собой и частицы с такими размерами напоминают мелкие пластинки. Для таких пластинчатых частиц коэффициент пропорциональности  $K = 2$ , а удельная поверхность частиц определяется по формуле (3):

$$S_{уд} = \frac{2}{\alpha} \cdot \left( \sum \frac{dW}{L_{np}} \right), \quad (3)$$

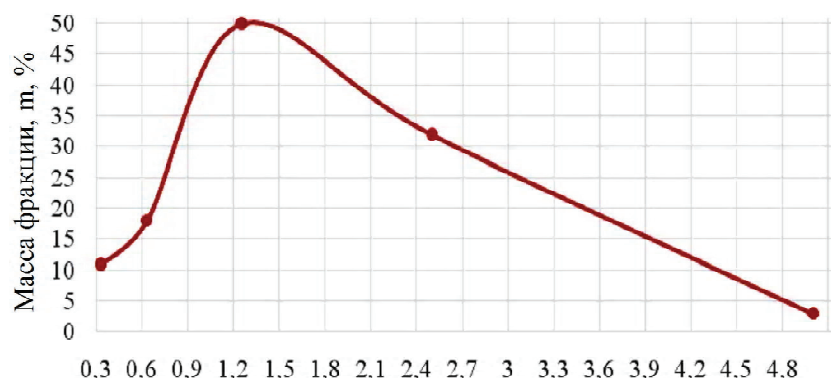
где  $K$  – коэффициент пропорциональности, учитывающий форму частиц. Для мелких пластинчатых частиц  $K = 2$ ;  
 $\alpha$  – плотность материала, г/см<sup>3</sup>;  
 $d_w$  – доля частиц данной фракции;  
 $L_{np}$  – среднее значение размера частиц соответствующей фракции, мм.

Полученные по формулам 1 и 3 значения геометрических параметров частиц древесного наполнителя и их удельной поверхности приведены в таблице 2.

**Таблица 2** – Основные геометрические параметры мелкодисперсного древесного наполнителя

Фракция наполнителя, L, мм	Среднестатистический размер частиц, мм			Удельная поверхность, $S_{уд}$ м <sup>2</sup> /г
	$L_{пр}$	$b_{пр}$	$h_{пр}$	
0,33	0,25	0,06	0,26	0,55
0,63	0,56	0,20	0,23	0,28
1,25	1,16	0,50	0,23	0,91
2,5	2,1	0,79	0,22	0,83
5	4,1	2,47	0,19	0,011

По результатам ситового анализа построена дифференциальная кривая распределения древесной фракции по массе (рис. 1). Она характеризует долю данной фракции размером L и выражается для массового распределения частиц функцией  $m = f(L)$  [4].


**Рисунок 1** – Зависимость массы фракции (m) от линейных размеров (L).

Площадь графика, ограниченная кривой распределения, осью абсцисс и двумя ординатами  $L_1$  и  $L_2$ , наглядно выражает часть фракций, размер которых находится в данном интервале между  $L_1$  и  $L_2$ . Как видно из рисунка 1, кривая несимметрична и имеет форму, характерную для логарифмически нормального распределения.

Распределение используемого наполнителя по массе и размерам свидетельствует, что наибольшая массу, прошедшую через сито, имеет фракция 1,25 мм – 49,9 %.

Насыпная плотность всех фракций примерно одинакова и в среднем равна 0,26 г/см<sup>3</sup> до фракции 1,25 мм включительно. Для фракции 2,5 и 5,0 мм насыпная плотность снижается, так как частицы фракции агрегируют и занимают больший объем.

Фракционный гранулометрический состав термопластов также необходим для качественного и количественного определения параметров наполнения древесно-полимерных систем и так же влияет на свойства и технологические параметры изготавливаемых изделий, как и древесный наполнитель.

Для оценки параметров вяжущего вещества в качестве основных характеристик было принято: удельную наружную поверхность  $S_{уд}$ , приведенную длину, ширину и толщину,  $L_{пр}$ ,  $b_{пр}$ ,  $h_{пр}$ . Дисперсионный анализ выполнен ситовым анализом. Масса полимерного компонента, отобранная для ситового анализа, составляла 1 000 г. Был использован стандартный набор сит с размерами ячеек № 0,33; 0,63; 1,25; 2,5; 5,0 мм. Результаты фракционного состава исследуемого вторичного полиэтилена высокого давления приведены в таблице 3.

**Таблица 3** – Массовое распределение вторичного полиэтилена высокого давления по фракционному составу

Размер ячейки сита, мм	0,33	0,63	1,25	2,5	5
Масса фракции, прошедшей через сито, P, г	218,6	335,4	185,7	162,3	89,2
Удельное содержание фракции, m, %	21,86	33,54	18,57	16,23	8,92

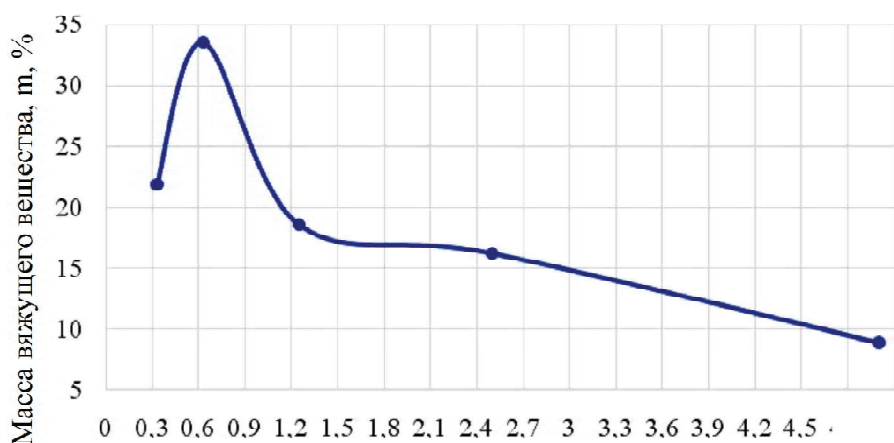


Оценку геометрических размеров вторичного полиэтилена высокого давления различных фракций выполнено микроскопическим методом на цифровом микроскопе Bresser biolux LCD 50x-2000x. Приведенные геометрические параметры частиц,  $L_{пр}$ ,  $b_{пр}$ ,  $h_{пр}$  определены по формулам 1 и 3 (табл. 4).

**Таблица 4** – Основные геометрические параметры вторичного полиэтилена высокого давления

Фракция полимерного компонента, L, мм	Среднестатистический размер частиц, мм			Удельная поверхность, $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /г
	$L_{пр}$	$b_{пр}$	$h_{пр}$	
0,33	0,25	0,16	0,03	0,945
0,63	0,39	0,20	0,05	0,895
1,25	0,8	0,50	0,07	0,819
2,5	1,73	0,79	0,08	0,867
5	4,1	2,47	0,15	0,319

По результатам ситового анализа построена кривая распределения вторичного полиэтилена высокого давления по массе (рис. 2).



**Рисунок 2** – Зависимость массы вяжущего вещества ( $m$ ) от линейных размеров ( $L$ ).

Площадь графика, ограниченная кривой распределения, осью абсцисс и двумя ординатами  $b_1$  и  $b_2$ , выражает долю частиц, размер которых находится в данном интервале между  $L_1$  и  $L_2$ . Кривая имеет форму логарифмически – нормального распределения.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫВОДЫ

Основываясь на данных исследований, распределение используемого древесного наполнителя по массе и размерам свидетельствует, что наибольшую массу, прошедшую через сито, имеет фракция 1,25 мм – 49,9 %. Распределение используемого полимерного компонента по массе и размерам показало, что наибольшая масса, прошедшая через сито, характерна для фракции 0,63 мм – 33,54 %. Оптимальный фракционный состав частиц вторичного полиэтилена высокого давления по массе следует принять фракции не более 0,63 мм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Видгорович, А. И. Древесные прессовочные массы для изготовления деталей машин (обзор) / А. И. Видгорович. – Текст : непосредственный // Пластические массы – 1985. – № 11. – С. 44–47.
2. Баженов, В. А. Технология и оборудование производства древесных плит и пластиков / В. А. Баженов, Е. П. Карасев, Е. Д. Мерсов. – Москва : «Лесная промышленность», 1980. – 357 с. – Текст : непосредственный.
3. Видгорович, А. П. Применение древлпастов в машиностроении / А. П. Видгорович, Г. В. Сагалаев. – Москва : «Машиностроение», 1977. – 152 с. – Текст : непосредственный.
4. Юрченко, В. В. Анализ возможности производства и применения термопластичных композиционных материалов на основе отходов древесины и вторичных полимеров / В. В. Юрченко, В. А. Хлебородова. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов. – 2019. – Выпуск 52. – С. 61–67.

5. Юрченко, В. В. Целесообразность производства композиционных материалов на основе отходов древесины и термопластичных полимеров / В. В. Юрченко. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – Выпуск 2020-1(141) Современные строительные материалы. – С. 34–39. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2020/vestnik\\_2020-1\(141\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/vestnik_2020-1(141).pdf) (дата публикации: 15.02.2020).
6. Градус, Л. Я. Руководство по дисперсионному анализу методом микроскопии / Л. Я. Градус. – Москва : Химия, 1981. – 192 с. – Текст : непосредственный.
7. Кац, Г. С. Наполнители для полимерных композиционных материалов: Справочное пособие / Г. С. Кац, Д. В. Милевски ; перевод с английского под редакцией П. Г. Бабаевского. – Москва : Химия, 1981. – 736 с. – Текст : непосредственный.

Получена 21.12.2021

В. В. ЮРЧЕНКО <sup>a</sup>, А. Ю. КОТ <sup>b</sup>, Н. С. КУРОЧКИНА <sup>b</sup>, К. О. ПЕТРУШИНА <sup>b</sup>  
 ОПТИМІЗАЦІЯ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ КОМПОЗИЦІЙНОГО  
 БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ З ВТОРИННОГО ПОЛІЕТИЛЕНУ  
 ВИСОКОГО ТИСКУ І ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ  
 ДЕРЕВИНИ

<sup>a</sup> ДОО ВПО «Донецкий институт железнодорожного транспорта», <sup>b</sup> ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Виконано оптимізацію фракційного складу композиційного будівельного матеріалу на основі поліетилену високого тиску марки 15803-020 та дрібнодисперсних відходів переробки деревини фракції 0,33...5,0 мм. Визначено оптимальний фракційний склад композиційного будівельного матеріалу із вторинного поліетилену високого тиску та дрібнодисперсних відходів переробки деревини. Розподіл деревного наповнювача за масою та розмірами показало, що найбільшу масу має фракція 0,63...1,25 мм – 49,9 %. Оптимальний фракційний склад частинок вторинного поліетилену високого тиску забезпечений фракцією менше 0,63 мм. Експериментально встановлені оптимальні концентрації компонентів у виробі, яке варіюється в наступному діапазоні: деревне наповнювач 69...71 % мас., вторинний поліетилен високого тиску 26...28 % мас., модифікуючі добавки 3 % мас. (віск – 2,5 % мас., суперконцентрат LLDPE Coupling agent 04688 – 0,3 % мас., антипірени – 0,2 % мас.).

**Ключові слова:** вторинний поліетилен високого тиску, дрібнодисперсний наповнювач деревини, фракційний склад, композиційний полімерний матеріал.

VITALIY YURCHENKO <sup>a</sup>, ANASTASIA KOT <sup>b</sup>, NATALIA KUROCHKINA <sup>b</sup>,  
 EKATERINA PETRUSHINA <sup>b</sup>  
 OPTIMIZATION OF THE FRACTIONAL COMPOSITION OF COMPOSITE  
 BUILDING MATERIAL MADE OF RECYCLED HIGH-PRESSURE  
 POLYETHYLENE AND FINE WOOD PROCESSING WASTE

<sup>a</sup> State Educational Institution of Higher Vocational Education «Donetsk Railway Transport Institute», <sup>b</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Optimization of the fractional composition of a composite building material based on high-pressure polyethylene grade 15803-020 and fine-dispersed wood processing waste with a fraction of 0,33...5,00 mm has been carried out. The optimal fractional composition of a composite building material made of recycled high-pressure polyethylene and fine wood processing waste has been determined. The distribution of wood filler by weight and size showed that the largest fraction has a fraction of 0,63...1,25 mm – 49,9 %. The optimal fractional composition of particles of secondary high-pressure polyethylene is provided with a fraction of less than 0,63 mm. Optimal concentrations of components in the product have been experimentally established, which varies in the following range: wood filler 69...71 % by weight, secondary high-pressure polyethylene 26...28 % by weight, modifying additives 3 % by weight (wax – 2,5 % by weight, LLDPE Coupling agent 04688 super concentrate – 0,3 % by weight, flame retardants – 0,2 % by weight).

**Key words:** secondary high-pressure polyethylene, fine wood filler, fractional composition, composite polymer material.

**Юрченко Віталій Вікторович** – старший преподаватель кафедры строительства и эксплуатации путей и сооружений ГОУ ВПО «Донецкий институт железнодорожного транспорта». Научные интересы: строительство дорог, композиционные материалы на основе древесины и термопластичных полимеров.

**Кот Анастасия Юрьевна** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности в условиях агрессивных сред.

**Курочкина Наталья Сергеевна** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности в условиях агрессивных сред.

**Петрушина Екатерина Алексеевна** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности в условиях агрессивных сред.

**Юрченко Віталій Вікторович** – старший викладач кафедри будівництва і експлуатації колій та споруд ДОО ВПО «Донецький інститут залізничного транспорту». Наукові інтереси: будівництво доріг, композиційні матеріали на основі деревини та термопластичних полімерів.

**Кот Анастасія Юрійвна** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифіковані асфальтобетони підвищеної довговічності в агресивних середовищах.

**Курочкіна Наталія Сергіївна** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифіковані асфальтобетони підвищеної довговічності в агресивних середовищах.

**Петрушина Катерина Олексіївна** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифіковані асфальтобетони підвищеної довговічності в агресивних середовищах.

**Yurchenko Vitaliy** – Senior Lecturer, Construction and Operation of Tracks and Structures Department, State Educational Institution of Higher Vocational Education «Donetsk Railway Transport Institute». Scientific interests: modified asphalt concreteness of increased durability in aggressive environments.

**Kot Anastasia** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concreteness of increased durability in aggressive environments.

**Kurochkina Natalia** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concreteness of increased durability in aggressive environments.

**Petrushina Ekaterina** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concreteness of increased durability in aggressive environments.

УДК 625.855.3

**А. М. САТКОЕВА**

ГАОУ ВПО «Юго-Осетинский государственный университет имени А. А. Тибилова»

## **СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ КОМПЛЕКСНОЙ МОДИФИКАЦИЕЙ СТРУКТУРЫ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ**

**Аннотация.** Рассмотрены составы и технологии производства, укладки и уплотнения щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей. Показано, что эффективным способом повышения качества и долговечности щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей является комплексная модификация органического вяжущего вещества комплексной добавкой, состоящей из бутадиен-метилстирольного каучука и технической серы, а также ашпретирование поверхности минеральных материалов щебеночно-мастичного асфальтобетона латексом дивинил-стирольного каучука Butonal NS198. Сформулированы теоретико-методологические положения формирования структуры комплексно-модифицированной щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси, характеризующейся широким температурным интервалом уплотняемости. Это достигается при оптимальном количественном соотношении между микро-, мезо- и макроструктурами, а именно при проектировании долговечных ЩМА необходимо создать устойчивый каркас, деформационно-релаксирующее с высоким адгезионно-когезионными свойствами асфальтополимерное вяжущее вещество, а объем остаточных пор в ЩМА должен быть минимальными.

**Ключевые слова:** комплексно-модифицированный щебеночно-мастичный асфальтобетон, состав, структура, свойства.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ**

В процессе эксплуатации автомобильной дороги на её покрытие действует ряд факторов, которые влияют в целом на состояние дороги.

В технической литературе приводится ряд технологий и рекомендаций по улучшению устойчивости асфальтобетонных покрытий в процессе эксплуатации:

– создание и использование композиционных вяжущих (в составе асфальтобетонных смесей высоковязких битумов, модифицирование резиновой крошкой, полимерами, микроармирующими материалами и др.) [1];

– изменение гранулометрического состава (создание каркасной структуры, содержание щебня более 50 % и замена полностью или частично природного песка дробленным) [2–4];

– повышение адгезии связующего с минеральным материалом (применение поверхностно-активных добавок (ПАВ), активированных минеральных порошков (АМП), использование вспененных битумов и др.).

ЩМА представляет собой самостоятельную разновидность асфальтобетонов, одновременно обеспечивающую водонепроницаемость, сдвигустойчивость и шероховатость устраиваемого покрытия. В отличие от асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128-97 статус на 2021 г. ЩМА характеризуется повышенным содержанием щебня и битума (до 80 и 7,5 % по массе соответственно) с остаточной пористостью до 1 % [2–4]. Для удержания на поверхности щебня такого количества свободного битума, в особенности на стадии производства, складирования и транспортирования смеси, необходимо обязательное присутствие в ЩМА-смесях стабилизирующих волокнистых добавок. Процесс приготовления и укладки ЩМА-смесей технологичен и не требует специального оборудования, за исключением агрегата подачи и дозирования добавки. Оригинальный компонентный состав ЩМА-смесей позволяет

укладывать материал механизированным способом тонкими слоями, снижая удельный расход смеси на квадратный метр покрытия. Поэтому в сравнении с традиционными асфальтобетонами ЩМА становится рентабельным, хотя и готовится из более дорогого исходного сырья. Безусловным достоинством ЩМА к тому же является низкий уровень расходов по ремонту и содержанию покрытия [5].

В России первые опытные участки с покрытиями из ЩМА появились в 2000 году на дорогах М-4 «Дон», М-1 «Беларусь». В 2000 году эксперимент был продолжен МКАД – Кашира, МКАД – Железнодорожный – Ликино, в г. Ханты-Мансийск, на мосту через реку Обь в г. Новосибирске, на стоянке воздушных судов в аэропорту Домодедово. В это же время строятся опытные участки в Белоруссии, Украине и других странах СНГ [5].

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Щебеночно-мастичный асфальтобетон (ЩМА) – это материал, разработанный специально для устройства верхних слоев покрытия на дорогах с высокой интенсивностью движения транспорта [5].

Специфика составов и структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона предусматривает обязательное присутствие в качестве основных структурных составляющих прочного щебня с улучшенной (кубовидной) формой зерен, «объемного» битума и небольшого количества стабилизирующей (обычно волокнистой) добавки для дисперсного армирования вяжущего. Под «объемным» битумом принято понимать ту часть вяжущего в смеси, которая не подвержена структурирующему влиянию дальнедействующих поверхностных сил, действующих на границе раздела фаз. По толщине битумной прослойки, разделяющей минеральные зерна смеси, провести четкую границу между объемным инструктированным битумом практически невозможно. Однако различие между ними существует, так как основное назначение стабилизирующей добавки – удерживать более толстые пленки горячего битумного вяжущего на поверхности щебня и предотвращать его отслоение и вытекание из смеси при высоких технологических температурах приготовления, транспортирования и укладки [6].

Минеральный остов ЩМАС подбирают по принципу прерывистой гранулометрии. В состав ЩМАС в зависимости от проектируемого типа смеси (ЩМА – 10, ЩМА – 15, ЩМА – 20), в отличие от традиционных асфальтобетонных смесей по ГОСТ 9128-97, содержащих от 30 до 65 % щебня, входят 60...80 % щебня, количество дробленого материала в составе щебня и песка достигает 95 % и битумная мастика [5, 7].

Принципиальная разница между ЩМА и обычным асфальтобетоном заключается в его жесткой каркасной структуре, которая обеспечивает передачу нагрузки с поверхности в нижележащие слои через непосредственно контактирующих друг с другом отдельных крупных частиц каменного материала, благодаря чему слой щебеночно-мастичного асфальтобетона подвергается лишь деформациям как в поперечном, так и в продольном направлениях. Отдельные щебенки опираются друг на друга, при этом вся нагрузка от катков (при уплотнении слоя) и от транспорта (при эксплуатации покрытия) воспринимается отдельными зернами щебня. Сдвигоустойчивость слоя возрастает, но одновременно с этим возрастают и внутренние напряжения в слое, приводящие к разрушению щебня.

В ЩМА основную структуру составляет крупный щебень, а мелкий служит совместно с вяжущим только для создания мастики, плотно заполняющей межзерновое пространство в щебеночном каркасе. Отсутствие зерен природного песка приводит к тому, что под действием внешних нагрузок минеральные зерна не перемещаются, заполняя поровое пространство, как это происходит в слое из асфальтобетона типа А, а разрушаются [2].

Для лучшего уплотнения и снижения вероятности разрушения зерен щебня на каждом минеральном зерне необходимо создать толстые пленки ориентированного битума. Это, в свою очередь, обуславливает необходимость применения в смеси большого количества вяжущего (от 6,5 до 7,5 %) [4]. Чтобы удержать такое количество горячего битума на поверхности щебня, необходимо обязательное присутствие в смеси специальных стабилизирующих добавок типа волокон [4].

Битум, минеральный порошок, мелкие зерна дробленого песка и стабилизирующая добавка при производстве смесей образуют битумную мастику. Количество мастики подбирается, исходя из пористости минерального остова. Остаточная пористость ЩМА в покрытии (объем незаполненного пространства) не должна превышать 1...4 %.

В качестве стабилизирующих добавок рекомендуется, в первую очередь, однородное короткофиберное целлюлозное волокно, в составе которого не менее 50 % фибр длиной от 0,5 до 1,9 мм. Пригодность других, не апробированных волокон (акриловых, стеклянных, резинового порошка, полимеров и пр.) следует обосновывать испытаниями по ГОСТ 12801-98 [4].

Отличительной особенностью ЩМА является присутствие в его составе объемного битума. Это позволило выдвинуть гипотезу, что возможно его перерождение и проявление эффекта «самозалечивания» дефектов. Для подтверждения гипотезы был выполнен эксперимент, данные которого указывают на возможность доуплотнения покрытия из ЩМА и позволяют обосновать содержание вяжущего в проектируемом составе из условия «самозалечивания» дефектов и пор [6].

Для достижения рекомендуемых нормативных пределов остаточной пористости слоя его необходимо уплотнять гладковальцевым катком без применения вибрации.

Снижение пористости материала вследствие увеличения содержания битума может быть достигнуто лишь в очень малых пределах. Для корректировки пористости в первую очередь изменяют соотношение минеральных материалов, в минеральном остове, затем содержание минерального порошка и лишь после этого варьируют содержанием органического вяжущего.

Для формирования оптимальной структуры необходимо обеспечить удобоукладываемость и уплотняемость ЩМАС. В настоящее время технологические свойства щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей не определяют. Это вызывает значительное количество брака при строительстве асфальтобетонных слоев. Отклонение в составе смеси вызывает расслоение, выступание мастики на поверхность слоя, дробление щебня под выглаживающей плитой укладчика, налипание смеси на вальцы катка при уплотнении. Причины дефектов: в отклонении от рекомендуемой технологии (температура смеси, масса катка, число проходов по следу); недостаточном или избыточном количестве мастики (неверное соотношение между стабилизирующей добавкой, минеральным порошком и битумом); в составе минеральной части, избытке пыли и др. факторах.

С учетом специфических особенностей работы слоя к щебню для ЩМА предъявляются повышенные требования. Поэтому для ЩМАС используют только высокопрочный щебень кубовидной формы. В щебне ограничено содержание слабых зерен, зерен игольчатой и лещадной формы.

Взаимодействие минеральных и вяжущих материалов является важнейшим элементом структурообразования в асфальтобетоне. Структура асфальтобетона определяется качеством и количеством составляющих, их сочетанием, размещением и связью между ними. Она определяет его главные свойства: прочность и деформативность, плотность и долговечность.

Анализ выполненных работ [2–7] показал, что для устройства покрытий, дорог высоких категорий, а также городских улиц и дорог мог бы быть материал, обладающий высокой сдвигоустойчивостью и длительной шероховатостью.

#### *Теоретико-методологические положения формирования комплексно-модифицированного щебеночно-мастичного асфальтобетона повышенной долговечности*

Современные представления об условиях работы асфальтобетонов в покрытиях жестких дорожных одежд, о составе и структуре нефтяных дорожных битумов, закономерностях структурообразования в концентрированных растворах полимеров, наполненных полимерных системах, битумо- и полимербитумных вяжущих, асфальтовяжущих веществах и асфальтобетонах, и использование системного анализа позволили: обосновать способы направленного регулирования структуры щебеночно-мастичного асфальтобетона, обеспечивающие повышенную долговечность дорожного асфальтобетона в условиях эксплуатации.

В частности получение щебеночно-мастичного асфальтобетона с заданной структурой и свойствами достигается при оптимальном количественном соотношении между микро-, мезо- и макроструктурами, а именно: при проектировании долговечных асфальтобетонов необходимо создать устойчивый пространственный каркас, деформационно-релаксирующее с высокими адгезионно-когезионными свойствами асфальтовяжущее вещество, а объем остаточных пор в бетоне должен быть минимальным.

Для получения сдвигоустойчивого бетона следует проектировать II тип макроструктуры асфальтобетона (поровая), который позволит эффективно использовать как свойства пленок органического вяжущего, разделяющих полидисперсные минеральные частицы, так и пространственного каркаса, образованного зернами щебня и способствующего повышению сдвигоустойчивости за счет увеличения плоскостей скольжения и их шероховатости (достигаются максимальные значения модуля деформации, предела прочности, внутреннего трения и зацепления, исследования В. А. Золотарева [8]).

При качественных компонентах и оптимальной структуре бетона наиболее целесообразным способом управления структурообразованием асфальтобетона является физико-химическая модификация «объемного» и «структурированного» органического вяжущего полимерными добавками (битума

термоэластопластами и реакционноспособными терполимерами, и комплексными добавками (полимер + активный дисперсный наполнитель, катализатор отверждения терполимера), а также повышенные энергии взаимодействия на поверхности раздела фаз (ПРФ) «органическое вяжущее – минеральный порошок», активированный олигомером, который содержит функциональные группы (карбаминоформальдегидная смола (КФ-МТ), полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол (ПОЭС) и др., или растворами полимеров, например, СКМС-30, Элвалой АМ и др.

Необходимым условием эффективного влияния полимера на свойства органических вяжущих являются совместимость этих компонентов, которая определяется прежде всего способностью полимера растворяться в вяжущем до молекулярного и надмолекулярного уровня. Только при этом условии можно получить существенное улучшение структуры и свойств органических вяжущих (например, равенство параметров растворимости полимера и дисперсионной среды органического вяжущего). Оптимальные температурно-временные режимы совмещения полимера и нефтяного битума должны обеспечить растворение полимера в битуме без деструкции последнего при достижении максимального значения битумополимерным вяжущим значений эластичности.

Макромолекулы полимера в среде органического вяжущего должны обладать склонностью к ассоциации. Такими могут быть высокомолекулярные соединения, содержащие в своем составе функциональные группы (NH, OH, CCl и др.), например, этиленглицидилакрилат. Это позволит при минимальном содержании полимера в битуме сформировать термофлуктуационную пространственную сетку, прочность которой будет определяться прочностью связей в узлах сетки (даже при повышенных температурах) и числом узлов, а эластичность гибкостью цепей между ними (при низких температурах). В частности, при получении битумополимерных вяжущих полимер должен образовывать в битуме такую структурную сетку, которая сохраняет прочность при температуре не ниже 60 °С, а эластичность при минимальной температуре данного дорожно-климатического района.

Структура битумополимерных вяжущих (БПВ) должна характеризоваться оптимальным сочетанием измененной полимером дисперсионной среды органического вяжущего и структурно-механическими характеристиками дисперсий дисперсной фазы органического вяжущего. Для этого ОВ должно иметь оптимально-структурированную среду (нефтяной дорожный битум III структурно-реологического типа).

Структурная сетка полимера должна сформироваться в ОВ после окончания уплотнения асфальтобетонной смеси или обратимо разрушаться при критических напряжениях.

Введение полимера в ОВ должно повышать или не понижать его адгезию к поверхности минеральных материалов.

БПВ при хранении в битумоварочных котлах при технологических температурах должно быть термостабильным и кинетически термоустойчивым.

При модификации маловязких ОВ вместе с полимерами необходимо вводить структурирующие добавки (техническая сера, активный наполнитель). Дисперсный наполнитель должен хорошо смачиваться битумополимерной средой. Это будет способствовать более равномерному распределению его в объеме ОВ. Для обеспечения седиментационной устойчивости наполненного БПВ плотность структурирующей добавки должна быть сопоставима с плотностью модифицируемого (битумополимерного) вяжущего. Наполнитель должен содержать полярные и даже реакционноспособные группы, способствующие упрочнению связи на ПРФ «органическое вяжущее – наполнитель». Введение оптимальной концентрации дисперсного наполнителя в БПВ приведет к увеличению общей степени структурированности системы, так как часть раствора полимера перейдет в двумерное состояние с повышенными механическими свойствами. По мере увеличения концентрации наполнителя или уменьшения размера его частиц сформируются коагуляционные структуры из частиц наполнителя и асфальтенов битумов через прослойки пластифицированного полимера. В битумополимерном вяжущем должна сформироваться трехмерная сопряженная сетка, которая обеспечит заданные технологические свойства асфальтобетонных смесей и структурно-механические характеристики комплексно-модифицированного асфальтобетона.

## ВЫВОД

На основе анализа литературных источников показано, что наиболее целесообразным способом повышения долговечности покрытий нежестких дорожных одежд является использование для их устройства комплексно-модифицированных щебеночно-мастичных смесей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстров, Н. В. Применение инноваций в дорожно-строительном материаловедении / Н. В. Быстров, В. А. Попов. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2011. – № 10. – С. 1–4.
2. Углова, Е. В. Сравнительный анализ эксплуатационных свойств щебеночно-мастичных и дренирующих асфальтобетонных смесей для слоев износа / Е. В. Углова, Н. И. Ширяев, Н. О. Поздняков. – Текст : непосредственный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова Строительство и архитектура. – 2019. – № 1. – С. 9–15.
3. Мевлединов, З. А. Обеспечение сдвигоустойчивости асфальтобетонных смесей в покрытиях автомобильных дорог / З. А. Мевлединов, Т. И. Левкович, А. Е. Билько. – Текст : непосредственный // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2018. – Том 5, № 3. – С. 1–14.
4. Методические рекомендации по устройству верхних слоев дорожных покрытий из щебеночно-мастичного асфальтобетона : издание официальное : отраслевой документ / Государственный дорожный научно-исследовательский институт ФГУП «СОЮЗДОРНИИ». – Москва : [б. и.], 2002. – 37 с. – Текст : непосредственный.
5. Кирюхин, Г. Н. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона / Г. Н. Кирюхин, Е. А. Смирнов. – Москва : ООО Издательство «Элит», 2009. – 176 с. – Текст : непосредственный.
6. Щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси в дорожном строительстве. Тематическая подборка. – Москва : ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР», 2004. – 8 с. – Текст : непосредственный.
7. Костин, В. И. Щебеночно-мастичный асфальтобетон для дорожных покрытий : учебное пособие / В. И. Костин. – Москва : Новгород, издание ННГАСУ, 2009. – 65 с. – Текст : непосредственный.
8. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности : монография / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк. – Донецк : Издательство ООО «Фолиант», 2020. – 244 с. – Текст : непосредственный.

Получена 23.12.2021

А. М. САТКОЄВА

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНІХ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИЧНИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ КОМПЛЕКСНОЮ МОДИФІКАЦІЄЮ СТРУКТУРИ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИЧНИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ  
ДАОУ ВПО «Південно-Осетин-ський державний університет імені А. А. Тибілова»

**Анотація.** Розглянути склади та технології виробництва, укладання та ущільнення щебенево-мастичних асфальтобетонних сумішей. Показано, що ефективний метод поліпшення якості та довговічності щебенево-мастичних асфальтобетонних сумішей є комплексна модифікація органічного в'язучого сполучного з комплексною добавкою, що складається із бутадієн-метилстирольного каучуку та технічної сірки, а також затвердження поверхні мінеральних матеріалів з щебенево-мастичних асфальтобетону латексом дивініл-стирольного каучуку бутонал NS198. Сформульовано теоретико-методологічні положення формування структури комплексно-модифікованої щебенево-мастичної асфальтобетонної суміші, що характеризується широким температурним інтервалом ущільнюваності. Це досягається при оптимальному кількісному співвідношенні між мікро-, мезо- і макроструктурами, а саме при проектуванні довговічних ЩМА необхідно створити стійкий каркас, що деформаційно релаксує з високим адгезійно-когезійними властивостями асфальтополімерна в'язуча речовина, а обсяг залишкових пір в ЩМА повинен бути мінімальним.

**Ключові слова:** комплексно-модифікований щебенево-мастичний асфальтобетон, склад, структура, властивості.

ALANA SATKOEVA

METHODS FOR INCREASING THE DURABILITY OF ROAD CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE BY COMPLEX MODIFICATION OF THE STRUCTURE OF CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE  
SAEI HPE «South Ossetian State University named after A. A. Tibilov»

**Abstract.** The compositions and technologies of production, laying and compaction of crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures are considered. It is shown that an effective way to improve the quality and durability of crushed stone-mastic asphalt concrete mixtures is the complex modification of the organic binder with a complex additive consisting of butadiene-methylstyrene rubber and technical sulfur, as well as finishing the surface of mineral materials of crushed stone-mastic asphalt concrete with Butonal NS198 divinyl-styrene rubber latex. Theoretical and methodological provisions for the formation of the structure of a complex-modified crushed stone-mastic asphalt concrete mixture, characterized by a wide temperature range of compactibility, are formulated. This is achieved with an optimal quantitative ratio between micro-, meso- and macrostructures,



namely, when designing durable SMA, it is necessary to create a stable frame, deformation-relaxing asphalt-polymer binder with high adhesive-cohesive properties, and the volume of residual pores in SMA should be minimal.

**Key words:** complex-modified crushed-stone-mastic asphalt concrete, composition, structure, properties.

**Саткоева Алана Маирбеговна** – старший преподаватель ГАОУ ВПО «Юго-Осетинский государственный университет имени А. А. Тибиллова»; соискатель кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов.

**Саткоєва Алана Маїрбегівна** – старший викладач ДАОУ ВПО «Південно-Осетинський державний університет імені А. А. Тибілова»; здобувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих та комплексного модифікування структури бетонів.

**Satkoeva Alana** – senior lectures, SAEI HPE «South Ossetian State University named after A. A. Tibilov»; applicant, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid pavements based on modified organic binders and complex modification of the concrete structure.

УДК 624.012.3.003.13

**В. Н. ЛЕВЧЕНКО, В. И. КРОТЮК, С. Н. ВОДОЛАЗСКИЙ, Д. В. ОВЧАРЕНКО, В. И. ХОМИЧ**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ И  
ДОЛГОВЕЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И  
СООРУЖЕНИЙ**

**Аннотация.** В статье рассматриваются вопросы надежности зданий и сооружений и ее формирование на всех этапах существования зданий и сооружений. Оценка технического состояния зданий и сооружений предназначена для качественного и количественного представления показателей, характеризующих свойства материалов и состояние объектов, изучения процессов, происходящих в конструкциях, основаниях и оборудовании, а также выявления фактических эксплуатационных свойств материалов, элементов конструкций и установления их соответствия техническим требованиям. Обеспечение требуемого уровня надежности зданий и сооружений в процессе жизненного цикла выполняется техническими и организационными методами. Изложены общие вопросы и современное состояние данной проблемы включая основные положения проектирования долговечности железобетонных конструкций, существующие методы экономического обоснования ее оценки, понятия и критерии, связанные с долговечностью.

**Ключевые слова:** безотказность, долговечность зданий и сооружений, резервирование, дефекты, ремонтпригодность.

Надежность зданий и сооружений непрерывно формируется на всех этапах их существования. На стадии проектирования определяются нагрузки и воздействия, осуществляется выбор материалов и разрабатывается конструктивное решение, учитывающее основные факторы условий эксплуатации объекта. Тем самым формируется первоначальный уровень долговечности и безотказности здания и его элементов. Принятые в конструктивном решении соединения отдельных элементов формируют ремонтпригодность конструкций и инженерного оборудования. Кроме того, при проектировании закладывается определенный запас в основные параметры объекта (прочность, деформативность и др.), который называется начальным резервированием (рис. 1).

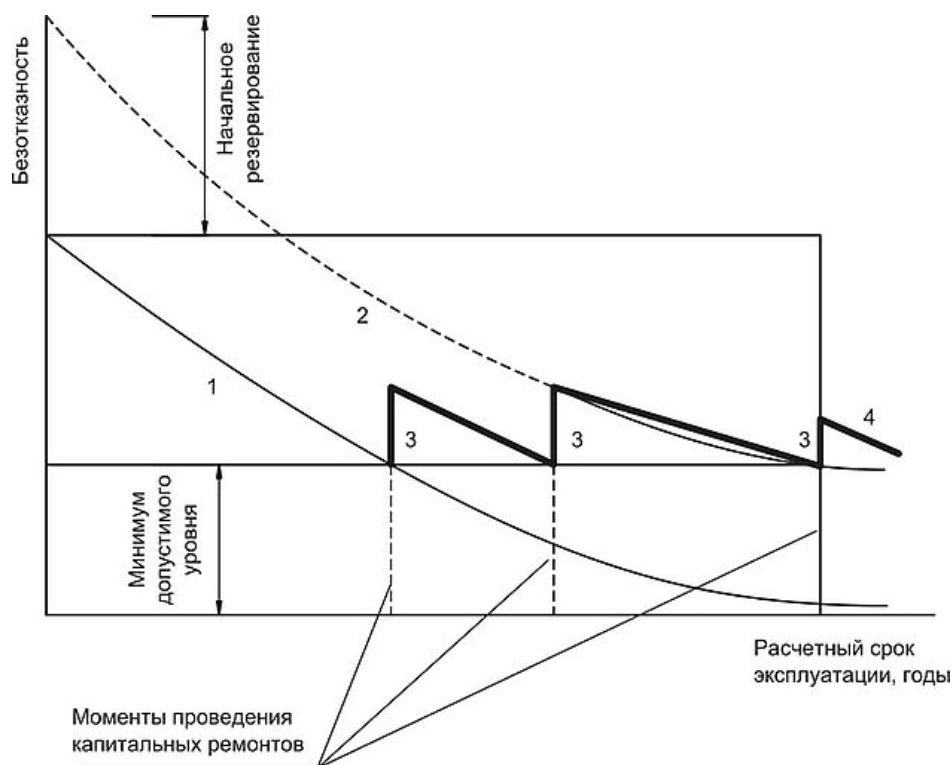
При возведении зданий и сооружений качество монтажных работ, соответствие экономически обоснованных материалов проекту и правильное выполнение технологических процессов вносят определенную корректировку в свойства безотказности и долговечности элементов объекта.

Выполнение ремонтных работ, замена изношенных элементов в определенной мере восстанавливает уровень безотказности конструкций и оборудования. Использование при ремонтах новых технологий и материалов, предупреждающих износ, повышает долговечность конструкций и оборудования, и наоборот, нарушение правил эксплуатации, несвоевременное выполнение предупредительных ремонтов приводят к уменьшению расчетного уровня долговечности.

Применение при плановых ремонтах новых конструктивных решений может повысить уровень ремонтпригодности объекта.

Оперативное устранение возникающих в процессе эксплуатации дефектов не позволяет им перерасти в отказ, и тем самым обеспечивается требуемый уровень надежности зданий и сооружений.

При проектировании (рис. 1, кривая 2) в результате удорожания объекта можно достичь высокого уровня начальной безотказности (ввести начальное резервирование) таким образом, чтобы с учетом снижения безотказности во времени безотказность достигла минимально допустимого уровня к концу расчетного срока эксплуатации. Также можно предположить, что объект и без начального



**Рисунок 1** – Формирование и изменение надежности здания на стадиях проектирования и эксплуатации: 1 – изменение безотказности объекта в результате старения и износа; 2 – то же при начальном резервировании; 3 – повышение безотказности при капитальном ремонте; 4 – увеличение долговечности объекта.

резервирования, что экономичнее первого варианта, предусмотреть такую последовательность капитальных ремонтов (кривая 1), которая бы обеспечивала уровень безотказности не ниже требуемого на всем этапе эксплуатации.

Такой подход потребует больших по сравнению с первым вариантом эксплуатационных затрат.

Таким образом, обеспечение требуемого уровня надежности зданий и сооружений в процессе их существования может выполняться техническими и организационными способами и должен обосновываться комплексными оценками: социальными, техническими, экономическими, экологическими и др. [5, 6].

При любых, даже самых совершенных технических решениях, вероятность отказа конструкций и оборудования всегда остается. Предотвратить отказы или сделать их последствия минимальными призваны организационные методы обеспечения надежности.

Организационным обеспечением надежности зданий и сооружений занимаются эксплуатационные службы, выполняющие две основные задачи [2, 8]:

- выявление первых признаков возникновения отказа конструкций или оборудования и предотвращение его дальнейшего развития;
- снижение предупредительными мероприятиями (плановые ремонты, техническое обслуживание и т. п.) вероятности возникновения отказов.

При возникновении неисправности в конструкции или оборудовании здания значения их эксплуатационных параметров отклоняются до величины  $R_i$ , которая выходит за пределы допустимых значений. Информация о нарушении появится у эксплуатационной службы через время  $t_1$ . Для выявления причин неисправности, ее оценки и принятия решения по ней требуется время  $t_2$ . На выполнение действий по устранению неисправности затрачивается время  $t_3$ , определяемое свойствами ремонтпригодности объекта. После завершения восстановительных работ для приведения отклонившегося параметра в исходное состояние требуется время  $t_4$ , обусловленное технической инерцией объекта. Таким образом, период существования неисправности определяется по формуле:

$$T_{\text{неисп}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4. \quad (1)$$

Время прохождения информации о неисправности зависит от субъективных факторов и технического решения объекта. Время же выявления причин возникновения неисправности и выработки плана действий по ее ликвидации, а также время устранения неисправности зависит от эксплуатационной службы. В конкретных условиях у эксплуатационного персонала существуют определенные возможности по восприятию информации о неисправности и принятию управляющего решения  $t_{2min}$ , а также по выполнению ремонта  $t_{3min}$ . При этом время существования неисправности станет минимальным при выполнении следующего условия:

$$T_{неиспр\ min} = t_1 + t_{2min} + t_{3min} + t_4. \quad (2)$$

Не всегда, получив информацию о наличии неисправности, эксплуатационный персонал немедленно начинает заниматься ее устранением. В этом случае, если неисправность вызывает не скачкообразное, а постепенное отклонение параметров объекта, то до наступления отказа объекта через время  $T_{OT}$  его можно предотвратить. Для этого в момент времени  $t_x$  эксплуатационный персонал должен оперативно (за время  $t_{3min}$ ) выполнить ремонтные работы и не допустить возникновения отказа. Если описанная ситуация возможна, то это означает, что имеется некоторый избыток времени (резерв времени) над минимально необходимым, который определяется по формуле:

$$T_{рез} = T_{OT} - T_{рез} = T_{OT} - (t_1 + t_{2min} + t_{3min} + t_4). \quad (3)$$

Показатель резервного времени учитывает одновременно как внешние, так и внутренние ограничения эксплуатационного персонала, т. е. позволяет соотносить предъявляемые требования с возможностями эксплуатационной службы.

Вероятность безотказной работы является функцией времени. Чем более длительно объект находится в эксплуатации, тем больше вероятность того, что произойдет отказ в его работе. Заблаговременное проведение планово-предупредительных замен конструкций или их элементов до момента возникновения отказа повышает вероятность безотказной работы, но влечет за собой увеличение эксплуатационных затрат (рис. 2). Найти обоснованное соотношение между требуемым уровнем надежности объекта и материальными затратами, связанными с ее обеспечением, можно посредством разработки оптимальной стратегии выполнения ремонтов.



**Рисунок 2** – Зависимость между выигрышем в надежности и материальными затратами на его достижение при предупредительной замене конструкций.

Критериями оптимальной стратегии выполнения ремонтов служат частота возникновения отказов и экономические показатели. Суммарные материальные затраты, связанные с возникновением и существованием отказа, с мероприятиями по его предупреждению и ликвидации, отнесенные к единице времени, называются интенсивностью эксплуатационных затрат [1, 7].

Для каждой конструкции существует некоторый предельный уровень частоты отказов  $I_{дон}$ , который должны обеспечить эксплуатационные службы. Обеспечить допустимый уровень частоты

отказов можно изменением периода проведения плановых замен конструкции или ее элементов. Ожидаемая частота отказов при периодических плановых заменах конструкции рассчитывается по формуле:

$$I_{от} = \pi/4 \cdot T_{пл} / T_{ср}^2, \quad (4)$$

где  $T_{пл}$  – назначаемая периодичность проведения плановых замен конструкции (или ее элементов);  
 $T_{ср}$  – средний срок службы конструкции.

Задача обеспечения требуемого уровня частоты отказов сводится к выполнению неравенства:

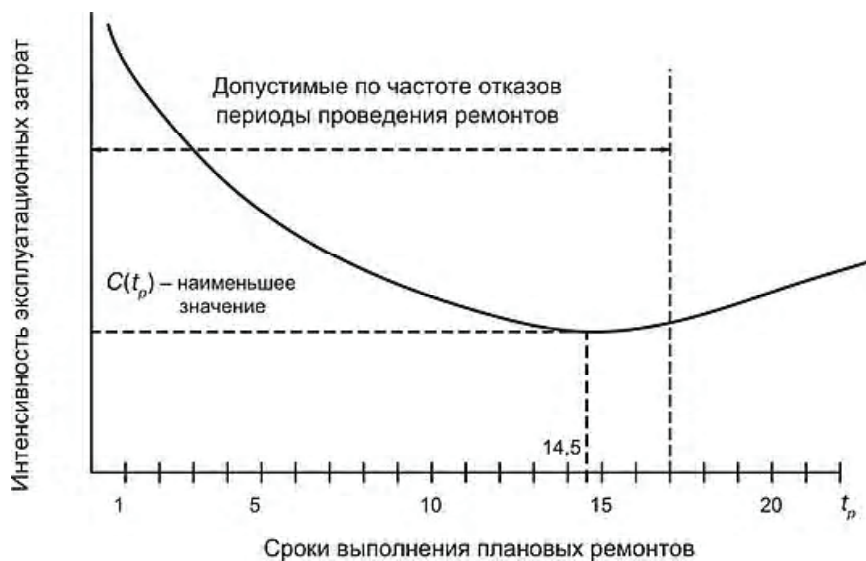
$$I_{от} \leq I_{доп}. \quad (5)$$

Отсюда определяется периодичность проведения плановым замен конструкции:

$$T_{ср} \leq \pi/4 \cdot I_{доп} \cdot T_{ср}^2. \quad (6)$$

Любой межремонтный период, удовлетворяющий приведенному неравенству, является целесообразным с учетом обеспечения надежности конструкции. Далее решается экономическая задача: из всех возможных межремонтных периодов, удовлетворяющих условию обеспечения надежности конструкции, выбрать тот, при котором интенсивность эксплуатационных затрат наименьшая. Для решения этой задачи строится график зависимости интенсивности эксплуатационных затрат от межремонтного периода конструкции, по которому определяется наименьшее значение функции. Это значение ординаты и будет соответствовать оптимальному межремонтному периоду.

**Пример.** Известно, что мастичная кровля «Вента» имеет средний срок службы 18,3 года. Допустимая частота отказов кровли  $I_{доп} = 0,04$  1/год. График изменения интенсивности эксплуатационных затрат в зависимости от межремонтного периода приведен на рис. 3.



**Рисунок 3** – Изменение интенсивности эксплуатационных затрат в зависимости от межремонтного периода.

Требуется выбрать оптимальный межремонтный период для кровли, который обеспечивал бы требуемый уровень ее надежности и был экономически оправданным.

**Решение.** Определяем значения межремонтных периодов, которые обеспечивают требуемый уровень частоты отказов кровли:

$$T_{ср} \leq \pi/4 \cdot I_{доп} \cdot T_{ср}^2 = \pi/4 \cdot 0,04 \cdot 18,3^2 = 17,01 \approx 17 \text{ лет}. \quad (7)$$

По графику интенсивность эксплуатационных затрат в диапазоне от 0 до 17 лет принимает наименьшее значение при  $T_{пл} = 14,5$  года. Поскольку плановые ремонты выполняются с периодичностью, кратной году, принимаем межремонтный период 14 лет, при котором частота равна  $I_{от} = 0,034$  1/год, что меньше допустимого значения  $I_{доп} = 0,041$  1/год.

Непременным условием уменьшения расчетного коэффициента надежности при заданном уровне надежности конструкции является получение надлежащих гарантий в том, что действительные характеристики качества (надежности) возведенной в натуре конструкции будут соответствовать расчетной модели. Эта задача решается способом организации активного производственного контроля качества и стабилизации технологических процессов, что связано с некоторыми материальными затратами.

В железобетонных конструкциях имеются еще и дополнительные резервы экономии [3]:

1. Повышение коэффициента однородности бетона и уменьшение коэффициента перегрузки от собственного веса позволяет уменьшить расчетные сечения.

2. Оценка физико-механических характеристик качества элементов железобетонных конструкций по их контрольной прочности. Сущность метода заключается в том, что на основе сплошного контроля готовой продукции неразрушающими методами определяются фактические значения физико-механических характеристик качества в различных сечениях элементов.

Как известно, по принятой методике расчета железобетонных конструкций проектом устанавливается один класс бетона для всего элемента, а величина сечения обычно принимается постоянной по длине. Естественно, что прочность, необходимая в расчетном сечении, оказывается излишней для других сечений. В силу особенностей технологии производства железобетонных конструкций имеет место изменчивость характеристик прочности в пределах элемента. Задача состоит в том, чтобы учесть вероятность совпадения действительных характеристик прочности в некоторых сечениях с расчетными усилиями, действующими в тех же сечениях.

Н. А. Крыловым [4] предложена методика вероятностной оценки этих совпадений, позволяющая уменьшить расчетный класс бетона (или, что тоже, расчетный коэффициент надежности) и получить существенный экономический эффект [2, 4].

Так, например, для сопоставления действительных характеристик прочности бетона однопролетной железобетонной балки (рис. 4) с сопротивлениями, допускаемыми по расчету для различных её сечений, строится специальная контрольная эпюра  $R_{bx}$ . Ординаты этой огибающей эпюры определены по результатам расчета бетона на сжимающие усилия от действующих моментов, а также сжимающие или перерезывающие усилия от поперечных сил при условии восприятия арматурой действующих усилий и обеспечения надежного ее сцепления с бетоном. Расчеты выполнены с учетом изменения величин изгибающих моментов и перерезывающих сил по длине балки (эпюры  $M$  и  $Q$ ).

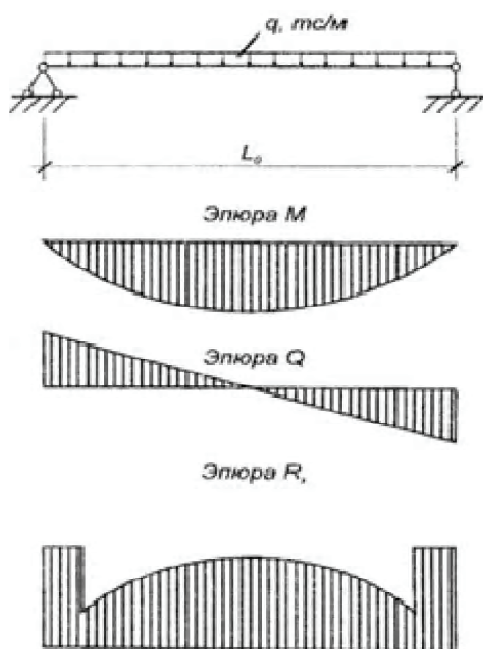


Рисунок 4 – Расчетные и контрольные эпюры для однопролетной железобетонной балки.

При сплошном контроле прочности бетона в изделиях для каждого контролируемого сечения должно быть соблюдено условие:

$$R_{b_{изм}} < R_{bx}, \quad (7)$$

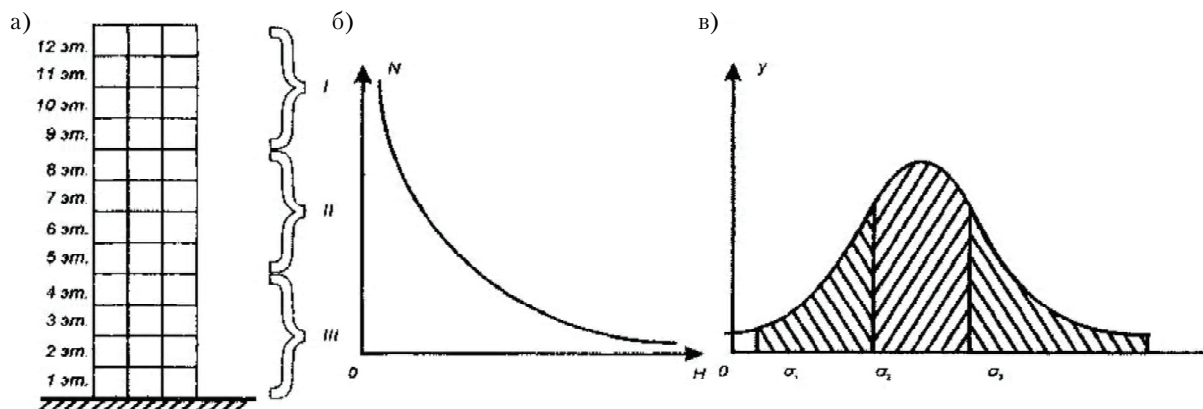
где  $R_{b_{изм}}$  – действительная (измеренная) прочность бетона в контролируемом сечении элемента;

$R_{bx}$  – расчетное сопротивление бетона в том же сечении.

3. Применение селективного отбора при сплошном контроле физико-механических и геометрических характеристик качества.

Такой отбор позволяет дифференцировать однотипные элементы сборных конструкций по характеристикам надежности и рационально размещать их в конструкции.

Руководствуясь графиком, приведенным на рис. 5в, выполним селективный отбор, т. е. разбраковку партии по характеристикам прочности от  $\sigma_1$  до  $\sigma_2$ , от  $\sigma_2$  до  $\sigma_3$  и больше  $\sigma_3$ . Теперь ясно, что для первых четырех этажей (III участок) пойдут звенья колонн с характеристиками прочности больше  $\sigma_3$ , для 5–8 этажей (II участок) – с характеристиками от  $\sigma_2$  до  $\sigma_3$  и для 9–12 этажей (I участок) – от  $\sigma_1$  до  $\sigma_2$ . Соответственно должна быть дифференцирована и точность монтажных работ. В отдельных случаях по высоте здания может меняться и метод монтажа, обеспечивающий в нижних ярусах максимальную точность сопряжений, т. е. минимальные эксцентриситеты, а в верхних (где труднее добиться высокой точности) – максимально допустимые эксцентриситеты. Разумеется, это распределение должно быть подтверждено проверочным расчетом надежности конструкций и экономическими соображениями.



**Рисунок 5** – Обеспечение равнонадежности конструкций: а) схема каркаса; б) график изменения надежности конструкции по высоте здания; в) изменчивость характеристик прочности партии элементов сборных колонн; I – первый участок надежности (12–9 этажи); II – второй участок надежности (8–5 этажи); III – третий участок надежности (4–1 этажи);  $H$  – надежность конструкции;  $N$  – число ярусов (этажей) колонны;  $\sigma_b$  – прочность элементов;  $y$  – количество элементов данной прочности (частота распределения).

4. Улучшение качества строительства, сведение к минимуму доли дефектной продукции и удлинение межремонтного периода.

5. Осуществление рекомендаций службы надежности по совершенствованию проектных решений и технологических процессов производства, направленных на повышение уровня надежности и, следовательно, на улучшение технико-экономических показателей строительства.

Непрерывным условием решения проблемы надежности является четкое взаимодействие процессов проектирования, возведения и эксплуатации строительных конструкций. Особо важное значение здесь имеет проектирование характеристик надежности с учетом технического уровня производственной базы и организация производства, обеспечивающая безусловное соответствие действительных показателей качества проектным величинам.

Главной задачей производства следует считать организацию управления качеством возведения зданий и сооружений с использованием методов активного производственного контроля. Здесь большое значение имеет проектирование технологического оборудования, оснастки и производственных процессов с учетом проектных характеристик надежности и получение мгновенной информации о ходе технологических процессов производства.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанов, В. И. Экономика повышения долговечности и коррозионной стойкости строительных конструкций / В. И. Агаджанов. – Москва : Стройиздат, 1988. – 144 с. – Текст : непосредственный.
2. Бабушкин, В. И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В. И. Бабушкин. – Харьков : Вища школа. Головное издательство, 1989. – 169 с. – Текст : непосредственный.
3. Порывай, Г. А. Предупреждение преждевременного износа зданий / Г. А. Порывай. – Москва : Стройиздат, 1979. – 284 с. – Текст : непосредственный.
4. Крылов, Н. А. Радиотехнические методы контроля качества железобетона / Н. А. Крылов, В. А. Калашников, А. М. Полищук. – Москва : Стройиздат, 1966. – 121 с. – Текст : непосредственный.
5. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / Харьковский Промстройниипроект. – Москва : Стройиздат, 1990. – 176 с. – Текст : непосредственный.
6. Руководство по определению экономической эффективности повышения качества и долговечности строительных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении / НИИЖБ Госстроя СССР. – Москва : Стройиздат, 1981. – 56 с. – Текст : непосредственный.
7. Райзер, В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций / В. Д. Райзер. – Москва : Стройиздат, 1995. – 352 с. – Текст : непосредственный.
8. Чирков, В. П. Надежность и долговечность железобетонных конструкций зданий и сооружений / В. П. Чирков. – Текст : непосредственный // Российская архитектурно-строительная энциклопедия, 1998. – Том V. – С. 86–177.
9. Clanvil, I. Prediction of Concrete Durability / I. Clanvil, A. Neville, G. Sommerville. – London : EFN Spon, 1996. – 208 p. – Текст : непосредственный.

Получена 24.12.2021

В. М. ЛЕВЧЕНКО, В. І. КРОТЮК, С. М. ВОДОЛАЗСЬКИЙ, Д. В. ОВЧАРЕНКО,  
В. І. ХОМИЧ  
ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ  
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД  
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

**Анотація.** У статті розглядаються питання надійності будівель та споруд і її формування на всіх етапах існування будівель та споруд. Оцінка технічного стану будівель та споруд призначена для якісного та кількісного представлення показників, що характеризують властивості матеріалів та стан об'єктів, вивчення процесів, що протікають у конструкціях, основах та устаткуванні, а також виявлення фактичних експлуатаційних властивостей матеріалів, елементів конструкцій та встановлення їх відповідності технічним вимогам. Забезпечення необхідного рівня надійності будівель та споруд у процесі їхнього існування виконується технічними та організаційними методами. Викладено загальні питання та сучасний стан цієї проблеми, включаючи основні положення проектування довговічності залізобетонних конструкцій, існуючі методи економічного обґрунтування її оцінки, поняття та критерії, пов'язані з довговічністю.

**Ключові слова:** безвідмовність, довговічність, резервування, дефекти, ремонтпридатність.

VICTOR LEVCHENKO, VLADIMIR KROTIUK, SERGEI VODOLAZSKII,  
DARIA OVCHARENKO, VERA KHOMICH  
ECONOMIC JUSTIFICATION OF RELIABILITY AND DURABILITY OF  
ENGINEERING STRUCTURES OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The article deals with the issues of reliability of buildings and structures, as well as its formation at all stages of the existence of buildings and structures. Assessment of the technical condition of buildings and structures is intended for the qualitative and quantitative presentation of indicators characterizing the properties of materials and the condition of objects, for studying the processes taking place in structures, foundations and equipment, as well as for identifying the actual performance properties of materials, structural elements and establishing their compliance with technical requirements. Ensuring the required level of reliability of buildings and structures in the process of their existence is carried out by technical and organizational methods. The general issues and the current state of this problem, including the main provisions of the design of the durability of reinforced concrete structures, existing methods, the economic justification for its assessment, concepts and criteria related to durability.

**Key words:** reliability, durability, redundancy, defects, maintainability.



**Левченко Виктор Николаевич** – кандидат технических наук, профессор; помощник ректора ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономических строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

**Кротюк Владимир Игоревич** – ассистент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: влияние повышенных температур и увлажнения на прочность и деформацию высокопрочного бетона.

**Водолазский Сергей Николаевич** – магистрант кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономических строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

**Овчаренко Дарья Владимировна** – магистрант кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономических строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

**Хомич Вера Ивановна** – магистрант кафедры менеджмент строительных организаций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: экономика и управление национальным хозяйством.

**Левченко Віктор Миколайович** – кандидат технічних наук, професор; помічник ректора ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

**Кротюк Володимир Игоревич** – асистент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вплив підвищених температур і зволоження на міцність і деформацію високоміцного бетону.

**Водолазський Сергій Миколайович** – магістрант кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

**Овчаренко Дар'я Володимирівна** – магістрант кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

**Хомич Віра Іванівна** – магістрант кафедри менеджменту будівельних організацій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: економіка і управління національним господарством.

**Levchenko Victor** – Ph. D. (Eng.), Professor; assistant to the rector at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design of economical building structures and development of optimal structural and space-planning solutions for industrial buildings and engineering structures.

**Krotiuk Vladimir** – assistant, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the effect of elevated temperatures and moisture on the strength and deformation of high-performance concrete.

**Vodolazskii Sergei** – master's student, student of the Reinforced Concrete Structures Department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design of economical building structures and development of optimal structural and space-planning solutions for industrial buildings and engineering structures.

**Ovcharenko Daria** – master's student, student of the Reinforced Concrete Structures Department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design of economical building structures and development of optimal structural and space-planning solutions for industrial buildings and engineering structures.

**Khomich Vera** – master's student, student of the Reinforced Concrete Structures Department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: economics and management of the national economy.

УДК 625.089

**П. Ю. ЯВТУХОВСКИЙ, А. М. КУДИНОВ, Н. М. КУДИНОВ, Д. В. ГУЛЯК**  
ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ПРИМЕНЕНИЕ АСФАЛЬТОРАЗОГРЕВАТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕМОНТА ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Аннотация.** Эффективное использование транспортных средств возможно только при условии качественного содержания и ремонта автодорог. В современных условиях, характеризующихся существенным объемом работ по содержанию и ремонту автодорог, вопросы интенсификации этих работ внедрением современных технологических процессов оснащения эксплуатирующих организаций высокопроизводительным, надежным оборудованием приобретает большое значение. Работа созданных в последние годы машин для восстановления асфальтобетона основывается на его способности при беспламенном нагревании приобретать пластические свойства без изменения физико-механических свойств. Появление новых машин по разрушению, разогреву и восстановлению асфальтобетона, а также его промышленная регенерация позволили предложить и использовать большое число новых технологических процессов при ремонте асфальтобетонных покрытий, в основу которых положена возможность разогрева и доведения асфальтобетона до удобообрабатываемого состояния.

**Ключевые слова:** ремонт дорожных одежд, разогрев асфальтобетона, асфальторазогревательный комплекс.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ И ЕЕ СВЯЗЬ С ВАЖНЫМИ НАУЧНЫМИ ИЛИ ПРАКТИЧЕСКИМИ ЗАДАНИЯМИ**

Включение разогрева в технологию ремонта дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием с целью восстановления первоначальных свойств материала покрытия обусловлено специфическими характеристиками асфальтобетона. Вопросы разогрева асфальтобетона с использованием различных источников нагрева нашли отражение в работах многих отечественных авторов и исследователей: П. И. Ларионова, Г. Е. Когана, А. Н. Александрова, А. Я. Нисневича, С. М. Багдасарова, Э. С. Файнберга, Л. Б. Мурзаевой, Л. Б. Гезенцева, А. М. Алиева, Г. К. Сюньи, Г. С. Бахраха, Л. В. Билай и др. [1–4].

Разогрев асфальтобетона при регенерации непосредственно покрытия осуществляется тепловой энергией инфракрасного излучения. В результате сложных внутриатомных процессов, возникающих при нагреве какого-либо тела, происходит преобразование тепловой энергии в лучистую энергию электромагнитных колебаний различной длины волн [6].

**Целью исследования** является установление оптимального временного и температурного режимов разогрева асфальтобетонных покрытий при применении асфальторазогревательного комплекса Д-232 для ремонта покрытия [5].

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Начиная с конца XX века во многих развитых странах увеличивается доля ассигнований, расходуемых на ремонт и реконструкцию существующих дорог. В США, например, эта доля (включая и расходы на содержание) составляет 73 %. В странах СНГ расходы на ремонт и содержание дорог составляют 60...80 % от всех затрат на развитие и совершенствование дорожной сети.

Если взять за основу действующий нормативный срок службы дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием 18 лет, то ежегодно, например, в России, капитального ремонта требуют более 10 тыс. км дорог с асфальтобетонным покрытием, причем с каждым годом эта цифра возрастает. Для этого требуется более 13 млн т асфальтобетонной смеси ежегодно.

В процессе эксплуатации дороги асфальтобетонное покрытие постепенно утрачивает свои эксплуатационные или потребительские свойства: снижается фрикционная способность и ровность, нарушается сплошность (появляются видимые трещины).

Традиционные методы ремонта решают задачу восстановления перечисленных свойств преимущественно посредством перекрытия дефектных участков покрытия следующими способами:

- поверхностной обработки;
- выравнивания асфальтобетонной смесью;
- устройства дополнительного слоя.

В результате материал старых слоев частично становится «балластом», а новый – работает менее эффективно. Растет суммарная толщина покрытия, что неблагоприятно сказывается на условиях эксплуатации объектов, рассчитанных на определенную нагрузку, например, мостов. Многократное наслаивание асфальта на городских улицах меняет их архитектурный облик, возникают проблемы при обустройстве переходов через рельсы, при сопряжении новых покрытий со старым. Как правило, новые покрытия со временем приобретают изъяны нижних слоев. Новые покрытия требуют дополнительное количество минеральных материалов, органических вяжущих, что влечет за собой новые значительные эксплуатационные затраты: труда, энергии, сырьевых ресурсов.

В то же время при резком увеличении стоимости и дефицитности дорожно-строительных материалов, особенно органических вяжущих, создаются условия, при которых традиционный ремонт улиц и дорог с постоянным наращиванием дорожных одежд за счет устройства новых слоев асфальтобетона связан с большими трудностями, так как требования к капитальному ремонту автомобильных и городских дорог в настоящее время заключается в следующем:

- расход новых дорожно-строительных материалов, особенно органических вяжущих, должен быть минимальным;
- надежность и прочность отремонтированного покрытия должна соответствовать построенному из новых материалов;
- в процессе выполнения капитального ремонта помехи движущемуся транспорту должны быть сведены до минимума.

В связи с этим все более широкое распространение получают новые ремонтные технологии, предусматривающие такую обработку или переработку материала ремонтируемой дорожной одежды, которая не требует (или требует в сравнительно небольших объемах) использования дополнительных органических или минеральных материалов. Как следствие старый материал используется наиболее эффективно.

Работа созданных в последние годы машин для восстановления асфальтобетона основывается на его способности при беспламенном нагревании приобретать пластические свойства. Достигается это подведением тепловой энергии в форме направленного потока инфракрасного излучения, генерируемого набором специальных горелок, работающих на газовом топливе. В результате асфальтобетонные смеси, упруго-вязкие свойства которых изменяются в зависимости от температуры, могут использоваться для повторного применения их в дорожном строительстве.

Зарубежный и отечественный опыт последних лет показывает, что создание машин, использующих тепловую энергию инфракрасного излучения, позволило при выполнении ремонта: устранить выбоины, просадки и трещины; ликвидировать колеи, волны и наплывы; восстановить требуемые эксплуатационные качества покрытия, включая шероховатость втапливанием щебня, обработанного битумом.

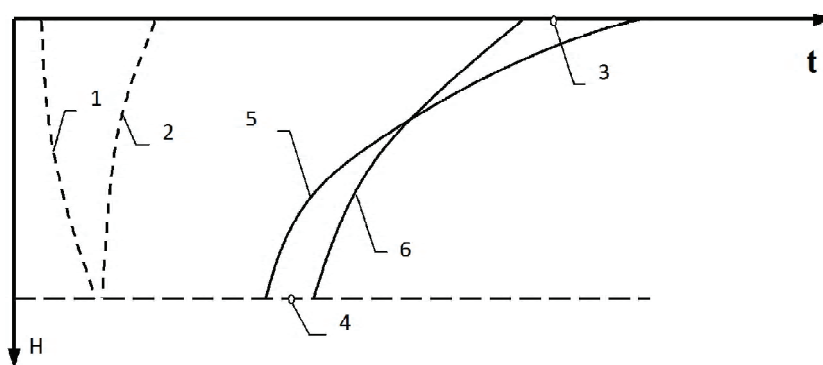
Установлено, что при обеспечении оптимальной температуры на поверхности покрытия (160... 180 °С) не наблюдается интенсивного испарения из битума легких фракций. Следовательно, физико-механические свойства асфальтобетона изменяются незначительно, а максимальная глубина прогрева до пластичного состояния асфальтобетона составляет 4-6 см при определенной длине и скорости перемещения разогревателя. Нижележащие слои получают недостаточное количество тепла, чтобы быть пластичными для обработки. Поэтому, если имеется необходимость в обработке слоя асфальтобетона, лежащего глубже 4 см, следует верхний слой снять, а затем восстанавливать на месте следующий слой [6].

В настоящей работе рассмотрено использование машины, предназначенной для разогрева асфальтобетонных покрытий на глубину до 40 мм до температуры репластификации асфальтобетонной смеси с целью дальнейшего выравнивания профиля дороги катками или снятия верхнего слоя АБ покрытия фрезерной машиной.

Установлено оптимальное расстояние от излучаемой поверхности генератора до поверхности асфальтобетонного покрытия, которое зависит от конструкции горелки и составляет 15...30 см, при этом температура на поверхности асфальтобетона достигает 160...180 °С и исключается выгорание битума.

К разогреву асфальтобетона предъявляются следующие требования:

- асфальтобетон следует разогревать на заданную глубину до такой температуры, чтобы можно было осуществить рыхление, не разрушая целостность щебня. Эта температура зависит от марки битума, концентрации асфальтового вяжущего вещества и ориентировочно составляет 80 °С;
- температура нагрева асфальтобетона на его поверхности не должна превышать 180 °С, чтобы исключить выгорание битума;
- средняя температура, устанавливающаяся после рыхления и распределения старого материала покрытия перед обработкой укладчиком, должна быть такой, чтобы окончательное уплотнение было закончено до охлаждения – наступления нижнего предела температур, при которых возможно уплотнение. В зависимости от марки битума эта температура равна 70...90 °С. На рисунке показано изменение температур в слое покрытия на глубине  $H = (1-5)$  см при  $T_n = 10$  °С и  $T_k = 170$  °С.



**Рисунок** – Принципиальная схема распределения температур внутри слоя асфальтобетона на глубину обработки при непродолжительном интенсивном прогреве и при длительном щадящем разогреве:  $t$  – температура;  $H$  – глубина разогрева; 1 – исходная температура зимой; 2 – исходная температура летом; 3 – максимальная температура нагрева; 4 – минимальная температура нагрева; 5 – кривая распределения температур при щадящем разогреве, 6 – кривая распределения температур при интенсивном разогреве.

Согласование расчетных и опытных данных явилось основанием для расчета таблиц изменения температур с целью практического их использования. Кривая 6, характеризующая продолжительное воздействие более низкой температуры, для получения качественного материала имеет преимущество. В этом случае тепло проникает в нижележащие слои, замедляется охлаждение обрабатываемого слоя снизу. Это позволяет увеличить время для уплотнения покрытия.

Исследования с целью уточнения изменения свойств битума при нагреве микроволнами показали следующие результаты:

– продолжительность нагревания, мин	0	8	16
– температура размягчения, °С	46,3	46,5	45,9
– пенетрация	93	93	95

Из приведенных данных следует, что изменение свойств до и после нагрева битума с использованием микроволн почти не наблюдается.

Определение характера распределения температур внутри асфальтобетона показало, что на глубине 2,5...7,7 см от поверхности температура почти одинакова, и на глубине более 7,7 см (по мере ее увеличения) наблюдается постепенное падение температуры.

В связи с этим ремонт асфальтобетонного покрытия данным способом целесообразен до глубины 7,7...10,0 см.

## ВЫВОДЫ

В ходе работы определены временные и температурные режимы нагрева асфальтобетонных покрытий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахрах, Г. С. Регенерация покрытий дорожных одежд нежесткого типа / Г. С. Бахрах. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 1998. – № 3. – С. 18–21.
2. Алиев, А. М. Основы регенерации асфальтобетона : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация доктора технических наук / Алиев Али Муса оглы. – Баку, 1982. – 268 с. – Текст : непосредственный.
3. Бахрах, Г. С. Холодная регенерация дорожных одежд нежесткого типа / Г. С. Бахрах. – Москва : [б. и.], 1999. – 85 с. – (Автомобильные дороги: Обзорная информация / Информавтор; Выпуск 6). – Текст : непосредственный.
4. Гладков, В. Ю. Термическая регенерация асфальтобетонного покрытия по методу «Ремикс Плюс» на автодороге М-1 «Беларусь» / В. Ю. Гладков, О. П. Телюфанова. – Текст : непосредственный // Сборник научных трудов. – 1998. – Выпуск 9. – С. 83–87.
5. Карпенко, Ю. В. Машины для СВЧ-разогрева асфальтобетонных покрытий / Ю. В. Карпенко, В. Н. Нефедов. – Москва : [б. и.], 1997. – 51 с. – (Автомобильные дороги: Обзорная информация / Информавтор; Выпуск 1). – Текст : непосредственный.
6. Сычѳв, Я. С. Горячая регенерация асфальтобетонных покрытий / Я. С. Сычѳв, В. Г. Степанец. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 18. – С. 88–95.
7. ОДМ 218.3.004-2010. Методические рекомендации по термопрофилированию асфальтобетонных покрытий : введен впервые : издан на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 11.01.2011 № 8-р / ФГУП «РОСДОРНИИ». – Москва : РОСАВТОДОР, 2011. – 35 с. – Текст : непосредственный.
8. Ремонт и содержание автомобильных дорог : справочная энциклопедия дорожника (СЭД) / А. П. Васильев, В. К. Апестин, В. И. Баловнев [и др.] ; под редакцией А. П. Васильева. – Москва : Информавтор, 2004. – 897 с. – Текст : непосредственный.
9. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог : в 2 томах, том 2 : учебник для студентов высших учебных заведений / А. П. Васильев. – Москва : Издательский центр «Академия», 2010. – 320 с. – Текст : непосредственный.
10. Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). – Том I. Строительство и реконструкция автомобильных дорог / А. П. Васильев, Б. С. Марышев, В. В. Силкин [и др.] ; под редакцией А. П. Васильева. – Москва : Информавтор, 2005. – 654 с. – Текст : непосредственный.

Получена 27.12.2021

### П. Ю. ЯВТУХОВСЬКИЙ, О. М. КУДИНОВ, М. М. КУДИНОВ, Д. В. ГУЛЯК ЗАСТОСУВАННЯ АСФАЛЬТОРОЗІГРІВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ РЕМОНТУ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Ефективне використання транспортних засобів можливе лише за умови якісного утримання та ремонту автошляхів. У сучасних умовах, що характеризуються істотним обсягом робіт з утримання та ремонту автошляхів, питання інтенсифікації цих робіт запровадженням сучасних технологічних процесів оснащення експлуатуючих організацій високопродуктивним, надійним обладнанням набуває великого значення. Робота створених останніми роками машин для відновлення асфальтобетону ґрунтується на його здатності при безпосередньому нагріванні набувати пластичних властивостей без зміни фізико-механічних властивостей. Поява нових машин з руйнування, розігріву та відновлення асфальтобетону, а також його промислової регенерації дозволили запропонувати та використати велику кількість нових технологічних процесів при ремонті асфальтобетонних покриттів, в основу яких покладено можливість розігріву та доведення асфальтобетону до зручнооброблюваного стану.

**Ключові слова:** ремонт дорожнього одягу, розігрів асфальтобетону, асфальторозігрівальний комплекс.

### PAVEL YAVTUKHOVSKY, ALEKSANDR KUDINOV, NIKITA KUDINOV, DENIS GULYAK THE USE OF ASPHALT HEATING COMPLEX FOR THE REPAIR OF ROAD PAVEMENT Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The effective use of vehicles is possible only under the condition of high-quality maintenance and repair of highways. In modern conditions characterized by a significant amount of work on the maintenance and repair of highways, the issues of intensification of these works by the introduction of modern technological processes for equipping operating organizations with high-performance, reliable equipment

are of great importance. The work of machines created in recent years for the restoration of asphalt concrete is based on its ability to acquire plastic properties during flameless heating without changing its physical and mechanical properties. The emergence of new machines for the destruction, heating and restoration of asphalt concrete, as well as its industrial regeneration, made it possible to propose and use a large number of new technological processes for the repair of asphalt concrete pavements, which are based on the possibility of heating and bringing asphalt concrete to a workable state.

**Key words:** pavement repair, heating of asphalt concrete, asphalt heating complex.

**Явтуховский Павел Юрьевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Кудинов Александр Максимович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Кудинов Никита Максимович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Гуляк Денис Вячеславович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Явтухівський Павло Юрійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

**Кудінов Олександр Максимович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

**Кудінов Микита Максимович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

**Гуляк Денис Вячеславович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

**Yavtukhovsky Pavel** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concrete for the construction of structural layers of non-rigid pavement based on the modification of organic binders.

**Kudinov Aleksandr** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concrete for the construction of structural layers of non-rigid pavement based on the modification of organic binders.

**Kudinov Nikita** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concrete for the construction of structural layers of non-rigid pavement based on the modification of organic binders.

**Gulyak Denis** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: receipts of technological and lasting travelling concretes for building of structural layers of non-rigid travelling clothes on the basis of retrofitting of organic astringent.

УДК 625.855.3

**А. А. СТУКАЛОВ, А. А. БУГАЕЦ, В. В. ШАБЛЯ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТАРЕНИЯ НЕФТЯНОГО  
ДОРОЖНОГО БИТУМА В СОСТАВЕ АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА**

**Аннотация.** В статье приведены данные, свидетельствующие о том, что приготовление асфальтовяжущего вещества смешиванием минерального порошка с нефтяным дорожным битумом принципиально изменяет процесс термоокислительного старения битума в тонких пленках (менее 160 мкм). Битум в «свободной пленке» подвергается термоокислительной диффузии кислорода воздуха на всю глубину пленочного органического вяжущего, а пленки битума на поверхности минерального материала подвергаются термоокислительному старению в значительной степени за счет вовлеченного кислорода воздуха при смешивании компонентов асфальтобетонной смеси. Для минимизирования процессов технологического старения необходимо предотвратить диффузию воздуха в битум и в асфальто-смеситель, а также с целью повышения стойкости к термоокислительному старению целесообразно выполнять модификацию нефтяного дорожного битума полимерами, в частности, стирол-бутадиен-стирольным каучуком.

**Ключевые слова:** битум вязкий дорожный, технологическое старение, термоокислительное старение, уменьшение массы, минеральный порошок, асфальтовяжущее.

**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ**

Асфальтобетонные смеси остаются наиболее широко применяемым материалом для строительства и ремонта покрытий автомобильных дорог. По данным исследования Alto Consulting Group, в 2020 году в России произведено более 56,5 млн тонн асфальтобетонных смесей [1]. Существенным недостатком асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов является склонность к старению, что приводит к необратимому изменению их состава, структуры и свойств. Процессы старения сопровождаются асфальтобетонное покрытие на протяжении всего жизненного цикла, включая этапы производства асфальтобетонной смеси, термостатирования в термосбункере, транспортирования к месту укладки смеси в конструктивные слои дорожных одежд и непосредственно при эксплуатации покрытия. Необратимые изменения свойств асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов в процессе старения обусловлены такими внешними факторами, как воздействие кислорода воздуха, температуры, ультрафиолетового и радиационного излучения, воды, а также факторами, определяемыми составом и структурой компонентов асфальтобетонной смеси (структурно-реологический тип и консистенция битума, химико-минералогический состав, структура и текстура минеральных компонентов асфальтобетона, тип гранулометрии).

На практике приведенные выше утверждения проявляются в несоответствии сроков службы асфальтобетонных покрытий предъявляемым нормативными документами требованиям.

В работе [2] рассматривается технологическое старение вязкого нефтяного дорожного битума в слоях различной толщины. В частности, для битума БНД 60/90 была определена средняя скорость уменьшения массы битума в тонких слоях ( $\delta \leq 0,16$  мм) при температуре 163 °С в течение 5 ч при свободном доступе воздуха  $\nu = 0,79$  %/ч. При этом следует отметить, что наличие минеральной подложки может существенно изменить эту величину [3, 4].

**Целью** данной работы является определение влияния минерального порошка на интенсивность термоокислительного старения битума БНД 60/90.

В статье уменьшение массы принято основным критерием термоокислительного старения нефтяного дорожного битума [2, 5]. В качестве минерального порошка использовали доломитовый минеральный порошок фракции 0,071...0,14 мм с удельной поверхностью  $S_{уд} = 670 \text{ см}^2/\text{г}$ , рассчитанной в соответствии с [3]. Средняя толщина слоя битума на поверхности минерального порошка ( $\delta$ ) рассчитана по расходу битума и  $S_{уд}$  минерального порошка.

Асфальтовяжущее вещество приготовлено в лабораторных условиях по следующему алгоритму: минеральный порошок и битум нагревали в термощкафу до температуры  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  и смешивали в течение 3 минут в металлической чашке.

Полученное асфальтовяжущее вещество помещали равномерным слоем в чашку Петри и выдерживали в термощкафу при температуре  $(163 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$  в течение заданного периода времени. Учет процессов адсорбции и десорбции влаги (из воздуха) обеспечивали соблюдением условий охлаждения и взвешивания. Приведенные в статье данные по убыли массы ( $\Delta m$ ) следует относить только к битуму в составе асфальтовяжущего вещества.

Наряду с экспериментами по термоокислительному старению асфальтовяжущего вещества в свободно уложенном слое выполнены эксперименты для уплотненного слоя и слоя, защищенного от доступа кислорода воздуха.

Полученные результаты приведены в таблице, в которой также приведены результаты экспериментальных данных для исходного битума с открытой и защищенной от доступа кислорода воздуха поверхностью. Средняя скорость уменьшения массы битума в асфальтовяжущем веществе ( $\nu_{AB}$ ) и в слое битума ( $\nu_B$ ) за время  $t$  рассчитана как отношение  $\nu = \Delta m/t$ .

Из таблицы следует, что при длительности термоокислительного старения  $t = 5 \text{ ч}$  средняя скорость уменьшения массы битума в асфальтовяжущем веществе ( $\nu_{AB}$ ) составляет  $0,17 \text{ \%}/\text{ч}$  (при толщине пленки битума  $\delta = 7,46 \text{ мкм}$ ) и  $0,31 \text{ \%}/\text{ч}$  (при  $\delta = 2,39 \text{ мкм}$ ), что существенно меньше  $\nu_B = 0,79 \text{ \%}/\text{ч}$  для исходного битума БНД 60/90 ( $\delta = 54 \text{ мкм}$ , а согласно данным [5], при любом значении  $\delta \leq 160 \text{ мкм}$ ).

**Таблица** – Уменьшение массы битума БНД 60/90 в асфальтовяжущем веществе при термоокислительном старении ( $163 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Характеристика асфальтовяжущего вещества			Время старения, $t$ , ч	Уменьшение массы битума $\Delta m$ , % к исходному битуму	Средняя скорость, $\nu$ , % /ч	$\frac{\nu_{AB}}{\nu_B}$
Содержание битума, % масс.	Средняя толщина слоя битума, $\delta$ , мкм	Средняя толщина слоя асфальтовяжущего вещества, $h$ , мм				
39,3	7,46	11	1	0,305	0,305	0,39
		11	2	0,429	0,215	0,27
		11	5	0,838	0,169	0,21
		4 (уплотнен)	5	0,78	0,156	0,20
16,0	2,39	15	1	0,91	0,91	1,15
		8	2	1,25	0,63	0,80
		8	5	1,54	0,31	0,39
		3 (уплотнен)	5	1,74	0,35	0,44
		3 (поверхность защищена)	5	0,79	0,16	0,2
Исходный битум, БНД 60/90	54	открытая поверхность	5	3,94	0,79	1,0
	2 500		5	0,422	0,0844	–
	2 500	поверхность защищена	5	0,019	0,004	–

При этом уплотнение слоя асфальтовяжущего вещества почти в 3 раза меньше отражается на значениях  $\nu_{AB}$ , а изоляция уплотненного асфальтовяжущего от доступа кислорода воздуха не исключает его термоокислительного старения, лишь снижая значение  $\nu_{AB}$  всего в два раза. Эти данные подтверждают результаты исследований J. D. Brock [5], согласно которым термоокислительное старение битума в асфальтобетоне происходит в результате вовлечения воздуха при смешивании битума с минеральными материалами в процессе производства асфальтобетонной смеси.

Исходя из этого, становится понятным понижение средней скорости термоокислительного старения  $\nu_{AB}$  с увеличением времени экспозиции, а также ее возрастание с уменьшением толщины пленки битума на поверхности минерального порошка.



## ВЫВОДЫ

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что технологическое старение дорожного битума в асфальтобетонной смеси происходит в тонких пленках в значительной мере за счет кислорода воздуха, вовлеченного в смесь при перемешивании битума с минеральными материалами в процессе производства асфальтобетонной смеси. Следовательно, для минимизирования процессов технологического старения необходимо предотвратить диффузию воздуха в битум и в асфальтосмеситель.

В то же время, с учетом основных внутренних факторов, определяющих старение асфальтобетонных смесей и асфальтобетонов, с целью повышения стойкости к термоокислительному старению целесообразно выполнять модификацию нефтяного дорожного битума полимерами, в частности стирол-бутадиен-стирольным каучуком. Результаты большого количества исследований, в том числе [6], свидетельствуют о значительно большей устойчивости модифицированных полимерными добавками органических вяжущих к воздействию термоокислительных процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рынок смесей асфальтобетонных. Текущая ситуация и прогноз. Исследование рынка / Alto Consulting Group. – [Пермь : ООО «Альто-ИнноСистем»], 2021. – [135 с.]. – URL: <https://alto-group.ru/otchet/rossija/373-rynok-smesey-asfaltobetonnyh-v-rossii-tekuschaja-situacija-i-prognoz-2020-2024-gg.html> (дата обращения: 12.01.2022). – Текст : электронный.
2. Пактер, М. К. Термоокислительные превращения дорожного битума в слоях различной толщины / М. К. Пактер, А. А. Стукалов. – Текст : непосредственный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2015. – Выпуск 2015-1(111) Современные строительные материалы. – С. 79–85.
3. Испытания дорожно-строительных материалов: лабораторный практикум : учебное пособие / В. А. Золотарев, В. И. Братчун, А. В. Космин [и др.]. – Харьков : ХНАДУ, 2012. – 368 с. – Текст : непосредственный.
4. ОДМ 218.3.020-2012. Методические рекомендации по обеспечению устойчивости битумов против старения в технологических процессах изготовления и применения асфальтобетонных смесей : издан на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 17.02.2012 N 47-р. : введен впервые. – Москва : Росавтодор, 2012. – 38 с. – Текст : непосредственный.
5. Brock, J. D. Oxidation of asphalt. Technical Paper T-103 / J. D. Brock. – Chattanooga : Astec Industries, Inc., 1986. – 20 p. – Текст : непосредственный.
6. Lu, X. Aging of bituminous binders in asphalt pavements and laboratory tests / X. Lu, H. Soenen, O.-V. Laukkanen. – Текст : электронный // Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields – Loizos et al. (Eds). – 2017. – Taylor & Francis Group, London – P. 273–280. – ISBN 978-1-138-29595-7. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/318855155> (дата обращения: 12.01.2022).

Получена 28.2.2021

### О. А. СТУКАЛОВ, О. А. БУГАЄЦ, В. В. ШАБЛЯ ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СТАРІННЯ НАФТОВОГО ДОРОЖНЬОГО БІТУМУ У СКЛАДІ АСФАЛЬТОВ'ЯЖУЧОЇ РЕЧОВИНИ ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У статті наведено дані, які свідчать про те, що приготування асфальтов'язучої речовини змішуванням мінерального порошку з нафтовим дорожнім бітумом принципово змінює процес термоокислювального старіння бітуму в тонких плівках (менше 160 мкм). Бітум, знаходячись у «вільній плівці», піддається термоокислювальній дифузії кисню повітря на всю глибину плівкового органічного в'язучого, а плівки бітуму на поверхні мінерального матеріалу піддаються термоокислювальному старінню в значній мірі за рахунок залученого кисню повітря при змішуванні компонентів асфальтобетонної суміші. Для мінімізування процесів технологічного старіння необхідно запобігти дифузії повітря в бітум і в асфальтозмішувач, а також з метою підвищення стійкості до термоокислювального старіння доцільно виконувати модифікацію нафтового дорожнього бітуму полімерами, зокрема, стирол-бутадиєн-стироломі.

**Ключові слова:** бітум в'язкий дорожній, технологічне старіння, термоокислювальне старіння, зменшення маси, мінеральний порошок, асфальтов'язуче.

ALEKSANDR STUKALOV, ALEKSANDR BUGAETS, VLADISLAV SHABLYA  
FEATURES OF TECHNOLOGICAL AGING OF OIL ROAD BITUMEN IN THE  
COMPOSITION OF ASPHALT BINDER

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The article presents data indicating that the preparation of an asphalt binder by mixing mineral powder with petroleum road bitumen fundamentally changes the process of thermal oxidative aging of bitumen in thin films (less than 160 microns). Bitumen in the «free film» undergoes thermooxidative diffusion of air oxygen to the entire depth of the organic binder film, and bitumen films on the surface of the mineral material undergo thermooxidative aging largely due to the air oxygen involved when mixing the components of the asphalt concrete mixture. To minimize technological aging processes, it is necessary to prevent air diffusion into bitumen and into the asphalt mixer, and in order to increase resistance to thermal-oxidative aging, it is advisable to modify petroleum road bitumen with polymers, in particular, styrene-butadiene-styrene rubber.

**Key words:** viscous road bitumen, technological aging, thermo-oxidative aging, weight loss, mineral powder, asphalt binder.

**Стукалов Александр Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Бугаец Александр Артемович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка составов асфальтобетонов повышенной долговечности.

**Шабля Владислав Владимирович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка составов асфальтобетонов повышенной долговечности.

**Стукалов Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Бугаєц Олександр Артемович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка складів асфальтобетонів підвищеної довговічності.

**Шабля Владислав Володимирович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка складів асфальтобетонів підвищеної довговічності.

**Stukalov Aleksandr** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: receiving of technological and lasting road concretes for building of constructive layers of non-rigid road covers on the basis of modification of organic astringents.

**Bugaets Aleksandr** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of asphalt concrete compositions of increased durability.

**Shablya Vladislav** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of asphalt concrete compositions of increased durability.

УДК 625.8

**Э. Л. РАДЮКОВА, В. В. ГОРЯИНОВ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**КОМПЛЕКСНО-МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЛАТЕКСОМ BUTONAL NS 198  
ДОРОЖНЫЕ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ  
ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

**Аннотация.** Работа посвящена разработке составов дорожных модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности с комплексно-модифицированной структурой катионным латексом Butonal NS 198. Экспериментально установлено, что для мелкозернистого асфальтобетона типа «Б», содержащего в своем составе битум БНД 40/60, модифицированный 3 % катионным латексом Butonal NS 198, оптимальная концентрация Butonal NS 198 на поверхности минеральных материалов: щебня, песка, минерального порошка равна 2,0 % мас. Асфальтобетонные смеси, комплексно-модифицированные Бутоналом NS 198, по сравнению со смесями с модифицированным Бутоналом NS 198 органическим вяжущим характеризуются повышением плотности до 2 348 кг/м<sup>3</sup>, прочности при сжатии при 20 °С – до 5,5 МПа, при 50 °С – до 1,94 МПа, а также снижением водонасыщения до 2,03 % от объема.

**Ключевые слова:** битум, модифицирование, катионный латекс Butonal NS 198, асфальтобетон с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время после нескольких лет эксплуатации асфальтобетонные дорожные покрытия нуждаются в капитальном ремонте, что не соответствует требованиям нормативных документов, в которых регламентированы сроки между капитальными ремонтами минимум 11–12 лет. Одним из наиболее эффективных способов повышения долговечности дорожных асфальтобетонов является модификация органических вяжущих термоэластопластами с одновременным аппретированием поверхности минеральных материалов растворами полимеров [1].

Использование битумополимерных вяжущих при производстве асфальтобетонных смесей для устройства асфальтобетонных покрытий под тяжелое и интенсивное движение является одним из основных направлений в технологии асфальтобетона. При этом доминирующее положение занимают битумы, модифицированные термоэластопластами [2].

На основании работ, выполненных под руководством Г. С. Бахраха, В. А. Веренько, Л. М. Гохмана, В. А. Золотарева, Ю. И. Калгина, Э. В. Котлярского, В. В. Мозгового, С. К. Илиопола и др. [3–9], установлено, что одним из наиболее эффективным модификатором нефтяных дорожных битумов является стирол-бутадиен-стирол в виде водной дисперсии Butonal NS 198. Данный катионный латекс обладает целым рядом свойств, которые выгодно отличают его от других типов модификаторов и способствуют его использованию для получения асфальтобетонов повышенной долговечности, в частности на территории Донецкой Народной Республики и Российской Федерации.

**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ**

Основными причинами разрушения асфальтобетонных покрытий с учетом их физико-механических свойств являются: недостаточная плотность покрытия, отсутствие эластичности у органического вяжущего, недостаточная адгезия вяжущего к поверхности минеральных материалов, длительная водо- и морозостойкость, динамическая деформативная способность. Для повышения долговечности дорожных асфальтобетонных покрытий целесообразно использование комплексной

модификации асфальтобетонной смеси термоэластопластом Butonal NS 198, который способен придать эластичность органическому вяжущему, тем самым существенно снизить риск преждевременного разрушения асфальтобетонного покрытия увеличив плотность, прочность и уплотняемость асфальтобетона, повысив при этом адгезию вяжущего к минеральным материалам. Модификация структурирующих микро-, мезо- и макроструктуры позволит обеспечить сродство поверхности минеральных материалов с модифицированным органическим вяжущим и тем самым повысит адгезию битумополимерного вяжущего к поверхности минеральных компонентов. Это создаст прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимербетона с высокой адгезией и когезией, что и будет определять повышенные деформационно-прочностные показатели асфальтобетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой [4, 7, 9].

**Целью исследования** является разработка составов дорожных модифицированных асфальтобетонов повышенной долговечности с комплексно-модифицированной структурой катионным латексом Butonal NS 198, а именно органического вяжущего на поверхности минеральных материалов: щебня, песка и минерального порошка.

### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вязкий нефтяной дорожный битум БНД 40/60 со следующими показателями качества: глубина проникания иглы пенетromетра (пенетрация) при температуре 25 °С, 0,1 мм  $P_{25} = 59$  град.; температура размягчения по кольцу и шару  $T_p = 53$  °С; растяжимость, при температуре 25 °С,  $D_0 > 100$  см; температура хрупкости  $T_{xp} =$  минус 17 °С; интервал пластичности ИП = 70 °С; коэффициент сцепления со стеклом – 39 %; коэффициент стандартных свойств  $K_{std} = 0,084$ ; битум относится к III структурно-реологическому типу (золь-гель); растворимость в органическом растворителе 99,7 %; изменение массы после прогрева при 163 °С в течение четырех часов – 0,4 %.

Катионный латекс Butonal NS 198, который представляет собой водную дисперсию блоксополимеров стирол-бутадиен-стирола с размером частиц 0,1...0,5 мк и относится к классу термоэластопластов типа СБС.

Модификация нефтяного дорожного битума БНД 40/60 катионным латексом Butonal NS 198 выполнена перемешиванием битума с 3 % мас. полимера в течение 60 мин при 165 °С, в лабораторной мешалке с числом 300 оборотов в минуту [7].

Гранулометрический состав минеральной части мелкозернистого асфальтополимербетона типа «Б», представленный полными остатками на соответствующих ситах (мм) следующий: 15...10 – 22,8 %; 10...5 – 17,2 %; 5...2,5 – 17,2 %; 2,5...1,25 – 12,8 %; 1,25...0,63 – 8,3 %; 0,63...0,315 – 6,5 %; 0,315...0,14 – 4,8 %; 0,14...0,071 – 3,2 %; минеральный порошок – 7,2 %.

Показатели качества известнякового минерального порошка: содержание  $CaCO_3$  – 92 %; удельная поверхность  $S_{1,2} = 400$  м<sup>2</sup>/кг; средняя плотность – 2 715 кг/м<sup>3</sup>; средняя плотность под нагрузкой 40 МПа – 1 880 кг/м<sup>3</sup>; пустотность – 31,8 %; битумоемкость – 50 %.

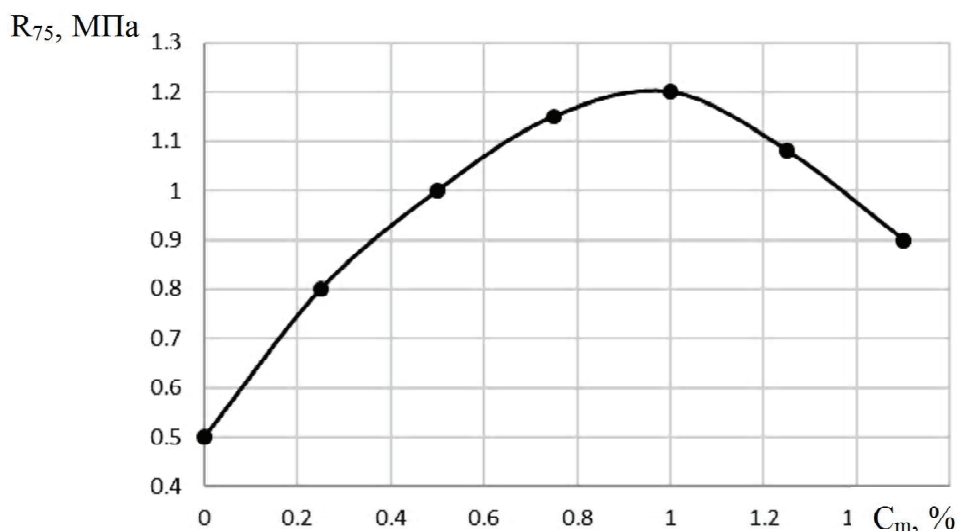
### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

По результатам исследований влияния катионного латекса Butonal NS 198 на свойства органических вяжущих определено оптимальное количество используемого модификатора, которое составляет 3 % от массы органического вяжущего в смеси.

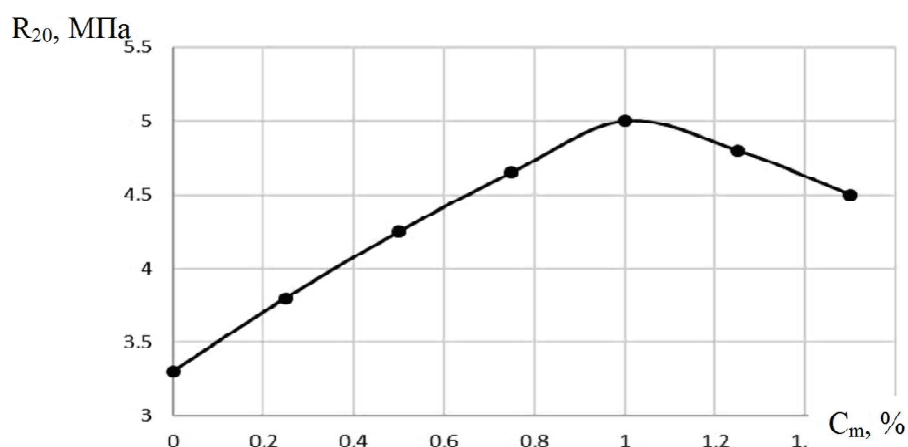
Подбор оптимального количества модификатора NS 198 на поверхности минеральных материалов исследовался в диапазоне концентраций латекса от 0 до 1,5 % от массы минеральных материалов. Как результат получен ряд показателей: водонасыщение и прочность асфальтополимербетона при 20 и 75 °С.

При исследовании изменения прочности комплексно-модифицированного асфальтобетона при 75 °С (рис. 1) установлен незначительный прирост прочности в диапазоне концентраций от 0 до 1 % содержания полимера. Наибольшее приращение прочности комплексно-модифицированного асфальтополимербетона наблюдается при 1 % концентрации латекса по массе на поверхности частиц минеральных материалов.

Зависимость предела прочности, полученная по результатам испытания образцов на прочность при сжатии при температуре 75 °С (рис. 1) характеризуется более плавным характером, чем при температуре 20 °С (рис. 2). В диапазоне от 0 до 1 % содержания полимера прочность растёт довольно резко, после достижения экстремума при 1 % дисперсии полимера прочность образцов при сжатии начинает плавно снижаться.



**Рисунок 1** – Зависимость предела прочности при сжатии ( $R_{75}$ ) горячего мелкозернистого асфальтобетона типа Б в зависимости от массовой концентрации на поверхности минеральных материалов (щебня, песка, минерального порошка) Бутонала NS 198 ( $C_m$ ); органическое вяжущее в асфальтобетоне битум нефтяной дорожный модифицирован Бутоналом NS 198 3 % мас.



**Рисунок 2** – Зависимость предела прочности при сжатии ( $R_{20}$ ) комплексно-модифицированного асфальтобетона при 20 °C от концентрации полимера на поверхности минеральных материалов ( $C_m$ ).

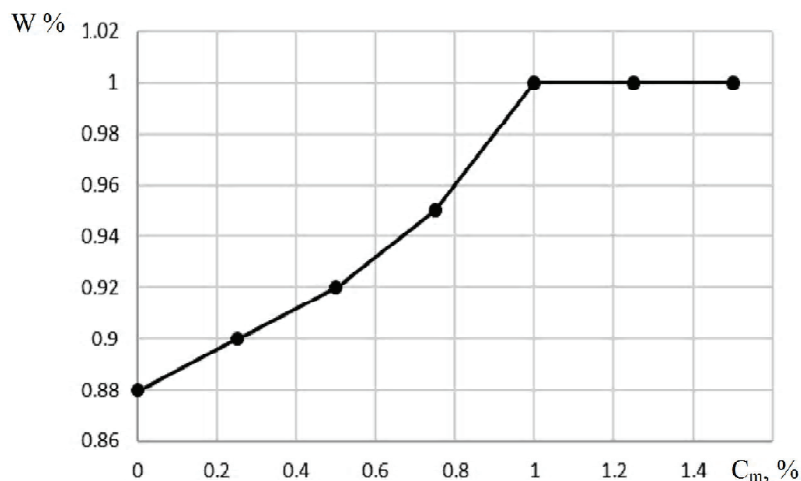
Зависимость коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении ( $W, \%$ ) (рис. 3) по динамике изменения до 1 % масс. Бутонала NS 198 аналогична по характеру с зависимостями, приведенными на рис. 1, 2. В то же время после достижения концентрации 1 % и более латекса Бутонал NS 198 значение  $K_{\text{вд}}$  стабилизируется (рис. 3, таблица).

Из результатов, приведённых в таблице следует, что оптимальная концентрация катионного латекса Butonal NS 198 при модификации структурообразующих микро-, мезо- и макроструктуры составляет 1 % от массы минеральной части.

Особого внимания заслуживает интервал от 0 до 1 %, так как в нём происходят основные и наиболее существенные изменения свойств комплексно-модифицированного асфальтобетона. Вероятно, что при таком содержании латекса происходит активное структурообразование системы, а также взаимодействие на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал».

## ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлено влияние катионного латекса Butonal NS 198 на свойства асфальтобетона и доказана высокая эффективность данного полимерного модификатора.



**Рисунок 3** – Зависимость коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении ( $W, \%$ ) комплексно-модифицированного асфальтобетона от массовой концентрации полимера на поверхности минеральных материалов ( $C_m$ ).

**Таблица** – Показатели свойств асфальтобетонов с комплексно-модифицированной структурой катионным латексом Бутонал NS 198

Массовая концентрация на поверхности минеральных материалов NS 198, % масс.; органическое вяжущее битум нефтяной дорожный $P_{25} = 59-0,1$ мм, модифицированный 3 % мас. NS 198	Предел прочности при сжатии при 75 °С, МПа	Предел прочности при сжатии при 20 °С, МПа	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, $W, \%$ , от объема
0	0,5	3,3	0,88
0,25	0,8	3,8	0,9
0,5	1,0	4,1	0,92
0,75	1,1	4,5	0,95
1,0	1,2	5,0	1,0
1,25	1,0	4,7	1,0
1,5	0,9	4,5	1,0

2. Для мелкозернистого асфальтобетона (тип «Б»), содержащего в своем составе битум БНД 40/60, модифицированный 3 % катионного латекса Butonal NS 198 определена оптимальная концентрация 1,0 % мас. Butonal NS 198 на поверхности минеральных материалов: щебня, песка, минерального порошка.

3. Комплексно-модифицированные Бутоналом NS 198 асфальтобетоны характеризуются прочностью при сжатии: при 20 °С – до 5,0 МПа, при 75 °С – до 1,1 МПа, а также снижением водонасыщения до 0,88 % от объема.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бахрах, Г. С. Модель оценки срока службы дорожной одежды нежесткого типа / Г. С. Бахрах. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 3. – С. 35–41.
- Радовский, Б. С. Проблема решения долговечности дорожных одежд и методы ее решения в США / Б. С. Радовский. – Текст : непосредственный // Дорожная техника. – 2006. – С. 68–81.
- Гохман, Л. М. Битумы, полимер-битумные вяжущие, асфальтобетон : учебно-методическое пособие / Л. М. Гохман. – Москва : ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2008. – 117 с. – Текст : непосредственный.
- Калгин, Ю. И. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов : монография / Ю. И. Калгин. – Воронеж : ВГАСУ, 2006. – 272 с. – Текст : непосредственный.
- Золотарев, В. А. Влияние модификации битума полимером типа СБС на устойчивость асфальтополимербетона в жидких агрессивных средах / В. А. Золотарев, Р. А. Хамад. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги. – 2014. – № 6(242). – С. 18–26.
- Телтаев, Б. Б. Характеристики деформирования асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог / Б. Б. Телтаев. – Текст : непосредственный // Дорожная техника Каталог справочник. – Санкт Петербург : ООО «Славутич», 2011. – С. 88–100.

7. Усталостная долговечность асфальтополимербетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, Е. А. Ромасюк [и др.]. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2017. – № 3(81). – С. 32–36.
8. Котлярский, Э. В. Научно-методические основы оценки структурно-механических свойств композиционных материалов на основе органических вяжущих / Э. В. Котлярский. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2011. – № 10. – С. 36–41.
9. Модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер [и др.]. – Текст : непосредственный / Научно-технические аспекты комплексного развития транспортной отрасли : сборник научных трудов по материалам II Международной научно-практической конференции. – Донецк : ДААТ, 2016. – С. 66–67.

Получена 29.12.2021

Е. Л. РАДЮКОВА, В. В. ГОРЯЙНОВ  
КОМПЛЕКСНО-МОДИФІКОВАНІ ЛАТЕКСОМ BUTONAL NS 198 ДОРОЖНІ  
АСФАЛЬТОПОЛІМЕРБЕТОНІ ПІДВИЩЕНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ  
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Робота присвячена розробці складів дорожніх модифікованих асфальтобетонів підвищеної довговічності з комплексно-модифікованою структурою катіонним латексом Butonal NS 198. Експериментально встановлено, що для дрібнозернистого асфальтобетону типу «Б», що містить у своєму складі бітум БНД 40/60, модифікований 3 % катіонним латексом Butonal NS 198, оптимальна концентрація Butonal NS 198 на поверхні мінеральних матеріалів: щебеню, піску, мінерального порошку дорівнює 2,0 % мас. Асфальтобетонні суміші, комплексно-модифіковані Бутоналом NS 198, в порівнянні зі сумішами з модифікованим Бутоналом NS 198 органічним в'язучим характеризуються підвищенням щільності до 2 348 кг/м<sup>3</sup>, міцності при стисненні при 20 °С – до 5,5 МПа, при 50 °С – до 1,94 МПа, а також зниженням водонасичення до 2,03 % від об'єму.

**Ключові слова:** бітум, модифікування, катіонний латекс Butonal NS 198, асфальтобетон з комплексно-модифікованою мікро-, мезо – і макроструктурою.

ELINA RADYUKOVA, VLADISLAV GORYAINOV  
BUTONAL NS 198 LATEX-MODIFIED ASPHALT-POLYMER ROAD CONCRETES  
OF INCREASED DURABILITY  
Donbas National Academy of Construction and Architecture

**Abstract.** The work is devoted to the development of compositions of road modified asphalt concrete of increased durability with a complex modified structure with cationic latex Butonal NS 198. It has been experimentally established that for fine-grained asphalt concrete of type «B» containing BND 40/60 bitumen modified with 3% cationic latex Butonal NS 198, the optimal concentration of Butonal NS 198 on the surface of mineral materials: crushed stone, sand, mineral powder is 2.0 % by weight. Asphalt concrete mixtures complexly modified with NS 198 Bud compared with mixtures with modified NS 198 organic binder Bud are characterized by an increase in density up to 2 348 kg/m<sup>3</sup>, compressive strength at 20 °C – up to 5.5 MPa, at 50 °C – up to 1.94 MPa, as well as a decrease in water saturation up to 2.03 % of volume.

**Key words:** bitumen, modification, cationic latex Butonal NS 198, asphalt concrete with complex-modified micro-, meso- and macrostructure.

**Радюкова Єліна Львовна** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Горяинов Владислав Витальевич** – преподаватель-стажер кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модификация органических вяжущих на контактной поверхности раздела фаз с целью получения долговечных асфальтобетонов.

**Радюкова Єліна Львівна** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

**Горяінов Владислав Віталійович** – викладач-стажист кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифікація органічних в'язучих на контактній поверхні розділу фаз з метою отримання довговічних асфальтобетонів.

**Radyukova Elina** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

**Goryainov Vladislav** – lecturer-trainee, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modification of organic binders and the contact surface of the phase interface in order to obtain durable asphalt concrete.



УДК 691.168

**В. И. БРАТЧУН, О. А. ПШЕНИЧНЫХ, Е. А. РОМАСЮК, П. В. ПОНОМАРЕНКО, Т. А. ВАСИЛЬЕВА,  
Д. И. КОВАЛЬ, С. С. ПРИСЯЖНЮК, И. А. КАМИНСКИЙ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**О ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУРЫ АДсорбЦИОННО-СОЛЬВАТНЫХ  
СЛОЕВ АСФАЛЬТОХРИЗОТИЛОВОГО ВЯЖУЩЕГО ВЕЩЕСТВА НА  
ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДОРОЖНОГО  
АСФАЛЬТОБЕТОНА**

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются теоретические вопросы формирования структуры адсорбционно-сольватных слоев асфальтохризотилового вяжущего вещества на поверхности минеральных материалов дорожного асфальтобетона. Рассмотрено взаимодействие дисперсных фибрил хризотилового армирования с минеральными компонентами асфальтобетонной смеси в адсорбционном слое. Установлено, что диаметр дисперсной армировки играет ключевую роль при формировании в армированном асфальтобетоне однородных и прочных адсорбционно-сольватных слоев органического вяжущего. Показано, как осуществляется взаимодействие между частицами минеральной части и образованием связей между ближним и дальним рядом контактов. Проанализировано влияние содержания в асфальтобетоне одного процента хризотил-асбеста на такие показатели, как: предел прочности при сдвиге, предел прочности на растяжение при изгибе при отрицательных температурах, усталостная долговечность, коррозионную устойчивость.

**Ключевые слова:** асфальтохризотилового вяжущее вещество, асфальтобетон, хризотил-асбест, дисперсные волокна, адсорбционный слой, минеральный материал.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время на автомобильных дорогах общего пользования наблюдается значительный рост осевых нагрузок, скоростей и интенсивности автомобильного транспорта, вследствие чего верхние слои дорожной одежды и слои основания подвергаются воздействию больших разрушающих нагрузок. В условиях Донецкой Народной Республики и Российской Федерации, где на основной территории наблюдаются высокие летние температуры (около 60 °С на покрытии), низкие зимние и частый переход через 0 °С, происходит интенсивное накопление пластических деформаций в виде волн, наплывов и колеи. К тому же в расчетный период наблюдается образование трещин, связанных с ослаблением (продавливанием) основания дорожной одежды, что приводит к развитию усталостного разрушения конструктивных слоев дорожной одежды и вызывает потерю работоспособности дорожного покрытия.

В связи с тем, что быстрая потеря работоспособности верхних слоев нежестких дорожных одежд обусловлена воздействием нагрузок от автотранспортных средств на покрытие автомобильных дорог, следует обратить особое внимание на улучшение реологических свойств асфальтобетона, определяющих работу материала в силовых полях, и на стабильность этих свойств в процессе всего срока эксплуатации асфальтобетонного покрытия.

Одним из наиболее эффективных способов повышения долговечности дорожных асфальтобетонов является дисперсное армирование асфальтобетонных смесей [1–8]. Это позволяет одновременно снизить вероятность возникновения трещин в покрытии и повысить показатели структурно-механических свойств асфальтобетонов. Равномерное распределение дисперсной армировки (полимерных, базальтовых, хризотилового волокон) внутри структуры материала позволяет равномерно распределить

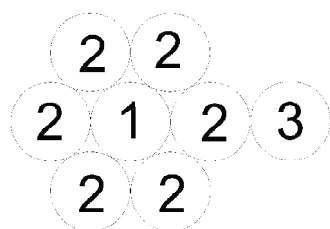
растягивающие напряжения в результате хаотичного защемления и переплетения армирующих волокон с частицами минерального остова. Благодаря большому пределу прочности волокон при растяжении рост трещин значительно замедляется. Каждая минеральная частица будет связана с окружающими ее частицами, структурированными слоями битума и волокнами дисперсной арматуры, что создаст прочный пространственный каркас и позволит значительно повысить предел прочности дисперсно-армированного асфальтобетона на растяжение при изгибе, сдвигу, устойчивостью при высоких положительных температурах, трещиностойкость при отрицательных температурах, усталостную долговечность при воздействии циклических нагрузок.

В связи с этим представляется интерес проектирования составов долговечных асфальтобетонов, которые формируют плотную структуру минерального остова, содержат модифицированные органические вяжущие и дисперсную хризотил-асбестовую арматуру.

**Цель исследования:** теоретическое обоснование структурообразования адсорбционно-сольватных слоев асфальтохризотилового вяжущего вещества на поверхности минеральных материалов дорожного асфальтобетона.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

На основании фундаментальных работ в области исследования асфальтобетонов, выполненных под руководством Л. Б. Гезенцева, Н. В. Горелышева, В. А. Золотарева, И. В. Королева, М. И. Волкова, А. М. Богуславского, А. В. Руденского и др., установлено, что в асфальтобетонных смесях наиболее слабым звеном в широком диапазоне температур окружающей среды являются пленки структурированного и свободного битума, объединяющие минеральные частицы [2–10]. Адсорбционно-сольватные оболочки битума на поверхности минеральных материалов воспринимают напряжения от подвижной нагрузки и распределяют их на окружающие частицы минерального материала [3, 9, 10].



**Рисунок 1** – Схема количества контактов минеральных материалов в асфальтобетоне.

Процессы, происходящие в адсорбционно-сольватном слое между минеральными частицами на границе раздела фаз «битум – минеральный материал» и существенно влияют на прочность асфальтобетона. Именно они определяют когезионные характеристики пленок битума. Следовательно, деформативность и прочность между минеральными компонентами и прочность всего конгломерата, прежде всего при изгибе, в традиционных асфальтобетонах обеспечиваются в первую очередь деформационно-прочностными характеристиками адсорбционно-сольватных оболочек битума на частицах минеральных материалов [2, 3, 11]. Таким образом, осуществляется связь между минеральными частицами ряда 1 (рис. 1) и минеральными частицами ряда 2, окружающие ее (связь ближнего ряда). Но минеральная частица 1 уже не будет связана с минеральными частицами дальнего ряда, к примеру, ряда 3.

Эффективность работы адсорбционно-сольватных оболочек битума может быть повышена увеличением их эластичности, благодаря введению в органические вяжущие термоэластопластов, или же снижением и перераспределением знакопеременных напряжений от действия динамических и статических нагрузок на больший объем материала. Это достигается введением в асфальтобетонную смесь волокон дисперсной арматуры. Располагаясь непосредственно в адсорбционно-сольватных оболочках битума, волокна дисперсной арматуры воспринимают напряжения, возникающие в асфальтобетоне от воздействия подвижной нагрузки, и распределяют ее по образовавшейся пространственной решетке из волокон дисперсной арматуры на больший объем асфальтобетона. В этом случае напряжения воспринимаются совместно с адсорбционно-сольватными оболочками битума и дисперсной арматурой [1, 2, 7].

Отрезки дисперсной арматуры в асфальтобетоне защемляются частицами минеральных материалов. Это приводит к образованию дополнительных связей между частицами. Также осуществляется связь двух видов. В результате взаимодействия структурированных слоев битума и дисперсной арматуры по длине дисперсной арматуры обеспечивается связь между минеральными зернами не только с частицами ближнего ряда, но и с частицами, отделенными от данной частицы несколькими рядами частиц (связь дальнего ряда). Создается пространственная решетка, которой охватываются все минеральные частицы, входящие в состав конгломерата. При этом величина напряжений, возникающих в адсорбционно-сольватных оболочках битума снижается, что приводит к улучшению условий их работы при воздействии знакопеременных напряжений различной величины и снижению

вероятности возникновения трещин. Это обеспечивает повышение долговечности асфальтобетонного покрытия [2].

Известно, что в асфальтобетонной смеси благодаря наибольшей битумоёмкости частиц минерального порошка, около 80...90 % суммарной поверхности минеральных материалов составляет поверхность зерен с размером частиц менее 0,071 мм. Исходя из этого, почти 90 % всех контактов, либо связей, происходит именно между частицами с размером менее 0,071 мм. В работе [2] показано, что при длине волокна дисперсной арматуры 10...20 мм частица диаметром 0,071 мм будет иметь контакты с тремястами близлежащими частицами. Учитывая, что вдоль волокна расположены два ряда частиц, то одним отрезком волокна будут соединены около 600 частиц. А поскольку каждая частица может контактировать с двумя-тремя отрезками волокон, общее количество частиц, связанных этими волокнами с рассматриваемой нами частицей, может достигать полутора-двух тысяч. Таким образом, коэффициент связей в случае дисперсного армирования будет в пределах тысячи пятисот, тогда как в асфальтобетонных смесях, приготовленных по традиционной технологии он равен всего шести. Естественно, что увеличение количества связей между частицами позволяет существенно повысить деформационно-прочностные характеристики дисперсно-армированных материалов [2, 3, 8].

Асфальтобетонные смеси армируют волокнами целлюлозы, базальта, стекла, металла, углерода, полимеров и др. Одним из наиболее перспективных и экономически выгодных направлений повышения долговечности асфальтобетонных покрытий является введение в их состав отходов хризотила [1].

Хризотил-асбест ( $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) – это гидросиликат магния, по химическому составу близкий хорошо известному минералу тальку ( $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ ), т. е. с химической стороны он абсолютно безвреден для организма. Кристаллы хризотил-асбеста представляют собой тончайшие полые трубочки-фибриллы и подобны мягким целлюлозным волокнам хлопковой ваты. Данные волокна не горят и устойчивы к высоким температурам. Лишь при температуре 700 °С они теряют химически связанную воду и становятся хрупкими. Процесс плавления хризотила происходит при температуре около 1 500 °С.

В данное время хризотил-асбест производят по ГОСТ 12871-93. Он состоит из смеси волокон различной длины и их агрегатов с длиной от 0,1 до 3 мм и диаметром 5...100 мкм (рис. 2).



**Рисунок 2** – Хризотил-асбестовые волокна марки 6к-30, применяемые в данной работе.

Содержание веществ в составе хризотил-асбеста:  $\text{SiO}_2$  – 42 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,5-1,3 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,4 %,  $\text{Fe}_2\text{O}$  – 0,5...2,0 %,  $\text{MgO}$  – 40...43 %,  $\text{Na}_2\text{O}$  – следы,  $\text{H}_2\text{O}$  – 12,0...13,5 %.

Физико-химические свойства хризотил-асбестовых волокон:

- прочность на разрыв: более 300 МПа;
- плотность: от 2,4 до 2,6 г/см<sup>3</sup>;
- температура плавления: от 1 400 до 1 500 °С;
- модуль упругости: 16 000...20 000 МПа;
- коэффициент трения: 0,8 единиц;
- щелочность: от 9,1 до 10,3 рН.

Высокая эффективность применения хризотилых волокон в качестве армирующей добавки в асфальтобетоне доказана еще в начале XX века.

По данным [12] фирмой Warner Bros. Company (г. Бостон) ещё в 1917–1918 годах были получены патенты на использование хризотила в песчаном асфальтобетоне. Фирма разработала специальные методы применения этой смеси для предотвращения пластических деформаций покрытия при эксплуатации дорог в жаркую погоду.

В 1970–80-е годы в США хризотил вводили в асфальтобетонные смеси при устройстве участков дорог с большой интенсивностью движения. В состав армированной асфальтобетонной смеси входили следующие компоненты: хризотил – 4,3...7,0 %, минеральные материалы – 77,2...82,7 % и битум – 13...17 %. Толщина слоя смеси составляла 13 мм. Введение в асфальтобетон хризотил-асбестовых волокон повысило более чем в 1,5 раза усталостную долговечность и устойчивость асфальтобетона к растрескиванию по сравнению со стандартными смесями [1].

В работах [1, 2, 4] доказано, что введение в традиционные асфальтобетоны 1...2 % дисперсной арматуры в виде хризотил-асбестовых волокон приводит к повышению прочности асфальтобетона при сдвиге при температуре 50 °С на 20...25 %, прочности при растяжении при отрицательных температурах на 50...70 %. Наибольший эффект дисперсная арматура оказала на повышение деформативности при отрицательных температурах (до 100...180 %), усталостной долговечности (200...400 %) и коррозионной устойчивости (более 50 %).

Для того, чтобы выяснить, как располагаются волокна хризотил-асбеста в ориентированных слоях, необходимо сравнить толщину этих слоев с диаметром волокон дисперсной арматуры.

В связи с неоднородностью толщины хризотил-асбестовых волокон (5...100 мкм), возможны различные варианты расположения волокон дисперсной арматуры между частицами минерального материала. При использовании для армирования минеральных волокон класса микроволокно и ультратонкое волокно толщина битумной пленки в асфальтовом вяжущем превышает диаметр волокон. Поэтому дисперсная арматура располагается в адсорбционных слоях битума. Более толстые волокна уже не помещаются в адсорбционных слоях на поверхности минерального порошка. В некоторых случаях диаметр дисперсной арматуры превышает толщину слоя органического вяжущего на поверхности минерального материала. Более толстые волокна с диаметром более 24 мкм раздвигают зерна минерального порошка и мелких фракций, а при диаметре более 80 мкм будут раздвигаться и зерна щебня. Данное явление происходит из-за большой устойчивости минеральных волокон к высоким температурам, благодаря чему они не сминаются и не деформируются. Данный факт может привести к тому, что частицы минерального материала будут контактировать между собой не через ориентированный слой битума, а через слой объемного битума, что приводит к снижению прочностных характеристик битумо-минеральных смесей при отрицательных температурах [2].

Характерно, что на частицах зерен известняка размером менее 0,14 мм толщина битума составляет менее 6 мкм, на частицах 0,14...3,0 мкм толщина битумной пленки составляет 6...24 мкм, а на частичках песка и щебня размером 3...10 мм толщина пленки составляет 46...80 мкм [9].

Таким образом, диаметр дисперсной арматуры играет ключевую роль при формировании в армированном асфальтобетоне адсорбционно-сольватных слоев органического вяжущего.

Исследования закономерностей расположения дисперсной арматуры в адсорбционных слоях битума и между частицами минеральных материалов не позволяет получить полного представления о процессах формирования пространственной прочностной решетки из химических волокон в асфальтобетоне.

Более успешно процессы структурообразования дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей можно исследовать с применением методов теории перколяции. Теорией перколяции можно описать возникновение связанных структур из дисперсных волокон в структуре асфальтобетона [1, 2, 4]:

$$R_{\max} \approx (n_c - n)^k, \quad (1)$$

где  $R_{\max}$  – размер максимальной ячейки связанной структуры;  
 $n_c$  – критическая объемная концентрация элементов дисперсной арматуры;  
 $n$  – объемная концентрация элементов дисперсной арматуры;  
 $k$  – критический показатель.

При концентрации армирующих элементов меньше критической ( $n < n_c$ ), отдельные фракталы не связаны между собой в единую структуру. При этом дисперсно армированный асфальтобетон не

будет обладать однородной структурой, и как следствие, большим количеством очагов критических напряжений. На тех участках, где образовались прочные связные структуры дисперсной арматуры, асфальтобетон обладает повышенными прочностными характеристиками и реологическими параметрами. Эффект при этом достигнут быть не может, так как при разрушении соседних малопрочных участков покрытия снижаются транспортно-эксплуатационные показатели всей дороги.

При концентрации дисперсной арматуры ( $n$ ), приближающейся к критической ( $n_c$ ), происходит формирование единой связной структуры, охватывающей все пространство армирования. Дальнейшее возрастание концентрации армирующих элементов приводит к уменьшению среднего размера «ячеек». Наибольшая связная структура из армирующих волокон, присоединяя к себе мелкие структуры, все более плотно заполняет армируемое пространство. Анализ фрактальных свойств дисперсно-армирующих структур позволяет сделать вывод, что наиболее оптимальным с учетом эффективности является использование армирующих добавок с концентрацией, незначительно превышающей критическую. В этом случае нагрузка на покрытие, благодаря пространственной решетке из дисперсной арматуры, будет распределяться на больший объем слоя покрытия [11].

## ВЫВОД

Установлено, что в дисперсно-армированном асфальтобетоне связь между частицами обеспечивается двумя видами контактов: структурированными слоями битума и дисперсной арматурой. Каждая минеральная частица связана с окружающими ее частицами посредством структурированных слоёв битума и волокнами дисперсной арматуры, заземленными в этих слоях. Это создает пространственный каркас и способствует значительному повышению прочности материала. Применение хризотил-асбестовых волокон положительно влияет на деформационно-прочностные характеристики асфальтобетона при высоких температурах. Из-за высокой температуры плавления волокон и большом модуле упругости волокон (16 000...20 000 МПа) основную нагрузку при эксплуатации покрытия при высоких температурах будут воспринимать дисперсные волокна. Из-за большого количества связей между волокнами нагрузка от транспорта будет распределяться по большей площади в результате формирования в асфальтобетоне пространственной решетки. Таким образом, в дальнейших исследованиях необходимо установить оптимальную концентрацию хризотил-асбестовых волокон в асфальтобетоне, исследовать деформационно-прочностные показатели полученных армированных асфальтобетонов с оптимальной структурой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дедюхин, А. Ю. Разработка технологии дисперсного армирования асфальтобетонных смесей несортными фракциями волокон хризотила : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дедюхин Александр Юрьевич. – Екатеринбург, 2009. – 143 с. – Текст : непосредственный.
2. Лукашевич, В. Н. Технология производства асфальтобетонных смесей, оптимизированная по критерию прочностных свойств асфальтобетона : специальность 05.23.08 «Технология и организация строительства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лукашевич Виктор Николаевич. – Томск, 2001. – 316 с. – Текст : непосредственный.
3. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности : монография / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк. – Донецк : Издательство ООО «НПП "Фолиант"», 2020. – 244 с. – Текст : непосредственный.
4. Мерзликин, А. Е. Об особенностях напряженно-деформированного состояния дорожных одежд с трещиноватоблочным основанием / А. Е. Мерзликин. – Текст : непосредственный // Конструирование, расчет и испытание дорожных одежд. Труды Союздорнии. – Москва : [б. и.], 1990. – С. 33–43. – Текст : непосредственный.
5. Калгин, Ю. И. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов / Ю. И. Калгин. – Воронеж : ВГУ, 2006. – 272 с. – Текст : непосредственный.
6. Золотарев, В. А. Перспективы повышения долговечности асфальтобетона / В. А. Золотарев. – Текст : непосредственный // Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство на рубеже 3-го тысячелетия. – Харьков : ХНАДУ, 2000. – С. 58–51.
7. Ромасюк, Е. А. Бетоны из дисперсно-армированных холодных органо-минеральных смесей с повышенными деформационно-прочностными свойствами / Е. А. Ромасюк, А. А. Верещин, Д. С. Бойко. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – Выпуск 2017-2(124) Современные строительные материалы. – С. 34–40. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2017/vestnik\\_2017-2\(124\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_2017-2(124).pdf). (дата публикации: 30.05.2017).
8. Гамеляк, И. П. Разработка методики конструирования дорожных одежд со слоями из дисперсно армированных асфальтобетонов : специальность 05.23.11 «Строительство автомобильных дорог и аэродромов» : автореферат

- диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гамеляк Игорь Павлович. – Москва, 1992. – 23 с. – Текст : непосредственный.
9. Бахрах, Г. С. К оценке толщины адсорбционно-сольватного слоя битумов на поверхности минеральных частиц / Г. С. Бахрах, Ю. М. Малинский. – Текст : непосредственный // Коллоидный журнал. – 1969. – № 1. – С. 21–24.
  10. Королев, И. В. О толщине битумной пленки в асфальтобетоне / И. В. Королев. – Текст : непосредственный // Исследование свойств битумов, применяемых в дорожном строительстве. – 1970. – Выпуск 46. – С. 20–26.
  11. Ковалев, Я. Н. Активационно-технологическая механика дорожного асфальтобетона / Я. Н. Ковалев. – Минск : Вышейшая школа, 1990. – 180 с. – Текст : непосредственный.
  12. Kietzman, J. H. Effect of Short Asbestos Fibers on Basic Physical Properties of Asphalt Pavement Mixes / J. H. Kietzman. – Текст : непосредственный // Highway research board Bulletin. – 1960. – № 270. – P. 1–19.

Получена 10.01.2022

В. І. БРАТЧУН, О. О. ПШЕНИЧНИХ, Є. О. РОМАСЮК, П. В. ПОНОМАРЕНКО,  
Т. О. ВАСИЛЬЄВА, Д. І. КОВАЛЬ, С. С. ПРИСЯЖНЮК, І. А. КАМІНСЬКИЙ  
ПРО ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ АДСОРБЦІЙНО-СОЛЬВАТНИХ ШАРІВ  
АСФАЛЬТОХРИЗОТИЛОВОГО В'ЯЖУЧОГО НА ПОВЕРХНІ  
МІНЕРАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДОРОЖНЬОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ  
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У статті розглядаються теоретичні питання формування структури адсорбційно-сольватних шарів асфальтохризотилової в'язучої речовини лежить на поверхні мінеральних матеріалів дорожнього асфальтобетону. Розглянуто взаємодію дисперсних фібрил хризотилової арматури з мінеральними компонентами асфальтобетонної суміші в адсорбційному шарі. Встановлено, що діаметр дисперсної арматури відіграє ключову роль при формуванні в армованому асфальтобетоні однорідних та міцних адсорбційно-сольватних шарів органічного в'язучого. Показано, як здійснюється взаємодія між частинками мінеральної частини та утворенням зв'язків між ближнім та далеким рядом контактів. Проаналізовано вплив вмісту в асфальтобетоні одного відсотка хризотил-азбесту на такі показники, як: межа міцності при зсуві, межа міцності на розтяг при згині за негативними температурами, втомна довговічність, корозійну стійкість.

**Ключові слова:** асфальтохризотилоче в'язуче, асфальтобетон, хризотил-азбест, дисперсні волокна, адсорбційний шар, мінеральний матеріал.

VALERIY BRATCHUN, OLEG PSHENICHNYKH, EVGENIY ROMASYUK,  
PAVEL PONOMARENKO, TAISIYA VASILYEVA, DENIS KOVAL,  
STANISLAV PRISYAZHNYUK, IGOR KAMINSKY  
ON THE FORMATION OF THE STRUCTURE OF ADSORPTION-SOLVATE  
LAYERS OF ASPHALT CHRYSOTILE BINDER ON THE SURFACE OF MINERAL  
MATERIALS OF ROAD ASPHALT CONCRETE  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** This article discusses the theoretical issues of the formation of the structure of adsorption-solvation layers of asphalt-chrysotile binder on the surface of mineral materials of road asphalt concrete. Interaction of dispersed fibrils of chrysotile reinforcement with mineral components of asphalt concrete mixture in the adsorption layer is considered. It has been established that the diameter of dispersed reinforcement plays a key role in the formation of homogeneous and durable adsorption-solvation layers of organic binder in reinforced asphalt concrete. It is shown how the interaction between the particles of the mineral part and the formation of bonds between the near and far series of contacts is carried out. The influence of the content of one percent of chrysotile asbestos in asphalt concrete on such indicators as: shear strength, tensile strength in bending at negative temperatures, fatigue life, corrosion resistance is analyzed.

**Key words:** asphalt-chrysotile binder, asphalt concrete, chrysotile-asbestos, dispersed fibers, adsorption layer, mineral material.

**Братчун Валерий Иванович** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Пшеничных Олег Александрович** – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны, армированные полимерными волокнами.

**Ромасюк Евгений Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка составов технологичных и долговечных асфальтобетонов для устройства и ремонта конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.

**Пономаренко Павел Владимирович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

**Васильева Таисия Алексеевна** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности в условиях агрессивных сред.

**Коваль Денис Игоревич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

**Присяжнюк Станислав Сергеевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной усталостной долговечности.

**Каминский Игорь Анатольевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

**Братчун Валерій Іванович** – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих та комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

**Пшеничных Олег Александрович** – аспирант кафедры автомобильных дорог та аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, армовані полімерними волокнами.

**Ромасюк Євген Александрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка складів технологічних та довговічних асфальтобетонів для влаштування та ремонту конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу.

**Пономаренко Павло Володимирович** – магистрант кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифіковані асфальтобетони підвищеної довговічності.

**Васильєва Таїсія Олексіївна** – магистрант кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифіковані асфальтобетони підвищеної довговічності за умов агресивних середовищ.

**Коваль Денис Ігорович** – магистрант кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифіковані асфальтобетони підвищеної довговічності.

**Присяжнюк Станіслав Сергійович** – магистрант кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифіковані асфальтобетони підвищеної втомної довговічності.

**Камінський Ігор Анатолійович** – магистрант кафедри автомобільних доріг та аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифіковані асфальтобетони підвищеної довговічності.

**Bratchun Valery** – D. Sc. (Engineering), Professor; Head of the Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical mechanics of technological and



durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road coverings based on modified organic binders and complex modification of the concrete structure; development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

**Pshenichnykh Oleg** – master’s student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex-modified asphalt-polymer concrete reinforced with polymer fibers.

**Romasyuk Evgeniy** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of technological and durable asphalt concrete compositions for the construction and repair of structural layers of non-rigid road pavements.

**Ponomarenko Pavel** – master’s student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concrete with increased durability.

**Vasilyeva Taisiya** – master’s student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concrete with increased durability.

**Koval Denis** – master’s student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concrete with increased durability.

**Prisyazhnyuk Stanislav** – master’s student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concrete with increased fatigue life.

**Kaminsky Igor** – master’s student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concrete with increased durability.



УДК 625.756

**К. Р. ГУБА<sup>б</sup>, А. Г. ВЕЛИЧКО<sup>а</sup>, А. А. ПАНАСЕНКО<sup>а</sup>, А. И. КОСИК<sup>а</sup>**<sup>а</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,<sup>б</sup> Автомобильно-дорожный институт «Донецкий национальный технический университет»

## МОДИФИКАЦИЯ БИТУМА АСФАЛЬТНОГО ГРАНУЛЯТА

**Аннотация.** В настоящее время финансирование дорожной отрасли на территории Донецкой Народной Республики выполняется в неполном объеме по ряду причин, независимых от самой дорожной отрасли. Поэтому возникает вопрос поиска новых, более экономичных материалов по производству асфальтобетонных смесей для выполнения ремонтных работ и технологических операций, позволяющих выполнить эти работы. Рассматривается возможность использования материалов, получаемых фрезерованием старого асфальтобетона при ремонте нежесткой дорожной одежды, которые образуются в большом количестве. Применение регенерированного асфальтобетона позволит снизить затраты на новый дорогой минеральный материал (щебень, песок, минеральный порошок) и органическое вяжущее. При выполнении ремонтных работ происходит снятие старого асфальтобетона, который может быть использован как самостоятельный материал, так и как компонент вновь приготавливаемой асфальтобетонной смеси. Регенерируемая асфальтобетонная смесь требует незначительного улучшения физико-механических свойств битума, находящегося в старом асфальтобетоне.

**Ключевые слова:** старый асфальтобетон, регенерация асфальтобетонных покрытий, асфальтный гранулят, битум, модификация, модифицирующие добавки.

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основным требованием при производстве дорожно-строительных материалов является снижение энергетических затрат, ресурсоемкости, использования местных материалов и отходов промышленности [1, 2]. Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что достигнуть вышеперечисленного возможно использованием в качестве материала для дорожно-ремонтных работ старого асфальтобетона, полученного фрезерованием нежесткого дорожного покрытия как внегородских автомобильных дорог, так и дорог дорожно-уличной сети. Опыт использования в странах СНГ, Германии, США, Китая и др. подтверждает возможность использования асфальтного гранулята в новой асфальтобетонной смеси с обязательным обеспечением качества органического вяжущего (битума), находящегося в нем [2–4].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В своих работах В. Ф. Бабков, Г. К. Сюньи, Л. Б. Гезенцевей, Н. В. Горельшев, Г. С. Бахрах, Л. В. Билай, В. А. Золотарев и др. рассматривают вопрос повторного использования старого асфальтобетона при строительстве и реконструкции асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [3, 5–7]. В процессе эксплуатации автомобильных дорог асфальтобетонное покрытие подвергается изнашиванию и разрушению. В асфальтобетоне подвергаются дроблению минеральные материалы и старению органические вяжущие, которые изменяют свои физико-механические свойства под действием механических и дорожно-климатических воздействиях [2, 3, 5–9].

Целью работы является поиск модифицирующих материалов для улучшения физико-механических свойств битума, находящегося в асфальтном грануляте.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В связи с тем, что 90 % эксплуатируются нежесткие дорожные одежды, то материалом для ремонтных работ нежесткого дорожного покрытия являются асфальтобетонные смеси. Материалы,

© К. Р. Губа, А. Г. Величко, А. А. Панасенко, А. И. Косик, 2022

входящие в состав асфальтобетонной смеси, с каждым годом становятся дороже, что влечет за собой удорожание самой смеси и выполнения дорожно-ремонтных работ. Поиск путей снижения цен на материалы поднимает вопрос о возможности использования местных материалов, отходов промышленности и повторной переработки отходов, получаемых при проведении дорожно-ремонтных работ на дорожном покрытии.

Анализ отечественного и зарубежного опыта о возможности использования асфальтного гранулята показывает, что до 20...30 % от общего объема выпускаемой асфальтобетонной смеси составляют смеси с асфальтным гранулятом [3, 6, 8–10]. Во фрезерованном асфальтобетоне содержится:

– минеральный материал, который не изменил своих характеристик во время эксплуатации и фрезерования покрытия;

– битум, который соединяет частицы минеральных материалов и в процессе эксплуатации подвергается старению в результате испарения, окисления, полимеризации углеводородов, что приводит к снижению деформационных свойств пленок битума.

Содержание битума во фрезерованном асфальтобетоне составляет 3...8 %. Следовательно, данный материал можно рассматривать как альтернативный строительный материал. Кроме всего, использование асфальтного гранулята позитивно повлияет на окружающую среду, так как не будет складироваться в отвалах или вдоль дороги.

Физико-механические свойства битума, находящегося в асфальтном грануляте, можно повысить введением модифицирующих добавок. В настоящее время все модифицирующие добавки объединены в следующие группы [6, 8–12]:

1. Термопластичные эластомеры (СБС, Элвалой, бутадиен стирольный каучук) – 61 % потребления.

2. Термопластичные пластимеры (этилен-винил-ацетат, полипропилен, полиэтилен) – 19 % потребления.

3. Химические модификаторы (сера, металлсодержащие соединения) – 14 % потребления.

4. Резиносодержащие полимеры (мелкодисперсная резиновая крошка) – вторично используемое сырье.

Основными функциями модификатора используемого для восстановления свойств битума, являются [6, 8–12]:

1. Расширение диапазона рабочей температуры битума.

2. Обеспечение стойкости асфальтобетона к деформации за счет высокой степени эластичности модифицированного битума.

3. Замедление процесса старения асфальтобетонов.

Модификацию битума, находящегося в асфальтном грануляте, можно выполнить несколькими способами [6, 8–12]:

1. В битум можно вводить: термопластичные полимеры, БПК, терморезактивные полимеры.

2. В асфальтобетонную смесь, можно вводить минеральный порошок, модификаторы на основе резиновой крошки.

При модификации дорожных битумов хорошо себя зарекомендовали блоксополимеры стирола типа СБС (группа KRATON D фирмы «Shell», группа Финопрен фирмы «Petrofina», группа Европерен Сол Т фирмы «Enichem», Калпрен фирмы «Repsoil», отечественные термоэластопласты группы ДСТ Воронежского завода СК). Данные модифицирующие добавки позволяют сохранять способность к эластичным деформациям при температурах от  $-80^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ . Такая способность к эластичным деформациям возможна за счет пространственной структурной сетки, которая образуется за счет связей между блоками макромолекул бутадиена и стирола (рисунок). Трехблочные молекулы, расположенные по краям, имеют максимально прочные связи между макромолекулами особенно при температуре до  $-80^{\circ}\text{C}$ . При растворении в битуме блоксополимера с такой пространственной сеткой битум получает максимально высокую прочность, что приводит к повышению теплостойкости по сравнению с первоначальным битумом.

Также необходимо отметить, что, кроме высокой прочности, битум получает очень низкую температуру стеклования, что позволяет обеспечить необходимую температуру его хрупкости.

Блоксополимеры типа СБС хорошо набухают в углеводородах битума и частично в них растворяются при температуре  $150^{\circ}\text{C}$ . Исследования, выполненные рядом ученых [6, 8–12], показали, что для большего растворения блоксополимеров в битуме необходимо применять пластификаторы в виде индустриального масла (марки И-20А, И-30А, И-40А, И-50А) и нефтяных гудронов. Применение индустриального масла или нефтяных гудронов повышает растворимость блоксополимеров, незначительно снижая адгезионные свойства битума, при этом битум получает хорошую эластичность.



**Рисунок** – Схематичное изображение линейного и пространственного термопластичного блоксополимера.

Модификация битума в асфальтном грануляте позволяет «вернуть» физико-механические свойства стандартного битума, не нарушая нормативных требований, предъявляемых к вяжущим материалам, содержащимся в асфальтобетонной смеси [13]. Чтобы подтвердить соответствие свойств модифицированного битума, можно воспользоваться оценкой сцепления битума с поверхностью минерального материала. Оценка выполняется в соответствии с ГОСТ 11508-74 по пятибалльной шкале:

- 5 баллов – поверхность минерального материала покрыта битумом полностью;
- 4 балла – поверхность минерального материала покрыта битумом не полностью, не менее 90 %;
- 3 балла – поверхность минерального материала покрыта битумом не полностью, не менее 75 %;
- 2 балла – поверхность минерального материала покрыта битумом не полностью, менее 75 %;
- 0 баллов – поверхность минерального материала битумом не покрыта.

Результаты исследований показывают, что введение модифицирующей добавки в асфальтный гранулят для модификации старого битума позволяет улучшить прочность, теплостойкость и эластичность битума.

## ВЫВОД

Таким образом, можно сделать вывод, что использование старого асфальтобетона, в виде асфальтного гранулята в новой асфальтобетонной смеси является вопросом актуальным и необходимым. Накопленный опыт отечественных и зарубежных ученых свидетельствует о преимуществах при модификации битумов блоксополимерами по сравнению с обычным битумом. Также необходимо отметить, что при модификации битума, находящегося в асфальтном грануляте, происходит повышение прочности, эластичной деформации, снижение температуры стеклования, что обеспечивает снижение температуры хрупкости и повышение трещиностойкости асфальтобетона.

Асфальтный гранулят целесообразно использовать при производстве асфальтобетонных смесей, которые будут применены при ремонте покрытий нежестких одежд дорожных автомобильных дорог. Применение асфальтного гранулята снизит затраты на новые дорожные минеральные материалы и битум, а также энергоресурсы, машины и механизмы. Вовремя выполненные ремонтные работы увеличат межремонтные сроки службы дорожных покрытий автомобильных дорог.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щукина, Е. Г. Комплексное использование минерального сырья и отходов промышленности при производстве строительных материалов : учебное пособие / Е. Г. Щукина, Р. Р. Бешпле, Н. В. Архинчева. – Улан-Уде : Изд-во ВСГТУ, 2004. – 110 с. – Текст : непосредственный.
2. Горельшева, Л. А. Новые эффективные методы ремонта, содержания и совершенствования асфальтобетонных покрытий : Обзорная информация / Л. А. Горельшева. – Москва : Информавтодор, 2006. – 104 с. – Текст : непосредственный.
3. Сюньи, Г. К. Регенерированный дорожный асфальтобетон / под редакцией проф. Г. К. Сюньи. – Москва : Транспорт, 1984. – 118 с. – Текст : непосредственный.

4. Губа, К. Р. О целесообразности повторного использования старого асфальтобетона / К. Р. Губа. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – Выпуск 2020-1(141) Современные строительные материалы. – С. 39–44. – URL : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2020/vestnik\\_2020-1\(141\)\\_maket.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/vestnik_2020-1(141)_maket.pdf) (дата публикации: 17.02.2020).
5. Бахрах, Г. С. Усталостное разрушение асфальтобетонных покрытий и пути замедления этого процесса / Г. С. Бахрах. – Текст : непосредственный // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог : Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – 1980. – Выпуск 9. – 40 с.
6. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В. А. Золотарев. – Харьков : Вища школа, 1977. – 116 с. – Текст : непосредственный.
7. Братчун, В. И. Физико-химическая механика строительных материалов : учебник для студентов высших учебных заведений / В. И. Братчун, В. А. Золотарев, М. К. Пактер [и др.] ; МОН Украины ; ДонНАСА-ХНАДУ. – Донецк : изд-во «Ноулиндж», 2013. – 338 с. – Текст : непосредственный.
8. Durrieu, F. The influence of UV aging of a Styrene/Butadiene/Styrene modified bitumen: Comparison between laboratory and on site aging / F. Durrieu, F. Farcas, V. Mouillet. – Текст : непосредственный // Fuel. – 2007. – № 86. – P. 1446–1551.
9. Lesueur, D. The colloidal structure of bitumen: consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification / D. Lesueur. – Текст : непосредственный // Advances in Colloid and Interface Science. – 2000. – № 145(1-2). – P. 42–82.
10. Bonvallet, J. Recyclage au liant mixte in situ avec un MCR 250 / J. Bonvallet, A. Cipriani. – Текст : непосредственный // Revu Generale des Routes. – 2002. – № 812, decembre. – P. 29–33.
11. Губа, К. Р. Показатели, характеризующие старение битума и асфальтобетона / К. Р. Губа. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – Выпуск 2020-4(144) Научно-технические достижения студентов, аспирантов, молодых ученых строительной-архитектурной отрасли. – С. 58–66. – URL : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2020/vestnik\\_2020-4\(144\)\\_maket.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/vestnik_2020-4(144)_maket.pdf) (дата публикации: 22.06.2020).
12. Губа, В. В. Анализ полимерных модификаторов, их влияние на структуру и свойства битума / В. В. Губа, К. Р. Губа. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса : межвузовский сборник научных статей. – Самара : СГТУ. – 2021. – С. 97–102.
13. ГОСТ Р 55052-2012. Гранулят старого асфальтобетона. Технические условия = Reclaimed asphalt. Specifications : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 ноября 2012 г. N 705-ст : введен впервые : дата введения 2013-07-01 / разработан ФАУ «ФЦС». – Москва : Национальный стандарт Российской Федерации, 2012. – 11 с. – Текст : непосредственный.

Получена 11.01.2022

К. Р. ГУБА <sup>b</sup>, А. Г. ВЕЛИЧКО <sup>a</sup>, А. А. ПАНАСЕНКО <sup>a</sup>, О. І. КОСИК <sup>a</sup>

МОДИФІКАЦІЯ БІТУМУ АСФАЛЬТНОГО ГРАНУЛЯТУ

<sup>a</sup> ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», <sup>b</sup> Автомобільно-дорожній інститут ДООУ ВПО «Донецький національний технічний університет»

**Анотація.** На даний час фінансування дорожньої галузі на території Донецької Народної Республіки здійснюється в неповному обсязі з ряду причин, незалежних від самої дорожньої галузі. Тому виникає питання пошуку нових, більш економічних матеріалів з виробництва асфальтобетонних сумішей для виконання ремонтних робіт і технологічних операцій, що дозволяють виконати ці роботи. Розглядається можливість використання матеріалів одержуваних фрезеруванням старого асфальтобетону при ремонті нежорсткого дорожнього одягу, які утворюються у великій кількості. Застосування регенованого асфальтобетону дозволить знизити витрати на новий дорогий мінеральний матеріал (щебінь, пісок, мінеральний порошок) і органічне в'язуче. При виконанні ремонтних робіт відбувається зняття старого асфальтобетону, який може бути використаний як самостійний матеріал, так і як компонент по-новому приготовленої асфальтобетонної суміші. Регенована асфальтобетонна суміш вимагає незначного поліпшення фізико-механічних властивостей бітуму, що знаходиться в старому асфальтобетоні.

**Ключові слова:** старий асфальтобетон, регенерація асфальтобетонних покриттів, асфальтний гранулят, бітум, модифікація, модифікуючі добавки.

KONSTANTIN GUBA <sup>b</sup>, ANDREY VELICHKO <sup>a</sup>, ANDREY PANASENKO <sup>a</sup>,  
ALEXANDER KOSIK <sup>a</sup>

## MODIFICATION OF ASPHALT GRANULATE BITUMEN

<sup>a</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>b</sup> Automobile and Road Institute «Donetsk National Technical University»

**Abstract.** Currently, financing of the road industry in the territory of the Donetsk People's Republic is carried out in incomplete volume for a number of reasons independent of the road industry itself. Therefore, the question arises of finding new, more economical materials for the production of asphalt-concrete mixes to perform repairs and technological operations that allow you to perform these works. The possibility of using materials obtained by milling old asphalt concrete in the repair of non-rigid road surface, which is formed in large quantities, is considered. The use of regenerated asphalt concrete will reduce the cost of new expensive mineral materials (crushed stone, sand, mineral powder) and organic binder. When performing repairs, the old asphalt concrete is removed, which can be used as an independent material, or as a component of the newly prepared asphalt concrete mixture. The regenerated asphalt mix requires a slight improvement in the physical and mechanical properties of bitumen found in old asphalt concrete.

**Key words:** old asphalt concrete, regeneration of asphalt concrete surfaces, asphalt granulate, bitumen, modification, modifying additives.

**Губа Константин Романович** – ассистент кафедры общеинженерных дисциплин автомобильно-дорожного института ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: использование старого асфальтобетона для приготовления новых смесей; возможность модифицирования вяжущего.

**Величко Андрей Георгиевич** – главный инженер ГП «АВТОДОР» департамента автомобильных дорог Министерства транспорта ДНР; старший преподаватель кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Панасенко Андрей Анатольевич** – начальник Макеевского участка ООО «Донецкремдорстрой»; старший преподаватель кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Косик Александр Иванович** – директор департамента автомобильных дорог ООО «Донспецпром»; старший преподаватель кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

**Губа Костянтин Романович** – асистент кафедри загальноінженерних дисциплін автомобільно-дорожного інституту ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: використання старого асфальтобетону для приготування нових сумішей; можливість модифікування в'язучого.

**Величко Андрій Георгійович** – головний інженер ДП «АВТОДОР» департаменту автомобільних доріг Міністерства транспорту ДНР; старший викладач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих та комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

**Панасенко Андрій Анатолійович** – начальник Макіївської дільниці ТОВ «Донецькремдорбуд», старший викладач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих та комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

**Косик Олександр Іванович** – директор департаменту автомобільних доріг ТОВ «Донспецпром»; старший викладач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих та комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини на компоненти композиційних матеріалів.

**Guba Konstantin** – Assistant, General Engineering Disciplines Department, Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University. Scientific interests: the use of old asphalt concrete for the preparation of new mixtures; the possibility of modifying the binder.

**Velichko Andrey** – Chief Engineer of State Enterprise «AVTODOR» of the Department of Roads of the Ministry of Transport of the DPR; senior lecturer, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical mechanics of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on modified organic binders and complex modification of the structure of concrete; development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

**Panasenko Andrey** – Head of the Makeevsky section of Donetskkremdorstroy LLC; senior lecturer, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical mechanics of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on modified organic binders and complex modification of the structure of concrete; development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

**Kosik Alexander** – Director of the Department of Automobile Roads of Donspetsprom LLC; senior lecturer Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical mechanics of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on modified organic binders and complex modification of the structure of concrete; development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

УДК 678.686

**Е. Э. САМОЙЛОВА, Н. В. ШКУРКО, А. С. БЫВАЛИНА, В. А. БУЦ**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

**Аннотация.** На восстановление дорожной одежды уходит немало усилий: прежде следует ликвидировать и вывезти для вторичного использования устаревшее покрытие, а затем уложить новое. Не так-то просто увеличить и грузонесущую способность трассы: невозможно вынуть все слои, уложенные ранее, чтобы заменить их новыми. Однако если воспользоваться материалом старого покрытия на самом полотне дороги, то осуществить две эти задачи гораздо проще. В статье предлагается применение технологии «холодного» ресайклинга как современного метода переработки и регенерации старого дорожного покрытия для ремонтных объектов Донецкой Народной Республики – технологии неглубокого или мелкого ресайклинга слоев покрытия (до 10 см). А также расчет затрат и стоимость ремонта по технологии мелкого «холодного» ресайклинга. Представлены результаты измерений физико-механических показателей образцов регенерированной органо-минеральной смеси на автодороге Т-05-09 Великая Новоселовка – Амвросиевка, км 119+000 – км 133+909.

**Ключевые слова:** ресайклинг, регенерация, дорожная одежда, органо-минеральная смесь, полимерная добавка, экологичность.

### АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Весьма перспективным является ремонт автомобильных дорог без отходов, так называемый ресайклинг, задача которого состоит в максимально возможном использовании материала существующего покрытия. При этом материал ниже уровня ресайклинга остается неповрежденным, имеющиеся разрушения удаляются вместе со слоем асфальтобетона, а высота покрытия практически не изменяется. Современные методы переработки и регенерации старого покрытия позволяют не загрязнять окружающую среду и получать экономическую выгоду. Использование вторичного сырья при производстве асфальтобетонных смесей стало обычной практикой. В данной статье предлагается технология «холодного» ресайклинга и переработки асфальтобетонного покрытия на месте, которое снижает негативное воздействие на окружающую среду. Эта технология позволяет значительно сократить затраты на переработку старого асфальтобетона, а также обеспечивает высочайшее качество, отличается экономичностью, экологичностью и минимальным влиянием на транспортный поток [1].

**Целью работы является** проверка теоретических предпосылок холодной регенерации асфальтобетона экспериментально.

Долгое время ремонт дорог при износе покрытия проводили путем ямочного ремонта. При этом дефекты старого покрытия полностью не устранялись, и новое покрытие работало менее эффективно, чем могло бы.

За многие годы в Донецкой Народной Республике произошел значительный износ автомобильных дорог, который отразился на сегодняшнем состоянии их покрытий и условиях движения транспорта.

При ремонте дорог – методом «холодного» ресайклинга нет необходимости в площадках для отвалов. Объем новых привозных материалов минимален, что снижает загрязнение местности, неизбежное при открытии новых карьеров. Перевозки очень невелики, соответственно расход энергии значительно снижается, как и разрушительное воздействие транспортных средств на дорожную сеть. Технологию ресайклинга дорожных одежд как способ их восстановления широко применяют за рубежом.

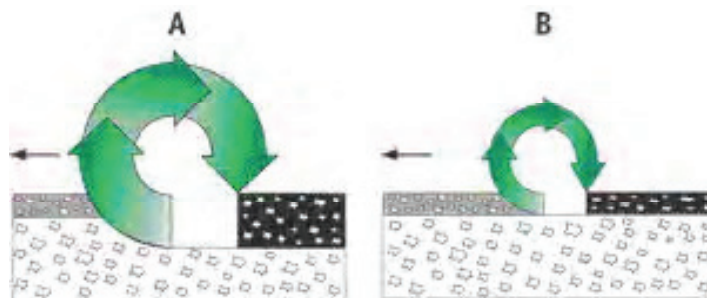
© Е. Э. Самойлова, Н. В. Шкурко, А. С. Бывалина, В. А. Буц, 2022

Суть этой новой для республиканской дорожной отрасли технологии состоит в том, что для повторного или дальнейшего использования лежащего в дороге, состарившегося и разрушенного материала изношенной и дефектной дорожной одежды необходимо определенное его укрепление, т. е. стабилизация комплексными полимерными добавками («ПАРАГОН М10+50»), «Никофлок») и минеральных (в основном цемент, реже известь) вяжущих [2].

Для этого создан холодный ресайклер, который способен своим мощным фрезерным барабаном измельчить материал дорожной одежды (покрытия) на глубину до 30 см, а в некоторых случаях и более, с одновременной его обработкой указанными вяжущими (стабилизаторами) и с распределением ровным слоем. Последующее заключительное уплотнение выполняется обычными автогрейдерами и дорожными катками.

Как правило, такой обновленный укреплением слой принимается либо за верхний слой основания, либо за нижний слой покрытия. Поэтому на него сверху дополнительно могут быть уложены нижний и верхний слои покрытия из горячего асфальтобетона или только верхний горячий слой покрытия. Предложения по поводу покрытия укрепленного слоя предоставляют на утверждение заказчику проектировщики, обосновывая его категоричностью дороги, интенсивностью движения транспорта и задаваемого на последующее время срока службы дорожной одежды.

Необходимо особо отметить, что сегодня следует четко подразделять «холодный» ресайклинг на малую глубину (мелкий или неглубокий ресайклинг, до 10 см) и на большую глубину (глубокий ресайклинг, до 30 см и более, рис. 1). Такое разделение предусматривает использование определенного набора несколько разных машин, вяжущих и различные затраты на выполнение работы (в мелком ресайклинге они меньше) [3–4].



**Рисунок 1** – Холодный ресайклинг на большую глубину (глубокий ресайклинг, до 30 см и более) и на малую глубину (мелкий или неглубокий ресайклинг, до 10 см).

Для республиканских ремонтных объектов и возможностей в их финансировании самой подходящей может стать как раз технология неглубокого или мелкого ресайклинга слоев покрытия (до 10 см).

На рис. 2 в качестве примера приведена схема изношенной и дефектной дорожной одежды, предназначенной для ремонта [5]. В предыдущие периоды эксплуатации она уже ремонтировалась способом простой укладки сверху дополнительного слоя асфальтобетона толщиной 10 см. Очень похожий случай для республиканской дорожной действительности.

В нашем варианте «холодного» ресайклинга новое основание при ресайклинге на глубину 100 мм с добавками 4 % цемента М400, полимерного стабилизатора «ПАРАГОНа М10+50» – 0,8 кг/м<sup>2</sup> и 14,5 % щебеночного материала, затем на основание укладывается новое асфальтобетонное покрытие толщиной 50 мм.

«ПАРАГОН М10+50» представляет собой многокомпонентный концентрат водного раствора на основе акрилового сополимера (концентрат стабилизатора грунтов, концентрат «ПАРАГОН М10+50») и соответствует по своему внешнему виду и физико-химическим требованиям параметрам (табл. 1).

#### *Затраты на ремонт дорожного покрытия*

Итоговые результаты расчета затрат и стоимостей ремонта в рассматриваемых вариантах приведены в таблице 2.

Из таблицы следует, что в данном конкретном примере метод холодного ресайклинга (вариант 2) заметно дешевле варианта 1, по крайней мере, не менее чем в 1,5 раза. Экономия средств на 1 м<sup>2</sup> может



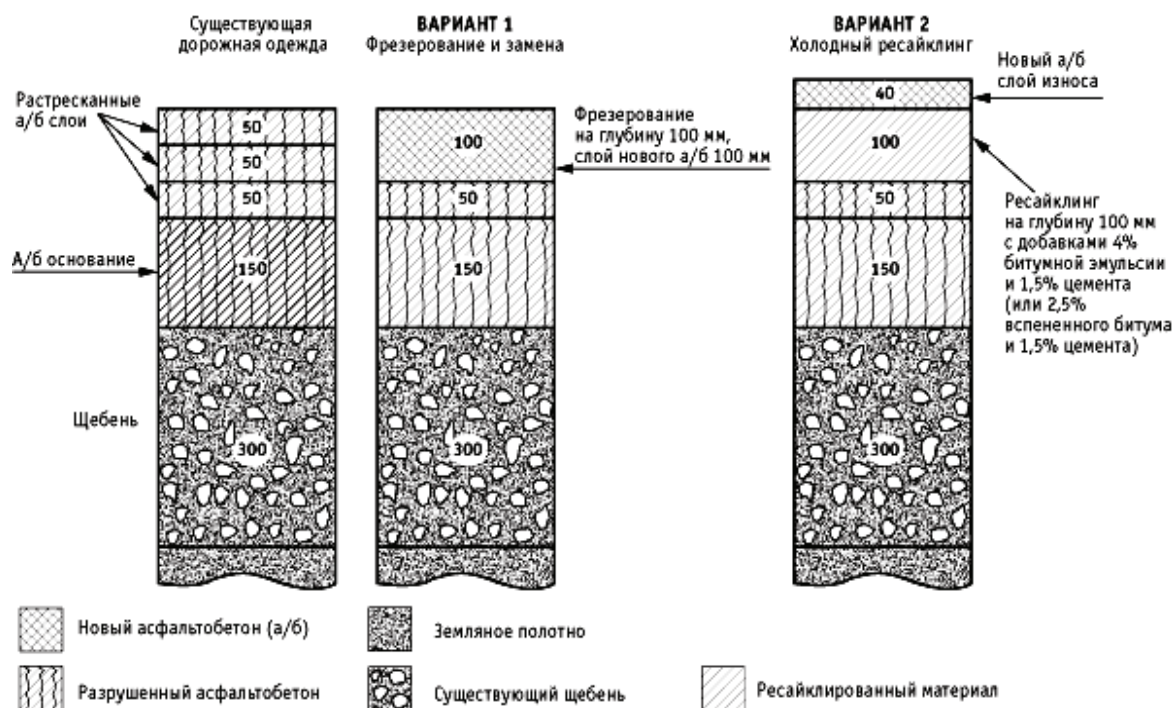


Рисунок 2 – Схема изношенной и дефектной дорожной одежды, предназначенной для ремонта.

Таблица 1 – Физико-химические параметры для концентрата «ПАРАГОН М10+50» [2]

Наименование показателя	Норма	Метод испытания
Внешний вид	Жидкость белого цвета	Визуальный осмотр
Запах	Слабый специфический	Оценивается органолептически
Массовая доля нелетучих веществ, %	46–49	ГОСТ 17537
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,04–1,06	ГОСТ 18481, ареометр
Значение pH	5–7	pH-метр
Растворяемость в воде	Полная	Эмпирически

Примечания:

- Показатель удельной эффективной активности радионуклидов полимерной эмульсии не выше 10 органических примесей и иметь показатель кислотности 0. Бк/кг определяют гамма-спектрометрическим методом по ГОСТ 30108.
- Вода для приготовления водного раствора полимерной эмульсии должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732, не должна содержать органических примесей и иметь показатель кислотности pH > 4.
- Отклонение между показателями, полученными при тестировании в разных лабораториях, не должно превышать 10 % от среднего арифметического результата.

составить 440 руб. или 3,1 млн руб. на 1 км покрытия шириной 7 м. Это значит, что за одни и те же бюджетные деньги с помощью технологии мелкого «холодного» ресайклинга можно отремонтировать республиканских дорог с подобными дефектами в 1,4 раза большей протяженности.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполнено определение физико-механических свойств регенерированной органо-минеральной смеси на автодороге Т-05-09 Великая Новоселовка – Амвросиевка, км 119+000 – км 133+909.

Наименование и обозначение НД на продукцию: СОУ 45.2-00018112-061:2011 «Смеси органо-минеральные дорожные из фрезерованных материалов дорожных одежд, изготовленные методом холодного ресайклинга».

Исследования выполнены в соответствии с СОУ 42.1-37641918-127:2014 «Смеси органо-минеральные дорожные из фрезерованных материалов дорожных одежд, изготовленные методом холодного ресайклинга. Методы испытаний».

Таблица 2 – Результаты расчета затрат и стоимостей ремонта

Технологическая операция	Стоимость, руб/м <sup>2</sup>	
	Вариант 1	Вариант 2
Удаление холодной фрезой старого асфальтобетонного покрытия с вывозом крошки на склад, слой 10 см (фрезерование и перевозка)	252	м
Холодный ресайклинг старых слоев асфальтобетонного покрытия на глубину 10 см с использованием 4 % цемента М400, полимерного стабилизатора «парагона М10+50» – 0,8 кг/м <sup>2</sup> и 14,5 % щебеночного материала (сам материал, его доставка, укрепление, выравнивание, укатка)	–	336,7/294,7
Устройство из новой (свежей) смеси верхнего слоя асфальтобетонного покрытия (сам материал, его доставка, укладка, укатка) толщиной 5 см	–	336
Устройство из новой (свежей) смеси верхнего слоя асфальтобетонного покрытия (сам материал, его доставка, укладка, укатка) толщиной 10 см	840	–
<b>Итого</b>	<b>1 092</b>	<b>672,7/630,7</b>

**Примечание.** Ставки и цены на материалы, их перевозку и работу машин приняты среднеевропейскими, переведенными в рубли по ориентировочному курсу 70 руб. за 1 USD, НДС в расчетах не учтен.

Требования нормативных документов и фактические значения показателей, которые определялись во время проведения измерений, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические свойства смеси

Показатели	№ образца	Возраст образца, сутки	Марка смеси по проекту	Плотность смеси, г/см <sup>3</sup>	Водонасыщение, % по объему, не более	Граница прочности при сжатии, МПа, при температуре, °С	
						20, не менее	50, не менее
Требования СОУ	–	<b>7,14,28</b>	<b>М40</b>	–	<b>8,5</b>	<b>4,0</b>	<b>1,0</b>
Результаты испытаний	1	28	М40	2,31	2,6	5,5	2,5
	2	28	М40	2,30	2,7	5,3	2,1
	3	28	М40	2,29	2,8	5,1	2,2
Среднее значение				2,30	2,7	5,3	2,3

Условие проведения измерений: температура воздуха в лаборатории T = 20 °С (табл. 4).

Таблица 4 – Тип, основные характеристики СИ, ИО и показатели точности измерений

№ п/п	Наименование	Тип	Диапазон измерений	Погрешность измерений
1	Термометр	ТТ2	от 0 до + 200 °С	$\Delta = \pm 1$ °С
2	Секундомер механический	СОС пр-26-2-00	от 0,2 с до 60 мин	$\Delta = \pm 1,8$ с
3	Весы лабораторные	WPS 3100/С/1 с устройством для гидростатического взвешивания	от 0,5 до 3 100 г	$\Delta = \pm 0,05$ г
4	Машина для испытания на сжатие	МС-500	от 20 до 500 кН	$\Delta = \pm 10$ %
5	Вакуумная установка	ВУ-3 мод. 976	(-1)-0-3 атм	$\Delta = \pm 0,5$ атм.
6	Форма для изготовления асфальтобетонных образцов		Внутренний диаметр цилиндра 71,4 мм	$\Delta = 0,11$ мм
7	Сушильный шкаф	СНОЛ 67/350	от 50 до 350 °С	$\Delta = \pm 1$ °С

Из приведенных данных испытаний можно сделать заключение, что для отобранной регенерированной органо-минеральной смеси в возрасте 28 суток средняя прочность на сжатие составляет 5,3 МПа, что соответствует марки М40 (СОУ 45.2-00018112-061:2011) согласно проекту.

### ВЫВОДЫ

1. Отсутствие загрязнения окружающей среды благодаря полному использованию материала старой дорожной одежды.
2. Высокое качество ресайклированного слоя вследствие последовательного эффективного смешивания полученных на месте материалов с водой и стабилизаторами.
3. Сохранение целостности грунта, так как при ресайклинге повреждения низкопрочного грунта значительно меньшие по сравнению с применением обычных дорожно-строительных машин для восстановления дорожной одежды.
4. Экономия средств на 1 м<sup>2</sup> может составить 440 руб. или 3,1 млн руб. на 1 км покрытия шириной 7 м.
5. Проектирование новых автомобильных дорог, реконструкция действующих и последующая их эксплуатация должны продолжаться с учетом экологических требований, прежде всего, с ограничением воздействий на человека. При этом особое внимание следует уделять проектированию дорожной одежды.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахрах, Г. С. Регенерация асфальтобетонных слоев дорожных одежд / Г. С. Бахрах, Г. С. Горлина, А. Я. Эрастов. – Москва : Издательство ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1981. – 66 с. – (Стр-во и эксплуатация автомоб. дорог: обзорная информация / ЦБНТИ Минавтодора РСФСР ; выпуск 6). – Текст : непосредственный.
2. СТО 18134190-05.0-2015. Ремонт автомобильных дорог по технологии холодного ресайклинга с применением полимерного стабилизатора грунтов «Парагон М10+50» и неорганических вяжущих. Технические условия : стандарт организации : издание официальное : утвержден Приказом ООО «Парагон Групп» № 11/07 от 08 июля 2015 года : введен впервые : дата введения 2015-07-08 / разработан ООО «Парагон Групп». – Москва : [б. и.], 2015. – 34 с. – Текст : непосредственный.
3. Голидзе, В. М. Использование материалов из старых асфальтовых покрытий / В. М. Голидзе. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги. – 1982. – № п. – С. 17–19.
4. Горнаев, Н. А. Технология холодной регенерации асфальтобетона / Н. А. Горнаев. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2005. – № 3. – С. 43–44.
5. Матросов, А. П. Регенерация асфальтобетона при ремонте дорог : учебное пособие / А. П. Матросов ; Ростовский инженерно-строительный институт. – Ростов н/Д : РИСИ, 1992. – 78 с. – Текст : непосредственный.

Получена 11.01.2022

### О. Е. САМОЙЛОВА, Н. В. ШКУРКО, А. С. БИВАЛИНА, В. А. БУЦ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** На відновлення дорожнього одягу йде чимало зусиль: перш слід ліквідувати і вивезти для вторинного використання застаріле покриття, а потім укласти нове. Не так-то просто збільшити і вантажонесучу здатність траси: неможливо вийняти всі шари, укладені раніше, щоб замінити їх новими. Однак якщо скористатися матеріалом старого покриття на самому полотні дороги, то здійснити два ці завдання набагато простіше. У статті пропонується застосування технології «холодного» ресайклінгу як сучасного методу переробки та регенерації старого дорожнього покриття для ремонтних об'єктів Донецької Народної Республіки – технології неглибокого або дрібного ресайклінгу шарів покриття (до 10 см). А також розрахунок витрат і вартість ремонту за технологією дрібного «холодного» ресайклінгу. Представлено результати вимірювань фізико-механічних показників зразків регенерованої органо-минеральної суміші на автодорозі Т-05-09 Велика Новоселівка – Амвросіївка, км 119+000 – км 133 + 909.

**Ключові слова:** ресайклінг, регенерація, дорожній одяг, органо-минеральна суміш, полімерна добавка, екологічність.

HELEN SAMOJLOVA, NATALYA SHKURKO, ALINA BYVALINA,  
VICTORIA BUTS  
ENSURING ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY IN THE DESIGN OF THE  
ROAD SURFACE  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** It takes a lot of effort to restore the pavement: first, the outdated pavement should be eliminated and taken out for reuse, and then a new one should be laid. It is not so easy to increase the load-carrying capacity of the route: it is impossible to remove all the layers laid earlier to replace them with new ones. However, if you use the material of the old coating on the roadbed itself, then these two tasks will be much easier. The article suggests the use of «cold» recycling technology as a modern method of recycling and regeneration of old pavement for repair facilities of the Donetsk People's Republic – the technology of shallow or shallow recycling of coating layers (up to 10 cm), as well as the calculation of costs and the cost of repairs using the technology of small «cold» recycling. The results of measurements of physical and mechanical parameters of samples of regenerated organo-mineral mixture on the highway T-05-09 Velikaya Novoselovka – Amvrosievka, km 119+000 – km 133+909 are presented.

**Key words:** recycling, regeneration, road clothes, organo-mineral mixture, polymer additive, environmental friendliness.

**Самойлова Елена Эдуардовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной химии; кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов; управление техносферной безопасностью.

**Шкурко Наталья Владимировна** – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: регенерация асфальтобетонных слоев дорожных одежд.

**Бывалина Алина Сергеевна** – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: управление техносферной безопасностью.

**Буц Виктория Анатольевна** – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: управление техносферной безопасностью.

**Самойлова Олена Едуардівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної хімії; кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів.

**Шкурко Наталія Володимирівна** – студент ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: регенерація асфальтобетонних шарів дорожнього одягу.

**Биваліна Аліна Сергіївна** – студент ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: управління техносферною безпекою.

**Буц Вікторія Анастоліївна** – студент ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: управління техносферною безпекою.

**Samojlova Helen** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Applied Chemistry Department; Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physico-chemical studies of polymer composite materials.

**Shkurko Natalya** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: regeneration of asphalt concrete pavement layers.

**Byvalina Alina** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technosphere safety management.

**Buts Victoria** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technosphere safety management.

УДК 546.226'221

**С. А. ФРОЛОВА, О. В. СОБОЛЬ, А. Ю. СОБОЛЕВ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ  
И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$** 

**Аннотация.** Процессы плавления и кристаллизации лежат в основе создания фазопереходных теплоаккумулирующих материалов (ФПТАМ). Т. к., для ФПТАМ гистерезисные явления нежелательны, то для выяснения механизмов прямых и обратных фазовых превращений, их взаимосвязи друг с другом, выявления причин отличия неравновесной кристаллизации от равновесной, исследование термических гистерезисов является довольно актуальной задачей. В данной работе на основании анализа термограмм нагревания и охлаждения  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  (ТСН-5) проанализированы различные термические гистерезисные процессы. Выявлено три вида термического гистерезиса: первого типа (ТГ-I) – при сопоставлении равновесного процесса плавления с процессом неравновесной кристаллизации; второго типа (ТГ-II) – при сопоставлении равновесных процессов плавления и кристаллизации с отличающимися друг от друга температурами плавления и кристаллизации, а также комбинированного (КГ), сочетающего в себе ТГ-I и ТГ-II. Разработаны схемы изменения энтальпий и энергий Гиббса при различных видах гистерезисных явлений. По приведенным схемам изменения энтальпий можно спрогнозировать значения величины термического гистерезиса, что является желательным для создания ФПТАМ.

**Ключевые слова:** плавление, кристаллизация, пентагидрат тиосульфата натрия, теплоаккумулирующий материал, термический гистерезис.

**ВВЕДЕНИЕ**

Процессы плавления и кристаллизации лежат в основе создания фазопереходных теплоаккумулирующих материалов (ФПТАМ). Одними из основных требований, предъявляемых к ФПТАМ, являются: стабильность теплофизических характеристик при циклических переходах от твердой фазы к жидкой и наоборот, уменьшение переохлаждений при кристаллизации, равенство температур и теплот плавления и кристаллизации и т. д. [1–6]. Анализ многочисленных работ показывает неоднозначность перечисленных характеристик при плавлении и кристаллизации, а также при сопоставлении друг с другом различных видов кристаллизации. Так, твердые тела плавятся без перегревов этой фазы, а жидкости перед кристаллизацией склонны к значительным переохлаждениям; при одинаковых скоростях нагревания и охлаждения, скорости теплопоглощения при плавлении и тепловыделения при кристаллизации отличаются друг от друга; температура кристаллизации  $T_S$  не всегда соответствует температуре плавления  $T_L$ . Всё это создает условия образования гистерезисных явлений при сравнении фазовых превращений в прямом и обратном направлении [7–12].

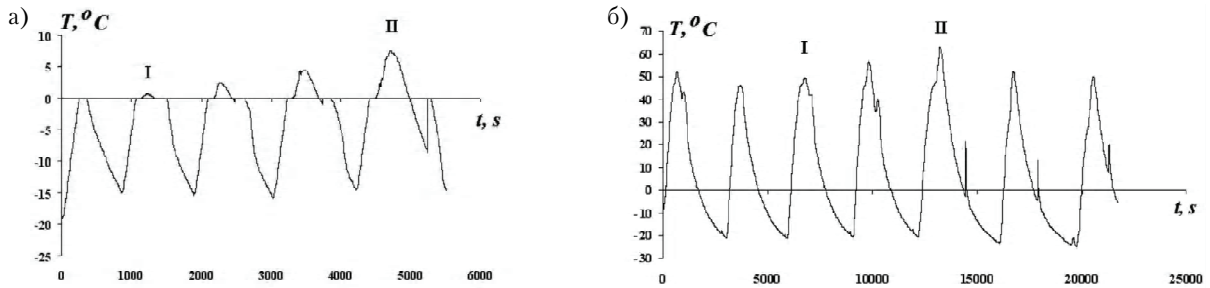
Так как для ФПТАМ гистерезисные явления нежелательны, то для выяснения механизмов прямых и обратных фазовых превращений, их взаимосвязи друг с другом, выявления причин отличия неравновесной кристаллизации от равновесной, исследования термических гистерезисов представляется довольно актуальной задачей.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

На рисунке 1 показаны экспериментальные кривые нагревания-охлаждения  $H_2O$  (а) и  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  (б), полученные методом циклического термического анализа (ЦТА) [13] на образцах массами 0,5 грамм, нагреваемых (охлаждаемых) со скоростью  $\sim 0,25$  °/с. На термограммах виден переход от квазиравновесной кристаллизации КРК (I), при охлаждении после небольшого перегрева к неравновесно-

взрывной кристаллизации НРВК (II), после значительных перегревов относительно температуры плавления  $T_L$ .

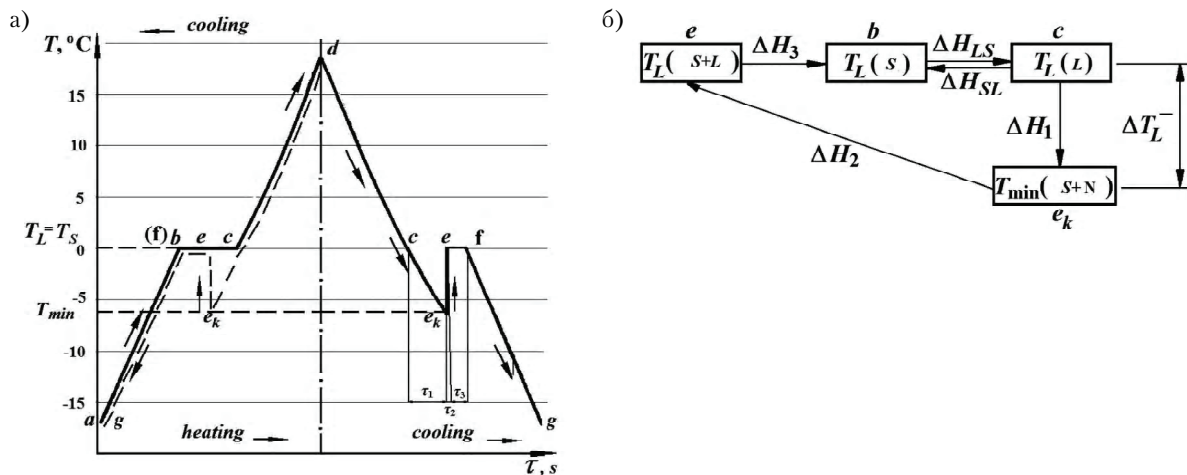
Ввиду того, что вода, как компонент в виде «свободной» составляющей в водном растворе либо в «связанном» состоянии в виде кристаллизационной воды в  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , является одним из основных составляющих, рассмотрен классический вариант плавления и кристаллизации на примере воды (рис. 1 а). Слабо прогретая вода ( $T \leq 4 \text{ }^\circ\text{C}$ ) кристаллизуется при охлаждении равновесно при температуре  $T_S = T_L = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , т. е. никаких гистерезисных явлений не возникает.



**Рисунок 1** – Экспериментальные термограммы плавления-кристаллизации воды (а) и пентагидрата тиосульфата натрия (б).

Для анализа различных видов ТГ приведены схематические термограммы плавления и кристаллизации в координатах температура  $T$  – время  $\tau$ .

Проанализированы термограммы нагревания  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$  и охлаждения  $d \rightarrow e_k \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow g$  воды, приведенные на рис. 2 а. Гистерезис первого рода (ТГ-I) возникает при сопоставлении процессов плавления и неравновесной кристаллизации из переохлажденного состояния.



**Рисунок 2** – Термограмма воды, характеризующая термический гистерезис первого рода ТГ-I (а) и схема изменения энтальпий фазовых превращений (б).

Неравновесная кристаллизация воды начинается после инкубационного периода  $\tau_1$  (на участке  $se_k$ ) при температуре  $T_{\min}$  (точка  $e_k$ ), затем в результате взрывной кристаллизации температура поднимается за время  $\tau_2$  (участок  $e_k e$ ) со скоростью  $\sim 50 \text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$  до  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . В результате затвердевает некоторая часть  $\beta$  жидкой фазы. Далее идет изотермическая докристаллизация оставшейся части  $(1-\beta)$  образца за время  $\tau_3$  по пути  $e \rightarrow f$  при температуре  $T_S = T_L$ . Для зарисовки петель гистерезиса запись кривой охлаждения (начиная с верхней точки  $d$ ) выполнен в противоположном направлении. При развороте кривой охлаждения  $de_k efg$ , характеризующей неравновесную кристаллизацию, и ее совмещении с кривой нагревания  $abcd$  видна разница между этими линиями с образованием петли гистерезиса в виде замкнутой фигуры  $se_k ec$ . При ТГ-I общая энтальпия при неравновесной кристаллизации состоит из трех составляющих энтальпий: зародышеобразования  $\Delta H_1$ , коагуляции зародышей  $\Delta H_2$  и докристаллизации оставшейся части жидкости  $\Delta H_3$ , которые в сумме дают значение общей энтальпии

затвердевания  $\Delta H_{SL}$  (рис. 2 б). Суммарная энтальпия кристаллизации  $\Delta H_{SL}$  при ТГ-I примерно совпадает с энтальпией плавления  $\Delta H_{LS}$ . Однако скорость образования твердой фазы при «взрывной» кристаллизации на участке  $e_k$  в 200 раз превышает скорость образования твердой фазы при равновесной кристаллизации на участках  $cb$  и  $ef$ . Величину, характеризующую термический гистерезис ТГ-I, можно определить по формуле:

$$\Delta H^I = \Delta H_{LS} - (\alpha \Delta H_{LS} + \Delta c_p \Delta T_L^-), \quad (1)$$

где  $\Delta T_L^- = 8^\circ$  – переохлаждение относительно температуры плавления  $T_L$ ,  
 $\alpha = \frac{\tau_1}{\tau_s} = 0,4$  – доля всех зародышей в переохлажденном образце за время  $t_1$ ,  
 $\tau_s$  – общее время кристаллизации (определяются из термограммы),  
 $c_p^L = 4,19$  кДж/кг·К,  $c_p^S = 2,04$  кДж/кг·К – удельные теплоемкости жидкой и твердой фазы,  
 $\Delta H_{LS} = 335$  кДж/кг – удельная энтальпия плавления льда [14]. Расчеты по формуле (1) дают значение  $\Delta H^I = 49,8$  кДж/кг. Значение величины термического гистерезиса, полученное экспериментально,  $\Delta H^I = 50,5$  кДж/кг.

Для целого ряда веществ установлено, что кристаллизация происходит изотермически при температуре  $T_S < T_L$ , либо неравновесно с переохлаждениями  $\Delta T_{LS}^- = T_L - T_S$  относительно  $T_S$ . К ним в основном относятся вещества, разные фазы которых имеют свои температуры плавления, либо которые при плавлении переходят из одной формы в другую, например кристаллогидраты  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ,  $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ ,  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ,  $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$ ,  $NaCH_3COO \cdot 3H_2O$  и др. [15].

Термограмма I (рис. 1 б) свидетельствует о квазиравновесных процессах плавления ТСН-5 при средней температуре  $T_L \approx 48,0^\circ C$  и кристаллизации при  $T_S \approx 33^\circ C$  с разницей  $\Delta T_{LS}^- \approx 15,0^\circ$ . Термограмма II показывает, что кристаллизация начинается при температуре  $T_{min} \approx -2^\circ C$  и носит неравновесно-взрывной характер. В данном случае имеет место переохлаждение как относительно температуры плавления  $\Delta T_L^- = T_L - T_{min} \approx 50^\circ$ , так и относительно температуры равновесной кристаллизации  $\Delta T_S^- = T_S - T_{min} \approx 35^\circ$ . Подобные изменения температуры  $T_S$  относительно  $T_L$  связаны с тем, что кристаллогидрат  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$  сразу после плавления переходит в метастабильную фазу  $Na_2S_2O_3 \cdot 4H_2O$ .

На рис. 3 приведены схематические термограммы кристаллогидрата  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ , характеризующие подобные фазовые превращения. Слева показана термограмма нагревания  $abcd'$  и охлаждения  $d'hkg$  после незначительного прогрева жидкой фазы. Справа термограммы предварительно перегретого раствора,  $d > d'$ .

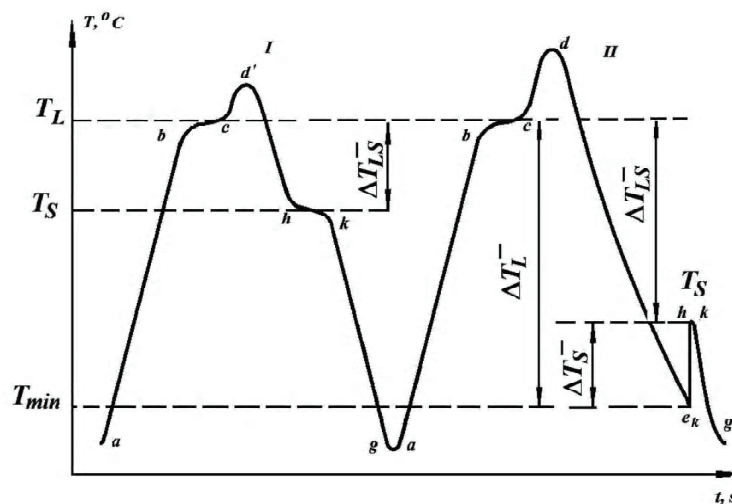


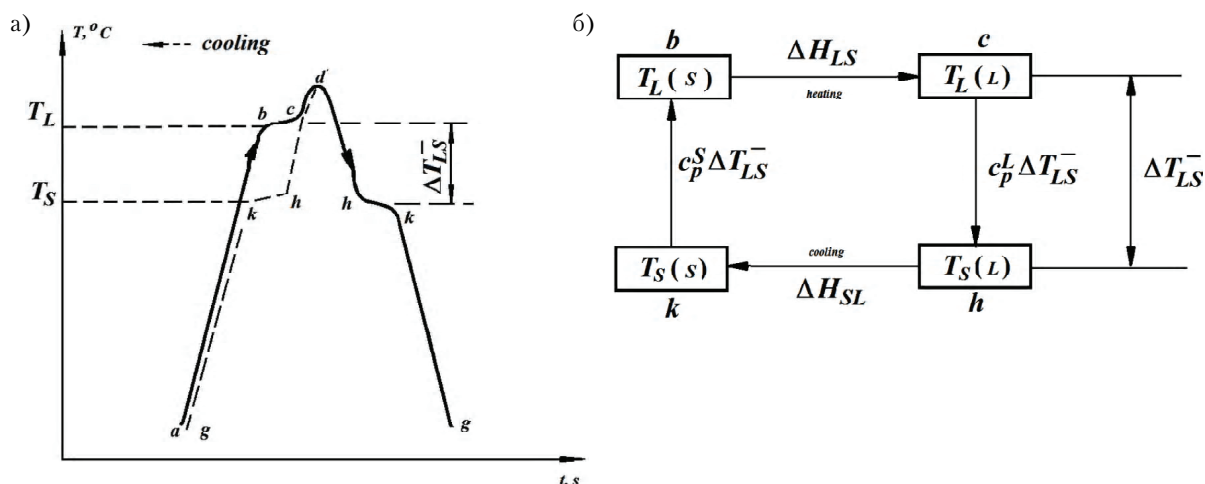
Рисунок 3 – Термограмма кристаллогидрата  $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ , характеризующая фазовые превращения разного рода.

Проанализированы термограммы нагревания и охлаждения, когда равновесная кристаллизация происходит при постоянной температуре  $T_S < T_L$ . Рассмотрено отдельно термограмму ТСН-5, характеризующую равновесный характер плавления при  $T_L$  и равновесную кристаллизацию при  $T_S$  (рис. 4 а). Из сопоставления кривой нагревания  $abcd'$  и кривой охлаждения  $d'hkg$ , записанной в



противоположном направлении, определена фигура петли гистерезиса в форме  $chkbc$ . Характерно, что как плавление, так и равновесная кристаллизация являются изотермическими процессами. Т. о., при наличии своеобразного переохлаждения  $\Delta T_{LS}^-$ , имеет место равновесная кристаллизация при  $T_S$ . Назовем это явление термическим гистерезисом второго рода (ТГ-II).

Схема изменения энтальпий при ТГ-II приведена на рис. 4 б в виде четырехугольника  $chkbc$ . При ТГ-II энтальпия плавления  $\Delta H_{LS}$  отличается от энтальпии кристаллизации  $\Delta H_{SL}$ . Петля гистерезиса  $bchkb$  состоит из двух изотерм  $bc$ ,  $hk$  и двух изобар: с нагревом твердой фазы ( $k \rightarrow b$ ) и охлаждением жидкой фазы ( $c \rightarrow h$ ).



**Рисунок 4** – Термограмма  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , характеризующая термический гистерезис второго рода ТГ-II (а), и схема изменения энтальпий при таком процессе (б).

Тогда для кругового процесса  $k \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow h \rightarrow k$  очевидно:

$$c_p^S \Delta T_{LS}^- + \Delta H_{LS} \approx c_p^L \Delta T_{SL}^- + \Delta H_{SL}, \quad (2)$$

где  $c_p^L$  и  $c_p^S$  – удельные теплоемкости жидкой и твердой фаз. Откуда в первом приближении энтальпия кристаллизации  $\Delta H_{SL}$  будет равна

$$\Delta H_{SL} = \Delta H_{LS} - \Delta c_p \Delta T_{LS}^-. \quad (3)$$

Стандартными термодинамическими характеристиками  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  являются:  $c_p^S = 1,4$  кДж/кг·К;  $c_p^L = 2,4$  кДж/кг·К,  $\Delta H_{LS} = 204,0$  кДж/кг [16, 17]. Расчеты по формулам (2)–(3) дают значения:  $\Delta H_{SL} = 189,0$  кДж/кг, а величина, характеризующая термический гистерезис ТГ-II  $\Delta H^{II} = 15,0$  кДж/кг. Значение величины термического гистерезиса, полученное экспериментально  $\Delta H^{II} = 18,0$  кДж/кг.

Еще более сложные фигуры вырисовываются при наложении друг на друга кривых нагревания и охлаждения, сочетающих термические гистерезисы первого и второго рода (рис. 5 а) при  $T_S < T_L$ , в соответствии с термограммой II для кристаллогидрата на рис. 1 б.

В этом случае общая петля  $ce_k h' kbc$  состоит из участков  $he_k h' h$  для ТГ-I (относительно температуры  $T_S$ ) и  $chkbc$  для ТГ-II. В таком комбинированном варианте видим три переохлаждения  $\Delta T_L^-$ ,  $\Delta T_S^-$  и  $\Delta T_{LS}^-$ . При комбинированном гистерезисе  $\Delta H_{LS} \neq \Delta H_{SL}$ ,  $T_S < T_L$ ,  $\Delta T_L^- = T_L - T_{\min}$ ,  $\Delta T_S^- = T_S - T_{\min}$ ,  $\Delta T_{LS}^- = T_L - T_S$  или  $\Delta T_{LS}^- = \Delta T_L^- - \Delta T_S^-$ . Схема изменения энтальпий плавления и кристаллизации при КГ показана на рис. 5 б: при плавлении по пути  $bc$ , при изотермической кристаллизации при  $T_S$  по направлению  $chkb$  и при неравновесной кристаллизации  $ce_k h' kb$ .

Величина  $\Delta H^{III}$ , характеризующую комбинированный термический гистерезис КГ, определена по формуле:

$$\Delta H^{III} = c_p^S (T_L - T_S) + \Delta H_{LS} - c_p^L (T_L - T_{\min}) + c_p^S (T_S - T_{\min}). \quad (4)$$

Получаем значение  $\Delta H^{III} = 39,6$  кДж/кг. Экспериментально значение величины термического гистерезиса  $\Delta H^{III} = 37,0$  кДж/кг.

Проанализируем пути изменения энергий Гиббса для жидкой  $G_L$  и твердой  $G_S$  фаз при нагревании и охлаждении с формированием ТГ-I и ТГ-II (рис. 6). Вначале рассмотрим первый вариант с ТГ-I.



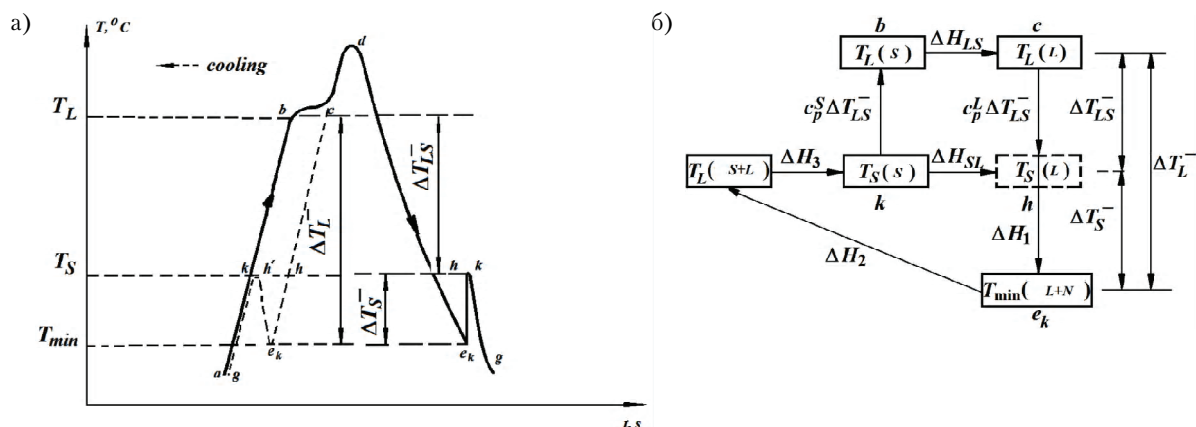


Рисунок 5 – Термограммы, характеризующие комбинированный гистерезис, на основе ТГ-I и ТГ-II (а), и схема изменения энтальпий при таком процессе (б).

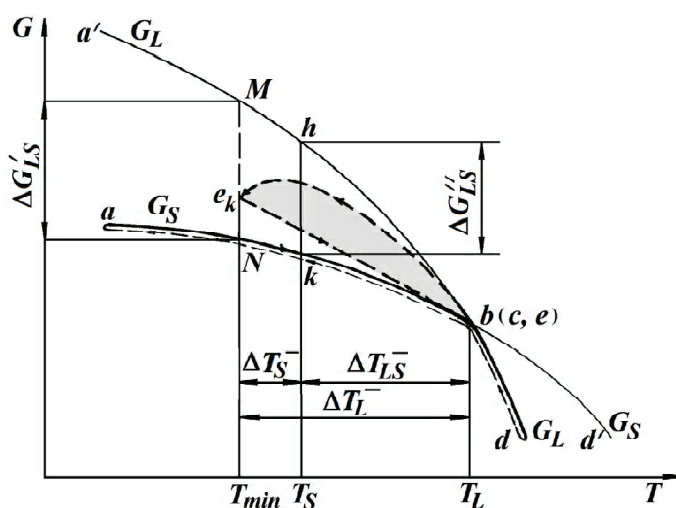


Рисунок 6 – Зависимость энергий Гиббса для жидкой ( $G_L$ ) и твердой ( $G_S$ ) фаз от температуры.

В отсутствие ТГ путь  $d \rightarrow c(\rightarrow b) \rightarrow a$  изменения энергии Гиббса при понижении температуры  $T$  (с учетом равновесной кристаллизации) совпадает с направлением  $a \rightarrow b(\rightarrow c) \rightarrow d$  в обратную сторону при повышении температуры  $T$  (с учетом равновесного процесса плавления).

При охлаждения раствора и его перевода в переохлажденное состояние кривая  $G_L(T)$  должна пройти через точки  $d \rightarrow b(\rightarrow c) \rightarrow a'$ , а кривая  $G_S(T)$  – через точки  $d' \rightarrow b(\rightarrow c) \rightarrow a$ . Если кристаллизация начнется при температуре  $T_{\min}$  в произвольной точке  $e_k$  на линии  $MN$ , то ход линий  $G_L(T)$  будет зависеть от типа кристаллизации. Если точка  $e_k$  совпадет с точкой  $M$ , то в процессе взрывной кристаллизации за счет теплоты кристаллизации температура должна подняться от точки  $M$  (при  $T_{\min}$ ) до температуры плавления  $T_L$ . Если кристаллизация завершится при  $T_L$ , то ход функции  $G_L(T)$  с учетом фазового превращения пройдет по точкам  $d \rightarrow (b \rightarrow c) \rightarrow M \rightarrow c(\rightarrow b) \rightarrow a$  без образования петли гистерезиса с кривой  $G_S(T)$   $d' \rightarrow b(\rightarrow c) \rightarrow a$ , что не согласуется с термограммами на рис. 1. Кроме того, в данном случае не учитываются процессы зародышеобразования, а структура жидкости остается идеальной как ниже, так и выше температуры плавления. С учетом процесса зародышеобразования кривая  $G_L(T)$  должна отображать жидко-твердое состояние, поэтому ниже температуры плавления  $T_L$  она будет сближаться с кривой  $G_S(T)$  по пути  $b \rightarrow e_k$ . Коагуляция зародышей начинается только в случае достижения критической границы метастабильного состояния, т. е. температуры  $T_{\min}$  в одной точке  $e_k$  с последующим быстрым подъёмом температуры до  $T_L$  (по прямой  $e_k \rightarrow e$ ). Если же кристаллизация будет полностью происходить по линии  $MN$  при  $T_{\min}$ , то непонятно за счет чего температура должна подниматься от  $T_{\min}$  до  $T_L$ . Поэтому остаётся один вариант, показанный на рис. 6, поскольку согласно, например, рис. 2 а температура из точки  $e_k$  скачком поднимается до  $T_L$ , что характеризует один из этапов кристаллизации, а именно второй за время  $\tau_2$ .

Что касается ТГ-I, то петля, очевидно, будет иметь вид фигуры *bhkb* в соответствии с рис. 4 а, т. к. весь процесс, например равновесной кристаллизации, происходит изотермически при температуре  $T_S$  по линии *hk*, а процесс плавления при  $T_L$  по линии *bc*. При комбинированном гистерезисе в соответствии с правой термограммой на рис. 5 а после начала взрывной кристаллизации температура от  $T_{\min}$  (т. е. точки  $e_k$ ) в зависимости от условий эксперимента (массы, скорости охлаждения и пр.) может подняться до определенной точки на линии *Nb* с образованием соответствующей формы петли гистерезиса. Из рис. 6 видно, что движущими силами кристаллизации являются разности энергий Гиббса:  $\Delta G'_{LS}$  для ТГ-I и  $\Delta G^-_{LS}$  для ТГ-II. Но если для ТГ-I  $\Delta G_{LS}$  есть функция переохлаждения  $\Delta T^-_L$ , а кристаллизация является неравновесной (во всяком случае, на этапе зародышеобразования), то для ТГ-II при наличии переохлаждения  $\Delta T^-_{LS}$  кристаллизация происходит равновесно и изотермически.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имеется «весомый» аргумент трактовки термических гистерезисных явлений, исходя из того факта, что твёрдые тела при плавлении практически не перегреваются, а жидкости кристаллизуются после достижения определённых переохлаждений. В работе [18] было показано, что при образовании зародышей жидкой фазы при плавлении и зародышей кристаллов при кристаллизации имеет место гистерезисный эффект, связанный с дефектами кристалла в виде дислокаций. Наличие дефектов в кристалле «облегчает» их плавление, а для образования кристалла с дефектами и их удержания в зародыше требуется дополнительная энергия, что затрудняет и задерживает процесс формирования реальных кристаллов. Возможно, гистерезисные эффекты при плавлении и кристаллизации как раз и связаны с реальной структурой конденсированных сред [19–23].

Таким образом, различные виды кристаллизации (на примере воды и пентагидрата тиосульфата натрия) проанализированы с учетом законов термодинамики. Построены схемы изменения энтальпий при различных видах кристаллизации. Описаны явления термического гистерезиса первого, второго и комбинированного типа, которые являются нежелательными для создания фазопереходных теплоаккумулирующих материалов.

По приведенным схемам изменения энтальпий можно спрогнозировать значения величины термического гистерезиса, что является желательным для создания фазопереходных теплоаккумулирующих материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбинская, Ю. С. Синтез и исследование свойств гранул микрокапсулированного теплоаккумулирующего материала / Ю. С. Альбинская, Ф. Ресснер, М. С. Базаржани. – Текст : непосредственный // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2014. – Том 16, № 3. – С. 252–256.
2. Зорина, И. Г. Расчет теплообмена и изменения соотношения фаз в протяженных проточных аккумуляторах теплоты с прямоугольными вставками / И. Г. Зорина, Н. А. Россихин, А. Г. Чукаев. – DOI 10.7663/0416.0836051. – Текст : электронный // Наука и образование МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2016. – № 04. – С. 34–47. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_26537118\\_12974221.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26537118_12974221.pdf) (дата обращения: 11.01.2022).
3. Кашаев, Р. С. Изучение методами калориметрии и ядерной релаксометрии фазовых переходов в кристаллогидратах – аккумуляторах тепла / Р. С. Кашаев, А. Г. Н. Масиаб. – Текст : непосредственный // Проблемы энергетики. – 2013. – № 1–2. – С. 77–92.
4. Кенисарин, М. М. Кратковременное аккумулирование солнечной энергии. Низкотемпературные фазопереходные материалы / М. М. Кенисарин. – Текст : непосредственный // Гелиотехника. – 1993. – № 2. – С. 46–64.
5. Левенберг, В. Д. Аккумулирование тепла / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач, В. А. Гольстрем. – Киев : «Техника», 1991. – 112 с. – Текст : непосредственный.
6. Бекман, Г. Тепловое аккумулирование энергии / Г. Бекман, П. Гили. – Москва : «Мир», 1987. – 272 с. – Текст : непосредственный.
7. Гистерезис температур плавления и кристаллизации наночастиц металлов / Д. Н. Соколов, Н. Ю. Сдобников, П. В. Комаров, В. М. Самсонов. – Текст : непосредственный // Строение и свойства металлов и шлаковых расплавов : в 4 т : труды XIII российской конференции, Екатеринбург, 12–16 сентября 2011 г. ; РАН, секция физ.-хим. основ металлург. процессов. – Екатеринбург : [б. и.], 2001. – С. 26–29.
8. Формирование петли температурного гистерезиса при фазовом переходе металл-полупроводник в плёнках диоксида ванадия / В. А. Климов, И. О. Тимофеева, С. Д. Ханин [и др.]. – Текст : непосредственный // ЖТФ. – 2002. – Том 72, № 9. – С. 67–74.
9. Жилина, Л. И. О взаимосвязи энтальпий растворения, кристаллизации и плавления / Л. И. Жилина, Е. И. Ахунов. – Текст : непосредственный // Журнал физической химии. – 1976. – № 3. – С. 784–785.
10. Борыняк, Л. А. Температурный гистерезис при плавлении и кристаллизации нанобъектов / Л. А. Борыняк, А. П. Чернышов. – Текст : непосредственный // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2014. – № 1 (54). – С. 172–179.

11. Замулин, И. С. Исследование методом молекулярной динамики некоторых физических свойств нанокристаллов Pt и Pd при процессах плавления и кристаллизации / И. С. Замулин, С. Л. Гафнер. – Текст : непосредственный // *Материалы Международной научно-технической конференции*, 2012, Москва ; часть 1. – Москва : Intermatic, 2012. – С. 15–18.
12. Александров, В. Д. Термический гистерезис при плавлении и кристаллизации макрообъектов / В. Д. Александров, Е. А. Покинтелица, А. Ю. Соболев. – Текст : непосредственный // *Журнал технической физики*. – 2017. – Том 87, выпуск 5. – С. 722–725.
13. Александров, В. Д. Новый метод термического анализа для исследования кинетики кристаллизации селена / В. Д. Александров, А. Ю. Кудзин, В. И. Петренко. – Текст : непосредственный // *Неорганические материалы*. – 1990. – Том 29, № 10. – С. 1120–1124.
14. Зацепина, Г. Н. Свойства и структура воды / Г. Н. Зацепина. – Москва : Изд-во МГУ, 1998. – 184 с. – Текст : непосредственный.
15. Киргинцев, А. Н. Растворимость неорганических веществ в воде : справочник / А. Н. Киргинцев, Л. Н. Трушников, В. Г. Лаврентьева. – Ленинград : Изд-во «Химия», 1972. – 248 с. – Текст : непосредственный.
16. Александров, В. Д. Экспериментальное исследование влияния перегрева жидкой фазы относительно температуры плавления  $T_L$  на процесс кристаллизации натрия тиосульфата пятиводного / В. Д. Александров, О. В. Соболев. – Текст : непосредственный // *Научные труды Донецкого национального технического университета*. Серия: Химия и химическая технология. – 2005. – № 108(8). – С. 65–71.
17. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов / А. Г. Мозговой, Э. Э. Шпильрайн, М. А. Дибиров [и др.]. – Текст : непосредственный // *Кристаллогидраты*. – 1990. – № 2-(82). – С. 105.
18. Александров, В. Д. Сопоставление перегрева кристаллов при плавлении и переохлаждении расплавов при кристаллизации / В. Д. Александров, О. В. Соболев. – Текст : непосредственный // *Журнал физической химии*. – 2007. – Том 81, № 11. – С. 2100–2103.
19. Александров, В. Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлажденных расплавов и аморфных сред : сборник избранных трудов / В. Д. Александров. – Донецк : Донбасс, 2011. – 591 с. – Текст : непосредственный.
20. Лященко, А. К. Структурные и молекулярно-кинетические свойства концентрированных растворов и фазовые равновесия водно-солевых систем / А. К. Лященко. – Текст : непосредственный // *Концентрированные и насыщенные растворы*. – Москва : Наука, 2002. – С. 93–118.
21. Анализ структуры и свойств разбавленных водных систем / В. А. Хан, В. А. Власов, В. Ф. Мышкин [и др.]. – Текст : непосредственный // *Научный журнал КубГАУ*. – 2012. – № 8(07). – С. 1–14.
22. Шабловский, Я. О. Изотермические и неізотермические процессы в концентрированных растворах / Я. О. Шабловский. – Текст : непосредственный // *Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология*. – 2017. – № 4. – С. 229–247.
23. Линников, О. Д. Механизм формирования осадка при спонтанной кристаллизации солей из пересыщенных водных растворов / О. Д. Линников. – Текст : непосредственный // *Успехи химии*. – 2014. – Том 83, № 4. – С. 343–364.

Получена 13.01.2022

С. О. ФРОЛОВА, О. В. СОБОЛЬ, О. Ю. СОБОЛЕВ  
 АНАЛІЗ ТЕРМІЧНИХ ГІСТЕРЕЗИСНИХ ЯВИЩ ПРИ ПЛАВЛЕННІ ТА  
 КРИСТАЛІЗАЦІЇ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   
 ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Процеси плавлення і кристалізації лежать в основі створення фазоперехідних теплоаккумуляційних матеріалів (ФПТАМ). Оскільки для ФПТАМ гистерезисні явища небажані, то для з'ясування механізмів прямих і зворотних фазових перетворень, їх взаємозв'язку одного з одним, виявлення причин відмінності нерівноважної кристалізації від рівноважної, дослідження термічних гистерезисів є досить актуальним завданням. У даній роботі на підставі аналізу термограм нагрівання та охолодження  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (ТСН-5) проаналізовані різні термічні гистерезисні процеси. Виявлено три види термічного гистерезису: першого типу (ТГ-I) – при зіставленні рівноважного процесу плавлення з процесом нерівноважної кристалізації; другого типу (ТГ-II) – при зіставленні рівноважних процесів плавлення і кристалізації, що відрізняються один від одного температурами плавлення і кристалізації, а також комбінованого (КГ), що поєднує в собі ТГ-I і ТГ-II. Розроблено схеми зміни ентальпій і енергій Гіббса при різних видах гистерезисних явищ. За наведеними схемами зміни ентальпій, можна спрогнозувати значення величини термічного гистерезису, що є бажаним для створення ФПТАМ.

**Ключові слова:** плавлення, кристалізація, пентагідрат тиосульфату натрію, теплоаккуюлюючий матеріал, термічний гистерезис.

SVETLANA FROLOVA, OKSANA SOBOL, ALEKSANDR SOBOLEV  
ANALYSIS OF THERMAL HYSTERESIS PHENOMENA DURING MELTING AND  
CRYSTALLIZATION  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$   
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The processes of melting and crystallization underlie the creation of phase-transitive heat-accumulating materials (PTHAM). Since hysteresis phenomena are undesirable for PTHAM, it is quite an urgent task to clarify the mechanisms of direct and reverse phase transformations, their interrelation with each other, to identify the reasons for the difference between nonequilibrium crystallization and equilibrium, the study of thermal hysteresis is quite an urgent task. In this work, various thermal hysteresis processes were analyzed based on the analysis of heat and cooling thermograms  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Three types of thermal hysteresis were identified: the first type (TG-I) – when comparing the equilibrium melting process with the non-equilibrium crystallization process; of the second type (TG-II) – when comparing equilibrium melting and crystallization processes with different melting and crystallization temperatures, as well as combined (KG), combining TG-I and TG-II. Schemes for changing enthalpy and Gibbs energies in various types of hysteresis phenomena have been developed. According to the above enthalpy change schemes, it is possible to predict values of the thermal hysteresis value, which is desirable for the creation of phase transition heat storage materials.

**Key words:** melting, crystallization, sodium thiosulfate pentahydrate, heat storage material, thermal hysteresis.

**Фролова Светлана Александровна** – кандидат химических наук, доцент; заведующая кафедрой физики и физического материаловедения ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

**Соболь Оксана Викторовна** – кандидат химических наук, доцент кафедры физики и физического материаловедения ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

**Соболев Александр Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры физики и физического материаловедения ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

**Фролова Світлана Олександрівна** – кандидат хімічних наук, доцент; завідувач кафедри фізики і фізичного матеріалознавства ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

**Соболь Оксана Вікторівна** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри фізики і фізичного матеріалознавства ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

**Соболев Олександр Юрійевич** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики і фізичного матеріалознавства ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

**Frolova Svetlana** – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor; Head of Physics and Physical Materials Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

**Sobol Oksana** – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor, Physics and Physical Materials Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

**Sobolev Aleksandr** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Physics and Physical Materials Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

УДК 692.232.4

**А. А. БАРМОТИН**ГУП ДНР «Донецкий проектно-исследовательский институт железнодорожного транспорта  
"ДОНЖЕЛДОРПРОЕКТ"»

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФАСАДОВ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ**

**Аннотация.** Наружная отделка фасадов зданий выполняет не только декоративную и эстетическую функции, но и предохраняет ограждающие стеновые конструкции от неблагоприятных внешних воздействий, таких как повышенная влажность наружного воздуха, перегрев от воздействия ультрафиолетового излучения, проникновение в несущие стены плесени, грибка и т. д. При применении современных технологий и материалов по отделке фасадов возможно выполнение дополнительного утепления стен. Наружное утепление способствует сохранению благоприятного микроклимата внутри помещений, избавляя от лишней влаги, образования грибка и промерзания ограждающих конструкций. В связи с этим выполнен анализ и классификация факторов, влияющих на выбор технологии устройства и ремонта фасадов гражданских зданий. Выявлены конструктивно-технологические особенности наиболее распространённых фасадных систем, а именно системы навесных вентилируемых фасадов и системы со штукатурными покрытиями с теплоизоляционным слоем.

**Ключевые слова:** ограждающие конструкции, факторы, фасадные системы, навесной вентилируемый фасад, штукатурный фасад, конструктивно-технологические особенности.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Процесс устройства наружной отделки фасадов зданий, как правило, сопровождается работами по утеплению стен вследствие их несоответствия современным требованиям строительных норм и требований, морального износа, различных дефектов и повреждений, приобретенных стеновыми конструкциями за годы эксплуатации. Большинство стеновых ограждающих конструкций гражданских зданий имеют высокую теплопроводность вследствие малой толщины теплоизоляционного слоя или полного его отсутствия и нуждаются в устройстве или замене теплоизоляционного слоя. При этом к вопросу утепления ограждающих конструкций необходимо ответственно подходить не только при подборе материалов на стадии строительства и проектирования, но и учитывать многочисленные факторы, влияющие на выбор устройства фасадов зданий.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

В научно-технической литературе [1, 2, 3, 4] можно встретить рекомендации о различных конструктивных решениях по устройству стеновых ограждающих конструкций современными фасадными системами, однако отсутствует четкая методика по их выбору с учетом конструктивно-технологических особенностей по устройству фасадов зданий в конкретных условиях с учетом всех факторов. Это предопределяет необходимость дальнейшего анализа основных факторов, влияющих на выбор устройства фасадной системы.

### **ЦЕЛИ**

Проанализировать основные факторы, влияющие на выбор технологии устройства фасадов зданий, сравнить наиболее распространенные фасадные системы и выявить их конструктивно-технологические особенности.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Определяющим фактором при выборе устройства фасадов зданий является его конструктивное решение. В работе рассматриваются следующие конструкции наружных стен:

– наружные стены с фасадной теплоизоляцией и отделкой штукатуркой. В таких системах слой теплоизоляции крепится к несущей части стены за счет клеевых, механических способов крепления с последующим нанесением отделочного покрытия на слой теплоизоляции;

– вентилируемые фасадные системы с воздушным зазором и облицовкой индустриальными элементами. Благодаря технологическим и эстетическим возможностям подобные технологии широко используются на протяжении 10–20 лет. В настоящее время насчитывается более 40 вариантов навесных фасадных систем, с каждым годом появляются новые технические решения и научные разработки.

Однако результаты мониторинга фасадных систем, находящихся в эксплуатации, показывают, что количество проблем не убавилось, связано это в основном из-за недостатка профессионализма монтажников, а также неучтенных факторов и массового брака, допускаемого на различных стадиях реализации проекта.

Одним из критериев, влияющих на выбор материалов и технологии устройства фасадов зданий, являются свойства материалов, применяемых для выполнения фасадных работ. Классификация факторов, влияющих на выбор технологии устройства и ремонта фасадов зданий, показана на рисунке.

Такие составляющие фактора материалов, как прочностные характеристики системы, химическая совместимость материалов, стойкость к атмосферному воздействию, пожаростойкость, теплоизолирующие свойства, необходимо учитывать еще на стадии принятия решения конструктивной системы фасадов.

Следует также отметить, что выбор технологии устройства фасадов требует квалифицированного подхода не только при проектировании, расчете и подборе материалов, но и при монтаже конструкций. В основе работ по устройству фасадов гражданских зданий должен лежать комплексный технологический подход. В зависимости от вида работ, материалов, условий транспортировки, стесненных условий застроенной части населенных пунктов, объема и массы конструкций определяется технология устройства фасадов. Особенности технологии выполнения разных конструктивных решений фасадов определяют не только профессию исполнителей (штукатур или монтажник фасадных систем), но и необходимость в специальном оборудовании, сроки выполнения работ, возможность устройства фасадов без выравнивания поверхности. Выполнять работы должны специализированные квалифицированные монтажные бригады.

В настоящее время особое внимание уделяется такому фактору, как экологическая и пожарная безопасность фасадных систем и возможность вторичной переработки строительных материалов. Необходимо использовать материалы, имеющие необходимые сертификаты соответствия строительным нормам и требованиям.

На выбор метода устройства фасадов также влияют факторы, не связанные с надежностью фасадной конструкции – это эстетичность фасада, способность усиливать архитектурную выразительность здания.

В настоящее время отсутствуют специальные рекомендации по научно-обоснованному выбору рациональных решений устройства фасадов зданий. Проектировщики и заказчики, полагаясь на личный опыт и рекомендации производителей работ и поставщиков материалов, производят выбор материалов и технологий интуитивно. В связи с этим зачастую определяющим фактором служит стоимость 1 м<sup>2</sup> без учета выявленных факторов.

Таким образом, необходимы исследования и анализ в области рационального применения различных технологий при устройстве фасадов гражданских зданий с учетом всех требований и вышеперечисленных факторов. Для качественного проведения фасадных работ чрезвычайно важно правильно выбрать технологию устройства фасадов для конкретного объекта в конкретных условиях с учетом всех возможных факторов [5, 6, 7, 8, 9].

На основании этого проанализирована технологическая структура устройства фасадов гражданских зданий для двух принципиально разных вариантов производства фасадных работ, которые приняты для дальнейшего исследования:

- устройство системы навесного вентилируемого фасада;
- устройство системы штукатурного фасада.

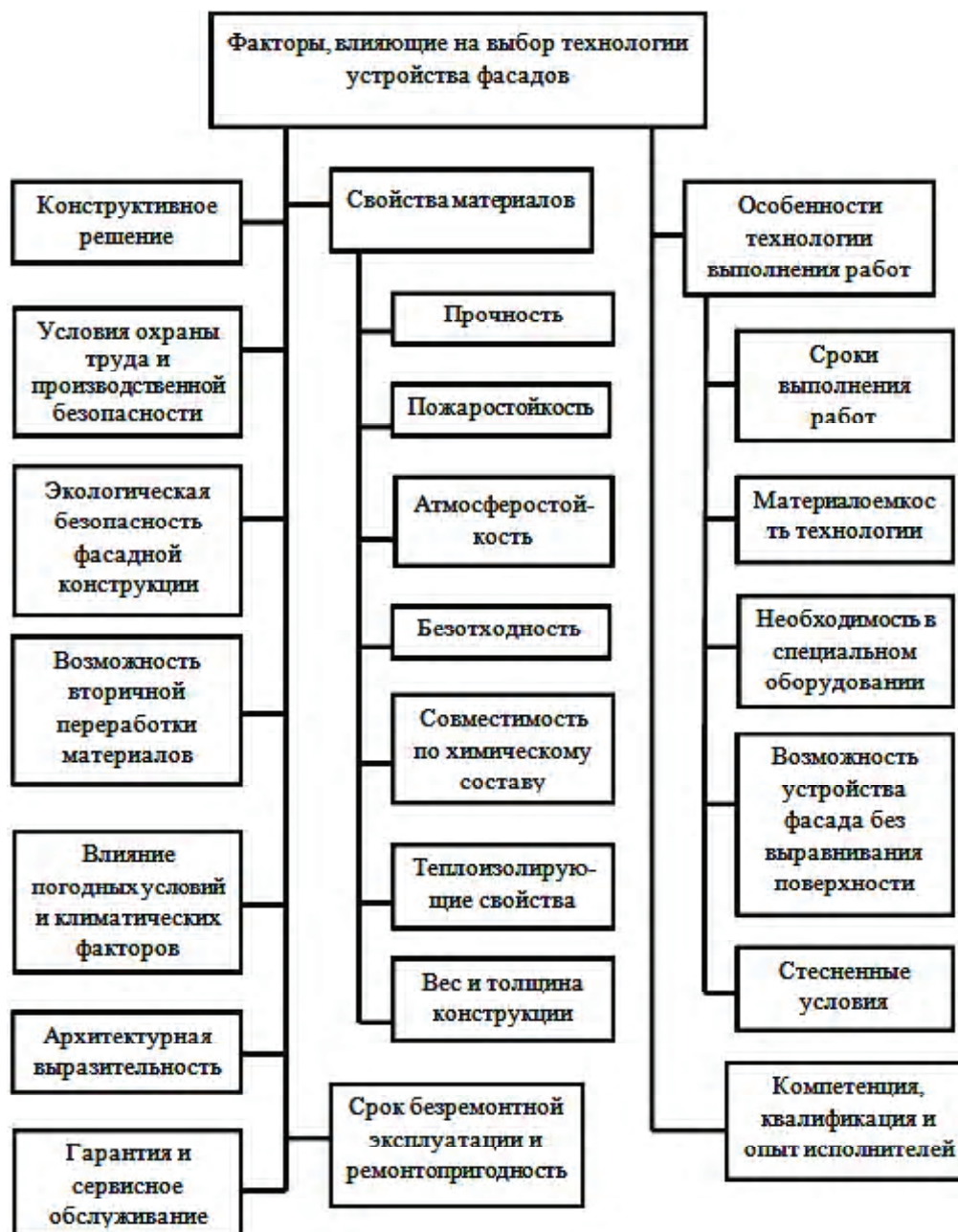


Рисунок – Основные факторы, влияющие на выбор технологии устройства фасадов.

Рассматриваемые варианты фасадных систем разделили на основные выполняемые технологические процессы.

Вариант с устройством навесного вентилируемого фасада включает в себя следующие процессы: демонтаж и очистка основания (при необходимости), сортировка и механическое крепление утеплителя, крепление опорных столиков (кронштейнов), монтаж вертикальных и горизонтальных прогонов, монтаж ветро-пароизоляционной пленки (по необходимости), монтаж облицовочных панелей и обрамление проемов.

Вариант с устройством штукатурного фасада включает следующие технологические операции: демонтаж и очистка основания, выравнивание основания, механическое крепление цокольного профиля, сортировка утеплителя, грунтовка подготовленной поверхности, нанесение клеевого состава на поверхность стены и на теплоизоляционный материал с последующим приклеиванием и механическим креплением (дюбелями) утеплителя, грунтовка утеплителя, крепление армирующей сетки, устройства нескольких слоев штукатурки, финишная декоративная штукатурка и окрашивание фасада (по необходимости).

При исследовании двух наиболее часто применяемых вариантов технологии устройства фасадов (штукатурного и навесного вентилируемого фасадов) были выявлены конструктивно-технологические особенности исследуемых фасадных систем, представленные в таблице.

**Таблица** – Конструктивно-технологические особенности наиболее распространенных фасадных систем

Наименование особенностей	Устройство навесной вентилируемой системы	Устройство штукатурной системы с теплоизоляционным слоем
Высокая скорость монтажа	+	+
Всесезонность производства работ	+	–
Выравнивание поверхности	–	+
Долговечность конструкции	25–30 лет	30 лет
Естественная вентиляция утеплителя	+	–
Высокий уровень заводской готовности	+	–
Подбор материала по химической совместимости	–	+
Сложные декоративные архитектурные элементы	–	+
Необходимость применения спец. машин (штукатурные станции)	–	+/-
Необходимость применения лесов	+/- <sup>1</sup>	+
Безотходность материалов	–	+
Вторичная переработка материалов	+	–
Устройство противопожарных рассечек	+/- <sup>3</sup>	+/- <sup>2</sup>

**Примечания:**

- <sup>1</sup> – возможность выполнять работы с вышек, люлек;
- <sup>2</sup> – при утеплении пенополистиролом;
- <sup>3</sup> – прерывание воздушного потока.

Установлено, что основными особенностями навесной вентилируемой фасадной системы являются:

- высокая скорость монтажа;
- всесезонность производства работ;
- отсутствие строгих требований к подготовке оснований;
- естественная вентиляция теплоизоляции за счет воздушного зазора в конструкции фасадной системы.

К основным особенностям устройства штукатурного фасада можно отнести:

- абсолютную стойкость к ветровым нагрузкам;
- выполнение сложных декоративных архитектурных элементов;
- безотходность материалов.

В связи с наличием такой особенности, как «мокрые» процессы нанесения штукатурки, накладываются серьезные ограничения на монтажные работы в холодное время года.

Основанием для выбора конструктивно-технологического решения по устройству ограждающих конструкций является технико-экономическое сравнение возможных вариантов с учетом конструктивно-технологических особенностей фасадных систем [10, 11].

В качестве показателей необходимо учитывать трудоемкость, стоимость выполнения работ, стоимость материалов и продолжительность выполнения работ.

Полученные данные сравнения двух фасадных систем показали, что наименее трудоемким, а значит и менее продолжительным является вариант устройства навесного вентилируемого фасада. При анализе приведенной стоимости выполнения фасадных работ стало очевидным, что вариант устройства штукатурного фасада с теплоизоляционным слоем является более экономичным по приведенной стоимости. Таким образом, стоимость материалов за 1м<sup>2</sup> конструкций для заказчика может являться решающей.

В результате проведенного технико-экономического анализа установлено, что оптимального конструктивно-технологического варианта по устройству фасадных систем при строительстве или ремонте зданий нет, поэтому нужно руководствоваться приоритетными показателями в каждом отдельном случае [12].



## ВЫВОДЫ

Проведенный анализ факторов и технико-экономических показателей двух наиболее широко распространенных фасадных систем показал, что в каждом отдельном случае необходимо выбирать по одному или нескольким приоритетным показателям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боград, А. Я. Рациональные технические решения теплоэффективных наружных стен жилых домов различных конструктивных систем / А. Я. Боград. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 1999. – № 2. – С. 2–3.
2. Гагарин, В. Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем. Температурно-влажностные воздействия и долговечность систем теплоизоляционных фасадов с тонким штукатурным слоем. В 2 частях. Часть 1 / В. Г. Гагарин. – Текст : непосредственный // АВОК. – 2007. – № 6. – С. 82–90.
3. Зорин, Р. Н. Анализ современных систем вентилируемых фасадов / Р. Н. Зорин, И. В. Съянов. – Текст : непосредственный // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2010. – № 1. – С. 139–142.
4. Современные фасадные системы / А. И. Менейлюк, В. С. Дорофеев, Л. Э. Лукашенко [и др.]. – Киев : Освита України, 2008. – 340 с. – Текст : непосредственный.
5. Техническая эксплуатация и технология ремонта зданий и сооружений : учебное пособие / В. Ф. Кобзарев, А. С. Никитин, М. В. Романенко [и др.] ; под редакцией А. С. Никитина и М. В. Романенко. – Санкт-Петербург : ВИТУ, 2003. – 251 с. – Текст : непосредственный
6. Кочерженко, В. В. Технология реконструкции зданий и сооружений : учебное пособие для студентов ПГС и ГСнХ / В. В. Кочерженко, В. Н. Лебедев. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 224 с. – Текст : непосредственный.
7. Шихов, А. Н. Реконструкция гражданских и промышленных зданий : монография / А. Н. Шихов ; Министерство с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО «Пермская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д. Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Покрость», 2015. – 399 с. ISBN 978-5-94279-229-9. – Текст : непосредственный.
8. Соколов, Г. К. Технология и организация строительства : учебник для студентов среднего профессионального образования ; 5-е изд., испр. / Г. К. Соколов. – Москва : Академия, 2008. – 528 с. – ISBN 978-5-7695-4619-8. – Текст : непосредственный.
9. Теличенко, В. И. Технология возведения зданий и сооружений : учебник для строительных вузов / В. И. Теличенко, О. В. Терентьев, А. А. Лapidус ; 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Высшая школа, 2004. – 446 с. – ISBN 5-06-004-441-6. – Текст : непосредственный.
10. Richard, R. Vaillencourt. Simple Solutions to Energy Calculations / R. Richard; Fourth Edition. – [S. l.] : Fairmont Press. – 2007. – 225 p. – Текст : непосредственный.
11. Reichla, Johannes. The baseline in bottom-up energy efficiency and saving calculations – A concept for its formalisation and a discussion of relevant options / Johannes Reichla, Andrea Kollmann. – Текст : непосредственный // Applied Energy. – Volume 88, Issue 2. – 2011. – P. 422–431.
12. Бармотин, А. А. Конструктивные и организационно-технологические решения устройства ограждающих стеновых конструкций при реконструкции каркасных зданий / А. А. Бармотин, В. В. Таран. – Текст : электронный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2021. – Том 17, № 4. – С. 245–254. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/spgs/2021-4/05\\_barmotin\\_taran.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/spgs/2021-4/05_barmotin_taran.pdf) (дата публикации: 26.11.2021).

Получена 14.01.2022

О. О. БАРМОТИН  
 КОНСТРУКТИВНІ ТА ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ З  
 ВЛАШТУВАННЯ ФАСАДІВ БУДІВЕЛЬ  
 ДУП ДНР «Донецький проектно-вишукувальний інститут залізничного транспорту  
 "ДОНЖЕЛДОРПРОЕКТ"»

**Анотація.** Зовнішнє оздоблення фасадів будівель виконує не тільки декоративну та естетичну функції, але й оберігає несучі стінові конструкції від несприятливих зовнішніх впливів, таких як підвищена вологість зовнішнього повітря, перегрів від впливу ультрафіолетового випромінювання, проникнення в несучі стіни цвіль, грибка тощо, при застосуванні сучасних технологій та матеріалів з обробки фасадів можливе виконання додаткового утеплення стін. Зовнішнє утеплення сприяє збереженню сприятливого мікроклімату всередині приміщень, позбавляючи зайвої вологості, утворення грибка та промерзання огорожувальних конструкцій. У зв'язку з цим виконано аналіз та класифікація факторів, що впливають на вибір технології влаштування та ремонту фасадів будівель. Виявлено конструктивно-технологічні особливості найпоширеніших фасадних систем, а саме системи навісних вентильованих фасадів та системи зі штукатурними покриттями з теплоізоляційним шаром.

**Ключові слова:** огорожджувальні конструкції, фактори, фасадні системи, навісний вентиляований фасад, штукатурний фасад, конструктивно-технологічні особливості.

ALEXANDER BARMOTIN

DESIGN FEATURES OF FACADES OF CIVIL BUILDINGS

Donetsk Design and Survey Institute of Railway Transport «DONZHELDORPROEKT»

**Abstract.** Exterior decoration of facades of buildings performs not only decorative and aesthetic functions, but also protects the enclosing wall structures from adverse external influences such as increased humidity of the outdoor air, overheating from exposure to ultraviolet radiation, penetration of mold, fungus, etc. into the load-bearing walls. With the use of modern technologies and materials for finishing facades, it is possible to perform additional wall insulation. External insulation helps to maintain a favorable microclimate inside the premises, eliminating excess moisture, the formation of fungus and freezing of the enclosing structures. In this regard, an analysis and classification of factors influencing the choice of technology for the device and repair of building facades has been carried out. The design and technological features of the most common facade systems, namely, systems of hinged ventilated facades and systems with plaster coatings with a heat-insulating layer, have been identified.

**Key words:** enclosing structures, factors, facade systems, hinged ventilated facade, plaster facade, design and technological features.

**Бармотин Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент. Директор Государственного унитарного предприятия Донецкой Народной Республики «Донецкий проектно-изыскательский институт железнодорожного транспорта "ДОНЖЕЛДОРПРОЕКТ"». Научные интересы: разработка и совершенствование конструктивных решений фасадных и отделочных систем.

**Бармотін Олександр Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент. Директор Державного унітарного підприємства Донецької Народної Республіки «Донецький проектно-вишукувальний інститут залізничного транспорту "ДОНЖЕЛДОРПРОЕКТ"». Наукові інтереси: розробка та вдосконалення конструктивних рішень фасадних та оздоблювальних систем.

**Barmotin Alexander** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor. Director of the State Unitary Enterprise of the Donetsk People's Republic «Donetsk Design and Research Institute of Transport "DONZHELDORPROEKT"». Scientific interests: development and improvement of design solutions for facade and finishing systems.

УДК 691.175:678.747:547.665:547.728

**О. Н. ШЕВЧЕНКО, С. И. СОХИНА**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗАЩИТНЫХ  
ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ УТИЛИЗИРОВАННЫХ ОТХОДОВ  
ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО СТ. 3**

**Аннотация.** Предложена методика расчета времени отказа защитного покрытия по металлу с использованием полного факторного эксперимента, определения функции, оптимально описывающей обобщенный показатель качества защитного покрытия ( $A_3$ ) во времени и выявления на этой основе времени жизни покрытия. Полученные математические модели с достаточной степенью точности описывают изменение защитных свойств покрытий во времени и дают возможность предсказать их время жизни. При этом коэффициент корреляции для модифицированных композиций на основе инденкумароновых смол меняется в пределах:  $R = 0,979...0,999$ ;  $s_0 = 0,02...0,03$ ; для композиций на основе кубовых остатков производства синтетических жирных кислот фракции С-20 и выше корреляция становится значимой по критерию Фишера при сроке испытаний более 29 суток:  $F = 3,74-85$ ;  $R = 0,83...0,94$ ;  $s_0 = 0,03...0,05$ .

**Ключевые слова:** прогнозирование времени жизни покрытий, коррозионное разрушение, надежность, долговечность, расчетно-теоретический метод, модели коррозионных элементов, утилизация промышленных отходов, противокоррозионные защитные покрытия, ускоренные испытания.

Коррозионное разрушение является одним из основных недостатков строительных металлоконструкций, для устранения которых требуются дополнительные затраты материальных ресурсов.

Предотвращение коррозионного разрушения является важнейшей составной частью комплексной задачи повышения надежности и долговечности строительных конструкций.

В связи с этим создание долговечных и экономичных защитных покрытий, способных длительное время сохранять работоспособность под воздействием определенных физико-химических коррозионных сред, является актуальной задачей.

Для решения этой проблемы необходимо создание научно-обоснованного метода оценки надежности и долговечности противокоррозионных материалов для металлических конструкций как для существующих лакокрасочных материалов [1], так и для новых разработанных на основе утилизированных отходов металлургической и химической промышленности [2].

Поэтому разработка аргументированного расчетно-теоретического метода обеспечения гарантированных показателей надежности и долговечности защитных покрытий для стальных конструкций в различных коррозионных средах, определение на этой основе оптимального состава противокоррозионных материалов и их долговечности является актуальной задачей.

Имеющиеся методические подходы по оценке показателей надежности, долговечности и технико-экономических обоснований эффективности различных решений по защите металлических конструкций в основном базируются на определении потери металла в результате коррозии. Эти методы эффективны, многофакторны [3, 4], но порою трудоемки и не всегда их целесообразно использовать.

Целью данной работы является разработка методики прогнозирования долговечности защитных покрытий по металлической поверхности с определением функции, оптимально описывающей показатель качества защитного покрытия во времени и выявление на этой основе времени жизни защитных покрытий.

Для оптимизации состава противокоррозионных композиций использовался метод полного факторного эксперимента. В качестве функции отклика рассматривался обобщенный показатель качества

покрытия ( $A_3$ ), учитывающий относительные оценки степени различных декоративных изменений и механических разрушений:

Экспертную оценку состояния защитных покрытий определяем из формулы:

$$A_3 = \sum_{i=1}^{i=n} B_i X_i, \quad (1)$$

где  $A_3$  – обобщенный показатель качества защитного покрытия;  
 $B_i$  – коэффициент весомости вида разрушения;  
 $X_i$  – относительная оценка  $i$ -го вида разрушения;  
 $i$  – число видов разрушения: пузырей; растрескивания; коррозии; отслоения; изменения блеска, цвета; грязеудержания; меления; линейных размеров разрушения.

Для получения математических моделей, которые описывают изменение защитных свойств покрытий во времени и дают возможность прогнозировать их время жизни использованы все функциональные зависимости программы Curve Expert 1.3.

Анализ проводили в кодированных величинах, которые связаны с приведенными моляльностями компонентов композиций следующими соотношениями:

$$x_1 = -1 + X_1/201; \quad x_2 = -1 + X_2/242; \quad x_3 = -1 + X_3/60,5, \quad (2)$$

где  $X_1$  – приведенная моляльность добавки-1;  
 $X_2$  – приведенная моляльность добавки-2;  
 $X_3$  – приведенная моляльность добавки-3.

Для прогнозирования времени отказа ( $\tau_{\text{отк}}$ ) защитных покрытий было определено изменение обобщенного показателя защитных свойств ( $A_3$ ) покрытий во времени, численное значение отказа покрытия  $A_3 = 0,35$ .

Экспериментальные значения  $A_3$  ( $\tau$ ) аппроксимировали пятью различными монотонно убывающими функциями (линейной, экспоненциальной, показательной, гиперболической, гиперболически-показательной), удовлетворяющими естественному условию  $A_3(0) = 1$ . Последнее отвечает 100 % защитным характеристикам покрытий в исходный момент времени и отсутствию в среде компонентов, ухудшающих их защитные свойства

Приведенный подход использовался при прогнозировании времени жизни противокоррозионных композиций на основе утилизированных отходов металлургической, химической промышленности и вторичных продуктов коксохимии [5–6].

Так, в композициях на основе инден-кумароновой смолы (ИКС) [5], где в качестве добавки-1 ( $X_1$ ) использовалась амино-нитросодержащая смола (АС) (отход производства Крымского завода «Химпром»; добавки-2 ( $X_2$ ) – пылевидные отходы (ПО) мартеновского производства приближенные по составу к сурику, в качестве пластифицирующей добавки-3 ( $X_3$ ) сырая резина (СР), функцией отклика является линейная функция.

Испытанию подвергались покрытия ИКС и следующих композиций на их основе:

1 система: ИКС + ПО + АС,

2 система: ИКС + ПО + СР,

3 система: ИКС + ПО + АС + СР.

Анализ влияния компонентов, выраженных через  $X_1$  и  $X_2$  на 9, 17, 25, 29 сутки показал, что переменные оказались незначимыми, т. е. их значения меньше, чем значения погрешности эксперимента.

Начиная с 35 суток коэффициенты становятся значимыми и это говорит о том, что данный компонент системы влияет на качество пленки.

При этом для системы 1 получены следующие регрессионные уравнения 3, 4:

$$A_3(\tau-35) = (0,676 \pm 0,016) + (0,043 \pm 0,016)x_1 + (0,008 \pm 0,016)x_2, \quad (3)$$

$$A_3((\tau-41) = (0,575 \pm 0,005) + (0,065 \pm 0,005)x_1 - (0,005 \pm 0,005)x_2, \quad (4)$$

для системы 2 уравнения 5, 6:

$$A_3(\tau-35) = (0,616 \pm 0,014) - (0,017 \pm 0,014)x_2 - (0,022 \pm 0,014)x_3, \quad (5)$$

$$A_3(\tau-41) = (0,545 \pm 0,013) + (0,035 \pm 0,013)x_2 - (0,003 \pm 0,013)x_3, \quad (6)$$

для системы 3 уравнения 7, 8:

$$A_3(\tau-35) = (0,641 \pm 0,019) + (0,025 \pm 0,019)x_1 - (0,013 \pm 0,019)x_2 - (0,035 \pm 0,019)x_3, \quad (7)$$

$$A_3(\tau-41) = (0,585 \pm 0,019) + (0,041 \pm 0,019)x_1 - (0,010 \pm 0,019)x_2 + (0,011 \pm 0,019)x_3. \quad (8)$$

Из уравнений для 1 системы видно, что значимой добавка АС становится только на 35 сутки испытаний и при этом улучшает защитные свойства пленки. Добавка ПО не значима, но она и не ухудшает качество защитного покрытия, а служит компонентом наполнения и влияет лишь на толщину пленки защитного покрытия

Таким же образом можно просчитать систему 2 и 3 по определенным для них уравнениям регрессии (система 2: уравнения 5 и 6; система 3: уравнения 7 и 8).

Исходя из предложенных уравнений оказалось, что поверхность отклика во всех случаях представляет собой гиперплоскость, причем коэффициент корреляции возрастает с увеличением времени испытаний ( $\tau$ ), что можно объяснить увеличением интервала значений  $A_3$  с течением времени. Корреляция становится значимой по критерию Фишера при сроке испытаний более 29 суток. Так при сроке испытаний 35 суток:  $R = 0,83...0,94$ ;  $s_0 = 0,03...0,05$ .

Метод полного факторного эксперимента дает возможность оптимизировать системы и определить количественный состав содержания компонентов наполнения композиции.

Как следует из полученных данных, во всех рассмотренных случаях концентрация пылеуноса до 25 % не влияет на свойства покрытия. Аминосмола до 30 % ингибирует коррозионный процесс, а сырая резина до 25 % усиливает его в трех- и четырехкомпонентных системах

Таким образом определив экспериментальные значения  $A_3$ , представляется возможным, используя все функциональные зависимости Curve Expert 1.3, определить расчетные значения обобщенного показателя отказа защитного покрытия  $A_{3отк}$ , то есть оценить время отказа защитного покрытия.

Во всех полученных композициях оптимальной оказалась квадратичная зависимость. При этом коэффициент корреляции меняется в пределах:  $R = 0,979...0,999$ ;  $s_0 = 0,02...0,03$

$$A_3 = 1,008 - 0,004\tau - 0,0001\tau^2, \quad R = 0,989; \quad S_0 = 0,033, \quad T_3 = 65, \quad (9)$$

$$A_3 = 1,042 - 0,011\tau - 3,61 \cdot 10^{-5} \tau^2, \quad R = 0,96; \quad S_0 = 0,0066, \quad T_3 = 52, \quad (10)$$

$$A_3 = 1,043 - 0,013\tau - 2,5 \cdot 10^{-5} \tau^2, \quad R = 0,96; \quad S_0 = 0,0064, \quad T_3 = 61. \quad (11)$$

Используя полученные квадратичные уравнения 9–11, представляется возможным рассчитать срок службы защитного покрытия  $T_3$  при ускоренных испытаниях. Для этого принимая за значение отказа обобщенного показателя качества защитного покрытия  $A_3$  значение равное 0,35, решаем уравнения 9–11 относительно  $\tau$ . Наибольшим сроком службы  $T_3$  [6] обладают покрытия на основе композиции системы 1.

Таким образом, приведенные математические модели с достаточной степенью точности описывают изменение защитных свойств покрытий во времени и дают возможность предсказать их время жизни.

Предложенная методика по оценке времени жизни противокоррозионных защитных покрытий, оправдавшая себя для покрытий на основе модифицированных различными добавками инден-кумароновых смол [5, 6], пригодна и для покрытий на основе кубовых остатков производства синтетических жирных кислот (СЖК) фракции  $C_{20}$  и выше [7].

Используя развитый подход, исследованы защитные свойства композиций на основе кубовых остатков СЖК. В качестве добавок (пигментов и наполнителей) были исследованы, пылевидные отходы (ПО) мартеновского производства, а также полиэтиленполиамин (ПЭПА) в качестве ингибирующей добавки.

В данных композициях  $A_3(\tau)$  аппроксимирован гиперболически-показательной функцией, которая для исследуемых покрытий оптимальна. Среднее значение остаточных погрешностей  $A_3(\tau)$  по всем рассматриваемым композициям при аппроксимации линейной функцией равно 0,060, экспоненциальной – 0,062, показательной – 0,050, гиперболической – 0,085, гиперболически-показательной – 0,036.

Состояние покрытий оценивалось также с учетом степени изменения декоративных и защитных свойств покрытий  $A_3$  после 16, 24, 40, 60, 76 суток испытаний и описывалось гиперболически-показательной функцией.

Аппроксимация экспериментальных данных по  $A_3(\tau)$  для составов на основе СЖК и пылеуноса (ПО) мартеновского производства в приближении экспоненциальной функции дает достаточно надежную корреляционную зависимость при испытании в 3 % растворе NaCl (4) и в камере искусственной погоды по циклу «Промышленная атмосфера» (5):

$$A_3 = (1 - (9,607 + 1,097)\tau^{(2,020+0,284)})^{-1}, \quad (4)$$

$$A_3 = (1 - (6,306 + 0,817)\tau^{(1,192+0,212)})^{-1}. \quad (5)$$

Время отказа соответственно уравнениям (4) и (5) составляет 177 суток без вторичного покрытия и 405 суток со вторичным покрытием.

О достоверности предложенного метода прогнозирования можно судить по совпадению расчетных значений продолжительности жизни  $\tau_{\text{отк}}$  с экспериментальными данными, где отказ ( $A_3 < 0,3$ ) наступает во время эксперимента [5, 7].

## ВЫВОДЫ

Предложенная методика расчета времени отказа защитного покрытия по металлу с использованием полного факторного эксперимента позволяет прогнозировать долговечность защитных свойств противокоррозионных материалов.

Полученные математические модели с достаточной степенью точности описывают изменение защитных свойств покрытий во времени и дают возможность предсказать их время жизни.

Использование развиваемого подхода к оценке жизнеспособности защитных покрытий позволяет вести целенаправленный поиск новых противокоррозионных материалов с улучшенными антикоррозионными характеристиками.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сохина, С. И. Полимерные ингибиторы коррозии на основе модифицированного полистирола / С. И. Сохина, О. Н. Шевченко, Ю. В. Селютин. – Текст : непосредственный // Проблемы коррозии и противокоррозионной защиты материалов. Коррозия – 2014 : сборник докладов Международной научной конференции, Львов, 8–10 июля 2014 г. – Львов : издательство, 2014. – С. 445–449.
2. Сохина, С. И. Проблемы индустриальных городов и утилизация отходов в противокоррозионные материалы / С. И. Сохина, Ю. В. Селютин, Д. Ю. Букина. – Текст : непосредственный // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сборник материалов X Международной научной конференции, Донецк, 15 апреля 2015 г. – Донецк : ДонНТУ, 2015. – С. 43–48.
3. Оценка долговечности защитных покрытий на основе ИКС по коэффициенту надежности противокоррозионной защиты и методика расчета эксплуатационной оценки срока службы покрытий / Ю. Б. Высоцкий, С. И. Сохина, О. Н. Шевченко, Ю. В. Селютин. – Текст : непосредственный // Электрохимическая защита и коррозионный контроль : сборник докладов Международной научной конференции, Северодонецк, 17–18 сентября 2017 г. – Северодонецк : издательство, 2017. – С. 148–152.
4. Сохина, С. И. Зависимость гарантированного срока службы защитных покрытий на основе композиций ПМ от способа подготовки металлической поверхности / С. И. Сохина, О. Н. Шевченко, Ю. В. Селютин. – Текст : непосредственный // Химическая термодинамика и кинетика : сборник научных трудов VIII Международной научной конференции, Тверь, 28 мая – 1 июня 2018 г. – Тверь : Тверской государственный университет, 2018. – С. 351–352.
5. Сохина, С. И. Оптимизация модифицированных противокоррозионных материалов на основе замещенных полистиролов / С. И. Сохина, О. Н. Шевченко, Ю. В. Селютин. – Текст : непосредственный // Химическая термодинамика и кинетика : сборник докладов VII Международной научной конференции, Великий Новгород, 24–26 мая 2017 г. – Великий Новгород : Издательско-полиграфический центр Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого, 2017. – С. 297–298.
6. Сохина, С. И. Влияние модифицирующих добавок на скорость разрушения защитных покрытий при прогнозировании их долговечности / С. И. Сохина, Ю. В. Селютин, О. Н. Шевченко. – Текст : непосредственный // Химическая термодинамика и кинетика : сборник материалов III Международной конференции, Великий Новгород, 28–29 мая 2015 г. – Великий Новгород : Издательско-полиграфический центр Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого, 2015. – С. 207–209.
7. О прогнозировании времени жизни антикоррозионных покрытий по стали Ст. 3 / Е. В. Горохов, Ю. Б. Высоцкий, А. П. Доя [и др.]. – Текст : непосредственный // Защита металлов. – 1995. – Том 31, N 1. – С. 63–66.

Получена 20.01.2022

О. М. ШЕВЧЕНКО, С. І. СОХІНА  
МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗАХИСНИХ  
ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ УТИЛІЗОВАНИХ ВІДХОДІВ ХІМІЧНОЇ  
ПРОМИСЛОВОСТІ ЗА СТ. 3  
ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

**Анотація.** Запропоновано методику розрахунку часу відмови захисного покриття по металу з використанням повного факторного експерименту, визначення функції, що оптимально описує узагальнений показник якості захисного покриття ( $A_z$ ) у часі та виявлення на цій основі часу життя покриття. Отримані математичні моделі з достатньою мірою точності описують зміну захисних властивостей покриттів у часі та дають можливість передбачити їхній час життя. При цьому коефіцієнт кореляції для модифікованих композицій на основі інденкумаронових смол змінюється в межах:  $R = 0,979...0,999$ ;  $s_0 = 0,02...0,03$ ; для композицій на основі кубових залишків виробництва синтетичних жирних кислот фракції C-20 та вище кореляція стає значущою за критерієм Фішера при терміні випробувань понад 29 діб:  $F = 3,74...85$ ;  $R = 0,83...0,94$ ;  $s_0 = 0,03...0,05$ .

**Ключові слова:** прогнозування часу життя покриттів, корозійна руйнація, надійність, довговічність, розрахунково-теоретичний метод, моделі корозійних елементів, утилізація промислових відходів, протикорозійні захисні покриття, прискорені випробування.

OLGA SHEVCHENKO, SVETLANA SOKHINA  
METHOD FOR PREDICTING THE DURABILITY OF PROTECTIVE COATINGS  
BASED ON RECYCLED WASTE FROM THE CHEMICAL INDUSTRY  
ACCORDING TO ART. 3  
Donbas National Academy of Construction and Architecture

**Abstract.** It has been proposed a method for calculating the failure time of a protective coating for metal using a full factorial experiment, determining a function that optimally describes the generalized indicator of the quality of a protective coating ( $A_z$ ) in time, and identifying the lifetime of the coating on this basis. The resulting mathematical models describe with a sufficient degree of accuracy the change in the protective properties of coatings over time and make it possible to predict their lifetime. At the same time, the correlation coefficient for modified compositions based on indene-coumarone resins varies within the limits of:  $R = 0.979...0.999$ ;  $s_0 = 0.02...0.03$ ; for compositions based on cubic residues of the production of synthetic fatty acids of the C-20 fraction and higher, the correlation becomes significant according to the Fisher criterion for a test period of more than 29 days:  $F = 3.74 - 85$ ;  $R = 0.83...0.94$ ;  $s_0 = 0.03...0.05$ .

**Key words:** prediction of coating lifetime, corrosion damage, reliability, durability, calculation-theoretical method, models of corrosion elements, industrial waste disposal, anti-corrosion protective coatings, accelerated tests.

**Шевченко Ольга Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной химии ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: теоретические и экспериментальные исследования физико-химических свойств и химических превращений органических соединений, используемых в строительстве; синтез низко- и высокомолекулярных соединений, содержащих ингибирующие и хромофорные группы.

**Сохина Светлана Ивановна** – кандидат химических наук, доцент кафедры прикладной химии ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: теоретические и экспериментальные исследования физико-химических свойств и химических превращений органических соединений, используемых в строительстве; синтез низко- и высокомолекулярных соединений, содержащих ингибирующие и хромофорные группы.

**Шевченко Ольга Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної хімії ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: теоретичне та експериментальне дослідження фізико-хімічних властивостей та хімічних перетворень органічних сполук, що використовуються у будівництві; синтез низько- і високомолекулярних сполук, що містять інгібуючі та хромофорні угруповання.

**Сохіна Світлана Іванівна** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри прикладної хімії ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: теоретичне та експериментальне дослідження фізико-хімічних властивостей та хімічних перетворень органічних сполук, що використовуються у будівництві; синтез низько- і високомолекулярних сполук, що містять інгібуючі та хромофорні угруповання.

**Shevchenko Olga** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Applied Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: theoretical and experimental research of physicochemical properties and chemical transformations of organic compounds used in civil engineering; synthesis of low-molecular and high-molecular compounds including inhibitory and chromophoric groups.

**Sokhina Svetlana** – Ph. D. (Chemical), Associate Professor, Applied Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: theoretical and experimental research of physicochemical properties and chemical transformations of organic compounds used in civil engineering; synthesis of low-molecular and high-molecular compounds including inhibitory and chromophoric groups.



УДК 69.059.25

**В. А. МАЗУР, Б. Н. ЧЕКАЛ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КАПРЕМОНТА ОБШИВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГРАДИРЕН**

**Аннотация.** В статье рассматриваются факторы, влияющие на выбор организационно-технологических решений капитального ремонта обшивки градирен с металлическим каркасом. Необходимость капитального ремонта обшивки металлических градирен возникает уже после первых пяти лет их эксплуатации, так как сооружения эксплуатируются в агрессивных условиях. Специфичность конструктивного решения обшивок, расположенных внутри башен градирен, усложняют выполнение ремонтных работ. Показано, что на выбор технологии и организации процессов капитального ремонта обшивок металлических градирен влияют множество других факторов, связанных с условиями эксплуатации, атмосферными воздействиями, условиями стесненности стройплощадки, материалоемкости и стоимости технологии и т. д. Комплексная классификация факторов позволяет в дальнейшем моделировать основные технико-экономические показатели выполнения работ (трудоемкость, стоимость, продолжительность выполнения работ, срок дальнейшей безремонтной эксплуатации обшивки) с учетом взаимного влияния отдельных групп факторов в конкретных условиях эксплуатации.

**Ключевые слова:** капитальный ремонт, обшивка, металлические градирни, классификация факторов, организационно-технологические решения.

**ВВЕДЕНИЕ**

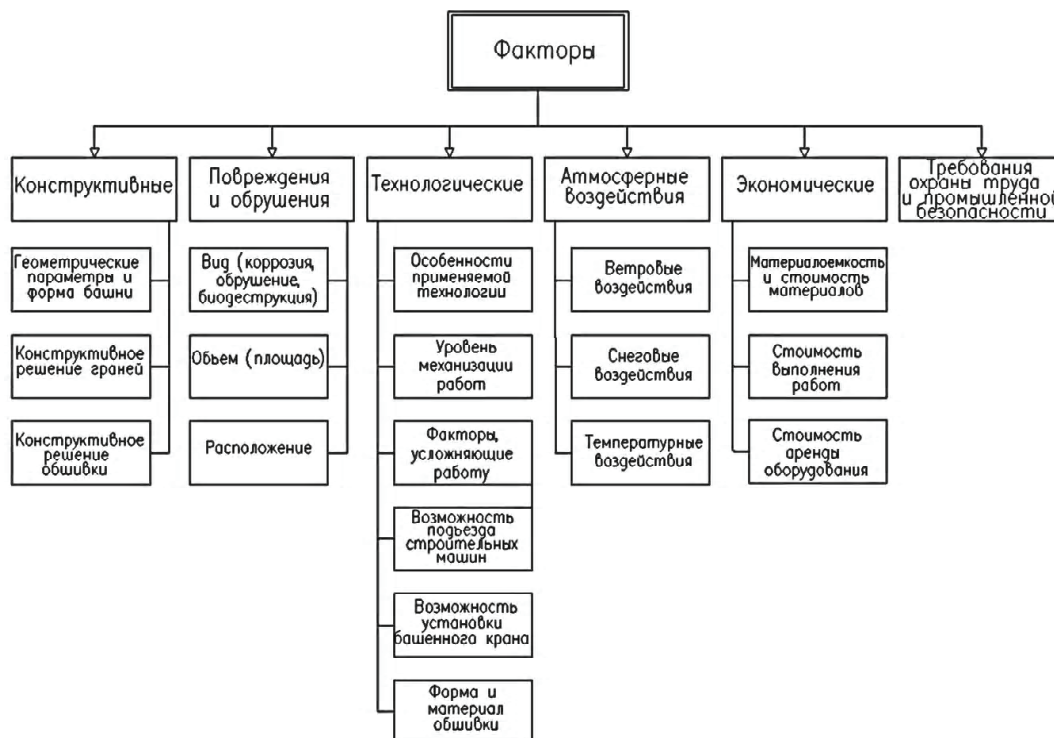
Башенные градирни с вытяжной башней из металлического каркаса с обшивкой из металлических панелей или профнастила широко применяются на промышленных предприятиях ДНР, России и Украины. Построенные в прошлом столетии, они до сих пор успешно функционируют, но периодически возникает необходимость не только текущего ремонта конструкций, но и капитального ремонта и реконструкции (или модернизации) башни в целом.

Анализ опыта эксплуатации, выполненных научных исследований, отчетов по обследованиям и осмотрам башенных градирен с металлическим каркасом показали, что проблемы, связанные с повреждениями и обрушениями обшивки, появляются уже в течение первых пяти лет эксплуатации этих сооружений [1, 2]. С каждым последующим годом эксплуатации, несмотря на периодические текущие ремонты, объемы повреждений увеличиваются, что приводит к необходимости капитального ремонта или реконструкции с полной заменой обшивки.

В работе разработана комплексная классификация факторов (рис. 1), в которой выделяются шесть основных групп: конструктивные особенности, технологическая, дефекты и повреждения обшивки, функциональная, эксплуатационная, атмосферные воздействия на сооружение, экономическая и требования охраны труда и промышленной безопасности на объекте.

К конструктивной группе факторов относятся геометрическая форма и размеры в плане, форма башни, конструктивное решение конструкций каркаса. Металлические градирни представляют в плане правильный многоугольник, состоящий из определенного количества граней, каждая из которых имеет составную конструкцию, элементы которой могут быть изготовлены из одиночного профиля (швеллер, уголок) либо составной пространственной конструкции. С внутренней стороны по прогонам к ним крепится обшивка градирни. Башни имеют форму усеченной пирамиды либо гиперболоида вращения, что приводит к необходимости применения обшивки трапециевидной формы.

© В. А. Мазур, Б. Н. Чекал, 2022



**Рисунок 1** – Факторы, влияющие на выбор организационно-технологических решений капремонта обшивки металлических градирен.

Высота сооружений может достигать 110 м, что диктует необходимость использования монтажных кранов с соответствующей высотой подъема крюка или применения бескрановой системы монтажа конструкций [3, 5].

К следующей группе факторов относятся повреждения и обрушение обшивки градирни. Так как обшивка и конструкции каркаса металлических градирен эксплуатируются в условиях постоянного увлажнения, а при эксплуатации на электростанциях в плотной промышленной застройке еще подвергаются агрессивным газо- и пылевым воздействиям, это приводит к ускоренному появлению повреждений (например, щелевой или сквозной коррозии обшивки, которые могут достигать 0,5 мм/год (при отсутствии антикоррозионных покрытий) [2]) и увеличению капельного уноса воды. Из-за циркуляции оборотной воды в градирне при эксплуатации на внутренней стороне обшивки в нижней части градирен образуются биологические наросты из водорослей и слизи, которые также приводят к ее биодеструкции, а также карбонатные отложения, также приводящие к ускоренному разрушению обшивки.

От видов и объемов повреждений обшивки, их расположения на поверхности башни, возможности их устранения, необходимости полной или частичной замены зависит не только технология выполнения работ, но и потребность в инструментах, приспособлениях, средствах механизации и средствах подмащивания.

К группе атмосферных воздействий относятся ветровые, снеговые и температурные воздействия на башню градирни. Установлено, что больше подвержены коррозии конструкции обшивки с подветренной стороны градирни [2]. Сверхнормативные ветровые воздействия на конструкции башни градирни, некачественное выполнение монтажных и антикоррозионных работ приводят к обрушениям обшивки с последующим понижением охлаждающих функций градирни и повреждениями при падении обшивки оросительного устройства. При температуре атмосферного воздуха близкой к 0 °С происходит обледенение обшивки, что усложняет эксплуатацию самой градирни, а локальные сильные намерзания на обшивках в местах течей могут привести к ее обрушению. Кроме того, атмосферные воздействия влияют на продолжительность выполнения работ. Так как конструкции обшивок имеют большую парусность и габариты, а работы по монтажу выполняются на высоте, монтаж конструкций при силе ветра 10 м/с и выше запрещен. Не допускается выполнение монтажных работ на высоте в открытых местах при скорости ветра 15 м/с и более, при гололедице, грозе и тумане. При

ветре силой более шести баллов прекращают монтажные работы, связанные с применением кранов [4].

Капитальный ремонт обшивки стен, как правило, выполняется с демонтажем существующей обшивки. Выполнение демонтажных работ должно выполняться методом поэлементной разборки. Метод разрушения обшивки возможен только при полной замене оросителя коммуникаций.

Основными существующими технологическими решениями по выполнению новой обшивки металлических градирен являются два способа: листовая обшивка (крепится на горизонтальные ригели, установленные на грани градирни) и обшивка укрупненными блоками (после укрупнительной сборки блоков, состоящих из ригелей и обшивки, крепятся непосредственно к каркасу градирни). В зависимости от выбранного материала обшивки (при капитальном ремонте используют обшивку в виде профилированного настила из оцинкованной стали с полимерным покрытием, из стеклопластиковых или алюминиевых панелей, реже – из асбестоцементных листов) выбирается способ монтажа, подбирается комплект приспособлений и средств малой механизации. К прогонам и между собой обшивка крепится самонарезающими винтами с полиуретановой прокладкой, болтами или заклепками.

К факторам, усложняющим производство работ при ремонте металлических градирен, относятся: производство работ в стесненных условиях с наличием в зоне производства технологического оборудования (системы орошения); производство работ при действующих вибрационных нагрузках; стесненные условия для складирования материалов или невозможность их складирования на строительной площадке; невозможность размещения кранов на строительной площадке; ограничения в их работе; недостаточная ширина внутри площадочных дорог и проездов; разветвленная сеть существующих подземных, наземных и надземных коммуникаций.

Важным фактором являются требования охраны труда и промышленной безопасности на объекте, так как работы ведутся на высоте, в стесненных условиях в условиях действующего предприятия. Работы должны выполняться специалистами под руководством и контролем инженерно-технических работников, после прохождения комплекса инструктажей по технике безопасности и пожарной безопасности. К работе с электрооборудованием допускаются рабочие, прошедшие специальную подготовку. Опасные зоны должны иметь защитные ограждения. Рабочие, выполняющие работу на высоте, должны пользоваться средствами индивидуальной защиты: предохранительными поясами, страховочными канатами и др.

К группе экономических факторов, влияющих на выбор технологии производства ремонтных работ, относятся материалоемкость и стоимость технологии, стоимость аренды оборудования, машин и механизмов. Выбор материала обшивки металлической градирни должен основываться не только на стоимости материалов, но и на дальнейшем сроке ее эксплуатации.

В работе выполнен анализ взаимосвязи и ранжирование факторов, влияющих на выбор технологии капремонта обшивки металлических градирен (рис. 2).

Определены четыре уровня влияния факторов, последовательно формирующих технологию производства работ по капитальному ремонту обшивки металлических градирен.

Первый уровень – исходные данные, которые учитывают размеры, форму и высоту металлического копра, конструктивное решение его граней, количество, расположение и устранимость дефектов и повреждений, условия эксплуатации градирни и атмосферные воздействия на нее, влияют на конструктивное решение по капитальному ремонту обшивки. От размещения копра на площадке зависят возможность подъезда строительных машин и механизмов и возможность установки кранов и других подъемных механизмов.

Второй уровень – конструктивное решение, возможность подъезда и применения подъемных средств, требования охраны труда и техники безопасности, условия работы на действующем предприятии непосредственно влияют на технологию и организацию ремонтных работ.

Третий уровень – выбранная технология производства работ и организация капитального ремонта обшивки градирен влияют на конечные технико-экономические показатели ремонта и продолжительность выполнения работ.

Четвертый уровень – технико-экономические показатели и продолжительность ремонта.

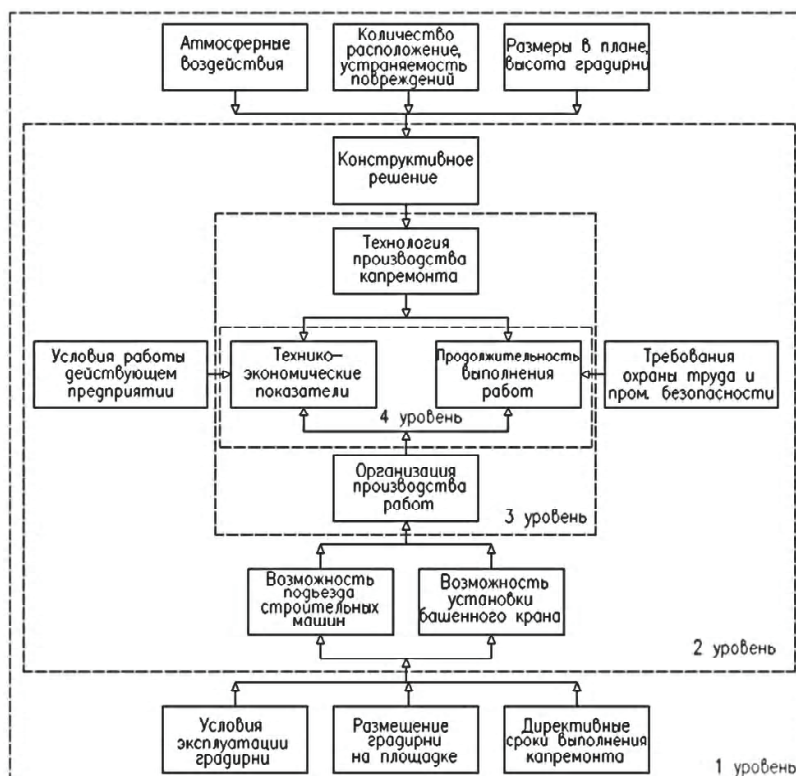


Рисунок 2 – Анализ взаимосвязи и ранжирование организационно-технологических факторов, влияющих на выбор капремонта обшивки металлических градирен.

## ВЫВОДЫ

Установлено, что для каждого отдельного случая капитального ремонта обшивки металлических градирен характерно конкретное сочетание перечисленных выше факторов, влияющих на производство работ. В этой связи возрастает значение технологического проектирования на стадии инженерной подготовки ремонтных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градирни промышленных и энергетических предприятий : справочное пособие / под общей редакцией В. С. Пономаренко. – Москва : Энергоатомиздат, 1998. – 376 с. – Текст : непосредственный.
2. МТ 34-70-014-84 (СО 34.21.663). Методика обследования металлоконструкций вытяжных башен обшивных градирен / Минэнерго СССР. – Москва : СПО Союзтехэнерго, 1984. – 15 с. – Текст : непосредственный.
3. Ладнушкин, А. А. Технология бескранового монтажа при капитальном ремонте и модернизации башенных градирен ТЭЦ / А. А. Ладнушкин. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2016. – № 4(38). – С. 433–438.
4. СНиП 12-04-2002. Безопасность труда в строительстве. Строительное производство: Государственные строительные нормы и правила : издание официальное : утвержден и введен в действие Государственным комитетом Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу постановлением от 17 сентября 2002 года N 123 : дата введения 2003-01-01 / разработан федеральным государственным учреждением «Центр охраны труда в строительстве» Госстроя России. – Москва : ФГУП ЦПП, 2002. – 28 с. – Текст : непосредственный.
5. Югов, А. М. Технология монтажа металлической башенной градирни / А. М. Югов, Р. В. Судашов. – Текст : непосредственный // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2008. – Том 4, № 1. – С. 39–48.

Получена 15.01.2022

В. О. МАЗУР, Б. М. ЧЕКАЛ  
ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИБІР ОРГАНІЗАЦІЙНО-  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ КАПРЕМОНТУ ОБШИВКИ МЕТАЛЕВИХ  
ГРАДИРЕНЬ  
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У статті розглядаються фактори, що впливають на вибір організаційно-технологічних рішень капітального ремонту обшивки градирень з металевим каркасом. Необхідність капітального ремонту обшивки металевих градирень виникає вже після перших п'яти років їх експлуатації, оскільки споруди експлуатуються в агресивних умовах. Специфічність конструктивного рішення обшивок, розташованих всередині веж градирень, ускладнюють виконання ремонтних робіт. Показано, що на вибір технології та організації процесів капітального ремонту обшивок металевих градирень впливають безліч інших факторів, пов'язаних з умовами експлуатації, атмосферними впливами, умовами обмеженості будмайданчика, матеріаломісткості та вартості технології тощо. Комплексна класифікація факторів дозволяє надалі моделювати основні техніко-економічні показники виконання робіт (трудомісткість, вартість, тривалість виконання робіт, термін подальшої безремонтної експлуатації обшивки) з урахуванням взаємного впливу окремих груп факторів в конкретних умовах експлуатації.  
**Ключові слова:** капітальний ремонт, обшивка, металеві градирні, класифікація факторів, організаційно-технологічні рішення.

VICTORIA MAZUR, BOGDAN CHEKAL  
FACTORS INFLUENCING THE CHOICE OF ORGANIZATIONAL AND  
TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE OVERHAUL OF METAL COOLING  
TOWER CLADDING  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The factors influencing the choice of organizational and technological solutions for the overhaul of the cladding of cooling towers with a metal frame are considered in this article. The need for major repairs of the cladding of metal cooling towers arises after the first five years of their operation, since the structures are operated in aggressive conditions. The specificity of the design solution of the cladding located inside the towers of cooling towers complicate the repair work. Many other factors related to operating conditions, atmospheric influences, conditions of tightness of the construction site, material consumption and cost of technology, etc. also affect the choice of technology and the organization of the processes of capital repairs of metal cooling towers. The complex classification of factors makes it possible to further model the main technical and economic indicators of work performance (labor intensity, cost, duration of work, the period of further maintenance-free operation of the cladding), taking into account the mutual influence of individual groups of factors in specific operating conditions.

**Key words:** major repairs, cladding, metal cooling towers, classification of factors, organizational and technological solutions.

**Мазур Вікторія Александровна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології та організації будівництва ГОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: удосконалення конструктивно-технологічних рішень по устрою та капітальному ремонту огорожених конструкцій будівель і споруд.

**Чекал Богдан Николаевич** – магістрант кафедри технології та організації будівництва ГОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: організаційно-технологічні особливості процесів ремонту промислових споруд.

**Мазур Вікторія Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології та організації будівництва ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: удосконалення конструктивно-технологічних рішень по влаштуванню і капітальному ремонту огорожувальних конструкцій будівель і споруд.

**Чекал Богдан Миколайович** – магістрант кафедри технології та організації будівництва ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: організаційно-технологічні особливості процесів ремонту промислових будівель.

**Mazur Victoria** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of structural and technological solutions for the arrangement and overhaul of building envelopes of buildings and structures.

**Chekal Bogdan** – master's student, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: organizational and technological features of the processes of repair of industrial structures.

УДК 691.16:662

**В. Л. БЕСПАЛОВ, С. Г. ГОШКО, Ю. Ю. ГОШКО, А. В. ГРИШКО**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ БЕТОНОВ,  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВТОРИЧНЫМИ КУБОВЫМИ ОСТАТКАМИ  
ФЕНОЛЬНО-АЦЕТОНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**Аннотация.** В работе изучены закономерности изменения модуля упругости бетонов и связанных с ним характеристик, приготовленных с использованием модифицированных вторичных кубовых остатков фенольно-ацетонного производства в условиях близких к эксплуатационным. Частотная зависимость комплексного модуля упругости  $E^*$  мелкозернистого бетона на комплексном органическом вяжущем (вязкопластичный ВКОФАП, модифицированный 1,5 % мас. отсева поливинилхлорида (ОПВХ) и 30 % остатка дистилляции фталевого ангидрида (ОДФА)) при температурах: 1 – (-20 °С); 2 – (-10 °С); 3 – 0 °С; 4 – 10 °С; 5 – 20 °С; 6 – 30 °С; 7 – 40 °С; 8 – 50 °С – они имеют характер прямых в полулогарифмических координатах. Результаты исследования свидетельствуют о достаточно высоких критических напряжениях бетона с использованием комплексного органического вяжущего  $\sigma_{кр} = 0,7$  МПа. Следовательно, покрытия, построенные из бетонных смесей на комплексном органическом вяжущем, будут долговечными под действием транспортных нагрузок.

**Ключевые слова:** дорожный асфальтобетон, вязкопластичный вторичный кубовый остаток фенольно-ацетонного производства, модуль упругости, коэффициента пластичности.

**ПОСТАНОВКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ**

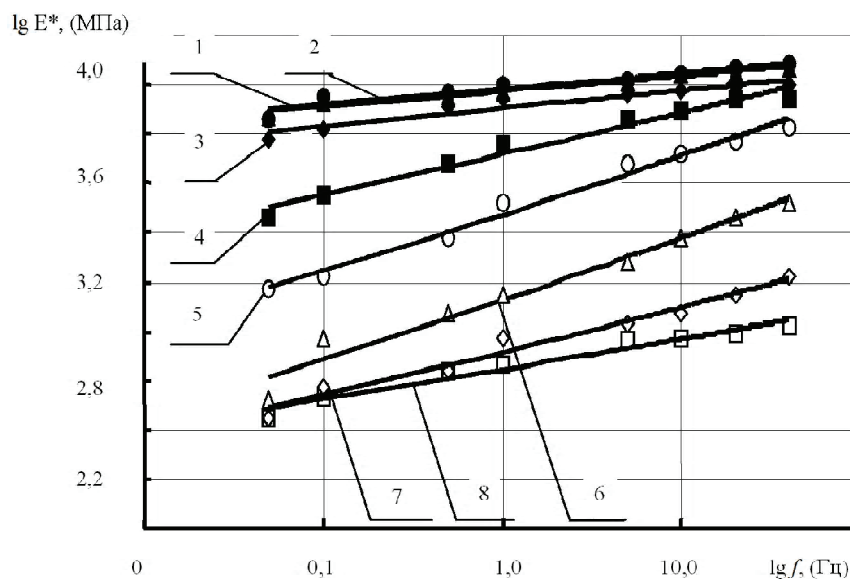
В работах [1, 2] показано, что вторичные кубовые остатки фенольно-ацетонного производства целесообразно использовать в качестве исходного сырья для получения композиционных органических вяжущих для производства дорожных бетонов. Для объективной оценки работы дорожных бетонов и степени воздействия на них различных факторов целесообразно исследовать их работоспособность при эксплуатации.

В работе изучены закономерности изменения модуля упругости и связанных с ним характеристик бетонов, приготовленных с использованием модифицированных вторичных кубовых остатков фенольно-ацетонного производства в условиях близких к эксплуатационным.

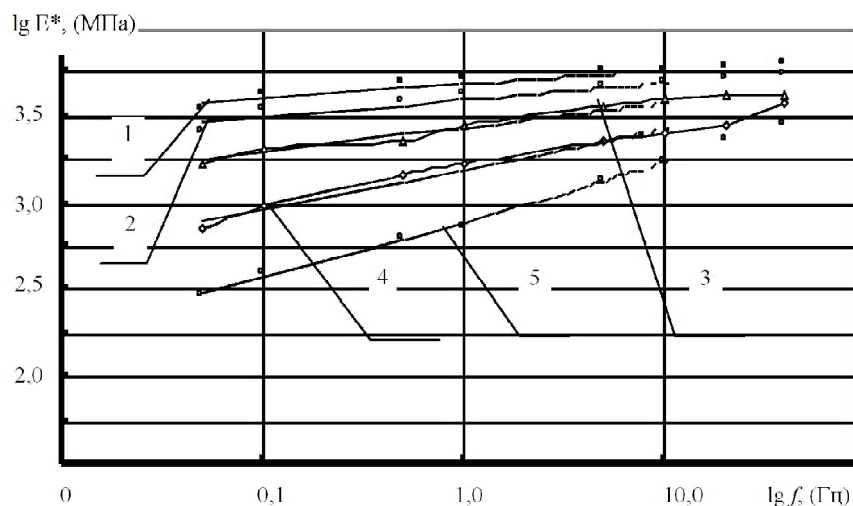
**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ**

Изменение модуля упругости исследовано в диапазоне температур  $T = -20...50$  °С и интервале частот деформирования  $f = 0,01...50$  Гц (определены методом синусоидальных воздействий на вибростенде, разработанном профессором В. А. Золотаревым в Харьковском национальном автомобильно-дорожном техническом университете [3]). Рассмотрение температурно-частотных зависимостей модулей упругости бетона (рис. 1 и 2) показывает, что они имеют характер прямых в полулогарифмических координатах.

В области низких и высоких температур интенсивность изменения модулей упругости минимальна. При температурах же переходных ( $T = +10$  °С...+ 30 °С, рис. 1 и  $T = 30...50$  °С, рис. 2) наблюдается максимальная зависимость модуля упругости от частоты деформирования и времени действия нагрузки. Такой характер изменения модулей упругости обусловлен релаксационным механизмом деформирования бетона и зависит от соотношения интенсивности релаксационных процессов и механического воздействия.



**Рисунок 1** – Частотная зависимость комплексного модуля упругости ( $E^*$ ) мелкозернистого бетона на комплексном органическом вяжущем (вязкопластичный ВКОФАП, модифицированный 1,5 % мас. отсева поливинилхлорида (ОПВХ) и 30 % остатка дистилляции фталевого ангидрида (ОДФА)) при температурах: 1 –  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 –  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ ; 3 –  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ; 4 –  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ; 5 –  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ; 6 –  $30\text{ }^\circ\text{C}$ ; 7 –  $40\text{ }^\circ\text{C}$ ; 8 –  $50\text{ }^\circ\text{C}$ .



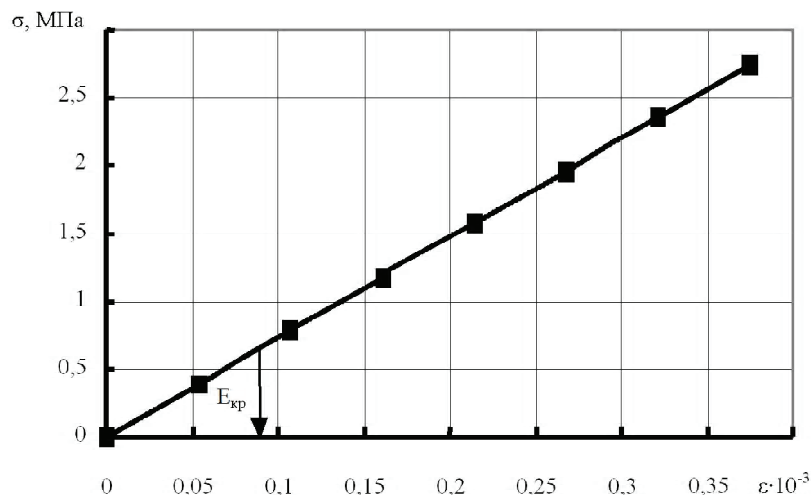
**Рисунок 2** – Частотная зависимость комплексного модуля упругости ( $E^*$ ) мелкозернистого бетона на компаундированном органическом вяжущем (пекоподобный ВКОФАП – 40 м.ч. и нефтяной дорожный битум БНД 40/60 – 60 м. ч.) при температурах: 1 –  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 –  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ; 3 –  $30\text{ }^\circ\text{C}$ ; 4 –  $40\text{ }^\circ\text{C}$ ; 5 –  $50\text{ }^\circ\text{C}$ .

Данные, приведенные на рис. 3, свидетельствуют о достаточно высоких критических напряжениях бетона с использованием комплексного органического вяжущего  $\sigma_{кр} = 0,7\text{ МПа}$ . Следовательно, покрытия, построенные из бетонных смесей на комплексном органическом вяжущем, будут долговечными под действием транспортных нагрузок.

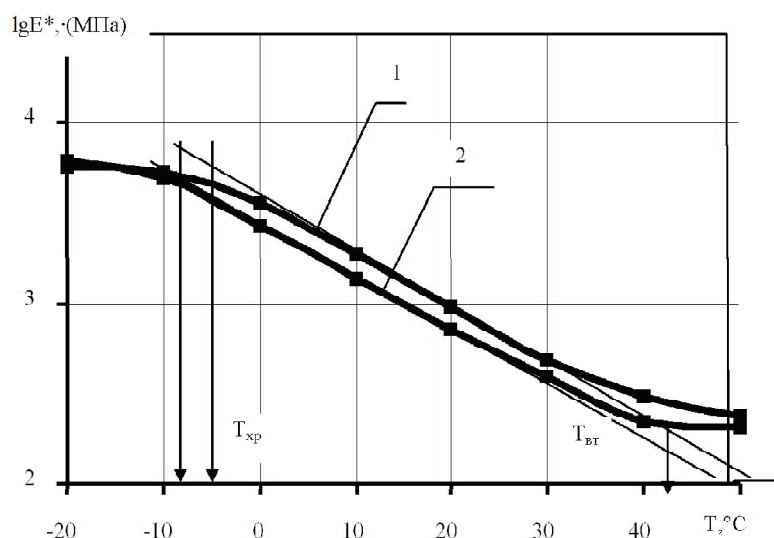
Зона вязкоупругого поведения бетонов определяется температурами перехода органических вяжущих в стеклообразное и вязкотекучее состояния (рис. 3, таблица) и равна для бетонов на комплексном органическом вяжущем –  $67\text{ }^\circ\text{C}$ , на КОВ –  $71\text{ }^\circ\text{C}$ .

Коэффициент пластичности, используемый для оценки интенсивности изменения механических свойств бетонов, проходит через максимум (рис. 5, 6). В области низких температур (область температур стеклования) коэффициент пластичности качественно характеризует отношение времени испытания ко времени релаксации, а в области высоких положительных температур, развивающейся в направлении перехода к условно-равновесному состоянию, он представляет собой отношение времени релаксации ко времени испытания.





**Рисунок 3** – Зависимость между напряжением ( $\sigma$ ) мелкозернистого бетона и относительной деформацией ( $\epsilon$ ) при частоте деформирования 0,5 Гц и температуре 20 °С с применением комплексного органического вяжущего.



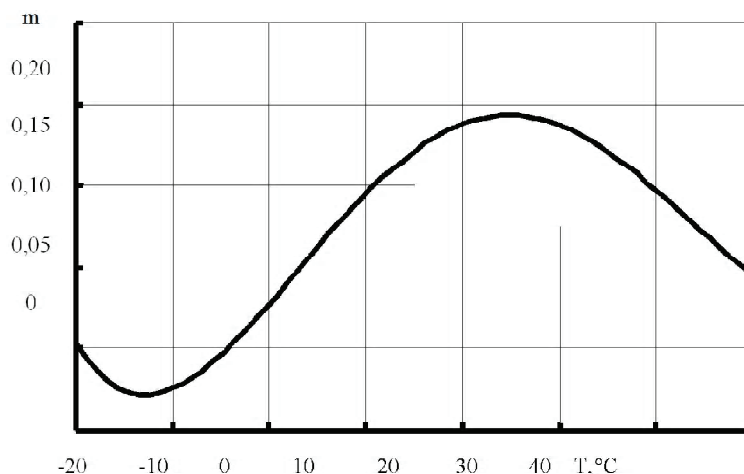
**Рисунок 4** – Температурная зависимость комплексного модуля упругости ( $E^*$ ) мелкозернистого бетона при частоте деформирования 0,05 Гц с использованием вяжущего: 1 – комплексное органическое вяжущее; 2 – компаундированное органическое вяжущее.

Максимальное значение коэффициента  $m$  характеризует переходную зону между этими состояниями и как следует из [3] может свидетельствовать о доле эластической составляющей в общей деформации бетона на органическом вяжущем, а также свидетельствует о состоянии бетонов на органических вяжущих, в которых оптимально сочетаются свойства упругого и вязкого тел.

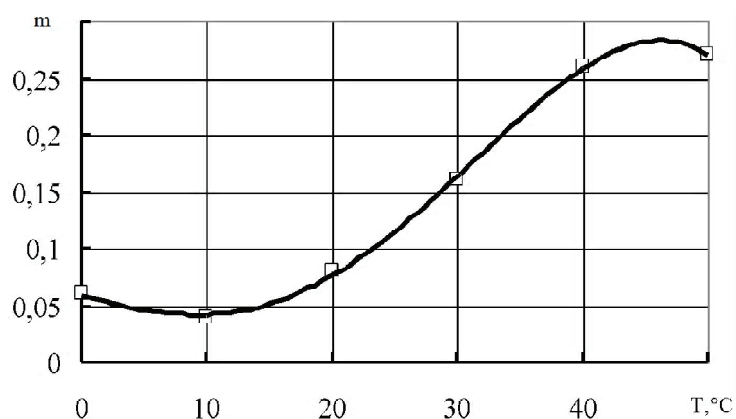
При выборе бетонов для эксплуатационных условий лучшим будет тот, у которого коэффициент пластичности в зоне стеклования имеет большее значение. С этой точки зрения бетоны как с использованием комплексного, так и компаундированного органических вяжущих проявляют одинаковую способность к пластической деформации в области отрицательных температур (рис. 5, 6, таблица).

## ВЫВОД

Бетоны, содержащие в своем составе комплексное органические вяжущие, характеризуются широким интервалом вязкоупругого поведения в покрытии дорожной одежды, повышенным сопротивлением сдвигу и динамическим модулем упругости в области положительных температур.



**Рисунок 5** – Температурная зависимость коэффициента пластичности (m) мелкозернистого бетона на комплексном органическом вяжущем.



**Рисунок 6** – Температурная зависимость коэффициента пластичности (m) мелкозернистого бетона на компаундированном органическом вяжущем.

**Таблица** – Деформационно-прочностные свойства бетонов на органических вяжущих

Наименование параметра	Температура определения, °C	Частота, Гц	Комплексное органическое вяжущее	Компаундированное органическое вяжущее	Традиционные органические вяжущие	
					Деготь $C_{10}^{50} = 75c$	Битум БНД 200/300
Модуль упругости $E \cdot 10^{-3}$ , МПа	50	0,5	0,400	–	0,233	0,083
	40	0,5	0,416	–	0,854	0,640
	30	0,5	0,737	–	1,475	0,200
	20	0,5	1,500	1,883	2,007	0,250
	10	0,5	3,020	2,167	4,100	0,765
	0	0,5	5,754	4,265	8,885	1,520
	–10	0,5	5,807	6,110	14,267	3,416
	–20	0,5	7,014	6,483	17,855	5,749
Относительная критическая деформация, $\epsilon_{кр} \cdot 10^4$	20	0,5	0,393	–	0,8	2,35
Условная температура стеклования, °C	–	0,05	–16,1	–12,3	–	–
Коэффициент температурной чувствительности, $\Delta \lg E / \Delta T$	–	0,1	0,020	0,0127	0,0263	0,0264
Коэффициент пластичности, m	20	–	0,2	0,08	0,13	0,21
	–20	–	0,04	–	0,43	0,38

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братчун, В. И. ВКОФАП – Сырье компаундированных органических вяжущих / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов. – Текст : непосредственный // Автомобильный транспорт и дорожное хозяйство на рубеже 3-го тысячелетия. – Харьков : ХГАДТУ, 2000. – С. 16–18.
2. Беспалов, В. Л. О получении модифицированных органических вяжущих из вторичного кубового остатка фенольно-ацетонового производства / В. Л. Беспалов. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2000. Випуск 22. Композиційні матеріали для будівництва. – С. 58–61.
3. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В. А. Золотарев. – Харьков : Вища шк., 1977. – 116 с. – Текст : непосредственный.
4. Братчун, В. И. Модифицированные дёгты и дёгтебетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. А. Золотарёв. – Макеевка : ДГАСА, 1998. – 226 с. – Текст : непосредственный.
5. Братчун, В. И. Повышение долговечности дегтебетонных покрытий / В. И. Братчун, В. Н. Ходун, А. Г. Доля. – Текст : непосредственный // Автодорожний комплекс України в сучасних умовах: Проблеми і шляхи розвитку. – Киев : ПВКП «Укртипроект», 1998. – С. 161–163.

Получена 16.01.2022

В. Л. БЕСПАЛОВ, С. Г. ГОШКО, Ю. Ю. ГОШКО, А. В. ГРИШКО  
ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ БЕТОНІВ,  
МОДИФІКОВАНИХ ВТОРИННИМИ КУБОВИМИ ЗАЛИШКАМИ  
ФЕНОЛЬНО-АЦЕТОНОВОГО ВИРОБНИЦТВА  
ГОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** В роботі вивчено закономірності зміни модуля пружності бетонів та пов'язаних з ним характеристик, приготованих з використанням модифікованих вторинних кубових залишків фенольно-ацетонового виробництва в умовах близьких до експлуатаційних. Частотна залежність комплексного модуля пружності  $E^*$  дрібнозернистого бетону на комплексному органічному в'язучому (в'язкопластичний ВКОФАП, модифікований 1,5 % мас. відсіву полівінілхлориду (ОПВХ) та 30 % залишку дистиляції фталевого ангідриду (ОДФА)) при температурах: 1 – ( $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ); 2 – ( $-10\text{ }^\circ\text{C}$ ); 3 –  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ; 4 –  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ; 5 –  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ; 6 –  $30\text{ }^\circ\text{C}$ ; 7 –  $40\text{ }^\circ\text{C}$ ; 8 –  $50\text{ }^\circ\text{C}$  – вони мають характер прямих у півлогарифмічних координатах. Результати дослідження свідчать про досить високу критичну напругу бетону з використанням комплексного органічного в'язучого  $\sigma_{кр} = 0,7\text{ МПа}$ . Отже, покриття, збудовані з бетонних сумішей на комплексному органічному в'язучому, будуть довговічними під дією транспортних навантажень.

**Ключові слова:** дорожній асфальтобетон, вторинний в'язкопластичний кубовий залишок фенольно-ацетонового виробництва, модуль пружності, коефіцієнта пластичності.

VITALY BESPALOV, SERGEY GOSHKO, YULIA GOSHKO, ALEXEY GRISHKO  
DETERMINATION OF THE EFFECTIVE WORKING TIME OF CONCRETES  
PREPARED ON MODIFIED SECONDARY CUBIC RESIDUES PHENOLIC-  
ACETONE PRODUCTION

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The paper studies the patterns of change in the modulus of elasticity of concrete and related characteristics prepared using modified secondary bottoms of phenol-acetone production under conditions close to operational. Frequency dependence of the complex modulus of elasticity  $E^*$  of fine-grained concrete on a complex organic binder (viscous-plastic VKOFAP, modified with 1.5 wt. % polyvinyl chloride screenings (OPVC) and 30 % phthalic anhydride distillation residue (PDPA)) at temperatures: 1 – ( $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ); 2 – ( $-10\text{ }^\circ\text{C}$ ); 3 –  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ; 4 –  $10\text{ }^\circ\text{C}$ ; 5 –  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ; 6 –  $30\text{ }^\circ\text{C}$ ; 7 –  $40\text{ }^\circ\text{C}$ ; 8 –  $50\text{ }^\circ\text{C}$  – they have the character of straight lines in semi-logarithmic coordinates. The results of the study indicate sufficiently high critical stresses of concrete using a complex organic binder  $\sigma_{cr} = 0.7\text{ MPa}$ . Consequently, coatings built from concrete mixes based on a complex organic binder will be durable under the action of traffic loads.

**Key words:** road asphalt concrete, viscoplastic secondary cubic residue of phenol-acetone production, modulus of elasticity, coefficient of plasticity.

**Беспалов Виталий Леонидович** – доктор технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия 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.

**Гошко Сергей Геннадьевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Гошко Юлия Юрьевна** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Гришко Алексей Викторович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Беспалов Віталій Леонідович** – доктор технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія 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.

**Гошко Сергій Геннадійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Гошко Юлія Юрійвна** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Гришко Олексій Вікторович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Bespalov Vitaly** – D. Sc. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: synthesis of organic binders for the production of composite road-building materials used in the construction of structural layers of non-rigid road coverings of highways of increased durability.

**Goshko Sergey** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Goshko Yulia** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Grishko Alexey** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

УДК 691.16:662

**В. Л. БЕСПАЛОВ, К. Ю. КАПЛУН, М. Г. БОРИСОВ, Д. В. БАБУРИН, Е. Ю. ПАХОМОВ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ХОЛОДНЫЕ ДЕГТЕБЕТОНЫ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ СРОКАМИ  
ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ**

**Аннотация.** Одним из эффективных способов управления процессом формирования структуры дегтебетона является комплексная модификация маловязких каменноугольных вяжущих полиизоцианатом и кубовыми остатками дистилляции фталевого ангидрида. Это позволит использовать для производства холодных дегтебетонных смесей каменноугольные дорожные дегти вязкостью  $C_{30}^{10} = 10...50$  с и значительно снизить температуру приготовления смесей ( $40...70$  °С), а в результате взаимодействия полиизоцианата с кубовыми остатками дистилляции фталевого ангидрида (содержит фталевую кислоту) и фенолсодержащими и аминсодержащими каменноугольного вяжущего. Установлено, что оптимальная температура производства модифицированной холодной дегтебетонной смеси должна составлять  $40...60$  °С, концентрация полиизоцианата  $4...6$  % от массы каменноугольного дегтя в смеси, а ОДА  $15...25$  % от массы дегтя. В настоящей работе исследованы начальный период структурообразования модифицированного холодного дегтебетона и механические свойства дегтебетона в возрасте одних – пяти суток.

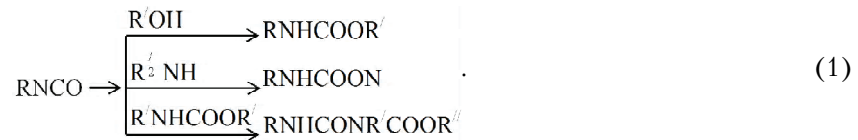
**Ключевые слова:** дорожный асфальтобетон, кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида, полиизоцианат (ПИЦ), каменноугольный деготь, пластическая прочность.

В дорожных конструкциях холодные асфальтобетонные и дегтебетонные смеси используются для создания тонких слоев износа и защитных слоев (толщина до  $3,0...3,5$  см), а также для выполнения ремонтных работ и строительства верхних конструктивных слоев одежд автомобильных дорог III и IV категорий [1–4].

В то же время холодный асфальтобетон (ДСТУ Б В.2.7-2003 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний») и дегтебетон (ГОСТ 25877 «Смеси дегтебетонные дорожные и дегтебетон. Технические условия») характеризуются низкими значениями показателей механических и физических свойств, а также длительным периодом формирования структуры слоя дорожной одежды (в зависимости от температуры окружающей среды, вида вяжущего и толщины слоя от 30 до 180 суток).

Таким образом, необходимо разрабатывать такие способы, которые бы позволили направлено регулировать время структурообразования, например, холодного дегтебетона.

Одним из эффективных способов регулирования процессом формирования структуры дегтебетона является комплексная модификация маловязких каменноугольных вяжущих (ГОСТ 4641-80) полиизоцианатом и кубовыми остатками дистилляции фталевого ангидрида [5]. Это позволит использовать для производства холодных дегтебетонных смесей каменноугольные дорожные дегти вязкостью  $C_{30}^{10} = 10...50$  с и значительно снизить температуру приготовления смесей ( $40...70$  °С), а в результате взаимодействия полиизоцианата RNCО с кубовыми остатками дистилляции фталевого ангидрида (содержит фталевую кислоту) и фенолсодержащими и аминсодержащими каменноугольного вяжущего по реакции 1. Это позволит сформировать во времени структурированную систему в пленочном органическом вяжущем на поверхности минеральных материалов бетона (образуются полиуретаны):



## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании использованы такие материалы:

**составленный каменноугольный деготь**  $C_{30}^{10} = 15^\circ\text{C}$  (содержание фенолов 2,5 %, нафталина 1 %; фракционный состав: перегоняется до температуры  $180^\circ\text{C}$  – 1,8 %, до  $280^\circ\text{C}$  – 14 %; до  $300^\circ\text{C}$  – 24 %; температура размягчения остатка после отбора фракций до  $300^\circ\text{C}$  –  $36^\circ\text{C}$ ; потери после четырех часов прогрева при  $110^\circ\text{C}$  в слое  $1 \cdot 10^{-3}$  м – 18,26 %);

**кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида (ОДА)** Авдеевского коксохимического завода. ОДА образуются при термической обработке и дистилляции фталевого ангидрида. Кубовый остаток – смола с примесью от 40 до 60 % фталевого ангидрида  $C_8H_4O_3$ . Кроме того, в ОДА содержится фталевая кислота, минеральные вещества ( $CaCO_3$ , сульфаты) от 1 до 7 % и зола до 3 % [6]. ОДА измельчали и просеивали сквозь сито № 0,071; физические показатели качества молотого ОДА: плотность –  $1527 \text{ кг/м}^3$ ; зольность – 7,8 %; содержание углерода,  $C^c$  – 62,2 %; содержание водорода  $H^c$  – 3,1 %; содержание гидроксильных групп,  $OH$  – 1,1 мгкв/г; коэффициент формы частиц 0,8...1,0; удельная поверхность на границе раздела фаз твердое вещество – воздух –  $490 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;

**полиизоцианат (ПИЦ)** ( $R - N = C = O$ ; группа –  $NCO$  имеет линейную структуру; длина  $N = C$  – связи – 0,119 нм (1,19 Å),  $C = O$  – связи – 0,118 нм (1,18 Å); угол между группами  $R$  – и  $NCO$  – может меняться от  $120$  до  $130^\circ$  в зависимости от природы изоцианата [7]. Изоцианатная группа в ИК – спектре – в области 220...250 мм. Изоцианат обладает большими дипольными моментами, существенный вклад в которые вносит  $NCO$  – группа; 4, 4'/ 4'' – трифенилметандиизоцианат, который использовался в настоящей работе, имеет температуру замерзания –  $91^\circ\text{C}$ , показатель преломления  $n_D^{20} = 1.6150$ .

Азот и кислород  $NCO$  – группы несут отрицательный заряд и обладают электронодонорными свойствами, а углерод характеризуется существенным дефицитом электронной плотности. Поэтому группа подвержена как нуклеофильным, так и электрофильным атакам. Наиболее типичны для изоцианата реакции нуклеофильного присоединения с участием кислород – и азотсодержащих веществ (в том числе и полимерных соединений, содержащих соответствующие концевые группы) (реакция 1).

Для исследования влияния свойств модифицированных каменноугольных вяжущих был принят мелкозернистый бетон (тип В – ДСТУ Б В.2.7119-2003). Для получения минеральных зерен размером 15...0,071 мм был использован щебень Каранского месторождения со следующими свойствами: дробимость в водонасыщенном состоянии – 6,2 %; марка щебня – 1 200; износ в полочном барабане – 2,3 %; насыпная плотность –  $1410 \text{ кг/м}^3$ ; плотность –  $2670 \text{ кг/м}^3$ ; морозостойкость – выдерживает более 50 циклов попеременного замораживания-оттаивания; содержание зерен лещадной и игловатой формы – 6 %.

В качестве минерального порошка был принят известняковый, активированный стеарином со следующими показателями качества: удельная поверхность –  $445 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; плотность –  $2710 \text{ кг/м}^3$ ; средняя плотность под нагрузкой – 40 МПа –  $1890 \text{ кг/м}^3$ ; пористость – 30,3 %; дегтеёмкость – 59 %.

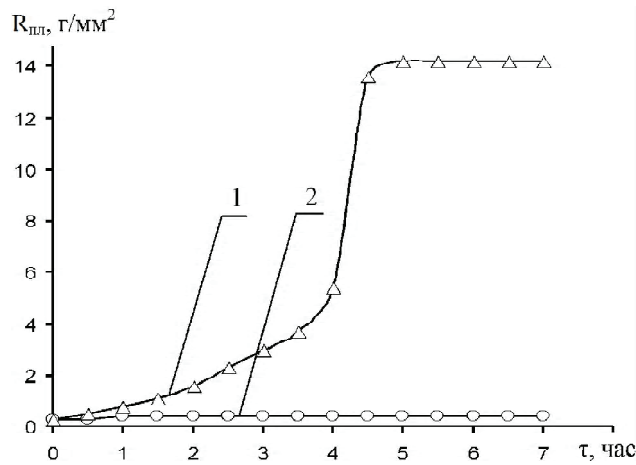
## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Начальный период структурообразования дегтевяжущего вещества исследовали на пластометре П. А. Ребиндера [8]. Реологические характеристики дегтебетона (модуль упругости, время релаксации, время ретардации) определяли по методике А. М. Богуславского [9]. Морозостойкость и водостойкость по методике изложенной в [10].

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ранее в зависимости от температуры производства, массовой концентрации полиизоцианата и кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида с использованием метода математического планирования эксперимента установлено, что оптимальная температура производства модифицированной холодной дегтебетонной смеси должна составлять  $40...60^\circ\text{C}$ , концентрация полиизоцианата 4...6 % от массы каменноугольного дегтя в смеси, а ОДА 15...25 % от массы дегтя. В настоящей

работе исследованы начальный период структурообразования модифицированного холодного дегтебетона (рисунок) и механические свойства дегтебетона в возрасте одних – пяти суток (таблица).



**Рисунок** – Зависимость пластической прочности  $R_{пл}$  дегтевяжущего вещества состава: каменноугольный дорожный деготь: известняковый минеральный порошок 1:3 м.ч. от времени структурообразования  $\tau$ ; состав органического вяжущего: 1 – каменноугольный дорожный деготь вязкостью  $C_{30}^{10} = 15$  с с 10 % ОДА и 5 % ПИЦ от массы дегтя; 2 – каменноугольный дорожный деготь вязкостью  $C_{30}^{10} = 15$  с с 10 % ОДА по массе; температура производства и испытания пасты – 55 °С.

Как следует из данных, приведенных на рисунке, модифицированный холодный дегтебетон во времени проходит три этапа структурообразования. На протяжении четырех часов от времени приготовления холодная дегтебетонная смесь, которая содержит в своем составе маловязкий каменноугольный дорожный деготь с ОДА и ПИЦ, может транспортироваться, укладываться и уплотняться в конструкции дорожной одежды.

На втором этапе структурообразования полиизоцианат реагирует с фенолсодержащими соединениями каменноугольного вяжущего и функциональными группами кубовых остатков дистилляции фталевого ангидрида по реакции 1, что приводит к формированию трехмерной сетки с узлами в виде частиц активного дисперсного наполнителя ОДА и гибкими цепочками из смолистых соединений каменноугольного дегтя. Третий этап – стабилизация структуры дегтевяжущего вещества, а следовательно, физических и механических свойств модифицированного дегтебетона.

Холодный модифицированный дегтебетон (тип В), содержащий в своем составе каменноугольный дорожный деготь, который модифицирован 20 % ОДА и 5 % ПИЦ в течение одних суток формирует структуру (таблица).

**Таблица** – Предел прочности при сжатии при 20 °С ( $R_{20}$ , МПа) мелкозернистого дегтебетона (тип В)

Время, сутки				
1	2	3	4	5
3,3	3,4	3,3	3,4	3,5

Время, сутки 12345 Контрольный состав (состав органического вяжущего: КД,  $C_{30}^{10} = 15$  с с 20 % ОДА) Введение полиизоцианата в органическое вяжущее – каменноугольный дорожный деготь  $C_{30}^{10} = 15$  с с 20 % ОДА в три раза повышает предел прочности при сжатии. Модифицированный холодный дегтебетон характеризуется коэффициентом длительной водостойкости  $K_{вд} = 0,85$ , коэффициент морозостойкости после 25 циклов составляет  $F = 0,81$ . Модуль упругости, определенный по методике А. М. Богуславского, при 20 °С равняется 1 403 МПа, а при 50 °С – 699 МПа.

### ВЫВОД

Для управления процессом структурообразования холодного дегтебетона необходимо маловязкие каменноугольные дегти модифицировать кубовыми остатками дистилляции фталевого ангидрида и полиизоцианатом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлова, Е. Н. Холодный асфальтобетон / Е. Н. Козлова. – Москва : Автотрансиздат, 1958. – 212 с. – Текст : непосредственный.
2. Гоц, В. Т. XX Всесвітній дорожній конгрес – основні підсумки / В. Т. ГОЦ. – Текст : непосредственный // Автошляховик України. – 1995. – № 4. – С. 34–37.
3. Островерхий, О. Г. Економічна ефективність будівництва нежорстких тонкошарових покриттів із емульсійно-мінеральною сумішшю літої консистенції / О. Г. Островерхий, А. А. Борисенко. – Текст : непосредственный // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1999. – Випуск 57. – С. 175–182.
4. Лысихина, А. И. Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей / А. И. Лысихина. – Москва : Автотрансиздат, 1962. – 360 с. – Текст : непосредственный.
5. Братчун, В. І. Холодний дьогтебетон з підвищеними фізико-механічними властивостями / В. І. Братчун, А. В. Поліщук. – Текст : непосредственный // Автошляховик України. – 2000. – № 4. – С. 29–30.
6. Гуревич, Д. А. Переработка отходов в промышленности полупродуктов и красителей / Д. А. Гуревич. – Москва : Химия, 1980. – 273 с. – Текст : непосредственный.
7. Энциклопедия полимеров / В. А. Каргин, М. С. Акутин, Е. В. Вонский [и др.] ; в 3 томах, том 1. – Москва : Советская энциклопедия, 1972. – 1224 с.
8. Горшков, В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В. С. Горшков, В. В. Тимашов, В. Г. Савельев. – Москва : Стройиздат, 1981. – 335 с. – Текст : непосредственный.
9. Богуславский, А. М. Основы реологии асфальтобетона / А. М. Богуславский, А. А. Богуславский. – Москва : Высшая школа, 1972. – 200 с. – Текст : непосредственный.
10. Головкин В. А. Исследование водо- и морозостойкости горячих и теплых асфальтобетонов : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Головкин Владимир Андреевич ; ХАДИ. – Харьков, 1975. – 25 с. – Текст : непосредственный.

Получена 19.01.2022

В. Л. БЕСПАЛОВ, К. Ю. КАПЛУН, М. Г. БОРИСОВ, Д. В. БАБУРИН,  
Є. Ю. ПАХОМОВ  
ХОЛОДНІ ДЬОГТЕБЕТОНИ З РЕГУЛЬОВАНИМИ ТЕРМІНАМИ  
ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ  
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

**Анотація.** Одним з ефективних способів управління процесом формування структури дегтебетону є комплексна модифікація малов'язких кам'яновугільних в'язучих поліізоціанатом та кубовими залишками дистиляції фталевого ангідриду. Це дозволить використовувати для виробництва холодних дьогтебетонних сумішей кам'яновугільні дорожні дьогті в'язкістю  $C_{30}^{10} = 10...50$  с і значно знизити температуру приготування сумішей ( $40...70$  °С), а в результаті взаємодії поліізоціанату з кубовими залишками дистиляції фталевого ангідриду (містить фталеву кислоту) аміносодержачими кам'яновугільного в'язучого. Встановлено, що оптимальна температура виробництва модифікованої холодної дьогтебетонної суміші повинна становити  $40...60$  °С, концентрація поліізоціанату  $4...6$  % маси кам'яновугільного дьогтю в суміші, а ОДА  $15...25$  % маси дьогтю. У цій роботі досліджено початковий період структуроутворення модифікованого холодного дьогтебетону та механічні властивості дьогтебетону у віці однієї – п'яти діб.

**Ключові слова:** дорожній асфальтобетон, кубові залишки дистиляції фталевого ангідриду, поліізоціанат (ПІЦ), кам'яновугільний дьоготь, пластична міцність.

VITALY BESPALOV, KIRILL KAPLUN, MIKHAIL BORISOV, DENIS BABURIN,  
EVGENY PAKHOMOV  
COLD TAR-CONCRETE WITH ADJUSTABLE TERMS FORMATION OF THE  
STRUCTURE  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** One of the effective ways to control the process of formation of the structure of tar concrete is the complex modification of low-viscosity coal binders with polyisocyanate and distillation residues of phthalic anhydride. This will make it possible to use coal tar with a viscosity  $C_{30}^{10} = 10...50$  s for the production of cold tar concrete mixtures and significantly reduce the mixture preparation temperature ( $40...70$  °С), and as a result of the interaction of polyisocyanate with distillation residues of phthalic anhydride distillation (contains phthalic acid) and phenol-containing and amine-containing coal binder. It has been established that the optimal temperature for the production of a modified cold tar concrete mixture should be



40...60 ° C, the concentration of polyisocyanate is 4...6 % by weight of coal tar in the mixture, and ODA is 15...25 % by weight of tar. In this work, the initial period of structure formation of modified cold tar concrete and the mechanical properties of tar concrete at the age of one to five days were studied.

**Key words:** road asphalt concrete, cubic residues of distillation of ophthalmic anhydride, polyisocyanate (PIC), coal tar, plastic strength.

**Беспалов Виталий Леонидович** – доктор технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия 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.

**Каплун Кирилл Юрьевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Борисов Михаил Геннадиевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Бабурин Денис Владимирович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Пахомов Евгений Юрьевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Беспалов Віталій Леонідович** – доктор технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: синтез органічних в'язучих для виробництва композиційних дорожно-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг підвищеної довговічності.

**Каплун Кирило Юрійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Борисов Михайло Генадійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Бабурін Денис Володимирович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Пахомов Євген Юрійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

**Bespalov Vitaly** – D. Sc. (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.

**Kaplun Kirill** – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering

and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Borisov Mikhail** – master’s student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Baburin Denis** – master’s student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

**Pakhomov Evgeny** – master’s student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: production of technological and durable road concretes for the construction of structural layers of non-rigid road pavements based on the modification of organic binders.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

БРАТЧУН В. И., ДЕМЕШКИН В. П., НАРИЖНАЯ О. Н., РОДЗИН М. А., КРАСНОПЁРОВ А. С., СОЛОВЬЁВ М. Г., ДЕЙНЕКА П. П. Оптимальные температурно-временные режимы производства дёгтеполимерных вяжущих, модифицированных первичными отходами производства термопластов	5
САЗАНОВ А. И., ЦАРУК А. В., ТРИГУБ С. В., ЧИКУН А. В. О целесообразности использования побочных продуктов промышленности в качестве минерального порошка дорожного асфальтобетона	15
ШИЛИН И. В., ХИМЧЕНКО А. В., СОКОЛОВА Ю. Н. Разработка модели очертания ремонтной карты на дорожном покрытии после холодного фрезерования	23
БРАТЧУН В. И., ГУЛЯК Д. В., ЖЕВАНОВ В. В., ЛЕОНОВ Н. С., СКОРИК Д. С. Деформационно-прочностные характеристики комплексно-модифицированных дегтебетонов	31
КИБЗУН В. Н., НАГОРНАЯ Н. П. Теоретические аспекты формирования ассортимента и качества кожгалантерейных изделий на рынке г. Донецка	38
ВОРОНЕНКО М. Э., СКИБИНА А. А., ЕГОРОВА Е. В., ЛАХТАРИНА С. В., ПЕТРИК И. Ю. Тяжелый бетон для гидротехнических сооружений	49
КОЧЕРГИН Ю. С., ЗОЛОТАРЁВА В. В. Релаксационные свойства композитных материалов на основе эпоксидно-каучуковых смесей, отвержденных кардовым полиарилатом	55
КОЧЕРГИН Ю. С., ЗОЛОТАРЁВА В. В. Свойства композитов на основе эпоксидной смолы, модифицированной оловоорганическим галогенидом	63
БЕСПАЛОВ В. Л., МАРКОВ А. Р., ЮХНОВ А. В., СИРЕНКО В. В., МАЙДАНИЧЕНКО Р. С. Комплексные органические вяжущие на основе вязкопластичных вторичных кубовых остатков фенольно-ацетонового производства	73
ЮРЧЕНКО В. В., КОТ А. Ю., КУРОЧКИНА Н. С., ПЕТРУШИНА Е. А. Оптимизация фракционного состава композиционного строительного материала из вторичного полиэтилена высокого давления и мелкодисперсных отходов переработки древесины	79
САТКОЕВА А. М. Способы повышения долговечности дорожных щебеночно-мастичных асфальтобетонов комплексной модификацией структуры щебеночно-мастичных асфальтобетонов	85
ЛЕВЧЕНКО В. Н., КРОТЮК В. И., ВОДОЛАЗСКИЙ С. Н., ОВЧАРЕНКО Д. В., ХОМИЧ В. И. Экономическое обоснование надежности и долговечности строительных конструкций зданий и сооружений	91
ЯВТУХОВСКИЙ П. Ю., КУДИНОВ А. М., КУДИНОВ Н. М., ГУЛЯК Д. В. Применение асфальторазогревательного комплекса для ремонта покрытия автомобильных дорог	99
СТУКАЛОВ А. А., БУГАЕЦ А. А., ШАБЛЯ В. В. Особенности технологического старения нефтяного дорожного битума в составе асфальтвяжущего вещества	104
РАДЮКОВА Э. Л., ГОРЯИНОВ В. В. Комплексно-модифицированные латексом Butonal NS 198 дорожные асфальтополимербетоны повышенной долговечности	108
БРАТЧУН В. И., ПШЕНИЧНЫХ О. А., РОМАСЮК Е. А., ПОНОМАРЕНКО П. В., ВАСИЛЬЕВА Т. А., КОВАЛЬ Д. И., ПРИСЯЖНЮК С. С., КАМИНСКИЙ И. А. О формировании структуры адсорбционно-сольватных слоев асфальтохризотилового вяжущего вещества на поверхности минеральных материалов дорожного асфальтобетона	114
ГУБА К. Р., ВЕЛИЧКО А. Г., ПАНАСЕНКО А. А., КОСИК А. И. Модификация битума асфальтного гранулята	122
САМОЙЛОВА Е. Э., ШКУРКО Н. В., БЫВАЛИНА А. С., БУЦ В. А. Обеспечение экологичности при проектировании дорожного покрытия	128
ФРОЛОВА С. А., СОБОЛЬ О. В., СОБОЛЕВ А. Ю. Анализ термических гистерезисных явлений при плавлении и кристаллизации $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	134
БАРМОТИН А. А. Особенности проектирования фасадов гражданских зданий	142

---

ШЕВЧЕНКО О. Н., СОХИНА С. И. Методика прогнозирования долговечности защитных покрытий на основе утилизированных отходов химической промышленности по Ст. 3	148
МАЗУР В. А., ЧЕКАЛ Б. Н. Факторы, влияющие на выбор организационно-технологических решений капремонта обшивки металлических градилен	154
БЕСПАЛОВ В. Л., ГОШКО С. Г., ГОШКО Ю. Ю., ГРИШКО А. В. Определение времени эффективной работы бетонов, модифицированных вторичными кубовыми остатками фенольно-ацетонового производства	160
БЕСПАЛОВ В. Л., КАПЛУН К. Ю., БОРИСОВ М. Г., БАБУРИН Д. В., ПАХОМОВ Е. Ю. Холодные дегтебетоны с регулируемыми сроками формирования структуры	166

Статьи, публикуемые в журнале «Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры», размещены

- в российской информационно-аналитической системе –  
Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- в электронно-библиотечной системе IPRbooks
- в информационно-поисковой системе Google Scholar.

---

## ЗМІСТ

БРАТЧУН В. І., ДЕМЕШКІН В. П., НАРИЖНА О. М., РОДЗІН М. О., КРАСНОПЕРОВ О. С., СОЛОВІЙОВ М. Г., ДЕЙНЕКА П. П. Оптимальні температурно-часові режими виробництва дьогтеполімерних в'язучих, модифікованих первинними відходами виробництва термопластів	5
САЗАНОВ О. І., ЦАРУК О. В., ТРИГУБ С. В., ЧИКУН О. В. Про доцільність використання побічних продуктів промисловості як мінерального порошку дорожнього асфальтобетону	15
ШИЛІН І. В., ХІМЧЕНКО А. В., СОКОЛОВА Ю. М. Розробка моделі контура ремонтної карти на дорожньому покритті після холодного фрезерування	23
БРАТЧУН В. І., ГУЛЯК Д. В., ЖЕВАНОВ В. В., ЛЕОНОВ М. С., СКОРИК Д. С. Деформаційно-міцнісні характеристики комплексно-модифікованих дьогтебетонів	31
КІБЗУН В. М., НАГОРНА Н. П. Теоретичні аспекти формування асортименту та якості шкіргалантерейних виробів на ринку м. Донецька	38
ВОРОНЕНКО М. Е., СКІБІНА А. А., ЄГОРОВА О. В., ЛАХТАРИНА С. В., ПЕТРИК І. Ю. Важкий бетон для гідротехнічних споруд	49
КОЧЕРГІН Ю. С., ЗОЛОТАРЬОВА В. В. Релаксаційні властивості композитних матеріалів на основі епоксидно-каучукових сумішів, затверджених кардовим поліарилатом	55
КОЧЕРГІН Ю. С., ЗОЛОТАРЬОВА В. В. Властивості композитів на основі епоксидної смоли, модифікованої оловоорганічним галогенідом	63
БЕСПАЛОВ В. Л., МАРКОВ А. Р., ЮХНОВ А. В., СИРЕНКО В. В., МАЙДАНІЧЕНКО Р. С. Комплексні органічні в'язучі на основі вторинних в'язкопластичних вторинних кубових залишків фенольно-ацетонового виробництва	73
ЮРЧЕНКО В. В., КОТ А. Ю., КУРОЧКІНА Н. С., ПЕТРУШИНА К. О. Оптимізація фракційного складу композиційного будівельного матеріалу з вторинного поліетилену високого тиску і дрібнодисперсних відходів переробки деревини	79
САТКОЄВА А. М. Способи підвищення довговічності дорожніх щебенево-мастичних асфальтобетонів комплексною модифікацією структури щебенево-мастичних асфальтобетонів	85
ЛЕВЧЕНКО В. М., КРОТЮК В. І., ВОДОЛАЗСЬКИЙ С. М., ОВЧАРЕНКО Д. В., ХОМИЧ В. І. Економічне обґрунтування надійності та довговічності будівельних конструкцій будівель та споруд	91
ЯВТУХОВСЬКИЙ П. Ю., КУДІНОВ О. М., КУДІНОВ М. М., ГУЛЯК Д. В. Застосування асфальторозігрівального комплексу для ремонту покриття автомобільних доріг	99
СТУКАЛОВ О. А., БУГАЄЦ О. А., ШАБЛЯ В. В. Особливості технологічного старіння нафтового дорожнього бітуму у складі асфальтов'язучої речовини	104
РАДЮКОВА Е. Л., ГОРЯЇНОВ В. В. Комплексно-модифіковані латексом Butonal NS 198 дорожні асфальтополімербетони підвищеної довговічності	108
БРАТЧУН В. І., ПШЕНИЧНИХ О. О., РОМАСЮК Є. О., ПОНОМАРЕНКО П. В., ВАСИЛЬЄВА Т. О., КОВАЛЬ Д. І., ПРИСЯЖНЮК С. С., КАМІНСЬКИЙ І. А. Про формування структури адсорбційно-сольватних шарів асфальтохризотилового в'язучого на поверхні мінеральних матеріалів дорожнього асфальтобетону	114
ГУБА К. Р., ВЕЛИЧКО А. Г., ПАНАСЕНКО А. А., КОСИК О. І. Модифікація бітуму асфальтного грануляту	122
САМОЙЛОВА О. Е., ШКУРКО Н. В., БИВАЛІНА А. С., БУЦ В. А. Забезпечення екологічності при проектуванні дорожнього покриття	128
ФРОЛОВА С. О., СОБОЛЬ О. В., СОБОЛЄВ О. Ю. Аналіз термічних гістерезисних явищ при плавленні та кристалізації $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	134
БАРМОТІН О. О. Конструктивні та організаційно-технологічні рішення з влаштування фасадів будівель	142

---

ШЕВЧЕНКО О. М., СОХІНА С. І. Методика прогнозування довговічності захисних покриттів на основі утилізованих відходів хімічної промисловості за Ст. 3	148
МАЗУР В. О., ЧЕКАЛ Б. М. Фактори, що впливають на вибір організаційно-технологічних рішень капремонту обшивки металевих градирень	154
БЕСПАЛОВ В. Л., ГОШКО С. Г., ГОШКО Ю. Ю., ГРИШКО А. В. Визначення часу ефективної роботи бетонів, модифікованих вторинними кубовими залишками фенольно-ацетонового виробництва	160
БЕСПАЛОВ В. Л., КАПЛУН К. Ю., БОРИСОВ М. Г., БАБУРІН Д. В., ПАХОМОВ Є. Ю. Холодні дьогтебетони з регульованими термінами формування структури	166

Статті, що публікуються у журналі «Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури», розміщені

- в російській інформаційно-аналітичній системі – Російський індекс наукового цитування (РІНЦ)
- в електронно-бібліотечній системі IPRbooks
- в інформаційно-пошуковій системі Google Scholar.

---

## CONTENTS

BRATCHUN VALERY, DEMESHKIN VALENTIN, NARIZHNAYA OLGA, RODZIN MIKHAIL, KRASNOPEROV ALEXANDER, SOLOVYOV MAXIM, DEINEKA PETR. Optimal Temperature and Time Modes of Production of Tar-oil Polymer Binders Modified by Primary Waste from the Production of Thermoplastics	5
SAZANOV ALEXANDER, TSARUK ALEXANDER, TRIGUB SERGEY, CHIKUN ALEKSEY. About the use of use of By-Products of the Industry as a Mineral Powder of Road Asphalt Concrete	15
SHILIN IGOR, KHIMCHENKO ARKADII, SOKOLOVA YULIA. Development of a Model of the Outline of a Repair Map on a Road Surface After Cold Milling	23
BRATCHUN VALERY, GULYAK DENIS, ZHEVANOV VYACHESLAV, LEONOV NIKITA, SKORIK DMITRIY. Deformation-Strength Characteristics of Complex-Modified Tar Concrete	31
KIBZUN VALENTINA, NAGORNAYA NINA. Theoretical Aspects of the Formation of the Assortment and Quality of Leather Goods on the Market of Donetsk	38
VORONENKO MAXIM, SKIBINA ANASTASIA, YEGOROVA ELENA, LAKHTARYINA SERGEY, PETRIK IRINA. Heavy Concrete for Hydraulic Structures	49
KOCHERGIN YURIY, ZOLOTAREVA VIKTORIYA. Relaxation Properties of Composite Materials Based on Epoxy-Rubber Mixtures Cured with Cardo-Polyarilate	55
KOCHERGIN YURIY, ZOLOTAREVA VIKTORIYA. Properties of Composites Based on Epoxy Resin Modified with Organic Tin Halide	63
BESPALOV VITALY, MARKOV ARTUR, YUKHNOV ANATOLY, SIRENKO VLADISLAV, MAIDANICHENKO RODION. Complex Organic Binder Based Visco-Plastic Secondary Vat Residues Phenol-Acetone Production	73
YURCHENKO VITALIY, KOT ANASTASIA, KUROCHKINA NATALIA, PETRUSHINA EKATERINA. Optimization of the Fractional Composition of Composite Building Material Made of Recycled High-Pressure Polyethylene and Fine Wood Processing Waste	79
SATKOEVA ALANA. Methods for Increasing the Durability of Road Crushed Stone-Mastic Asphalt Concrete by Complex Modification of the Structure of Crushed Stone-Mastic Asphalt Concrete	85
LEVCHENKO VICTOR, KROTIUK VLADIMIR, VODOLAZSKII SERGEI, OVCHARENKO DARIA, KHOMICH VERA. Economic Justification of Reliability and Durability of Engineering Structures of Buildings and Constructions	91
YAVTUKHOVSKY PAVEL, KUDINOV ALEKSANDR, KUDINOV NIKITA, GULYAK DENIS. The Use of Asphalt Heating Complex for the Repair of Road Pavement	99
STUKALOV ALEKSANDR, BUGAETS ALEKSANDR, SHABLYA VLADISLAV. Features of Technological Aging of Oil Road Bitumen in the Composition of Asphalt Binder	104
RADYUKOVA ELINA, GORYAINOV VLADISLAV. Butonal NS 198 Latex-Modified Asphalt-Polymer Road Concretes of Increased Durability	108
BRATCHUN VALERIY, PSHENICHNYKH OLEG, ROMASYUK EVGENIY, PONOMARENKO PAVEL, VASILYEVA TAISIYA, KOVAL DENIS, PRISYAZHNYUK STANISLAV, KAMINSKY IGOR. On the Formation of the Structure of Adsorption-Solvate Layers of Asphalt Chrysotile Binder on the Surface of Mineral Materials of Road Asphalt Concrete	114
GUBA KONSTANTIN, VELICHKO ANDREY, PANASENKO ANDREY, KOSIK ALEXANDER. Modification of Asphalt Granulate Bitumen	122
SAMOJLOVA HELEN, SHKURKO NATALYA, BYVALINA ALINA, BUTS VICTORIA. Ensuring Environmental Compatibility in the Design of the Road Surface	128
FROLOVA SVETLANA, SOBOL OKSANA, SOBOLEV ALEKSANDR. Analysis of Thermal Hysteresis Phenomena During Melting and Crystallization $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	134
BARMOTIN ALEXANDER. Design Features of Facades of Civil Buildings	142

---

SHEVCHENKO OLGA, SOKHINA SVETLANA. Method for Predicting the Durability of Protective Coatings Based on Recycled Waste from the Chemical Industry According to Art. 3	148
MAZUR VICTORIA, CHEKAL BOGDAN. Factors Influencing the Choice of Organizational and Technological Solutions for the Overhaul of Metal Cooling Tower Cladding	154
BESPALOV VITALY, GOSHKO SERGEY, GOSHKO YULIA, GRISHKO ALEXEY. Determination of the Effective Working Time of Concretes Prepared on Modified Secondary Cubic Residues Phenolic-Acetone Production	160
BESPALOV VITALY, KAPLUN KIRILL, BORISOV MIKHAIL, BABURIN DENIS, PAKHOMOV EVGENY. Cold Tar-Concrete with Adjustable Terms Formation of the Structure	166

The articles published in journal «Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture» are indexed by:

- the Russian Information and Analytical System – Russian Science Citation Index (RSCI)
- the electronic-library system IPRbooks
- the search engine Google Scholar.