

ВІСНИК
ДОНБАСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВництва і АРХІТЕКТУРИ



Випуск 2015-1(111)

**СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ
МАТЕРІАЛИ**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

ВІСНИК

**Донбаської національної академії
будівництва і архітектури**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Видається з грудня 1995 року
Виходить 8 разів на рік

Випуск 2015-1(111)

**СУЧАСНІ
БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Макіївка 2015

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**ВЕСТНИК
Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Издаётся с декабря 1995 года
Выходит 8 раз в год

Выпуск 2015-1(111)

**СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

Макеевка 2015

Засновник і видавець

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 9643
видано 02 березня 2005 року Державним комітетом телебачення і радіомовлення України

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.

Друкується за рішенням вченої ради
Донбаської національної академії будівництва і архітектури
Протокол № 4 від 24.02.2015

Редакційна колегія:

Горохов Є. В., д. т. н., професор (головний редактор);
Мущанов В. П., д. т. н., професор (відповідальний редактор);
Братчун В. І., д. т. н., професор (відповідальний редактор випуску);
Корсун В. І., д. т. н., професор (відповідальний секретар випуску);
Зайченко М. М., д. т. н., професор;
Александров В. Д., д. х. н., професор;
Левін В. М., д. т. н., професор;
Петраков О. О., д. т. н., професор;
Вировий В. М., д. т. н., професор;
Золотарьов В. О., д. т. н., професор;
Білощенко В. О., д. т. н., с. н. с.;
Єфремов Ф. Н., д. т. н., професор.

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

Підписано до друку 16.02.2015 Формат 60x84 1/8. Папір багатофункціональний офісний.
Друк різографічний. Умов. друк. арк. 11,00 Тираж 300 прим. Заказ 001-15

Адреса редакції і видавця

Україна, 86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2,
Донбаська національна академія будівництва і архітектури
Телефони: (0622) 90-29-38; (0623) 22-20-51, (0623) 22-24-67
Тел/факс: (0623) 22-06-16, E-mail: vestnik@donnasa.ru,
http://donna.sru.ru/publishing_house/vestnik

Постановою Президії ВАК України від 06.11.2014 р. № 1279 журнал внесено до переліку
наукових фахових видань із технічних наук та архітектури

Надруковано у поліграфічному центрі ДонНАБА
86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2

Основатель и издатель

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации
КВ № 9643 выдано 2 марта 2005 Государственным комитетом телевидения и радиовещания
Украины

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.

Печатается по решению ученого совета
Донбасской национальной академии строительства и архитектуры
Протокол № 4 от 24.02.2015

Редакционная коллегия:

Горохов Е. В., д. т. н., профессор (главный редактор);
Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор (ответственный редактор);
Братчун В. И., д. т. н., профессор (ответственный редактор выпуска);
Корсун В. И., д. т. н., профессор (ответственный секретарь выпуска);
Зайченко Н. М., д. т. н., профессор;
Александров В. Д., д. х. н., профессор;
Левин В. Н., д. т. н., профессор;
Петраков А. А., д. т. н., профессор;
Выровой В. Н., д. т. н., профессор;
Золотарев В. А., д. т. н., профессор;
Белошенко В. А., д. т. н., профессор;
Ефремов Ф. Н., д. т. н., профессор.

Корректоры Л. Н. Лещенко, Е. В. Гнездилова
Программное обеспечение С. В. Гавенко
Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано в печать 16.02.2015 Формат 60x84 1/8. Бумага многофункциональная офисная.
Печать ризографичная. Услов. печат. лист. 11,00 Тираж 300 экз. Заказ 001-15

Адрес редакции и издателя

Украина, 86123, Донецкая область, г. Макеевка, ул. Державина, 2,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
Телефоны: (0622) 90-29-38; (0623) 22-20-51, (0623) 22-24-67
Тел/факс: (0623) 22-06-16, E-mail: vestnik@donnasa.ru,
http://donna.sru.ru/publishing_house/vestnik

Постановлением Президиума ВАК Украины от 06.11.2014 р. № 1279 журнал включен в перечень научных профессиональных изданий по техническим наукам и архитектуре

Напечатано в полиграфическом центре ДонНАСА
86123, Донецкая область, г. Макеевка, ул. Державина, 2

УДК 678.686

Е. Э. САМОЙЛОВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ГРУППОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ БИТУМА

Выполнена оценка величины поверхностного натяжения групповых химических компонентов (ГХК) битума с использованием приемов компьютерного материаловедения. Показано преимущество битумов с высоким содержанием смол и относительно низким содержанием масел для изготовления асфальтобетонов с позиции обеспечения высоких когезионных и адгезионных показателей.

битумы, групповые химические компоненты, когезия, адгезия, краевой угол смачивания, масла, смолы, асфальтены, поверхностное натяжение, компьютерное материаловедение

ПРЕДИСЛОВИЕ

Способность битума смачивать минеральные материалы в значительной мере определяет технологию и свойства асфальтобетона [1]. Критерием смачивания является краевой угол смачивания (θ), определяемый с поверхностными свойствами битума:

$$\cos \theta = (\sigma_{mb} - \sigma_{m6}) / \sigma_{6b}, \quad (1)$$

где σ_{mb} , σ_{m6} , σ_{6b} – поверхностное натяжение на границе «минеральный материал «(ММ) – воздух»; «ММ – битум»; «битум – воздух», соответственно.

С поверхностными свойствами битума связаны работа когезии (W_k) и работа адгезии (W_a), определяющие механические характеристики, водостойкость и долговечность асфальтобетона [1]:

$$W_k = 2 \sigma_{6b}, \quad (2)$$

$$W_a = \sigma_{6b} (1 + \cos \theta). \quad (3)$$

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Групповые химические компоненты (ГХК) битума (М – масла, С – смолы, А – асфальтены) различаются химическим строением и молекулярной массой, которые претерпевают изменения в процессе получения и эксплуатации асфальтобетона. Приемы компьютерного материаловедения [2] позволяют моделировать поверхностные свойства битумов и изучить тенденции их изменения под влиянием различных факторов, вплоть до направленного регулирования W_k и W_a .

ЦЕЛЬ ДАННОЙ РАБОТЫ

Оценить величину поверхностного натяжения ГХК битума. Для его расчета использованы структуры ГХК, приведенные в [1, 3] (представлены на рис.).

Поверхностное натяжение мономеров масел (молекулярные массы (M_{cp}) от 200 до 600 а.е.м.) определяли по формуле (4) [2]:

$$\sigma_M = A_j \left(\sum \Delta E_i^* \right) \left(\sum_i \Delta V_i \right)^{2/3}, \quad (4)$$

где ΔE^* – энергия когезии жидкости (мономера или олигомера).

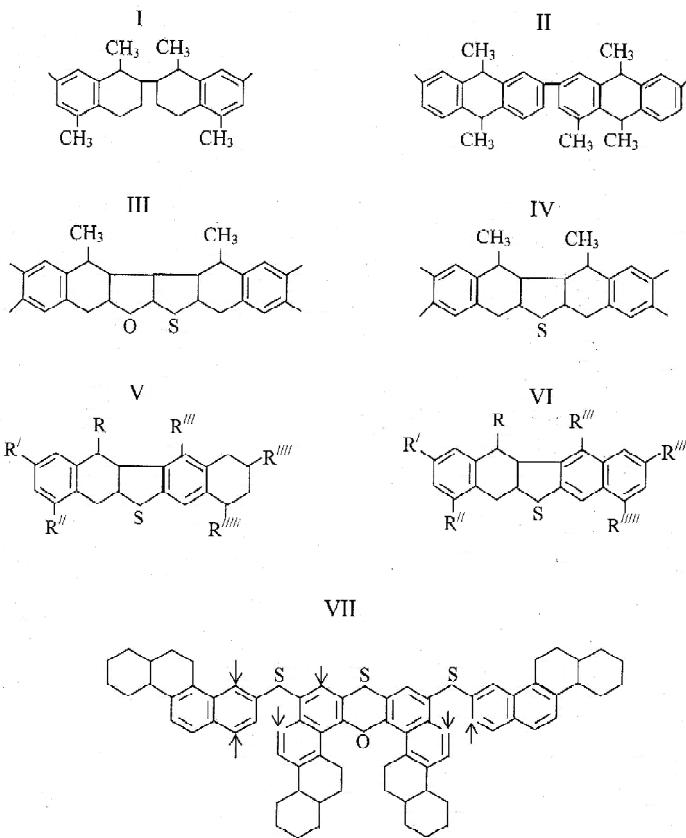


Рисунок – Звенья молекул смол и асфальтенов согласно [1, 3].

Величина ΔE^* является аддитивной:

$$\Delta E^* = \sum_i \Delta E_i^*,$$

где ΔE_i^* – вклад каждого атома и типа межмолекулярного взаимодействия в ΔE^* ;
 ΔV_i – инкременты Ван-дер-Ваальсового объема атомов. Согласно [2] коэффициенты A_j равны:
 $A_y = 0,0287$ для углеводородов, сложных эфиров, альдегидов, кетонов;
 $A_k = 0,0181$ для кислот и спиртов.

Эту же формулу использовали для расчета σ олигомерных молекул, содержащих малое число звеньев ($M < 1\ 000$ а.е.м.).

Результаты расчетов (E_i^* приняты из табл. 43 [2, с. 328], V_i приняты из табл. 3 [2, с. 33]) приведены в табл. 1.

Поверхностное натяжение смол и асфальтенов ($M_{cp} = 1\ 000 - 5\ 000$) оценивали по формуле, рекомендованной для полимеров [2, с. 362]:

$$\sigma_c = C_j \left(\sum \Delta E_i^* / \left(\sum \Delta V_i \right)^{2/3} \cdot m^{1/3} \right), \quad (5)$$

где m – число атомов в повторяющемся звене молекулы полимера;
 C_j для неполярных полимеров I группы (углеводороды, простые полиэфиры), принимали $C_{1n} = 0,1277$, для полярных полимеров I группы (сложные полиэфиры), $C_{1n} = 0,0751$, для полимеров с кислотными и спиртовыми группами $C_2 = 0,0476$; если полимер содержит только ароматические ядра (полистирол), то $C_4 = 0,1014$. $\Sigma \Delta E_i^*$ и $\Sigma \Delta V_i$ относятся к повторяющемуся звену полимерной цепи.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Согласно [2, с. 362], формула (5) позволяет оценить значение σ для полимерного состояния вещества (как отличного от мономерного и олигомерного [4]), что также видно из табл. 1.

Таблица 1 – Поверхностное натяжение ГХК битумов на границе с воздухом ($\sigma_{\text{бв}}$)

ГХК	Структурная формула рис. 1	Эмпирическая формула	M _{cp}	С/Н	$\sum_i \Delta E_i^*$, кДж/моль	$\sum_i \Delta V_i$, Å ³	$\sigma_{\text{бв}}$, мН/м расчет по формуле	
							(4) мономеры и олигомеры	(5) полимеры
M	I	C ₂₄ H ₃₀	270	0,80	67,3	394,4	35,9	42,8
M	IV	C ₂₂ H ₂₄ S	320	0,91	87,0	415,5	35,0	56,0
M	V	C ₂₅ H ₃₂ S	364	0,78	70,3	412,2	36,4	42,4
M	III	C ₂₄ H ₂₈ OS	364	0,86	74,9	406,2	42,4	46,7
M	VI	C ₂₆ H ₂₉ S	373	0,89	79,6	401,4	41,9	49,4
M	II	C ₃₃ H ₃₂	428	1,03	94,5	410,0	49,0	54,9
C	II-II	C ₆₆ H ₆₉	855	1,03	189	820,0	49,0	54,9
C	VII	C ₇₀ H ₇₈ S ₃ O	1 030	0,89	210,7	998,9	–	50,9
C	II-II-II	C ₉₉ H ₉₄	1 280	1,03	283,5	1 230,0	–	54,9
A	(I) _n	(–C ₂₄ H ₂₈ –)	268	0,86	67,3	394,4	–	42,8
A	(II) _n	(–C ₃₃ H ₃₀ –)	426	1,10	94,5	410,0	–	54,9
A	(III) _n	(–C ₂₄ H ₂₆ OS–)	362	0,92	74,9	406,2	–	46,7
A	(VII) _n	(–C ₇₀ H ₇₆ S ₃ O–) _n	1 028	0,92	210,7	998,9	–	50,9

Примечания: значения M_{cp} и $\sum_i \Delta V_i$ приведены в расчете на молекулу (для полимеров и олигомеров) или повторяющееся звено (для полимеров). То же относится к $\sum_i \Delta E_i^*$.

Как видно из табл. 1, с повышением степени конденсации ГХК (M → C → A) молекулярная масса (M_{cp}) и отношение С/Н (степень обуглероженности) повышаются. Этот процесс приводит к повышению поверхностного натяжения ГХК на границе с воздухом (σ соответствует $\sigma_{\text{бв}}$ в формуле (1)).

Таким образом, чем выше содержание масел в битуме, тем меньше его $\sigma_{\text{бв}}$. Экспериментальные данные ($\sigma_{\text{бв}}$, θ), приведенные в табл. 2, находятся в хорошем согласии с этим выводом.

В то же время данные табл. 2 свидетельствуют о том, что снижение поверхностного натяжения битума, улучшая смачивание (снижение θ , повышение cos θ), не должно приводить к повышению характеристик асфальтобетона (W_A и W_K понижаются). Действительно, показатель «сцепление с поверхностью стекла» (С) при улучшении смачивания снижается.

Таблица 2 – Поверхностные свойства битумов

Показатель	БНД 40/60	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 90/130	БНД 200/300	Литературный источник
$\sigma_{\text{бв}}$ при 120 °C	33	32	31	30	28	[1, с. 151]
θ^0 при $\eta = 0,5$ Па·с						
– гранит	35	32	29	26	15	[1, с. 153] [*]
– мрамор	34	31	27	23	10	
W _K , мДж/м ²	66	64	62	60	56	Расчет по формуле (2)
W _A , мДж/м ²						
– гранит	60,1	59,0	58,1	57,1	55,0	Расчет по формуле (3)
– мрамор	60,5	59,5	57,6	57,6	55,6	
Сцепление с поверхностью стекла, %, не менее	32	20	17	13	–	[5]

^{*}) Расчет по формуле (1), в предположении, что величина Δ_σ в числителе равна таковой для БНД 200/300.

И, наоборот, при ухудшении смачивания (θ и $\sigma_{\text{бв}}$ повышаются) работа адгезии повышается. Т. е. с позиции обеспечения высоких когезионных и адгезионных показателей битумов целесообразно использовать битумы с высоким содержанием смол и относительно невысоким содержанием масел, что находится в согласии с современными представлениями.

ВЫВОДЫ

1. С использованием приемов компьютерного материаловедения выполнена оценка величины поверхностного натяжения групповых химических компонентов битума.

2. Сопоставление полученных данных с величиной работы адгезии и когезии свидетельствует о преимуществах битумов с высоким содержанием смол и относительно низким содержанием масел для изготовления асфальтобетонов.

3. Приведенные данные и их анализ свидетельствуют о перспективности приемов компьютерного моделирования для решения задач физико-химической механики органических вяжущих веществ и органобетонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів [Текст] : Підручник для студентів вищих навчальних закладів / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов ; МОН України, ДонНАБА, ХНАДУ. – Донецьк : Ноуліндж, 2013. – 338 с.
2. Аскадский, А. А. Компьютерное материаловедение полимеров, Т. 1. Атомно-молекулярный уровень [Текст] / А. А. Аскадский, В. И. Кондращенко. – М. : Научный мир, 1999. – 544 с.
3. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы [Текст] / Р. Б. Гун. – М. : Химия, 1973. – 432 с.
4. Межиковский С. М. Олигомерное состояние вещества [Текст] / С. М. Межиковский, А. Э. Аринштейн, Р. Я. Дебердеев. – М. : Наука, 2005. – 252 с.
5. ДСТУ 4044-2001. Бітузи нафтovі дорожні в'язкі. Технічні умови [Текст]. Зі змінами № 1, 2, 3. – На заміну ГОСТ 22245-90 ; введ. 01.01.2002. – Київ : Мінрегіонбуд України. УкрНДІНП «МАСМА» ХДАДТУ, ТК 38, 2001. – 15 с.

Получено 01.12.2014

О. Е. САМОЙЛОВА
МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯЖІННЯ ГРУПОВИХ ХІМІЧНИХ
КОМПОНЕНТІВ БІТУМУ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано оцінку величини поверхневого натягу групових хімічних компонентів (ГХК) бітуму з використанням прийомів комп'ютерного матеріалознавства. Показано перевагу бітумів з високим вмістом смол і відносно низьким вмістом масел для виготовлення асфальтобетонів з позиції забезпечення високих когезійних і адгезійних показників.

бітузи, групові хімічні компоненти, когезія, адгезія, крайовий кут змочування, олії, смоли, асфальтени, поверхневий натяг, комп'ютерне матеріалознавство

HELEN SAMOYLOVA
MODELLING OF A SUPERFICIAL TENSION GROUP CHEMICAL
COMPONENTS OF BITUMEN
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The estimation of size of surface-tension of group chemical components of bitumen with the use of receptions of computer material and components science has been carried out. Advantage of bitumen having high maintenance of resins and relatively subzero maintenance of oils for making of bituminous concretes from position of providing of high cohesive and adhesion indexes has been shown.
bitumen, group chemical components, cohesion, adhesion, angle of contact moistening, oil, resin, asphaltenes, surfacetension

Самойлова Олена Едуардівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної екології і хімії, старший науковий співробітник ДП «УкрДержНДІпластмас». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів.

Самойлова Елена Эдуардовна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной экологии и химии, старший научный сотрудник ГП «УкрГосНИИПластмасс». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов.

Samoylova Helen – PhD (Eng.), Associate Professor, Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, a senior research worker of DP «Ukrainian State Scientifically – Research Institute of Plastic the Masses». Scientific interests: physical and chemical researches of polymeric composition materials.

УДК 666.965.4

I. В. БАРАБАШ, Н. А. ЗУБЧЕНКО

Одеська державна академія будівництва та архітектури

ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНІВ НА АКТИВОВАНОМУ КОМПОЗИЦІЙНОМУ В'ЯЖУЧОМУ

Досліджено властивості бетонів на механоактивованих композиційних цементах. Проводився 4-й факторний експеримент, варіювалася кількість в'яжучого, частка мікрокремнезему в в'яжучому, частка введеного в в'яжуче меленого гранульованого шлаку і температура ізотермічної витримки при тепло-вологий обробці бетону. Всі суміші мали рівну рухливість. Показано, що при застосуванні композиційного в'яжучого можливо отримати бетони з високою міцністю вже в ранні терміни твердіння. Механоактивація в'яжучого підвищує міцність бетону у 3-х денному віці на 4...8 МПа, у 28-и денному віці – на 4...6 МПа. Введення 10 % мікрокремнезему в композиційне в'яжуче збільшує міцність бетону на 5...8 МПа. Склади в'яжучого з вмістом шлаку 60 % і мікрокремнезему 10 % дозволяють отримувати бетони, які за міцністю і морозостійкістю не поступаються бетонам на чисто-клінкерному портландцементі. За рахунок механоактивації в'яжучого морозостійкість бетонів підвищується на 50 циклів.

композиційний цемент, механоактивація, мікрокремнезем, бетон

Для будівельної галузі актуальна задача виробництва високоякісних бетонів при максимальному можливому рівні використання техногенної та природної сировини, а також потенціалу в'яжучих. Одним з ефективних шляхів зниження енерго- і матеріалоємності виробництва в'яжучих є використання відходів металургійних виробництв – доменних шлаків.

Практика виробництва цементів показала, що найбільш перспективним методом застосування шлаків є їх використання у складі композиційних цементів [1, 2], тобто в'яжучих, що містять, крім клінкеру, не менше двох основних компонентів і до складу яких входить до 80 % мінеральних добавок.

В Україні як пузолановий компонент композиційного цементу найбільш доцільно використовувати відхід виробництва феросиліцію – мікрокремнезем [3]. Одним з ефективних методів підвищення активності цементів є механоактивація [4, 5], проте дуже мало наукової інформації про можливість застосування механоактивованого композиційного цементу. У зв'язку з цим стало актуальним дослідження композиційних активованих в'яжучих на основі вітчизняної сировини і техногенних відходів у поєднанні з суперпластифікатором.

Досліджувалися властивості бетонів на композиційному в'яжучому, де як компоненти використовувався клінкер, гіпсовий камінь, доменний гранульований шлак металургійного комбінату «Запоріжсталь» і мікрокремнезем. За 25-и точковим оптимальним планом проводився 4-х факторний експеримент [6], в якому варіювалися наступні фактори складу:

X_1 – кількість в'яжучого (400 ± 100 кг/м³),

X_2 – частка мікрокремнезема у в'яжучому (5 ± 5 %),

X_3 – частка введеного в в'яжуче меленого до $S_{pt} = 400$ м²/кг гранульованого шлаку, (30 ± 30 %),

X_4 – температура ізотермічної витримки твердіння бетону (50 ± 30 °C).

Тепло-волога обробка бетонів проводилася за режимом $2 + 2 + 6 + 2 = 12$ годин, при терміні ізотермічної витримки, що дорівнює 6 годин. Використовувався гранітний щебінь крупністю 5...20 мм і кар'єрний пісок з модулем крупності 2,7, добавка суперпластифікатор С-3 в кількості 1 % від маси цементу. Всі бетонні суміші мали рівну рухливість OK = 6 ± 1 см.

Визначалася міцність матеріалу у 3-и і 28-и денному віці. Всі дослідження проводилися на двох аналогічних серіях зразків: з застосуванням механоактивації в'яжучого тривалістю 60 сек в трибоактиваторі та виготовленої за традиційною технологією, тобто контрольної [7].

Аналіз міцності бетонів в 3-и денному віці дозволив зробити висновок, що збільшення кількості в'яжучого в бетоні природно підвищує міцність матеріалу. Як для активованих, так і для контрольних складів при збільшенні кількості в'яжучого зростає вплив частки меленої гранульованого шлаку на ранню міцність. Аналогічно більший вплив частки шлаку проявляється для бетонів, які тверділи в умовах тепло-вологої обробки. Ефективність застосування мікрокремнезему залежить від кількості в'яжучого та режиму твердіння бетону. При твердінні в нормальних умовах за рахунок введення 10 % мікрокремнезему міцність бетону зростає приблизно на 2 МПа для складів з кількістю в'яжучого 300 кг/м³ і на 4 МПа при використанні 500 кг/м³ в'яжучого. У бетонах, що тверділи при температурі 50 °C, введення мікрокремнезема дозволяє підвищити міцність у віці 3-х діб на 3...5 МПа, а при твердінні при температурі 80 °C – на 4...6 МПа. Ефективність тепло-вологої обробки також залежить від кількості в'яжучого. При кількості цементу 300 кг/м³ за рахунок підвищення температури ізотермічної витримки до 80 °C міцність бетону у віці 3-х діб підвищується на 14...16 МПа для активованих складів і на 12...14 МПа для контрольних в порівнянні з міцністю бетонів, твердіння яких проходило при t = 20 °C. При кількості в'яжучого 500 кг/м³ підвищення температури до 80 °C збільшує міцність відповідно на 17...19 МПа і на 15...17 МПа.

Важливо відзначити, що для бетонів на композиційному в'яжучому теплова обробка показує досить високу ефективність вже при температурі ізотермічної витримки 50 °C. Склади на активованому в'яжучому після витримки при 50 °C показують на 9...11 МПа більшу міцність у 3-х денному віці в порівнянні зі зразками нормального твердіння. Для бетонів, приготованих за традиційною технологією, аналогічне зростання міцності становить 8...10 МПа. Механічна активація в'яжучого дозволяє додатково підвищити міцність бетону у 3-х денному віці на 4...8 МПа (30...40 %) в залежності від його складу. Таким чином, використання активованого композиційного в'яжучого дозволяє отримати бетони з високими показниками міцності вже в ранні терміни твердіння. За рахунок переходу до композиційного цементу підвищується ефективність застосування шлаку у в'яжучому. Механічна активація показує високу ефективність при виготовленні бетонів на композиційному в'яжучому. У разі необхідності додаткового прискорення швидкості набору міцності бетонів на композиційному в'яжучому, в тому числі меленоактивованого, досить ефективним є застосування тепло-вологої обробки. Причому з урахуванням необхідності економії енергоресурсів температура ізотермічної витримки може бути обмежена 50 °C.

Аналіз впливу факторів, які варіювалися в дослідженнях, на міцність бетону у 28-и денному віці показав, що режим тепло-вологої обробки не впливає на цей базовий показник якості матеріалу. На рис. 1 показана побудована за відповідними експериментально-статистичними моделями діаграма, що відображає вплив кількості в'яжучого, частки мікрокремнезему і меленої шлаку в композиційному в'яжучому на величину міцності при стиску бетону у 28-и денному віці.

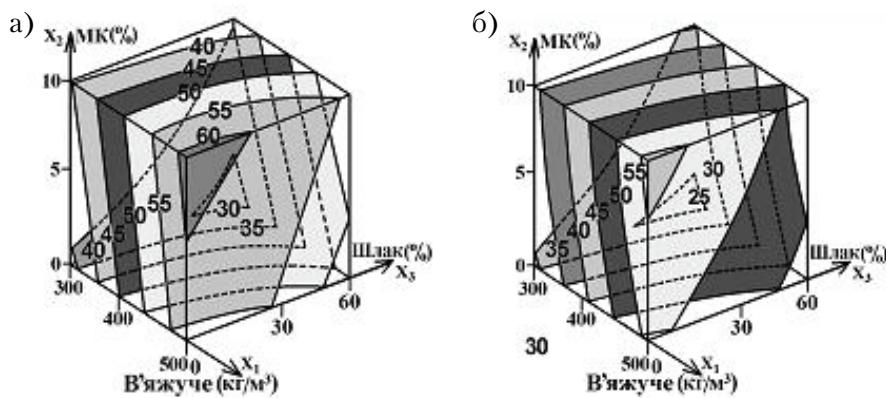


Рисунок 1 – Вплив факторів складу на міцність бетону на композиційному в'яжучому у 28-ми денному віці:
а) склади на активованому в'яжучому, б) контрольні склади.

Як видно з діаграм, характер впливу варійованих факторів складу на міцність досліджених бетонів на активованому в'яжучому і приготовлених за традиційною технологією збігається.

Міцність композитів збільшується в міру підвищення кількості в'яжучого і змісту мікрокремнезему в композиційному цементі. Збільшення вмісту меленої доменного шлаку в композиційному в'яжучому незначно знижує міцність бетону.

Однак при кількості даного техногенного відходу до 30 % міцність всіх досліджених бетонів у 28-иденному віці знижувалася не більше, ніж на 4 МПа. При введенні 60 % шлаку рівень зниження міцності бетонів досягає 9 МПа. Важливо відзначити, що завдяки використанню композиційного в'яжучого зниження міцності в результаті застосування доменного шлаку як найбільшого по кількості компонента може бути повністю компенсовано введенням мікрокремнезему, який має пущланову активність. Міцність бетонів на в'язкуму, в якому використано до 60% техногенного відходу і 10 % мікрокремнезему не нижче від міцності бетонів на чистому клінкерній в'яжучому. Таким чином, композиційне в'яжучий забезпечує необхідні характеристики міцності бетону як в ранні терміни твердиння, так і в марочному віці.

Також необхідно відзначити, що і в 28-иденному віці зберігається ефективність застосування механоактивації в'яжучого. Бетони на активованому в'яжучому показують на 4...6 МПа більшу міцність в порівнянні з бетонами аналогічних складів, виготовлених за традиційною технологією. Більш висока міцність бетону на механоактивованому в'яжучому, на наш погляд, пояснюється, по-перше, меншим водовмістом суміші, приготовлених на активованому композиційному цементі, і по-друге, підвищенням хімічного потенціалу компонентів композиційного в'яжучого в результаті механоактивації.

Також досліджувалася морозостійкість бетонів на композиційному цементі. На рис. 2 показана діаграма, що відображає вплив кількості в'яжучого, частки мікрокремнезему і меленої шлаку в в'яжучому на морозостійкість бетону.

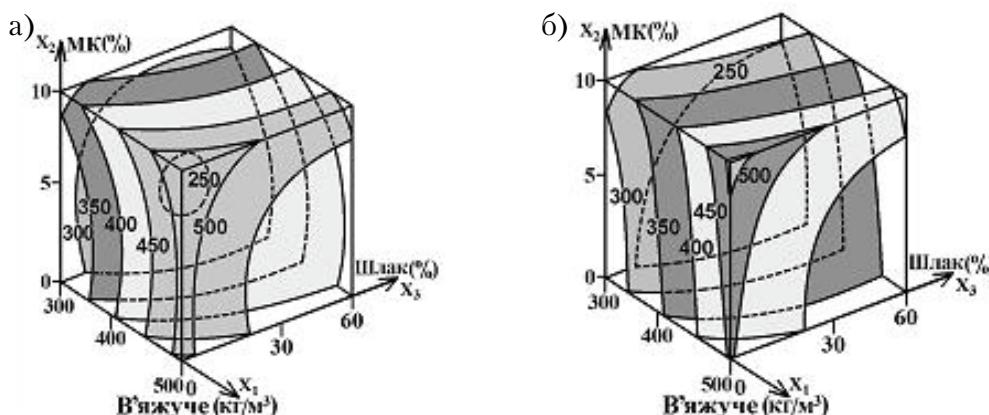


Рисунок 2 – Вплив факторів складу на морозостійкість бетону на композиційному в'яжучому: а) склади на активованому в'яжучому, б) контрольні склади.

Як видно з діаграм, найбільш істотний вплив на морозостійкість бетонів має кількість в'яжучого – при збільшенні його дозування з 300 до 500 кг/м³ рівень F зростає на 150 циклів і більше. Склад в'яжучого також має відчутний вплив на морозостійкість бетонів. При збільшенні кількості шлаку до 60 % рівень F для досліджених бетонів знижується приблизно на 50 циклів. Проте практично аналогічне підвищення морозостійкості бетону відбувається в результаті введення в композиційне в'яжуче мікрокремнезему. Тобто склади, приготовлені на в'яжучому з кількістю клінкерної складової близько 30 %, при використанні відповідно 60 % шлаку і 10 % пущланового компонента мають рівень морозостійкості, який практично рівний морозостійкості складів на чисто-клінкерному цементі. Цей факт говорить про високу ефективність застосування композиційних цементів з точки зору використання техногенних відходів у складі в'яжучого без зниження якості кінцевого продукту.

За рахунок застосування механоактивації в'яжучого морозостійкість бетонів підвищується на величину до 50-ти циклів. Це можна пояснити двома ефектами: зниженням водовмісту суміші рівної рухливості за рахунок застосування активованого в'яжучого і підвищеннем потенціалу самого в'яжучого.

Таким чином, застосування композиційних цементів дозволяє забезпечити високу міцність бетону і його довговічність в умовах знакозмінних температур при високій частці використання в'яжучому техногенних відходів, і в першу чергу, доменного шлаку. За рахунок механоактивації в'яжучого

міцність і морозостійкість бетонів може бути додатково підвищена. При необхідності додаткового прискорення швидкості набору міцності бетонів на композиційному в'яжучому ефективне застосування тепло-вологої обробки, причому з урахуванням необхідності економії ресурсів, температура ізотермічної витримки може бути обмежена 50 °С. Отримані в'яжучі значно підвищують ефективність застосування відходів металургійної промисловості за рахунок механоактивації та раціонального підібраного складу композиційного цементу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соболь, Х. С. Концепція застосування модифікованих композиційних цементів у будівельному виробництві [Текст] / Х. С. Соболь // Вісник національного ун-ту «Львівська політехніка». – 2004. – № 520. – С. 179–182.
2. Дворкін, Л. Й. Композиційні в'яжучі низької водопотреби, що містять цементний пил [Текст] / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, І. В. Чорна // Вісник ОДАБА. – Одеса : Зовнішрекламсервіс, 2012. – Вип. 48, Частина 1. – С. 121–129.
3. Фесенко, В. А. Микрокремнезем как активная минеральная добавка [Текст] / В. А. Фесенко // Химические и минеральные добавки в бетон / Под. ред. А. Б. Ушерова-Маршака. – Харьков : Колорит, 2005. – С. 57–60.
4. Барабаш, І. В. Механохімічна активація мінеральних в'яжучих речовин [Текст] : навч. посібник / І. В. Барабаш. – Одеса : Астропрінт, 2002. – 100 с.
5. Барабаш, И. В. Влияние микрокремнезема и молотого шлака на свойства композиционных цементов [Текст] / И. В. Барабаш, Н. А. Зубченко // Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : НУВГП, 2013. – Випуск 26. – С. 25–30.
6. Вознесенский, В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ [Текст] / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков. – К. : Вища школа, 1989. – 327 с.
7. Зубченко, Н. А. Снижение энергоемкости производства цемента за счет повышения эффективности использования доменного шлака [Текст] / Н. А. Зубченко // Энергоэффективные технологии в городском строительстве и хозяйстве / Одесская государственная академия строительства и архитектуры. – Одеса : ОДАБА, 2013. – С. 200–205.

Отримано 02.12.2014

И. В. БАРАБАШ, Н. А. ЗУБЧЕНКО
СВОЙСТВА БЕТОНОВ НА АКТИВИРОВАННОМ КОМПОЗИЦИОННОМ
ВЯЖУЩЕМ
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Исследованы свойства бетонов на механизированых композиционных цементах. Проводился 4-й факторный эксперимент, варьировалось количество вяжущего, доля микрокремнезема в вяжущем, доля введенного в вяжущее молотого гранулированного шлака и температура изотермической выдержки при тепло-влажностной обработке бетона. Все смеси имели равную подвижность. Показано, что за счет применения композиционного вяжущего можно получить бетоны с высокой прочностью уже в ранние сроки твердления. Механоактивация вяжущего повышает прочность бетона в 3-х дневном возрасте на 4...8 МПа, в 28 дневном – на 4...6 МПа. Введение 10 % микрокремнезема в композиционное вяжущее увеличивает прочность бетона на 5...8 МПа. Составы вяжущего с содержанием шлака 60 % и микрокремнезема 10 % позволяют получать бетоны, по прочности и морозостойкости не уступающие бетонам на чисто-кинкерном портландцементе. За счет механоактивации вяжущего морозостойкость бетонов повышается на 50 циклов.

композиционный цемент, механоактивация, микрокремнезем, бетон

IVAN BARABASH, NATALIA ZUBCHENKO
PROPERTIES OF CONCRETE ON ACTIVATED COMPOSITE BINDERS
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

The properties of concrete on the mechanically activated composite cements have been analyzed. The 4 factorial experiment has been carried out, amount of binder, the proportion of micro silica in the binder, the binder proportion of the ground granulated slag were varying. Also changed the temperature of isothermal holding during the heat treatment of concrete. All blends had the same mobility. It is shown that through the use of composite binding can get concrete with high strength at an early age. Mechanical activation of the binder increases the strength of concrete in 3 days of age at 4...8 MPa, in 28 day of age at 4...6 MPa. Introduction of 10 % micro silica in the composite binder increases the strength of concrete at 5...8 MPa.

When used with a binder content of 60 % slag and 10 % micro silica can be obtained concrete, strength and frost-resistance are not inferior concrete on pure Portland cement. When using mechanical activation binder concrete frost resistance increased by 50 cycles.

composite cement, mechanical activation, micro silica, concrete

Барабаш Іван Васильович – доктор технічних наук, професор, проректор Одеської державної академії будівництва і архітектури, завідувач кафедри міського будівництва і господарства. Наукові інтереси: підвищення ефективності використання в'яжучих за рахунок механоактивації.

Зубченко Наталія Анатоліївна – аспірант кафедри міського будівництва і господарства Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: підвищення ефективності використання в'яжучих за рахунок механоактивації.

Барабаш Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, проректор Одесской государственной академии строительства и архитектуры, заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства. Научные интересы: повышение эффективности использования вяжущих за счет механоактивации.

Зубченко Наталья Анатольевна – аспирант кафедры городского строительства и хозяйства Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: повышение эффективности использования вяжущих за счет механоактивации

Barabash Ivan – DSc (Eng.), Professor, Vice Rector, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, the Head of the Urban Construction and Management Department. Scientific interests: more efficient use of binders due to mechanical activation.

Zubchenko Natalia – post-graduate student, Urban Construction and Management Department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: more efficient use of binders due to mechanical activation.

УДК 625.855.3

В. И. БРАТЧУН, М. К. ПАКТЕР, А. А. СТУКАЛОВ, В. Л. БЕСПАЛОВ, Д. В. ГУЛЯК
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГРУППОВОГО СОСТАВА ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ СТАРЕНИИ ДОРОЖНОГО БИТУМА

Предложена методика прогнозирования свойств и структуры стареющих нефтяных дорожных битумов, находящихся на поверхности частиц асфальтобетона в тонкой пленке (50 мкм) на этапах: производства асфальтобетонной смеси; хранения в термосбункере; транспортировки к месту укладки в слой нежесткой дорожной одежды; ожидания, выгрузки в бункер асфальтоукладчика и укладки; уплотнения. Получены регрессионные зависимости между ростом концентрации масел, смол и асфальтенов (в изотермических условиях $T = 180^{\circ}\text{C}$ при толщине пленки битума 2 см) и временем старения как в анаэробных условиях, так и при термоокислительном старении. Установлены средние скорости изменения каждого компонента группового химического состава при свободном доступе воздуха и его отсутствии. Рассчитаны энергии активации расходования масел и образования смол и асфальтенов. Показано, что основной эффект, связанный с технологическим старением, обусловлен деградацией нефтяного дорожного битума в рабочем котле при традиционной технологии производства асфальтобетонных смесей.

нефтяной дорожный битум, групповой химический состав (ГХС), старение битума, кинетика и закономерности изменения ГХС

В последнее время уделяется повышенное внимание изменению свойств вяжущего при его технологической обработке в расходных емкостях в процессе приготовления асфальтобетонных смесей [1–3].

В ОДМ [4] приводится методика прогнозирования интенсивности старения вязких нефтяных дорожных битумов в тонкой пленке (50 мкм) в зависимости от продолжительности технологических процессов (в том числе и по изменению группового химического состава – ГХС).

В данной работе рассмотрены различия между технологическим старением и старением битума в тонкой пленке и приводится подход к прогнозированию изменения ГХС при технологическом старении битума на примере БНД 40/60.

Исходные данные по технологическим этапам приготовления и укладки асфальтобетонного (АБ) покрытия приведены в табл. 1 (вариант 1). Продолжительность t_1 для этапа 1 принята по [1], температура – по [5]. Для этапов 2–5 эти параметры приняты по [4].

Рассмотрен также вариант 2 работы по технологии, отличающейся от варианта 1 отсутствием термоокислительного старения [2].

Последующие расчеты базировались на результатах экспериментального исследования термического (ТС – без доступа воздуха) и термоокислительного (ТОС – при свободном доступе воздуха) старения БНД 40/60 при 180°C в слое толщиной 2 мм [3]. Результаты приведены в табл. 2. Они описываются простыми уравнениями регрессии концентрации масел (СМ), смол (СС) и асфальтенов (СА) по времени (t) с коэффициентами корреляции не ниже 0,96:

Для ТС:

$$\left. \begin{aligned} C_M &= 52,20 - 0,272t \\ C_C &= 28,40 + 0,155t \\ C_A &= 19,40 + 0,116t \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Таблица 1 – Технологические этапы приготовления и устройства АБ покрытий (вариант 1)

№	Наименование	Продолжительность этапа t_i , ч	Temperatura T, °C			Доступ*) воздуха (вид старения)
			в начале этапа	в конце этапа	средняя (T_i)	
1	Приготовление АБ смеси	3,5	150	150	150	+ (ТОС)
2	Хранение	0,5	150	150	150	- (ТС)
3	Транспортировка	0,5	150	140	145	- (ТС)
4	Ожидание, выгрузка и укладка	0,6	140	130	135	- (ТС)
5	Уплотнение	0,4	130	70	100	+ (ТОС)

*) (+) – свободный доступ; (-) – затрудненный доступ или отсутствие доступа.

Таблица 2 – Изменение ГСХ битума БНД 40/60 при свободном доступе воздуха в слое 2 мм (ТОС) и его отсутствии (ТС) при 180 °C

Время выдержки, час	ГСХ, C _x , % масс					
	X (ТС)			X (ТОС)		
	M	C	A	M	C	A
0	52,20	28,40	19,40	52,20	28,40	19,40
2	51,68	28,71	19,61	48,07	29,81	22,12
3	51,40	28,85	19,75	46,71	30,28	23,01
5	50,07	29,11	20,02	43,80	31,31	24,89
10	49,32	30,19	20,49	39,51	32,19	28,30

Для ТОС:

$$\left. \begin{array}{l} C_M = 0,083 \cdot t^2 - 2,090 \cdot t + 52,00 \\ C_C = 0,037 \cdot t^2 + 0,761 \cdot t + 28,40 \\ C_A = -0,044 \cdot t^2 + 1,321 \cdot t + 19,40 \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Для упрощения расчетов примем, что свободный доступ кислорода воздуха к поверхности битумных пленок имеет место на стадиях 1 и 5, т. е. имеет место ТОС. На остальных стадиях (табл. 1) имеет место ТС (по очевидным причинам доступ кислорода к битуму на этих стадиях существенно ограничен).

Сообразуясь с этим замечанием, средние скорости (v) изменения концентраций каждого компонента ($X = A, C, M$) на каждом этапе (i) для 180 °C:

$$v_{ix} = \frac{\Delta C_{ix}}{\sum_i t_i}, \%/\text{час}, \quad (3)$$

где $\Delta C = |C_0 - C_i|$,

C_0 и C_i – исходная концентрация компонента X и концентрация к моменту окончания i -того этапа (т. е. к моменту времени $\sum_i t_i$).

Величины C_i находим из уравнений (1 – для ТС) и (2 – для ТОС).

Полученные значения v_i (180 °C) пересчитали на $v_i(T_i)$ в соответствии со средней температурой этапа T_i по табл. 1, используя уравнение Аррениуса:

$$v_i(T) = v_i(180^\circ\text{C}) \cdot \exp \left[-\frac{E_a}{8,31} \left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{453} \right) \right]. \quad (4)$$

Энергию активации E_a расходования масел приняли $E_m = 47\ 700$ Дж/моль, а образования смол и асфальтенов приняли $E_{AC} = 43\ 500$ Дж/моль [6].

Результаты расчетов сведены в табл. 3. Из этих данных следует, что для ТОС $v_{ix}(T)$ располагаются в ряд:

$$v_M > v_A > v_C.$$

Таблица 3 – Средние скорости изменения ГСХ БНД 40/60 на технологических этапах производства АБ

№	t _i , ч	$\sum t_i$, ч	Средняя темпер- атура, T _{bi} , °C	Средние скорости v _i (ТОС)						Средние скорости v _i (ТС)					
				v _i (180 °C)			v _i (T _i)			v _i (180 °C)			v _i (T _i)		
				M	C	A	M	C	A	M	C	A	M	C	A
1	3,5	3,5	150	1,82	0,63	1,19	0,80	0,28	0,52	0,28	0,16	0,12	0,12	0,07	0,05
2	0,5	4,0	150	1,77	0,61	1,16	0,78	0,27	0,51	0,28	0,16	0,12	0,12	0,07	0,05
3	0,5	4,5	145	1,73	0,59	1,14	0,66	0,23	0,43	0,28	0,16	0,12	0,09	0,05	0,04
4	0,6	5,1	135	1,68	0,57	1,11	0,47	0,16	0,31	0,28	0,16	0,12	0,07	0,04	0,03
5	0,4	5,5	100	1,65	0,56	1,09	0,14	0,05	0,09	0,28	0,16	0,12	0,02	0,01	0,01

Аналогичный ряд для ТС отличается:

$$v_M > v_C > v_A.$$

При этом $v_M = v_A + v_C$ и с понижением температуры значения v_C и v_A сближаются.

Относительные скорости v_x (отн) = $\frac{v_x(\text{ТОС})}{v_x(\text{TC})}$ располагаются в ряде:

$$v_A(\text{отн}) > v_M(\text{отн}) > v_C(\text{отн})$$

этап 1	10,4	6,7	4,0
этап 2	9,0	7,0	5,0.

Корректировка средних скоростей изменения ГСХ

Приведенные в табл. 3 средние скорости для ТС $v_{ix}(T_i)$ могут быть использованы для расчета изменения ГСХ в технологических этапах 2...4 (табл. 1), которые осуществляются при ограниченном доступе кислорода воздуха и условно рассматриваются нами как термическое (неокислительное) старение (ТС).

Однако для ТОС приведенные в табл. 3 значение $v_{ix}(T_i)$ нуждаются в корректировке, поскольку табличные значения $v_{ix}(T_i)$ относятся к ТОС в стационарном слое битума $\delta = 2$ мм (режим покоя). Из работы [6] следует, что процесс ТОС протекает в более тонком поверхностном слое.

Подход к корректировке v_{ix} на этапе 1 (приготовление АБ смесей) изложен в работе [1]: для перехода от режима покоя (п) к рабочему (р) режиму приготовления АБ смеси надо оценить соотношение объемов битума, доступных для диффузии кислорода в режиме покоя V_n и в рабочем режиме V_p . Принимая толщину диффузационного слоя одинаковой в обоих режимах, получим

$$\frac{v_p}{v_n} = \frac{S_p}{S_n},$$

где S_p и S_n – удельная поверхность битума (m^2/kg) в рабочем режиме и покое.

Приведенная в [1] критериальная зависимость для вычисления S_p достаточно сложна. Поэтому для оценки соотношения v_p/v_n мы воспользовались результатами экспериментов на физической модели рабочего котла АБЗ [1], приведенными в табл. 4.

Таблица 4 – Изменение показателей ($Y = \Pi_{25}, T_p$) в модельных экспериментах (% к исходному значению)

Режим испытаний	БНД 60/90		БНД 90/130	
	$\Delta \Pi_{25}$	ΔT_p	$\Delta \Pi_{25}$	ΔT_p
Покой (п)	3	2	5	2
Рабочий (р)	20	6	40	4
Отношение $\Delta Y_p / \Delta Y_n$	6,7	3,0	8,0	2,0

Экстраполируя приведенные в табл. 4 значения $\Delta Y_p / \Delta Y_n$ на соответствующие показатели БНД 40/60, получим: $\Delta \Pi_p / \Delta \Pi_n \approx 6$ и $\Delta T_p / \Delta T_n = 4$.

Предполагая для небольших изменений Π_{25} и T_p прямую пропорциональность изменения Π_{25} и T_p с изменением ГСХ, запишем: $v_p/v_n = 6...4$, т. е. для этапа 1 $v_p = k_1 \cdot v_n$ и в среднем для ТОС на этапе 1 $k_1 = 5$.

Для корректировки v_{5x} на этапе 5 надо оценить разницу средних скоростей изменения ГХС v_x при 100 °C при ТОС в слое 2 мм (табл. 3) и в пленке битума на поверхности минеральных материалов. Расчетная средняя толщина битумной пленки на поверхности минеральных материалов в АБ составляет порядка 2 мкм [7].

Данные [4] позволяют оценить средние скорости изменения ГХС при 100 °C (ТОС) для БНД 40/60 в пленке $\delta = 50$ мкм:

$$v_M \leq 1,5 \%/\text{ч}.$$

Из табл. 3 аналогичное значение

$$v_{5M} = 0,14 \%/\text{ч},$$

т. е. можно принять, что средние скорости изменения ГХС битума в АБ будут не менее, чем в 10 раз, превосходить значение для этапа 5 (в табл. 3).

Однако оценить воздуходоступность поверхности битума в асфальтобетонной смеси затруднительно (вследствие слипания минеральных зерен). Т. к. большая часть поверхности битума изолирована, воздуходоступность его значительно меньше 100 %.

Т. е. коэффициент ТОС на этапе 5 $k_5 = 10$ представляет максимально возможное значение.

Изменение ГХС при технологическом старении БНД 40/60

Имея средние скорости изменения ГХС на каждом технологическом этапе, рассчитаем изменения ГХС согласно длительности этапов (табл. 1) для технологии по варианту 1.

Изменение содержания масел

$$\Delta C_m = \sum_{i=1}^5 \Delta C_{mi} = k_1 \cdot v_{1m} \cdot t_1 + v_{2m} \cdot t_2 + v_{3m} \cdot t_3 + v_{4m} \cdot t_4 + k_5 \cdot v_{5m} \cdot t_5. \quad (5)$$

Средние скорости v_{1m} и v_{5m} берем из табл. 3, согласно табл. 1 для ТОС; для v_{2m} ... v_{4m} – из табл. 3 для ТС. Тогда

$$\Delta C_m = 5 \cdot 0,80 \cdot 3,5 + 0,12 \cdot 0,5 + 0,09 \cdot 0,5 + 0,07 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,14 \cdot 0,4 = 14,0 + 0,06 + 0,045 + 0,042 + 0,56 = 14,77 (\%).$$

$$\begin{aligned} \Delta C_c &= \sum_{i=1}^5 \Delta C_{ci} = k_1 \cdot v_{1c} \cdot t_1 + v_{2c} \cdot t_2 + v_{3c} \cdot t_3 + v_{4c} \cdot t_4 + k_5 \cdot v_{5c} \cdot t_5 = 5 \cdot 0,28 \cdot 3,5 + 0,07 \cdot 0,5 + \\ &+ 0,05 \cdot 0,5 + 0,04 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,05 \cdot 0,4 = 4,9 + 0,035 + 0,025 + 0,024 + 0,2 = 5,18 (\%). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta C_a &= \sum_{i=1}^5 \Delta C_{ai} = 5 \cdot 0,52 \cdot 3,5 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,04 \cdot 0,5 + 0,03 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,09 \cdot 0,4 = 9,1 + 0,025 + \\ &+ 0,02 + 0,018 + 0,36 = 9,52 (\%). \end{aligned}$$

Округлим полученное значение до целых чисел, поскольку сделанные нами допущения (значения k_1 , k_5 и др.) не позволяют рассчитывать на высокую точность результатов. Тогда для технологии по варианту 1 имеем данные, приведенные в табл. 5.

В технологии по варианту 2 этап 1 отсутствует. Для этого варианта

$$\Delta C_x = \sum_{i=2}^5 \Delta C_{xi} = v_{2x} \cdot t_2 + v_{3x} \cdot t_3 + v_{4x} \cdot t_4 + k_5 \cdot v_{5x} \cdot t_5.$$

Здесь v_{5x} соответствует ТОС, v_{2x} ... v_{4x} – соответствуют ТС из табл. 3.

$$\Delta C_m = 0,12 \cdot 0,5 + 0,09 \cdot 0,5 + 0,07 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,14 \cdot 0,4 = 0,77 (\%)$$

$$\Delta C_c = 0,07 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,04 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,05 \cdot 0,4 = 0,28 (\%)$$

$$\Delta C_a = 0,05 \cdot 0,5 + 0,04 \cdot 0,5 + 0,03 \cdot 0,6 + 10 \cdot 0,09 \cdot 0,4 = 0,42 (\%).$$

Результаты округляем (см. замечания к варианту 1), принимаем

$$\Delta C_m = \Delta C_a + \Delta C_c = 0,4 + 0,3 = 0,7 (\%)$$

и заносим в табл. 5.

Как видно из табл. 5, основной эффект, связанный с технологическим старением, обусловлен деградацией битума в рабочем котле АБЗ при традиционной технологии приготовления АБ смесей (вариант 1).

Таблица 5 – Изменение ГХС при технологическом старении БНД 40/60

Групповые компоненты	Исходная концентрация, %	Технологическое старение			
		Вариант 1		Вариант 2	
		ΔC, %	C, %	ΔC, %	C, %
Масла	52,2	15	37,2	0,7	49,5
Смолы	28,4	5	33,4	0,3	28,7
Асфальтены	19,4	10	29,4	0,4	19,8

Если же реализовать технологический вариант 2, исключающий циркуляцию битума, слив его на открытую поверхность и длительную выдержку при высоких температурах [2], то изменение ГХС будет незначительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илиополов, С. К. Старение битума в рабочем котле АБЗ [Текст] / С. К. Илиополов, Ю. Я. Никулин, С. С. Саенко // Дороги и мосты. – 2009. – Вып. 21/1. – С. 208–219.
2. Саенко, С. С. Пережиток прошлого. Способы усовершенствования технологии подачи битума в дозатор [Текст] / С. С. Саенко, Ю. Я. Никулин // Автомобильные дороги. – 2011. – № 7. – С. 84–85.
3. Технологическое старение дорожного нефтяного битума как двухфакторный процесс [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, А. А. Стукалов [и др.] // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 31–41.
4. ОДМ 218.3.020-2012. Методические рекомендации по обеспечению устойчивости битумов против старения в технологических процессах изготовления и применения асфальтобетонных смесей [Текст]. – Введен впервые. – М. : Росавтодор, 2012. – 38 с.
5. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов; під редакцією д. т. н. В. І. Братчуна. – Макіївка-Харків : ДонНАБА, ХНАДУ, 2013. – 338 с. – ISBN 5-7763-0351-6.
6. Температурные зависимости процессов деградации вязких нефтяных дорожных битумов при их технологическом старении [Текст] / М. К. Пактер, В. И. Братчун, А. А. Стукалов, О. Н. Нарижная // Современные проблемы строительства : Ежегодн. науч.-техн. сб. – Донецк : ДП «Донецкий ПромстройНИИпроект», 2012. – № 15. – С. 74–80.
7. Викторенков, Я. В. Влияние гранулометрии минерального порошка на состав и прочность асфальтобетона [Текст] / Я. В. Викторенков, Р. А. Голиков, М. К. Пактер // Современные проблемы строительства : Ежегодн. науч.-техн. сб. – Донецк : ДП «Донецкий ПромстройНИИпроект», 2012. – № 15. – С. 98–102.

Получено 03.12.2014

**В. І. БРАТЧУН, М. К. ПАКТЕР, В. Л. БЕСПАЛОВ, О. А. СТУКАЛОВ, Д. В. ГУЛЯК
ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ГРУПОВОГО СКЛАДУ У РАЗІ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО СТАРІННЯ ДОРОЖЬОГО БІТУМУ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури**

Запропоновано методику прогнозування властивостей і структури старіючих нафтових дорожніх бітумів, що знаходяться на поверхні частинок асфальтобетону у тонкій плівці (50 мкм) на етапах: виробництва асфальтобетонної суміші; зберігання в термосбункері; транспортування до місця укладання в шари нежорсткого дорожнього одягу; очікування, вивантаження в бункер асфальтоукладальника і укладання; ущільнення. Отримано регресійні залежності між зростанням концентрації масел, смол і асфальтенів (в ізотермічних умовах $T = 180^{\circ}\text{C}$ при товщині плівки бітуму 2 см) і часу старіння як в анаеробних умовах, так і при термоокислювальному старінні. Встановлено середні швидкості зміни кожного компонента групового хімічного складу при вільному доступі повітря і його відсутності. Розраховано енергії активації витрачання масел і утворення смол і асфальтенів. Показано, що основний ефект, пов'язаний з технологічним старінням, обумовлений деградацією нафтового дорожнього бітуму у робочому котлі при традиційній технології виробництва асфальтобетонних сумішей.

нафтовий дорожній бітум, груповий хімічний склад (ГХС), старіння бітуму, кінетика й закономірності зміни ГХС

VALERY BRATCHUN, MIXAIL PAKTER, ALEKSANDR STUKALOV, VITALY
BESPALOV, DENIS GULYAK
PREDICT CHANGES IN THE GROUP COMPOSITION FOR TECHNOLOGICAL
AGING ROAD BITUMEN
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

It has been suggested the method for predicting the properties and structure of road bitumen aging oil at the surface of the particles of asphalt concrete in a thin film (50 mkm) in steps: proizvodstva asphalt mix; storage bin in a thermos; transportation to the place of installation in a non-rigid pavement layers; waiting to unload the hopper asphalt paver and paving; seal. Regression relationship between increasing concentrations of the oils, resins and asphaltenes has been obtained (isothermal conditions $T = 180^{\circ}\text{C}$ at a film thickness of bitumen 2 cm) and the aging time as anaerobic conditions, and in the thermal aging thermal-oxidative. The average rate of change of each component of the group of chemical composition with free access of air and its absence has been carried out. Activation energy consumption of oils and formation of resins and asphaltenes has been calculated. It is shown that the main effect associated with the process of aging is caused by the degradation of petroleum bitumen boiler in working with the traditional production technology of asphalt mixtures.

oil road asphalt, chemical composition of the group (CCG), the aging

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії 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.

Пактер Михайло Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії 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.

Стукалов Олександр Анатолійович – асистент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Беспалов Виталий Леонидович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: синтез органічних в'язучих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг підвищеної довговічності.

Гуляк Денис Вячеславович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика технологических 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.

Пактер Михаил Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика технологических 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.

Стукалов Александр Анатольевич – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологических и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модификации органических вяжущих.

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

Гуляк Денис Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологических и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модификации органических вяжущих.

Bratchun Valery – DSc(Eng.), Professor, the 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.

Pakter Mixail – PhD (Eng.), Associate Professor, 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.

Stukalov Aleksandr – assistant, 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.

Bespakov Vitaly – PhD (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.

Gulyak Denis – PhD (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 625.7.06/662.749.3

В. И. БРАТЧУН^a, Л. Д. КАРАТ^b, М. К. ПАКТЕР^a, Д. В. ГУЛЯК^a, С. В. ЩЕРБАНЬ^a, К. А. УРУТИН^a
^a Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ^b ГП «УкргосНИИпластмасс»

БИТУМОПОДОБНЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ КОКСОХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Определены технические характеристики битумоподобных вяжущих веществ, синтезированных из коксохимического сырья: каменноугольной смолы и каменноугольного дорожного дегтя марки Д-4. Показано, что на их основе могут быть получены аналоги вязких дорожных битумов марок БНД (по ДСТУ 4044-2001), кровельных и строительных битумов марок БНК и БН (по ДСТУ 4148-2003). Рассмотрены вопросы пластификации и антипластификации изученных синтетических аналогов битумов и их совмещения с нефтяным вязким дорожным битумом (окисленным).

коксохимическое сырье, битумоподобные вяжущие, полимер-олигомерные продукты, вязкие дорожные битумы

ВВЕДЕНИЕ

Широко известно использование продуктов термического разложения твердых горючих ископаемых (каменноугольной и сланцевой смолы) для получения вяжущих веществ, прежде всего, для дорожного строительства [1, 2].

В работах [3, 5] показана перспективность получения дорожных органических вяжущих (ДОВ) с близкими к вязкому дорожному битуму (ДСТУ 4041-2001) показателями качества на основе маловязкого (МВС) коксохимического сырья. В этих работах использованы приемы окисления и модификации МВС первичными отходами полимерной промышленности.

В данной работе исследованы образцы полимер-олигомерных продуктов, полученные химическим синтезом на основе дегтя марки Д4 и каменноугольных смол (КУС) высокотемпературного коксования по технологии, разработанной в ГП «УкргосНИИпластмасс» (в дальнейшем – аналоги битумов под маркой СП).

Определение пенетрации при 25 °C (Π_{25}) выполнено по ГОСТ 11501, температуры размягчения (T_p) и хрупкости (T_{xp}) по ГОСТ 11506 и ГОСТ 11507, растяжимости (D_{25}) по ГОСТ 11505, эластичности (\mathcal{E}_{25}) по ДСТУ Б В.2.7-135:2007 (п. 9.5) [6].

Результаты сведены в табл. 1 и 2. Как видно из табл. 1 и 2, из маловязкого дегтя Д4 и КУС получены пластичные и упруго-пластичные образцы. В отличие от дегтя и каменноугольной смолы образцы обладают слабым запахом.

При этом образец СП-480 по показателям T_p и Π_{25} соответствует нефтяному дорожному битуму марки БНД 40/60, СП-445 и СП-448 (по T_p , Π_{25} , T_{xp}) – БНД 90/130, а СП-449 – БНД 130/200 и приближается к модифицированному битуму марки БМП 130/200 – 47.

Более низкие значения растяжимости и отношения Π_{25}/T_p битумоподобных образцов СП по сравнению с БНД свидетельствуют о существенных различиях в их химической и структурной организации, что позволяет рассчитывать на более высокий уровень структурно-механических свойств асфальтобетонов на этих вяжущих.

Характерно, что битумополимерные вяжущие, например индексов СП-480 и СП-448, характеризуются низкой температурой стеклования и широким интервалом пластичности (ИП): ИП_{СП-480} = 73° и ИП_{СП-448} = 68° (табл. 1). Найденные для них значения коэффициента стандартных свойств по формуле профессора В. А. Золотарева [6], K_{CT} (СП – 460) = 0,46 и K_{CT} (СП – 448) = 0,54 свидетельствуют о том, что синтезированные из коксохимического сырья органические вяжущие относятся к I

Таблица 1 – Сравнительная характеристика вязких дорожных битумов (БНД по ДСТУ 4044-2001 и БМП по ДСТУ Б.В.2.7-135:2007) и их синтетических аналогов

Наименование образцов	T_p , °C	Π_{25} , дмм	D_{25} , см	\mathcal{E}_{25} , %	T_{xp}^{*} , °C
<u>БНД 40/60</u>	51–57	40–60	н. м. 45	–	н. б. – 10
СП-480	57	42	19	–	–16
СП-443	54	31	30	9	–3
<u>БНД 90/130</u>	43–49	91–130	н. м. 65	–	н. б. – 15
СП-448	49	100	15	5	–19
СП-445	47	99	14	5	–5
<u>БМП 130/200–47</u>	н. м. 47	131–200	н. м. 30	н. м. 50	н. б. – 20
СП-449	44	150	17	11	–21
<u>БНД 130/200</u>	39–45	131–200	н. м. 70	–	н. б. – 17
СП-455	39	116	42	–	–19

*) Определения выполнены аспирантом кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы» ДонНАСА Е. А. Ромасюком.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика строительных битумов (БН по ДСТУ 4148-2003) и их синтетических аналогов

Наименование образцов	T_p , °C	Π_{25} , дмм	D_{25} , см
<u>БН 90/10</u>	90–10	5–20	н. м. 1,0
СП-422	101	4	1,0
СП-420	91	7	2,3
СП-311	85	9	3,1
СП-431	78	12	4,5
<u>БН 70/30</u>	70–80	21–40	н. м. 3,0
СП-428	70	17	3,8
СП-456	68	18	3,0

структурно-реологическому типу (гель), для которого характерен коагуляционный каркас из конденсированных ароматических структур.

В пользу этого предположения свидетельствует значительно более высокий уровень ароматичности и плотности исходного сырья [1] и соответственно – СП, как это видно из табл. 3. В результате СП должны отличаться от битумов более высоким значением энергии когезии и коэффициента молекулярной упаковки [7].

Таблица 3 – Сопоставление плотности битумов нефтяных дорожных и их синтетических аналогов (СП)

Битум и их групповые компоненты	ρ , г/см ³	СП и их исходные компоненты	ρ , г/см ³
БНД 130/200 ... БНД 40/60	1,015...1,040	СП-455 ... СП-480	1,22...1,17
Масла	0,91...0,93	Деготь	1,21...1,23
Смолы	1,06...1,08	КУС	1,15...1,19
Асфальты	1,12	Каменноугольные – масла – пеки	1,08...1,15 1,27...1,28

Из табл. 2 видно, что образцы СП-420 и СП-422 по показателям T_p , Π_{25} , D_{25} соответствуют строительному битуму марки БН 90/10, а остальные – приближаются к этой марке и БН 70/30.

Если же учесть, что химическая природа СП, приведенных в табл. 1 и 2, сходна, то не представляется труда получить битум любой заданной марки БНД или БН (по вышеприведенным показателям) путем их компаундирования [8–10].

Данные табл. 1 и 2 свидетельствуют также о возможности синтеза аналогов нефтяных кровельных битумов марок БНК по ГОСТ 9548 [2, с. 147], хотя такая задача в работе не ставилась. Так, образец СП-443 достаточно близок по T_p и Π_{25} к БНК 40/180.

В то же время определение стабильности битумоподобных вяжущих по ГОСТ 18180 (табл. 4) свидетельствует об интенсивном старении их.

Таблица 4 – Изменение свойств образцов битумоподобных вяжущих после прогрева на воздухе в слое $\delta = 4$ мм при 163°C в течение 5 часов

Образец битумоподобного органического вяжущего индексов (табл. 1)	Π_{25} , дмм		Остаточная пенетрация, %		$T_p, ^{\circ}\text{C}$		Изменение $T_p, \Delta T_p, ^{\circ}\text{C}$	
	исходный	прогретый	норма (не более)	фактическое	исходный	прогретый	норма (не более)	фактическое
СП-455	116	10	55	91,4	39	71,5	6	32,5
СП-449	150	34	50	77,3	44	74,5	7	30,5

Данные табл. 4 свидетельствуют о необходимости доработки технологии СП как в части рецептуры (подбор и реализация более термостойких связей [7]), так и в технологии производства («дозревание» или стабилизация СП [13]).

Нами рассмотрен также вариант регулирования T_p и Π_{25} способом пластификации [8, 11].

Пластификацию СП осуществляли сплавлением с предполагаемым пластификатором при температуре выше T_p при перемешивании. О совместимости компонентов при температуре сплавления судили по пробе на однородность согласно [6, с. 220]. Несовместимость после охлаждения обнаруживали по «выпотеванию» пластификатора: появление следов пластификатора на пробе сплава, выплавленной на стеклянную пластинку, обнаруживали визуально и с помощью фильтровальной бумаги.

Результаты пластификации представлены в табл. 5 (неоднородные сплавы исключены). Как видно из табл. 5, дибутилфталат (ДБФ) при определенных концентрациях приводит к антипластификации СП-420: повышается T_p при практически неизменной пенетрации (Π_{25}). Такой же эффект наблюдается при сплавлении СП-428 с жирными кислотами таллового масла (ЖКТМ). Эффект антипластификации известен и связан со структурированием системы [12]. Он характерен для полимерных систем.

Таблица 5 – Пластификация синтетических вяжущих

Обозначение образца	Пластификатор и его расход (% к СП)		Π_{25} , дмм	$T_p, ^{\circ}\text{C}$
СП-420	–		7	91
	Дибутилфталат			
	3,6		8	74
	10,0		8	108
	12,5		7	110
	15,6		43	48
	Глицерин			
	10		12	85
	ЖКТМ			
	11,5		11	88
СП-428	АМТ-300			
	7		21	75
	–		17	70
	ЖКТМ			
	12		13	77
	20		6	89
	АМТ-300			
	7		48	56

Это наблюдение в совокупности с отмеченным выше (табл. 1) переходом вязкотекучих дегтей в пластичные образцы СП позволяет заключить, что СП представляют собой олигомер-полимерные системы. Различия в проявлении эффекта антипластификации свидетельствуют о различном в содержании полимерной составляющей в СП.

Эффект пластификации (табл. 5) достигается при высоких расходах пластификаторов. Лучшие результаты позволяет получить ароматизированное масло – высокотемпературный теплоноситель АМТ-300.

Это ожидаемый результат, поскольку СП также являются ароматическими производными коксохимической природы.

По этой причине образцы СП плохо совмещаются с вязкими дорожными битумами. Так, образец СП-311 при сплавлении с 38 % БНД 60/90 расслоился на две фазы с $T_{p1} = 72^\circ\text{C}$ и $T_{p2} = 97^\circ\text{C}$. Поскольку температуры размягчения исходных компонентов составляли для БНД 60/90 $T_p^b = 47^\circ\text{C}$ и для СП-311 $T_p^{cp} = 85^\circ\text{C}$, полученный результат свидетельствует о частичной растворимости СП-311 в БНД 60/90 (об этом свидетельствует $T_{p1} > T_p^b$) и о том, что растворенная часть СП-311 имеет более низкую молекулярную массу, чем оставшаяся, полимерная (об этом свидетельствует $T_{p2} > T_p^{cp}$).

Данные табл. 6 подтверждают плохую совместимость СП с дорожным битумом. В то же время СП-420 действует на битум как селективная добавка, улучшающая пенетрацию при неизменной T_p (а следовательно, без повышения технологических температур).

Таблица 6 – Совмещение СП-420 с БНД 60/90

Исследуемый образец	Π_{25} , дмм	T_p , °C	Тест на совместимость
Битум БНД 60/90	62	48	–
Сплав битума с 4% СП-420 (в расчете на битум)	45	47	Совместимы
Сплав битума с 8,3% СП-420	61	46	Признаки расслоения

ВЫВОДЫ

1. Маловязкое коксохимическое сырье (каменноугольные смолы, дегти, масла) может быть использовано для получения битумоподобных вяжущих – аналогов дорожных и строительных нефтяных битумов.

2. Технические характеристики синтезированных битумоподобных вяжущих (T_p , Π_{25} , D_{25} , T_{xp}) могут направленно регулироваться в очень широких пределах как синтетическим путем, так и за счет компаундирования, пластификации и антипластификации.

3. Эти аналоги (СП) имеют олигомер-полимерную природу и структурную организацию, отличную от нефтяных битумов. Этот вопрос, как и глубокое исследование их структурно-механических свойств и повышения стойкости к старению, будет предметом последующих исследований (включая практическое использование).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов ; під редакцією д. т. н. В. І. Братчуна. – Макіївка : ДонНАБА ; Харків : ХНАДУ, 2013. – 338 с. – ISBN 5-7763-0351-6.
- Органические вяжущие для дорожного строительства [Текст] / С. К Илиополов, И. В. Мардисова, Е. В. Углова, О. К. Безродный. Ростов-на-Дону : ДорТрансНИИ, РГСУ, 2003. – 428 с. – ISBN 5-88094-054-3.
- Братчун, В. И. Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, В. А. Золотарев. – Макеевка : ДонГАСА, 1998. – 256 с. – ISBN 966-7477-00-2.
- Физико-химические принципы получения бетонов повышенной долговечности с использованием органических вяжущих [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов, Н. А. Столярова // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА – ХОТВ АБУ, 2010. – Вип. 59. – С. 118–126.
- Перспективы получения дорожных органических вяжущих на основе твердых горючих ископаемых. I. Коксохимическое сырье [Текст] / М. К. Пактер, В. И. Братчун, В. Л. Беспалов [и др.] // Вісник ДонНАБА : Зб. наук. праць. – Макіївка, 2010. – Вип. 2010-1(81) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 22–35.
- Испытания дорожно-строительных материалов [Текст] : лабораторный практикум ; учебное пособие / В. А. Золотарев, В. И. Братчун, А. В. Космин [и др.] ; под. ред. В. А. Золотарева, А. В. Космина. – Харьков : ХНАДУ, 2012. – 368 с. – ISBN 978-966-303-363-1.
- Аскадский, А. А. Компьютерное материаловедение полимеров. Т. 1. Атомномолекулярный уровень [Текст] / А. А. Аскадский, В. К. Кондращенко – М. : Новый мир, 1999. – 544 с. – ISSN 5-89176-077-0.
- Тагер, А. А. Физикохимия полимеров [Текст] / А. А. Тагер. – М. : Химия, 1978. – 544 с.
- Практикум по дисциплине «Органические вяжущие вещества на основе маловязкого сырья» [Текст] : Для студ. специальности «Автомобильные дороги и аэродромы» [Текст] / Сост. М. К. Пактер, В. И. Братчун, В. Л. Беспалов. – Макеевка : ДонГАСА, 2011. – 50 с.
- Кулезнев, В. Н. Смеси полимеров [Текст] / В. Н. Кулезнев. – М. : Химия, 1980. – 304 с.
- Козлов, П. В. Физико-химические основы пластификации полимеров [Текст] / П. В. Козлов, С. П. Панков – М. : Химия, 1982. – 224 с.
- Хозин, В. Г. Усиление эпоксидных полимеров [Текст] / В. Г. Хозин. – Казань : ПИК «Дом печати», 2004. – 446 с. – ISBN 5-94259-143-1.

13. Апостолов С. А. Научные основы производства битумов / С. А. Апостолов. – Л. : Изд-во : Ленинградский университет, 1988. – 168 с. – ISBN 5-288-00090-5.

Получено 04.12.2014

В. І. БРАТЧУН^a, Л. Д. КАРАТ^b, М. К. ПАКТЕР^a, Д. В. ГУЛЯК^a, С. В. ЩЕРБАНЬ^a,
К. О. УРУТИН^a

БІТУМОПОДІБНІ В'ЯЖУЧІ НА ОСНОВІ КОКСОХІМІЧНОЇ СИРОВИНИ

^a Донбаська національна академія будівництва і архітектури,

^b ДП «УкрДержНДІпластмас»

Визначені технічні характеристики бітумоподібних в'яжучих речовин, синтезованих на основі коксохімічної сировини: кам'яновугільної смоли і кам'яновугільного дорожнього дьогту марки Д-4. Показано, що на їх основі можуть бути отримані аналоги в'язких дорожніх бітумів марок БНД (за ДСТУ 4044-2001), покрівельних та будівельних бітумів марок БНК і БН (за ДСТУ 4148-2003). Розглянуті питання пластифікації і антипластифікації вивчених синтетичних аналогів бітумів і їх суміщення з нафтовим в'язким дорожнім бітумом (окисленим).

коксохімічна сировина, бітумоподібні в'яжучі, полімер-олігомерні продукти, в'язкі дорожні бітуми

VALERY BRATCHUN^a, LEONID KARAT^b, MIXAIL PAKTER^a, DENIS GULYAK^a,
SERGEY SHCHERBAN^a, KONSTANTIN URUTIN^a

BITUMEN BINDERS ON THE BASIS OF RAW COKE

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Ukrainian State Research Institute of Plastics

Defined specifications bitumen binders synthesized based on coke raw materials: coal tar and coal tar road mark D-4. It is shown that based on them can be obtained analogues of viscous road bitumen BND (DSTU 4044-2001), roofing and construction bitumen grades BNK and BN (DSTU 4148-2003). The questions and plasticizing antiplasticization studied synthetic analogues of bitumen and their alignment with the oil viscous road bitumen (oxidation) have been considered.

raw coke, bituminous binders and the like, the polymer – oligomer products, viscous bitumen road

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії 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'яжучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Карат Леонід Дмитрович – кандидат хімічних наук, технолог першої категорії ДП «УкрдержНДІпластмас» (Український державний науково-дослідний інститут пластичних мас). Наукові інтереси: хімія і технологія поліконденсаційних полімерів.

Пактер Михайло Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії 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'яжучих 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 Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежесткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'яжучих.

Щербань Сергій Володимирович – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Урутін Константин Олександрович – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии 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.

Карат Леонид Дмитриевич – кандидат химических наук, технолог первой категории ГП «УкргосНИИпластмасс» (Украинский государственный научно-исследовательский институт пластических масс). Научные интересы: химия и технология поликонденсационных полимеров.

Пактер Михаил Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии 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.

Гуляк Денис Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модификации органических вяжущих.

Щербань Сергей Владимирович – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Урутин Константин Александрович – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Bratchun Valery – DSc (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.

Karat Leonid – PhD (Chemistry), technologist engineer of the first category of Ukrainian State Research Institute of Plastics. Scientific interests: chemistry and technology of polycondensation polymers.

Pakter Mixail – PhD (Eng.), Associate Professor, 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 – PhD (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.

Shcherban Sergey – student, 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.

Urutin Konstantin – student, 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.

УДК 625.855.3

Е. А. РОМАСЮК, В. Л. БЕСПАЛОВ, В. П. ДЕМЕШКИН
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ С КОМПЛЕКСНО-МОДИФИЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ

Экспериментально доказано, что комплексная модификация структуры асфальтобетона, а именно: поверхностная активация минеральных компонентов и битума асфальтового бетона этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM, позволила повысить усталостную долговечность модифицированных асфальтобетонов (65 100 циклов по сравнению с 22 000 циклов традиционного асфальтобетона (ДСТУ Б.В.2.7-119:2011) при изгибающем кратковременном напряжении 0,4 МПа. Показано, что усталостные зависимости модифицированных асфальтобетонов, построенные в логарифмических координатах, имеют более пологий угол наклона, что свидетельствует о меньшем влиянии повторных динамических нагрузений на величину остаточных деформаций по сравнению с традиционными и щебеноочно-мастичными асфальтобетонами (ЩМА). Установлено, что для обеспечения максимальной усталостной долговечности в асфальтобетонах типов А и Б содержание битума должно быть больше на 0,5 % в сравнении с оптимальным содержанием органического вяжущего, рассчитанным по методу СоюзДорНИИ (Н. Н. Иванова и В. В. Охотина).

битум, асфальтобетон, модifikатор, механоактивация, прочность, усталостная долговечность

В процессе эксплуатации автомобильной дороги все конструктивные слои дорожной одежды испытывают комплекс транспортных нагрузок, действие температуры, водонасыщения-высушивания, замораживания и оттаивания, и других воздействий. В результате этого формируются напряжения различной величины и знака. Наиболее существенным является сочетание комплекса воздействий из погодно-климатических факторов и динамического нагружения от автотранспорта. Особенностью нагрузки от транспортных средств является то, что напряжения, возникающие в материалах дорожного покрытия, а это в основном сжимающие напряжения на поверхности покрытия и растягивающие напряжения в нижних слоях дорожной одежды, при однократном действии могут и не превышать критических значений, однако при многократном приложении динамических механических нагрузок в асфальтобетонном покрытии в конечном итоге развиваются усталостные процессы. Это приводит к постепенному накоплению дефектов структуры материала и образованию колейности, наплывов, усталостных трещин с последующим разрушением дорожного покрытия [1–4].

Целью данной работы является экспериментальное исследование усталостной долговечности комплексно-модифицированных асфальтобетонов различных гранулометрических типов при воздействии кратковременных циклических нагрузок с установлением оптимального содержания органического вяжущего, обеспечивающего наибольшую усталостную долговечность асфальтобетона.

Основываясь на теориях разрушения композиционных материалов и работ в области изучения напряженно-деформируемого состояния асфальтобетона [5, 6, 11], предполагается, что под действием динамических нагрузок различной величины в наиболее слабых местах структуры материала, а именно в порах и пустотах, возникают напряжения различных знаков, постепенное увеличение которых в дальнейшем приводит к постепенному разрыву связей на молекулярном уровне с последующим образованием так называемых волосных трещин или пластических сдвигов микроскопических частиц. Дальнейшее развитие микроскопических трещин и их слияние будет захватывать макрообъемы материала, при этом распространение трещин будет проходить по наиболее энергетически выгодным путям – по прослойкам свободного битума, по границе адсорбционно-сольватных

слоев органического вяжущего, либо же по контактной зоне минерального материала и вяжущего (при условии недостаточной прочности адгезионных связей) [5, 6].

Таким образом, научная гипотеза данного исследования состоит в том, что получение асфальтобетона для верхнего слоя дорожного покрытия, обладающего повышенной усталостной долговечностью, возможно при создании такой структуры асфальтобетона, которая рационально сочетает наиболее плотную упаковку полидисперсных частиц минерального остова (микроструктура плавно переходит в мезоструктуру, а затем в макроструктуру) и непрерывную пространственную сетку эластичного органического вяжущего с высокими значениями адгезии и когезии при минимально возможной толщине асфальтовяжущего вещества. В связи с тем, что важнейшей составляющей структуры долговечного асфальтобетона является контактная зона – зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов, регулирование объемного и структурированного битума, а также интенсификация процессов взаимодействия на поверхности раздела фаз «битум – минеральный материал» позволит значительно повысить деформационно-прочностные свойства асфальтобетона [7–10].

В настоящее время наиболее эффективным способом повышения основных физических и деформационно-прочностных свойств асфальтобетонов, являются одновременная модификация органических вяжущих такими добавками, как: термоэластопласт типа SBS марки Kraton D 1101, этиленглицидилакрилат марки Elvaloy-AM, комплексная добавка на основе бутадиенметилстирольного каучука и технической серы, а также поверхностная активация щебня, песка и минерального порошка растворами полимеров [5, 7–9, 11, 12].

Поверхностная активация минеральных материалов полимерными добавками из раствора обеспечивает тонкое регулирование молекулярных свойств поверхности щебня, песка и минерального порошка. Это приводит к максимальному сродству ее с битумополимерным вяжущим (БПВ), что обеспечивает полное смачивание ее модифицированным органическим вяжущим. Происходит максимальное сближение молекулярных свойств в процессе производства асфальтополимербетонных смесей БПВ модифицированного нефтяного дорожного битума и олеофильной поверхности минеральных материалов (расстояние менее $5 \cdot 10^{-10}$ м), на котором могут проявляться все виды межмолекулярных взаимодействий [8].

Активация поверхности минерального порошка (МП) СКМС-30 (механоактивация или поверхностная активация из раствора СКМС-30 в бензине) приводит к формированию на поверхности структурно-упрочненного слоя полимера, который повышает адгезию битумополимерного вяжущего к поверхности минерального порошка вследствие увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований сополимера СКМС-30 с активными центрами олеофильной поверхности, диффузии макромолекул бутадиенметилстирольного каучука в слой СКМС-30. Это создает прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсеробетона с высокой адгезией и когезией [8, 9].

Аналогично структурно-упрочненный слой этиленглицидилакрилата на поверхности поверхности-активированного минерального материала обеспечивает высокую адгезию битумополимерного вяжущего в результате увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований этиленглицидилакрилата структурированного ПФК-105 с олеофильной поверхностью и диффузии макромолекул Elvaloy-AM в адсорбционные слои терполимера на поверхности минеральных материалов [8].

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Асфальтобетоны типов А, Б (составы В. А. Золотарева) [1]; асфальтобетон тип Б, комплексно-модифицированный этиленглицидилакрилатом (битум модифицирован 2 % мас. Elvaloy-AM и 0,5 % мас. полифосфорной кислоты ПФК-105, и поверхности-активированные минеральные материалы: 0,7 % мас. Elvaloy-AM); щебеноочно-мастичный асфальтобетон (ЩМА), стабилизированный гранулированной целлюлозной добавкой на основе битума Antrocel-G; литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой (битум модифицирован 2 % СКМС-30 и 30 % технической серы, МП поверхности-активированный 0,5 % мас. СКМС-30).

В соответствии с работами Г. С. Бахраха, В. А. Золотарева, А. В. Руденского, Б. С. Радовского, Е. В. Угловой и др. [1, 2–5, 12] наиболее целесообразно исследовать усталостную долговечность асфальтобетона на образцах-балочках, подвергая их растяжению при изгибе от воздействия циклических нагрузок одинаковой величины, обеспечивая тем самым постоянство напряженного состояния с регистрацией главного критерия оценки усталостной долговечности асфальтобетона – количества

циклов до разрушения. Исследования выполнены на разработанной авторами установке, общий вид и схема которой приведены на рис. 1, со следующими режимами циклического нагружения: нагрузка – 0,1 с, отдых – 0,9 с, т. е. циклические нагружения с частотой 1 Гц; величина циклической нагрузки – 20 % от разрушающей; температурный режим испытания: 20 °C; схема приложения нагрузки (2-х точечная) с целью создания зоны постоянного изгибающего момента в балочке для обеспечения чистого изгиба образца [4, 5, 12].

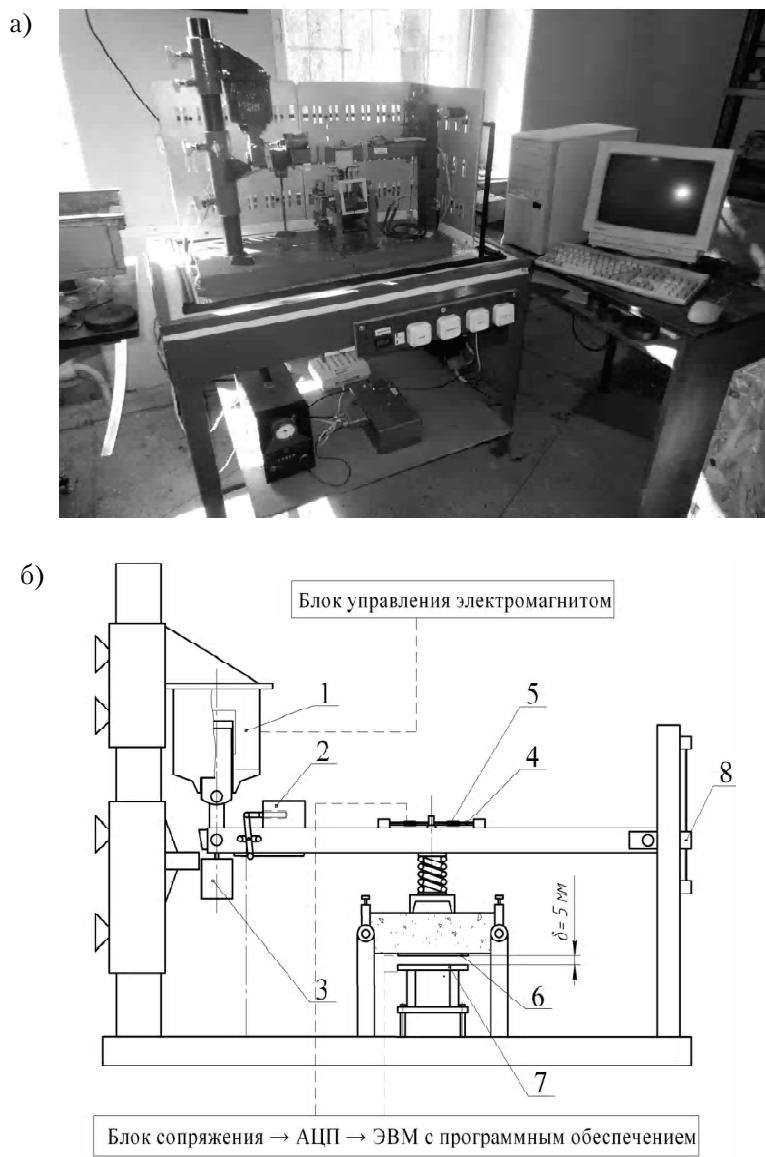


Рисунок 1 – Общий вид и схема установки для испытания асфальтобетона на усталостную долговечность:
 а) общий вид; б) схема установки: 1 – нагружающий электромагнит; 2 – электромагнит-защелка;
 3 – сменный груз; 4 – датчик измерения усилий; 5 – тензометрические датчики; 6 – токопроводящая пленка;
 7 – датчик измерения прогибов; 8 – регулировочное устройство.

Испытания традиционных асфальтобетонов типов А, Б (ДСТУ Б В.2.7-119:2011) показали, что оптимальная концентрация битума, обеспечивающая наибольшую усталостную долговечность для асфальтобетона типа А, составила – 5 % при количестве циклов до разрушения 19 800, для типа Б – 5,5 % при 22 000 циклов. Как видно, динамическая усталостная долговечность крупнозернистого асфальтобетона несколько ниже, чем среднезернистого, что характеризуется, вероятно, большей интенсивностью разрушения в связи с более высоким количеством пор и пустот внутри материала из-за большего содержания щебня. Но в то же время при испытании асфальтобетона статической

нагрузкой такой же величины время до разрушения асфальтобетона типа А выше и составляет 13 800 сек, а для типа Б – 12 600 сек при оптимальном содержании битума 4,8 и 5,0 %, соответственно (рис. 2). Таким образом, для обеспечения повышенной усталостной долговечности асфальтобетона необходимо несколько большее содержание битума, что вызвано лучшим заполнением пор битумом в структуре материала и, следовательно, меньшим количеством участков концентрации критических напряжений, что согласуется с данными Г. С. Бауха [2].

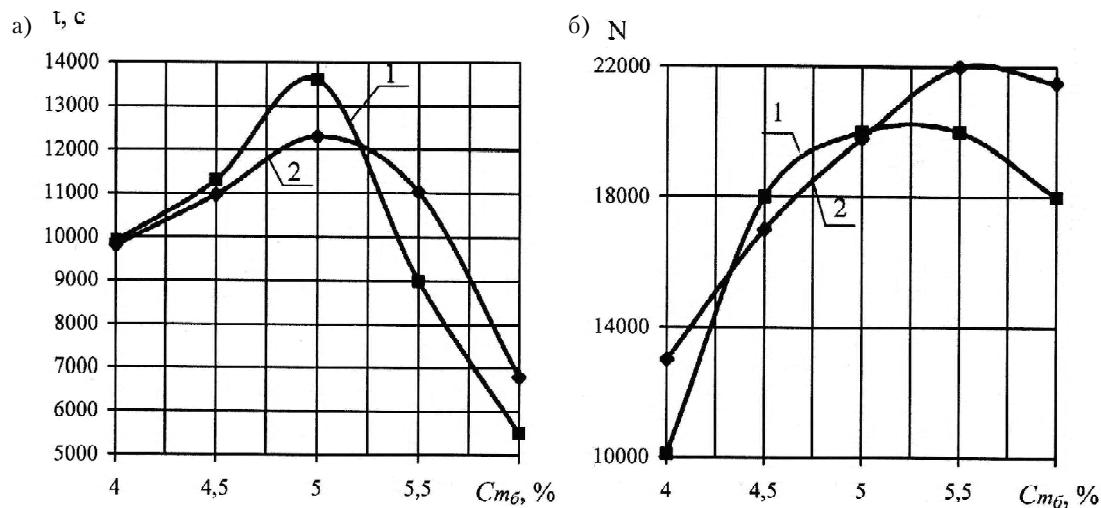


Рисунок 2 – Усталостная долговечность асфальтобетона при статическом нагружении (0,4 МПа): а) и кратковременном циклическом нагружении (0,4 МПа); б) при температуре 20 °С в зависимости от содержания битума БНД 60/90: 1 – асфальтобетон тип А; 2 – асфальтобетон тип Б.

Для построения зависимостей усталостной долговечности асфальтобетонов разных типов в логарифмических координатах (рис. 3) и их сравнения (рис. 4) были выбраны следующие значения напряжений: 0,25 МПа и 0,40 МПа (величина кратковременных нагрузок: 110 и 180 Н соответственно).

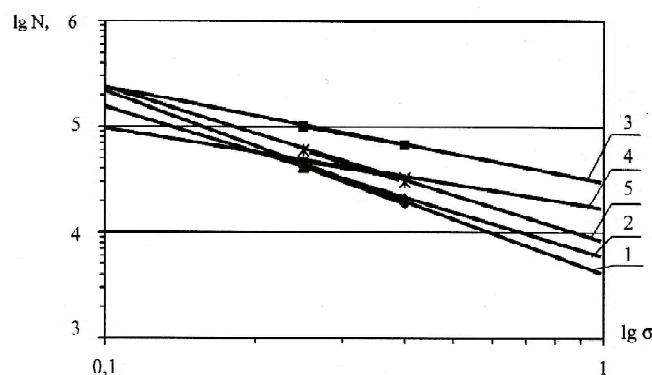


Рисунок 3 – Усталостная долговечность асфальтобетонов: 1 – асфальтобетон на битуме БНД 60/90 (тип А); 2 – асфальтобетон (тип Б); 3 – асфальтобетон (тип Б), с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом Elvaloy-AM; 4 – литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной микроструктурой СКМС-30. 5 – ЩМА-10 с добавкой Antrocet-G.

Сравнение усталостной долговечности горячего асфальтобетона с комплексной модификацией микро-, мезо- и макроструктуры этиленглицидилакрилатом с традиционным (ДСТУ Б В.2.7-119:2011) показывает, что комплексно-модифицированные этиленглицидилакрилатом асфальтобетоны характеризуются более высокой усталостной долговечностью (65 100 циклов по сравнению с 22 000 циклов обычного асфальтобетона при изгибающем кратковременном напряжении 0,4 МПа). При этом также

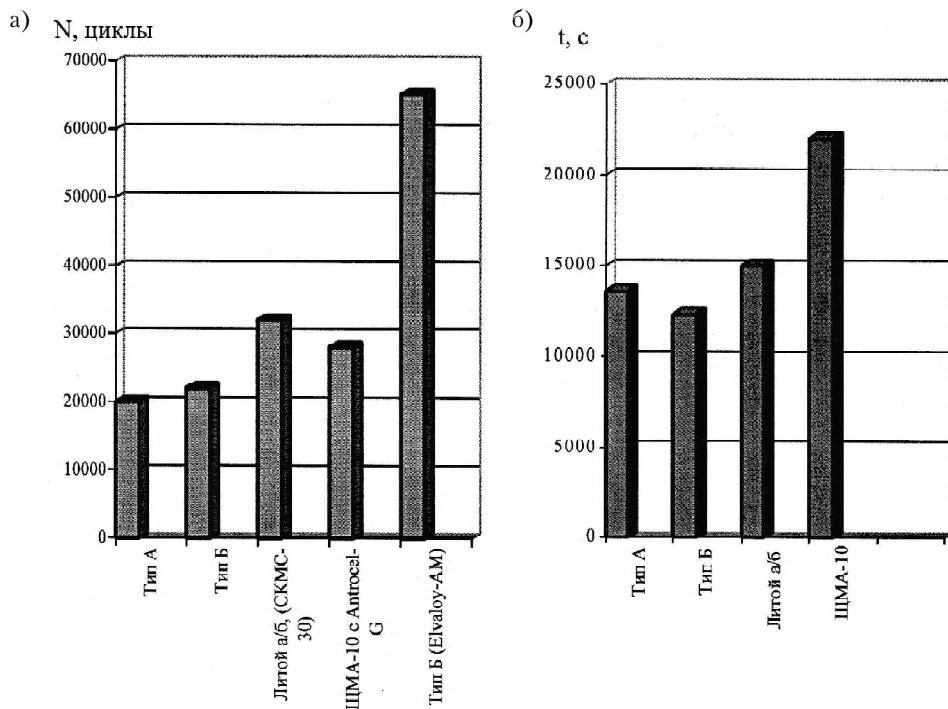


Рисунок 4 – Сравнение значений усталостной долговечности при кратковременном (0,1 с) (а) и статическом нагружении (б) (20°C) различных типов асфальтобетонов.

виден более пологий угол наклона усталостных зависимостей модифицированных асфальтобетонов, и в частности литого асфальтобетона, что говорит о их более высокой усталостной долговечности, по сравнению с обычными асфальтобетонами и ЦМА.

ВЫВОДЫ

Экспериментально доказано, что комплексная модификация структуры асфальтобетона полимерными добавками с одновременной модификацией вяжущего и минерального материала обеспечивает более высокую усталостную долговечность, что вызвано значительным повышением адгезионно-когезионных свойств, эластичностью асфальтовяжущих, повышенной уплотняемостью асфальтобетонной смеси и, как следствие, снижением пор в структуре модифицированных асфальтобетонов, что снижает концентрацию напряжений и положительно сказывается на их усталостной долговечности. Установлено, что мелкозернистые асфальтобетоны обладают большей усталостной долговечностью, что вызвано, по-видимому, меньшим содержанием пор и пустот в структуре материала. При этом для обеспечения наибольшей усталостной долговечности в асфальтобетонах типов А и Б содержание битума должно быть больше на 0,5 %, рассчитанному по методу СоюзДорНИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов [Текст] / В. А. Золотарев. – Харьков : Вища школа, 1977. – 116 с.
2. Баухах, Г. С. Усталостное разрушение асфальтобетонных покрытий и пути замедления этого процесса [Текст] / Г. С. Баухах // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог. – М., 1980. – № 9. – С. 42.
3. Дорожный асфальтобетон [Текст] / [Л. Б. Гезенцев, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королев]. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
4. Руденский, А. В. Исследование усталости асфальтобетона [Текст] / А. В. Руденский, Т. Н. Калашникова // Труды ГипрдорНИИ. – М., 1973. – № 7. – С. 3–13.
5. Углова, Е. В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст] : дис. на соиск. науч. степ. доктора тех. наук : 05.23.11. – Защищена 29.12.2009 ; утв. 5.03.2009 / Министерство образования и науки РФ, РГСУ. – Ростов-на-Дону, 2009. – 350 с.

6. Гончаренко, В. И. Термическая и динамическая усталость дорожного асфальтового бетона [Текст] : дис. на соиск. науч. степ. техн. наук : 05.23.05. – Защищена 22.03.1983 ; утв. 15.05.1983 / В. И. Гончаренко ; Министерство высшего и среднего специального образования УССР, МИСИ. – Макеевка, 1983. – 176 с.
7. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів [Текст] : Підручник для студентів вищих навчальних закладів / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов ; МОН України, ДонНАБА, ХНАДУ. – Донецьк : Ноуліндж, 2013. – 338 с. – ISBN 5-7763-0351-6.
8. Самойлова, Е. Э. Дорожные асфальтобетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой с использованием реакционно-способного термопласта Элвалой АМ [Текст] : дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук : 05.23.05. – Защищена 05.07.2007 ; утв. 05.07.2007 / Е. Э. Самойлова ; Министерство образования и науки Украины, ДонНАСА. – Макеевка, 2007. – 171 с.
9. Мутташар, Ахмед Талиб Мутташар. Модифицированные асфальтобетонные смеси для устройства покрытий нежестких дорожных одежд в климатических условиях республики Ирак [Текст] : дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук : 05.23.05. – Защищена 26.12.2013 ; утв. 26.12.2013 / Ахмед Талиб Мутташар Мутташар ; Министерство образования и науки Украины, ДонНАСА. – Макеевка, 2013. – 165 с.
10. Гезенцвей, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов [Текст] / Л. Б. Гезенцвей. – М. : Стройиздат, 1971. – 225 с.
11. Братчун, В. И. Литые асфальтобетоны повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, Н. А. Столярова, В. Л. Беспалов, И. Ф. Рыбалко // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту : науково-виробничий збірник / АДІ ДВНЗ «ДонНТУ». – Горлівка, 2007. – № 1(4). – С. 143–146.
12. Дровалева, О. В. Усталостная долговечность асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок [Текст] : дис. на соиск. науч. степ. канд. техн. наук : 05.23.05. – Защищена 08.12.2009 ; утв. 20.02.2010 / О. В. Дровалева ; Министерство образования и науки РФ, РГСУ. – Ростов-на-Дону, 2009. – 202 с.

Получено 05.12.2014

Є. О. РОМАСЮК, В. Л. БЕСПАЛОВ, В. П. ДЕМЕШКІН
ДОСЛІДЖЕННЯ УТОМЛЕНІСНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ
З КОМПЛЕКСНО-МОДИФІКОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Експериментально доведено, що комплексна модифікація структури асфальтобетону, а саме поверхнева активація мінеральних компонентів та бітуму асфальтобетону етиленгліцидилакрилатом марки Elvaloy-AM, дозволила підвищити утомленісну довговічність модифікованих асфальтобетонів (65 100 циклів у порівнянні з 22 000 циклів традиційного асфальтобетону (ДСТУ Б В.2.7-119: 2011) при згинальній короткочасній напрузі 0,4 МПа. Показано, що утомленісні залежності модифікованих асфальтобетонів, побудовані в логарифмічних координатах, мають більш пологий кут нахилу. Про це свідчить менший вплив повторних динамічних навантажень на значення залишкових деформацій в порівнянні з традиційними та щебенево-мастиковими асфальтобетонами (ЩМА). Встановлено, що для забезпечення максимальної утомленісної довговічності в асфальтобетонах типів А і Б вміст бітуму повинен бути більш на 0,5 % у порівнянні з оптимальним вмістом органічного в'яжучого, розрахованим за методом СоюзДорНДІ (Н. Н. Іванова і В. В. Охотіна).

бітум, асфальтобетон, модифікатор, механоактивація, міцність, утомленісна довговічність

EUGENIY ROMASYUK, VITALY BESPALOV, VALENTIN DEMESCHKIN
INVESTIGATION OF THE FATIGUE LIFE OF ASPHALT MODIFIED WITH
COMPLEX STRUCTURE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Experimentally proved that the complex structure of the modification of asphalt concrete, namely surface activation minerals and bitumen asphalt concrete ethylene-glycidyl acrylate brand Elvaloy-AM has improved the fatigue life of the modified asphalt (65 100 cycles compared to 22 000 cycles of conventional asphalt concrete (DSTU B V.2.7-119: 2011) for short-term bending stress of 0,4 MPa. It is shown that fatigue depending modified asphalt built in logarithmic coordinates, have a flatter slope angle, indicating that the smaller the impact of repeated dynamic loading on the value of the residual strains in comparison with traditional and stone mastic asphalt concrete (SMA). It was found that for maximum fatigue life of asphalt concrete in types A and B asphalt content should be more than 0,5 % in comparison with the optimal content of organic binder, calculated by the method of SoyuzDorNII (N. N. Ivanov and V. V. Ohotina).
bitumen, asphalt modifier, mechanical activation, strength, fatigue life

Ромасюк Євген Олександрович – аспірант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: отримання довговічних дорожніх асфальтобетонів з використанням модифікованих органічних в'яжучих і комплексного модифікування мікроструктури асфальтобетонів.

Беспалов Виталий Леонидович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: синтез органічних в'яжучих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг підвищеної довговічності.

Демешкін Валентин Павлович – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Ромасюк Евгений Александрович – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение долговечных дорожных асфальтобетонов с использованием модифицированных органических вяжущих и комплексного модификации микроструктуры асфальтобетонов.

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

Демешкин Валентин Павлович – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Eugeniy Romasyuk – post-graduate student, Highways and Air fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technological and long life road concretes for building of flexible pavement layers on the basis of modification of organic binders and complex modification of microstructure of asphalt.

Bespakov Vitaly – PhD (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.

Demeschkin Valentin – senior teacher, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies of processing of man-triggered raw material in the components of materials of compositions.

УДК 678+691.002.8

А. Н. БАЧУРИН, В. В. НЕФЕДОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ И ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

В статье представлена разработка, направленная на создание полимерных композиционных материалов на основе золошлаковых отходов тепловых электростанций и вторичного полиэтилентерефталата. Предлагаемое технологическое решение позволяет создать экономически выгодный конструкционный материал, а также решить существующую проблему утилизации вышеуказанных отходов. Исследуемый полимерный композиционный материал включает в себя дисперсный заполнитель и полимерное связующее (матрицу). В качестве дисперсного заполнителя используется молотый отвальный шлак тепловых электростанций, а в качестве полимерного связующего – вторичный полиэтилентерефталат, полученный переработкой ПЭТ-тары. В статье приведены результаты исследования характеристик наиболее распространенных полимеров с целью подбора сырьевого компонента для полимерного связующего. Разработана технология изготовления образцов исследуемого материала в лабораторных условиях. Также представлены результаты исследования некоторых физико-механических свойств образцов полимерного композита, изготовленных в лабораторных условиях и приведено сравнение физико-механических свойств образцов с различным соотношением сырьевых компонентов по массе.

полимерные отходы, золошлаковые отходы, отвальный шлак, полимерный композиционный материал, полиэтилентерефталат

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Топливно-энергетический комплекс Украины на 67,5 % представлен тепловыми электростанциями (ТЭС) [1]. Золошлаковые отходы (ЗШО), образующиеся от сжигания угля на ТЭС, являются крупнотоннажными отходами. В основном золошлаки транспортируются в виде пульпы низкой концентрации для размещения в гидрозолоотвалах, которые являются одним из главных источников загрязнения окружающей среды. На территории только Донецкой области расположено 6 ТЭС, в отвалах которых хранится более 5 млн м³ золошлаковых отходов [2].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы является разработка составов полимерного композиционного материала на основе молотого шлака ТЭС и вторичного полиэтилентерефталата, извлеченного из полимерной фракции ТБО, основываясь на исследовании их физико-механических свойств.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованы физико-химические свойства отходов термопластичных полимеров [3]: полиэтилентерефталата (ПЭТФ), поливинилхлорида (ПВХ) и полиэтилена высокого и низкого давления (ПЭВД, ПЭНД). Сравнение характеристик указанных полимеров приведено в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что наиболее соответствующими по конструктивным характеристикам полимерами для производства на их основе полимерных композитов являются полиэтилентерефталат и поливинилхлорид. Данные полимеры имеют близкие значения механических характеристик, а основным отличием является то, что ПЭТФ более склонен к горению, по сравнению с ПВХ, из-за меньшего кислородного индекса. ПВХ является самозатухающимся материалом. В отличии от ПВХ ПЭТФ горюч (класс горючести В1). Также стоит отметить, что ПЭТФ об-

Таблица 1 – Характеристики полимеров

Свойства	Наименование полимера			
	ПЭТФ	ПЭНД	ПЭВД	ПВХ
Средняя плотность, г/см ³	1,33–1,45	0,931–0,970	0,900–0,939	1,35–1,43
Температура плавления, °C	250–265	125–132	103–110	100–260
Температура стеклования, °C	67–81	120–125	96–104	75–80
Диапазон рабочих температур, °C	–60...+170	–260...+120	–260...+100	–15...+80
Предел прочности при сжатии, МПа	80–120	18–29	14–17	60–160
Предел прочности при изгибе, МПа	50–70	19–35	12–20	70–120
Предел прочности при растяжении, МПа	172	24	22	40–70
Водопоглощение, %	0,3	0,03–0,04	0,020	0,1
Кислородный индекс, %	24,8	17,8	17,8	36,2

ладает более широким диапазоном рабочих температур. Ввиду того, что проблема утилизации вторичного ПЭТФ является более приоритетной, данный полимер выбран в качестве сырьевого компонента для композита. Полиэтилентерефталат обладает высокой механической прочностью, ударостойкостью, устойчивостью к истиранию и многократным деформациям при растяжении и изгибе, а также сохраняет свои высокие ударостойкие и прочностные характеристики в рабочем диапазоне температур от –60 до 170 °C. Термодеструкция полиэтилентерефталата происходит в температурном диапазоне 290–310 °C. Основными летучими продуктами, выделяющимися при деструкции, являются терефталевая кислота, уксусный альдегид иmonoоксид углерода. При 900 °C генерируется большое число углеводородов. В основном летучие продукты состоят из диоксида углерода, monoоксида углерода и метана [3]. В качестве дисперсного наполнителя для ПКМ использована измельченная отвальная золошлаковая смесь Зуевской электростанции.

Для получения опытных образцов использовалась экспериментальная установка, представляющая собой прототип лабораторного одношнекового экструдера. Схема используемой установки представлена на рисунке 1.

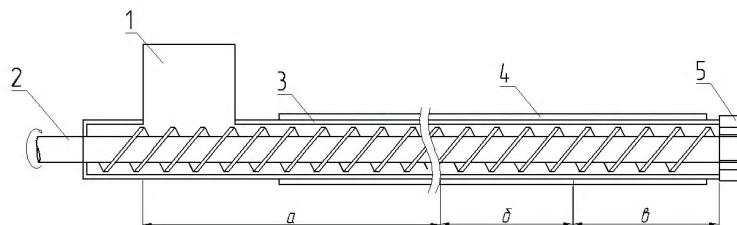


Рисунок 1 – Схема лабораторного одношнекового экструдера: 1 – загрузочный бункер; 2 – шнек; 3 – материалый цилиндр; 4 – нагревательные элементы; 5 – выходное отверстие головки экструдера; а – зона загрузки; б – зона сжатия; в – зона гомогенизации.

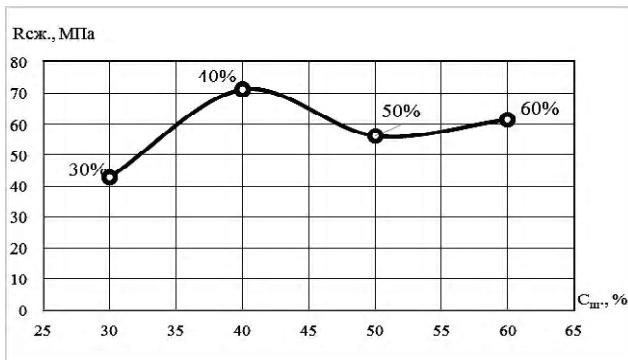
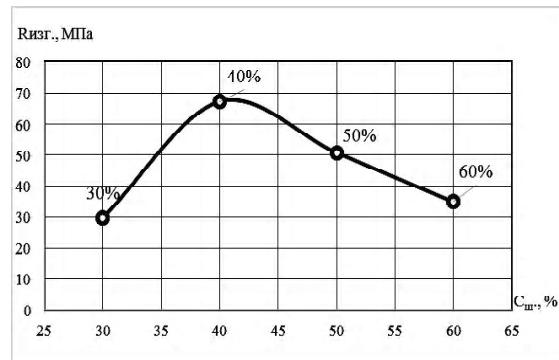
Для испытания и сравнения физико-механических свойств образцов полимерного композита изготовлено четыре состава композита с различным содержанием ПЭТФ и шлака, что позволило определить влияние соотношения компонентов на свойства материала. Образцы испытывались в соответствии с действующей нормативной документацией для пластмасс на предел прочности при изгибе и сжатии, а также была определена средняя плотность образцов. На основании выполненных испытаний (табл. 2) были составлены графики зависимости прочностных характеристик исследуемого материала от процентного содержания ПЭТФ в композите, которые приведены на рис. 1 и 2.

Опираясь на результаты проведенных испытаний, установлено, что концентрация частиц наполнителя, введенных в полимер, приводит к снижению предела прочности при сжатии и изгибе. Введение наполнителя приводит к появлению в полимерной матрице начальных дефектов, которые являются источником зарождения трещин [6].

Однако при концентрации наполнителя в полимере 60 % по массе прочностные свойства композита выше, чем при концентрации 70 %. Предполагается, что данное уменьшение прочности обусловлено дефектами, источником которых является поверхность раздела фаз, образовавшаяся вследствие неполной смачиваемости поверхности частиц наполнителя полимерным связующим [4–7].

Таблица 2 – Результаты испытаний образцов

Характеристика	Составы образцов композита			
	60 % шлака	50 % шлака	40 % шлака	30 % шлака
Предел прочности при изгибе, МПа	34,48	50,8	67,4	29,74
Предел прочности при сжатии, МПа	61,57	56,27	71,2	42,85
Средняя плотность, кг/м ³	1 761	1 662	1 466	1 310

**Рисунок 2 – Зависимость предела прочности при сжатии ($R_{сж}$) от концентрации наполнителя ($C_{шл}$).****Рисунок 3 – Зависимость предела прочности при изгибе ($R_{изг}$) от концентрации наполнителя ($C_{шл}$).**

При сравнении с наиболее близким известным аналогом (песчано-полимерным материалом) [8] установлено, что разработанный полимерный композиционный материал превосходит его по прочностным характеристикам (табл. 3).

Таблица 3 – Физико-механические характеристики композиционных материалов

Характеристика	Материал	
	ПКМ (40 % шлака)	Песчано-полимерный материал
Предел прочности при изгибе, МПа	67,4	17–25
Предел прочности при сжатии, МПа	71,2	17–18
Средняя плотность, кг/м ³	1 466	1 650–1 800

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ

На основании определения физико-механических характеристик образцов разработанного полимерного композиционного материала определен состав сырьевой смеси. При сравнении прочностных свойств с ближайшим аналогом, выявленным в результате патентно-информационного поиска, установлено, что разработанный материал превосходит аналог более чем в 2 раза, а также имеет более низкую среднюю плотность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топливно-энергетические ресурсы Украины: стат. сборник [Текст] / [под ред. Пищейко В. О.]. – К. : Государственная служба статистики Украины, 2013. – 334 с.
2. Звягильский, Е. Л. О необходимости широкой модернизации угольной промышленности Украины: науч. доклад [Текст] / Е. Л. Звягильский, Ю. Л. Залознова // НАН Украины, Институт экономики промышленности. – Донецк, 2012. – 68 с.
3. Клинков, А. С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов [Текст] : Учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов. – Тамбов : Издательство Тамбовского государственного технического университета, 2005. – 80 с. – ISBN 5-8265-0424-2.
4. Бобрышев, А. Н. Прочность и долговечность полимерных композитных материалов [Текст] : Учебное пособие / А. Н. Бобрышев, В. Н. Козомазов, Р. В. Козомазов [и др.] ; под редакцией В. И. Соломатова. – Липецк : НПО «ОРИУС», 1994. – 153 с.

5. Бобрышев, А. Н. Синергетика композитных материалов [Текст] : Учебное пособие / А. Н. Бобрышев, В. Н. Ко-
зомазов, Л. О. Бабин, В. И. Соломатов. – Липецк : РПГФ «Юлис», 2006. – 170 с. – ISBN 5-7876-0029-0.
6. Бобрышев, А. Н. Физико-механика долговечности и прочности композитных материалов [Текст] : Учебное посо-
бие / А. Н. Бобрышев, А. Ф. Гумеров, Д. Е. Жарин [и др.] ; Министерство образования и науки РФ,
ГОУ ВПО «Кам. гос. инж.-экон. акад.». – М. : Academia, 2007. – 226 с. – ISBN 978-5-87444-338-2.
7. Бобрышев, А. Н. Эпоксидные и полиуретановые строительные композиты [Текст] : Учебное пособие / А. Н. Боб-
рышев, Д. Е. Жарин, Е. В. Кондратьева [и др.]. – Саратов : Сарат. гос. техн. университет, 2005. – 159 с. –
ISBN 5-7433-1566-3.
8. Пат. 2170716 Российской Федерации, С04B26/02, B29B17/00. Песчано-полимерный материал [Текст] / Тара-
сенко А. М., Жуков А. И., Манес Михаэль ; патентообладатели Тарасенко А. М., Жуков А. И., Манес Миха-
эль. – № 2000116996/12 ; заявл. 30.06.2000 ; опубл. 20.07.2001, Бюл. № 4. – 5 с.

Получено 08.12.2014

А. М. БАЧУРІН, В. В. НЕФЕДОВ
ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ НА ОСНОВІ ПОЛІМЕРНИХ
І ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті представлена розробка, що спрямована на створення полімерних композиційних матеріалів на основі золошлакових відходів теплових електростанцій і вторинного поліетилентерефталату. Пропоноване технологічне рішення дозволяє створити економічно вигідний конструкційний матеріал, а також вирішити існуючу проблему утилізації вищезазначених відходів. Досліджуваний полімерний композиційний матеріал включає в себе дисперсний заповнювач і полімерне в'яжуче (матрицю). Як дисперсний заповнювач використовується мелений відвалий шлак теплових електростанцій, а як полімерне в'яжуче – вторинний поліетилентерефталат, отриманий переробкою PET-тари. У статті наведені результати дослідження характеристик найбільш поширених полімерів з метою підбору сировинного компонента для полімерного в'яжучого. Розроблено технологію виготовлення зразків досліджуваного матеріалу в лабораторних умовах. Також представлені результати дослідження деяких фізико-механіческих властивостей зразків полімерного композиту, виготовлених в лабораторних умовах, і наведено порівняння фізико-механіческих властивостей зразків з різним співвідношенням сировинних компонентів за масою.

полімерні відходи, золошлакові відходи, відвалий шлак, полімерний композиційний матеріал, поліетилентерефталат

ALEXEY BACHURIN, VLADISLAV NEFEDOV
THE POLYMER COMPOSITE MATERIAL BASED ON POLYMER AND ASH
WASTE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The article presents the design, aimed at creating polymer composite materials based on ash waste heat power plants and recycled polyethylene terephthalate. The proposed technological solution allows you to create a cost-effective construction material, as well as to solve the existing problem of disposal of waste above. Analyzed polymer composite material comprises a particulate filler and a polymer binder (matrix). As the particular filler used ground waste slag thermal power plants, as well as a polymeric binder – secondary polyethylene produced by processing of PET containers. The paper presents the results of a study of the most common characteristics of polymers in order to select the feed component for the polymeric binder. The technology of manufacturing samples of the material tested in the laboratory. Also the results of investigation of some physical and mechanical properties of the composite polymer samples produced in the laboratory and is a comparison of the physical and mechanical properties of the samples with different ratios of the raw materials by weight.

polymer waste, slag waste, polymer composite material, polyethylene terephthalate

Бачурін Олексій Микитович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури, начальник відділу інтелектуальної власності. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенних твердих побутових відходів у композиційні будівельні матеріали.

Нефедов Владислав Васильевич – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: особливості патентування, технологія будівельних матеріалів, утилізація промислових і твердих побутових відходів, полімерні композиційні матеріали.

Бачурин Алексей Никитович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, начальник отдела интеллектуальной собственности. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенных твердых бытовых отходов в композиционные строительные материалы.

Нефедов Владислав Васильевич – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: особенности патентования, технология строительных материалов, утилизация промышленных и твердых бытовых отходов, полимерные композиционные материалы.

Bachurin Aleksey – PhD (Eng.), Associate Professor, Building Structures Technology, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective techniques of processing of technogenic municipal solid wastes into composite buildings materials.

Nefedov Vladislav – Assistant, Building Structures Technology, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Building and Architecture. Scientific interests: features patenting, technology of building materials, recycling of industrial and municipal solid waste, polymer composite materials.

УДК 541.64:542.62:546.23

**В. Д. АЛЕКСАНДРОВ^a, Ш. К. АМЕРХАНОВА^b, Б. ИБРАГИМОГЛЫ^c, А. Е. ПОКИНТЕЛИЦА^a,
Е. А. ПОКИНТЕЛИЦА^a**

^aДонбасская национальная академия строительства и архитектуры, ^b Карагандинский государственный
университет им. Е. А. Букетова, ^c Гази университет, Анкара, Турция

ЭФФЕКТЫ ПАДЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ, СОПРОВОЖДАЮЩИЕ ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ БЕНЗОЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВСЕСТОРОННЕГО СЖАТИЯ

В данной работе методом термического анализа исследованы фазовые превращения бензола под действием внешнего давления. Изучено влияние давления на параметры кристаллизации переохлажденного расплава. Установлено увеличение температуры плавления, температуры равновесной кристаллизации и уменьшение переохлаждения по мере роста давления. Обнаружен эффект небольшого падения давления при фазовом превращении. За счет этого падения обнаружен твердофазный переход при 90К. Результаты трактуются на основании структуры бензола в жидком и твердом состояниях.

бензол, плавление, кристаллизация, переохлаждение, полиморфное превращение, давление, всесторонне сжатие, плотность

ВВЕДЕНИЕ

Бензол является типичным представителем углеводородов ароматического ряда и служит объектом для многих экспериментальных и теоретических исследований [1–3]. Нами неоднократно проводились эксперименты по изучению кинетики кристаллизации бензола в нормальных условиях [4]. Однако в литературе практически отсутствуют одновременные исследования кристаллизации и твердофазных превращений в бензоле.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований фазовых превращений бензола под действием статических высоких давлений как в области температуры плавления, так и в области низких температур.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки [5].

До проведения экспериментов вся система вакуумировалась. Измерительный сосуд (4) наполнялся чистым (99,99 %) бензолом объемом 10 см³. До начала охлаждения в системе создавалось соответствующее давление. С целью сохранения для всех опытов одинаковой скорости охлаждения 0,85 К/с осуществлялся контроль подачи паров азота или гелия из контейнера Dewar (5) с помощью вакуумного насоса (7) в медную трубу (14). Скорость подачи паров контролировали регулятором (6). Давление в системе осуществлялось с помощью пневматического пресса MP-2500 (1). Температуру регистрировали в координатах температура T – время t при фиксированных давлениях. Для измерения температуры использовали XK-термопару с погрешностью 0,2 К. Термопара непосредственно находилась в образце бензола. Давление измерялось грузопоршневым манометром. Погрешность измерения давлений составила 0,01 %.

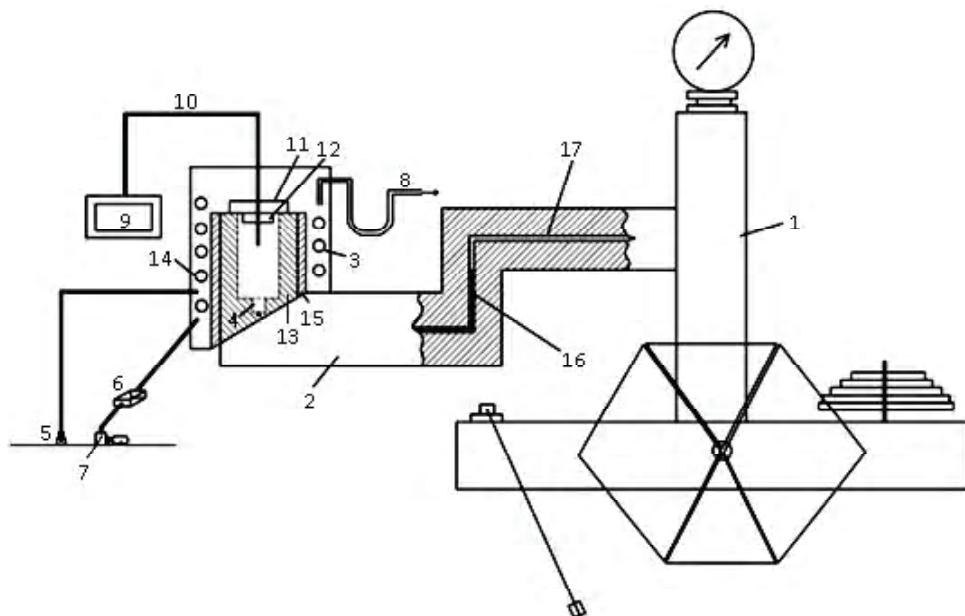


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки: 1 – манометр МП-2500; 2 – устройство сжатия; 3 – хладагент; 4 – измерительный контейнер; 5 – контейнер Dewar для жидкого азота; 6 – регулятор; 7 – вакуумная помпа; 8 – расходомер; 9 – потенциометр КСП-4; 10 – термопары; 11 – серпантин (капиллярная трубка катушки); 12 – крышка; 13 – стенки контейнера; 14 – нагреватель; 15 – кожух; 16–17 – пневмоканалы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На первом этапе изучали влияние давлений от 500 до 2 300 atm на кристаллизацию бензола методом термического анализа в координатах температура T – время t . С помощью экспериментальной установки (рис. 1) измеряли и контролировали следующие параметры метастабильного состояния бензола: давление p , температуру контейнера, температуру замерзания T_b (т. е. температуру кристаллизации), температуру T_c в нижней точке метастабильного состояния, переохлаждение $\Delta T^- = T_b - T_c$ относительно температуры замерзания, перепад давлений Δp на начальной стадии взрывной кристаллизации, инкубационный период пребывания жидкого бензола в метастабильном (переохлаждённом) состоянии, t_2 – время резкого перехода от метастабильного состояния в кристаллическое, t_3 – время изотермического замерзания, общее время t начала и завершения всего процесса затвердевания ($t = t_1 + t_2 + t_3$).

На рис. 2 приведены некоторые термограммы, характеризующие процесс кристаллизации бензола при разных внешних давлениях.

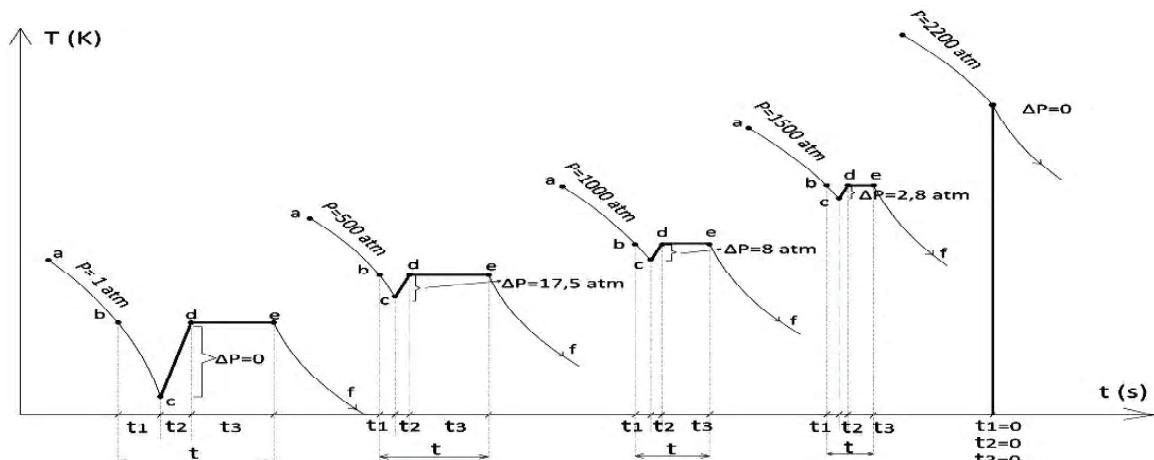


Рисунок 2 – Термограммы, записанные при давлениях $p = 1; 500; 1\,000; 1\,500$ и $2\,200$ atm. Показаны переохлаждение ΔT^- и перепады давлений Δp на границах метастабильного состояния.

В табл. 1 сведены средние значения особых точек при 24 разных давлениях. В этой таблице показаны температуры T_b , T_c , T_d , T_e , соответствующие точкам b , c , d , e на термограммах, промежутки времени t_1 , t_2 , t_3 , t .

Таблица 1 – Параметры метастабильного состояния бензола и его замерзания по термограммам

p , atm	T_b , K	T_c , K	ΔT^- , K	$T_d = T_e$, K	p_c , atm	p_d , atm	Δp , atm	t_1 , s	t_2 , s	t_3 , s	t , s
1	278,5	258,5	20,0	278,5	—	—	—	160	~6,0	260	426
100	279,0	267,0	13,0	279,0	100	68	32,0	131	~3,0	210	343
200	280,0	270,0	10,0	280,0	200	173	27,0	112	~2,5	180	294
300	282,8	274,6	8,2	282,8	300	277	23,0	97	~2,0	155	254
400	284,8	277,8	7,0	284,8	400	380	20,0	85	~2,0	135	222
500	286,7	280,7	6,0	286,7	500	482,5	17,5	72	~2,0	115	189
600	289,5	284,5	5,0	289,5	600	585	15,0	61	~1,5	97	159
700	291,2	287,2	4,0	291,2	700	687	13,0	53	~1,5	85	139
800	294,8	291,2	3,6	294,8	800	788,5	11,5	44	~1,5	70	115
900	297,0	293,8	3,3	297,0	900	890,5	9,5	37	~1,5	60	98
1 000	299,5	296,6	2,9	299,5	1 000	992	8,0	31	~1,0	50	82
1 100	302,5	300,1	2,4	302,5	1 100	1 093,3	6,7	25	~1,0	40	66
1 200	305,3	303,3	2,0	305,3	1 200	1 194,5	5,5	22	~1,0	35	58
1 300	308,0	306,2	1,8	308,0	1 300	1 295,8	4,2	18	~1,0	30	49
1 400	312,2	310,7	1,5	312,2	1 400	1 396,4	3,6	16	~1,0	25	42
1 500	315,5	314,3	1,1	315,5	1 500	1 497,2	2,8	12	~1,0	19	32
1 600	320,1	319,2	0,9	320,1	1 600	1 598,1	1,9	8	~1,0	14	23
1 700	324,0	323,3	0,7	324,0	1 700	1 698,8	1,2	6	~0,5	10	16
1 800	328,0	327,5	0,5	328,0	1 800	1 799,4	0,6	4	~0,5	6	10
1 900	333,5	333,2	0,3	333,5	1 900	1 899,8	0,2	2	0,5	4	6
2 000	340,5	340,4	0,1	340,5	2 000	1 999,9	0,1	1	~0,5	2	3
2 100	347,0	347,0	0	347,0	2 100	2 100	0	0,5	0	1	1
2 200	356,0	356,0	0	356,0	2 200	2 200	0	0	0	0	0
2 300	368,0	368,0	0	368,0	2 300	2 300	0	0	0	0	0

Из этой таблицы видно, что по мере увеличения давления температура плавления T_L (в точке b) и соответственно температуры равновесной кристаллизации в точках d и e растут, а остальные параметры (ΔT^- и времена t_1 , t_2 , t_3 , t) закономерно убывают.

Параметры плавления и кристаллизации в зависимости от давления p описываются эмпирическими уравнениями $f(p) = A + Bp + Cp^2$, где $A, B, C - \text{const}$.

Анализ показывает, что кривые $T_b = f(p)$, $T_c = f(p)$, $\Delta T^- = f(p)$ сходятся к одной точке М (рис. 3).

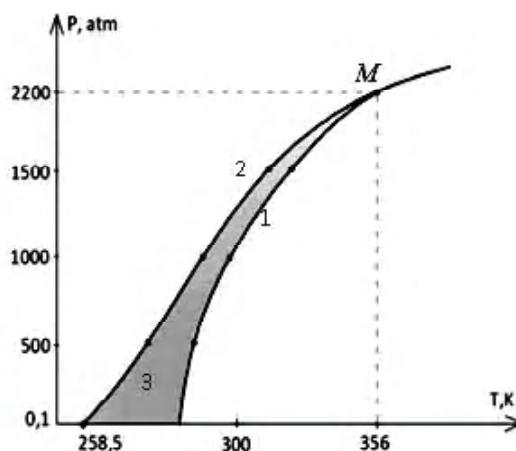


Рисунок 3 – Вид кривых: 1 – $T_b = f(p)$, 2 – $T_c = f(p)$, 3 – $\Delta T^- = f(p)$.

Кроме перечисленных закономерностей, установлено также, что в процессе адиабатных переходов от температуры T_c до температуры T_d фиксируются небольшие падения давлений Δp (табл. 1 и рис. 2). Причём по мере увеличения внешнего давления p значение Δp также уменьшается до нуля в точке M .

Повышение температуры замерзания T_b (T_d , T_e) в зависимости от давления, в принципе, подчиняется известному закону Клапейрона-Клаузиса, согласно которому с ростом давления увеличивается температура фазового превращения. Что касается уменьшения основных параметров метастабильного состояния бензола (ΔT , Δp , t_1 , t_3 , t) под действием внешнего давления, здесь следует обратиться к структуре самого бензола. Под действием давления C_6H_6 молекулы бензола могут в принудительном порядке встраиваться в упорядоченную кристаллическую решётку. Тем самым уменьшаются степень переохлаждения, инкубационный период зарождения новой фазы и время замерзания. В критической точке M исчезает разница между жидким и твердым состояниями.

Падение давления Δp на участке cd при адиабатном процессе (рис. 2) может быть связано с изменениями плотности бензола при фазовом превращении. Оценки показывают, что относительные значения плотностей $\Delta p / \rho_s$ ($\Delta p = \rho_s - \rho_L$) близки к относительным падениям давления $\Delta p / p$. Так, например, величина $\Delta p / \rho_s = 0,093$ при плотности жидкого бензола $\rho_L = 0,88 \text{ г/см}^3$ и плотности твердого бензола $\rho_s = 0,97 \text{ г/см}^3$ при нормальном давлении [6]. А отношения $\Delta p / p$ при 300 атм составляет 0,077, при 400 атм – 0,050 и т. д. Учитывая сказанное выше, решено было установить тенденцию изменения плотности $\rho_L = \rho_s(1 - (\Delta p / \rho_s))$ в зависимости от относительного перепада давления при адиабатном процессе. Если принять $\Delta p / p \approx \Delta p / \rho_s$, то соответственно получим $\rho_L \approx \rho_s(1 - (\Delta p / p))$.

На основании полученных данных были построены графики зависимости плотности ρ_L (рис. 4) при различных значениях внешнего давления p .

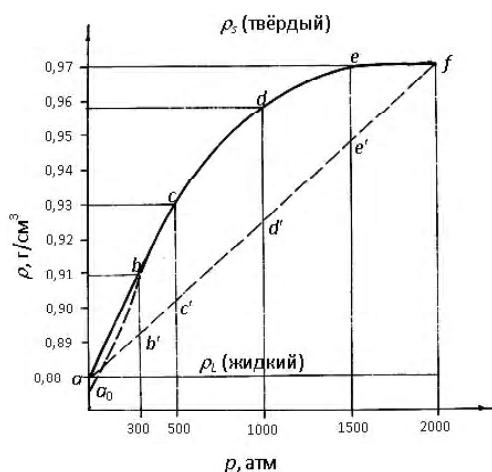


Рисунок 4 – Зависимость плотности бензола в метастабильной области в зависимости от давления:
— расчетная по пути $abcdef$; ----- – аддитивная по пути $a'b'c'd'e'f'$.

Как видно из этих рисунков, с увеличением внешнего давления p плотность переохлажденного бензола растет от значений, соответствующих жидкому состоянию, до значений, соответствующих твердому состоянию по пути $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow f$. Установленная закономерность достаточно хорошо вписывается в известные уравнения Тейта [7]. Полученные изменения $\rho_L \rightarrow \rho_s$ свидетельствуют о том, что установленные в работе закономерности в первую очередь связаны с фазовым переходом метастабильная жидкость \rightarrow твердое тело.

На втором этапе исследовали твердофазное превращение бензола под действием внешних давлений до 1 000 атм при непрерывном понижении температуры от 300 до 50 К. В результате исследований, проведённых в условиях непрерывного охлаждения бензола, находящегося под давлением от 150 до 1 000 атм, было установлено два эффекта падения давления Δp . Первый, как и прежде, происходил относительно температуры плавления Δp_L , а второй Δp_K – при низкой температуре T_K свидетельствующий о некоем твердофазном превращении бензола.

Для демонстрации эффекта падения давления Δp_K при низких температурах приведём в качестве примера термограмму охлаждения бензола под давлением 200 атм в координатах температура T – время t (рис. 5).

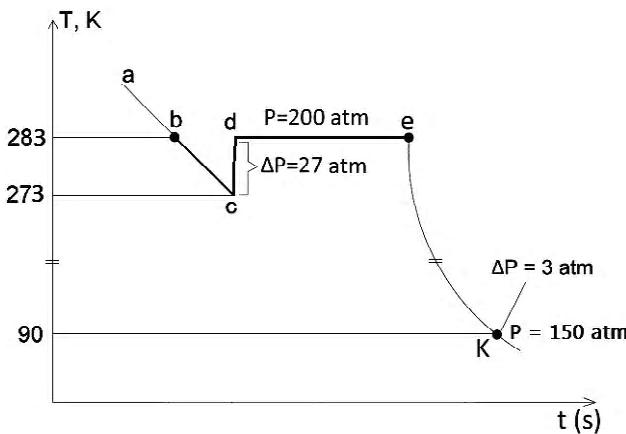


Рисунок 5 – Термограмма охлаждения бензола с фазовыми превращениями при температурах $T = 286,7 \text{ K}$ и $T = 90 \text{ K}$, ($p = 200 \text{ атм}$).

На этой термограмме совмещены два фазовых превращения – кристаллизация по пути $b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e$ в интервале температур от 270 до 280 К и эффект предполагаемого твёрдофазного превращения, происходящего при 90 К. Особенность последнего эффекта заключается в том, что при этой температуре T_K (в точке K) фиксируется небольшое падение давления $\Delta p_K \approx 3 \text{ атм}$. Если падение давления в точке K связано с фазовым превращением, то по значениям Δp_L и Δp_K можно оценить тепловой эффект твёрдофазного превращения по формуле $\Delta H_K = \Delta H_L \Delta p_K / \Delta p_L \approx 1,11 \text{ кДж/моль}$, где ΔH_L – энталпия плавления бензола [6]. Поскольку в координатах $T-t$ в точке K никаких изменений не наблюдается, то фазовые превращения с учётом падения давления удобнее показывать в координатах давление p – температура T (рис. 6).

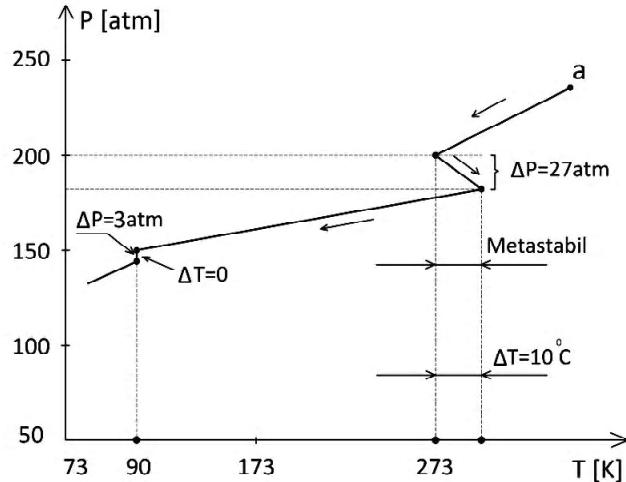


Рисунок 6 – Фазовые превращения на диаграмме $p-T$ при $p = 200 \text{ атм}$ и 150 атм .

На этом рисунке изображены эффект падения давления Δp_L относительно T_L , адиабатный эффект прогрева расплава на величину ΔT от T_{\min} до T_L при кристаллизации в виде ломаной линии (показаны стрелками), а также эффект падения давления Δp_K при $T_K = 90 \text{ K}$ (в точке K) в виде вертикальной прямой вдоль оси p .

В таблице 2 приведены параметры кристаллизации и твёрдофазного превращения бензола, зависящие от высшего давления: температуры плавления T_L , переохлаждения ΔT_L относительно T_L , температуры T_K полиморфного перехода, падения давления Δp_L относительно T_L и Δp_K относительно T_K .

Таблица 2 – Параметры фазовых превращений бензола под давлением

p , атм	T_L , К	ΔT_L^- , К	Δp_L , атм	T_K , К	ΔT_K^- , К	Δp_K , атм
1	278,5	20,0	–	–	–	–
150	281,2	11,5	29,5	90,0	–	1–3
250	281,8	9,1	25,0	93,5	–	1–3
500	286,7	6,0	17,5	102,3	–	1–3
750	293,5	4,5	12,7	111,2	–	1–3
1 000	299,5	2,9	8,0	120,6	–	1–3

Из этой таблицы виден рост температур T_L и T_K уменьшение ΔT_K^- и Δp_L по мере увеличения давления при кристаллизации. Что касается твёрдофазного превращения при температуре T_K , то при всех давлениях переохлаждений ΔT_K^- относительно T_K не наблюдалось, но при этом при всех давлениях при T_K фиксировалось небольшое падение давления 1–3 атм.

Приемлемой диаграммой для пояснения твёрдофазного превращения можно ориентировочно считать диаграмму [8] (рис. 7).

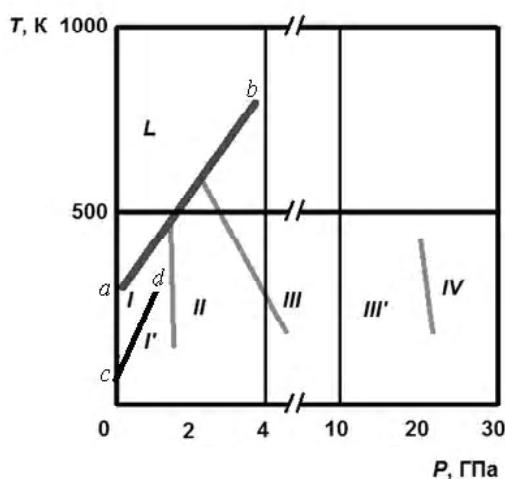


Рисунок 7 – Фазовые превращения на диаграмме $p-T$ при $p = 200$ и 150 атм. Фазовая диаграмма бензола [6]. На диаграмме I и I' – ромбические структуры $P_{bc\alpha}$, II – предположительно моноклинная структура, III и III' – моноклинные структуры $P2_1/c$, IV – полимер.

На этой диаграмме при низких температурах (ниже 130 К) имеется линия cd , разграничитывающая твёрдофазный переход $I \rightarrow I'$ при давлениях $< 0,1$ ГПа. Поскольку между линией ab , разграничивющей твёрдую и жидкую фазу, и линией cd других фазовых переходов не указано, то можно считать, что твёрдая фаза I соответствует гранецентрированной ромбической решётке с параметрами $a = 7,46$; $b = 9,67$; $c = 7,03$ Å; $V = 507,1$ Å³ в нормальных условиях [8]. Модификация же I' также является ромбической, но с несколько сжатыми параметрами $a \approx 7,24$; $b \approx 9,31$; $c \approx 6,76$ Å; $V \approx 455,6$ Å³ [8]. Как видим, возможный скачок объёма на ~10 % с выделением теплоты $\Delta H_K \approx 1,11$ кДж/моль явно указывает на фазовое превращение I -го рода, а именно полиморфный переход $I \rightarrow I'$ при температуре T_K . Что касается перестройки молекул бензола в твёрдой фазе, то возможно под давлением «укладка» молекул C_6H_6 становится более плотной [9–10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Glasstone, S. Theoretical Chemistry [Текст] / S. Glasstone. – New York : Boston College, 1948. – 632 р.
2. Китайгородский, А. И. Молекулярные кристаллы [Текст] / А. И. Китайгородский. – М. : Наука, 1971. – 424 с.
2. Debenedetti, P. G. Metastable Liquids: Concepts and Principles [Текст] / P. G. Debenedetti. – Princeton : Princeton University Press, NJ, 1996. – 411 р.
3. Александров, В. Д. Кинетика зародышеобразования и массовой кристаллизации переохлаждённой жидкости и аморфных сред [Текст] / В. Д. Александров. – Донецк : Донбасс, 2011. – 592 с.
4. Azreg-Aïnou, M. Phase equilibrium and metastability of liquid benzene at high pressures [Текст] / M. Azreg-Aïnou, A. Nyysepov, B. İbrahimoglu // J. of Chemical Physics. – 2006. – V. 124. – P. 204505–204511.

5. Таблица физических величин [Текст] : Справочник / Под ред. И. К. Кикоина. – М. : Атомиздат, 1976. – 1006 с.
6. Вервейко, В. Н. Анализ применимости уравнения Тейта к различным классам веществ в конденсированным состояниям [Текст] / В. Н. Вервейко, М. В. Вервейко, Ю. Ф. Мелихов // Ученые записки Курского гос. ун-та (электронный вариант). – 2006. – № 1. – С. 45–58.
7. Tonkov, E. Yu. High Pressure Phase Transformations [Текст] : A Handook. Vol. 3 / E. Yu. Tonkov. – Philadelphia : Gordon and Breach SA, 1992. – P. 36.
8. Budzianowski, A. Presse-frozen benzene I revisited [Текст] / A. Budzianowski, A. Katrusiak // Acta Crystallographica Section B. – 2006. – B. 62. – P. 95.
9. Китайгородский, А. И. Молекулярные кристаллы [Текст] / А. И. Китайгородский – М. : Наука, 1971. – 404 с.
10. Zhu, Q. Crystal structure prediction and its application in Earth and materials sciences [Текст] : PhD dissertation / Q. Zhu. – Stony Brook, 2013. – 149 p.

Получено 09.12.2014

В. Д. АЛЕКСАНДРОВ^a, Ш. К. АМЕРХАНОВА^b, Б. ІБРАГІМОГЛІ^c,
А. Є. ПОКИНТЕЛИЦЯ^a, О. А. ПОКИНТЕЛИЦЯ^a

ЕФЕКТИ ПАДІННЯ ТИСКУ, ЩО СУПРОВОДЖУЮТЬ ФАЗОВІ
ПЕРЕТВОРЕННЯ БЕНЗОЛУ ПІД ДІЄЮ ВСЕБІЧНОГО СТИСНЕННЯ

^a Донбаська національна академія будівництва і архітектури, ^b Карагандинський
державний університет ім. Є. А. Букетова, ^c Газі університет, Анкара, Туреччина

У даній роботі методом термічного аналізу досліджували фазові перетворення бензолу під дією зовнішнього тиску. Вивчався вплив тиску на параметри кристалізації переохолодженого розплаву. Встановлено збільшення температури плавлення, температури рівноважної кристалізації і зменшення переохолодження в міру зростання тиску. Виявлено ефект невеликого падіння тиску при фазовому перетворенні. За рахунок цього падіння виявлений твердофазний переход при 90 К. Результати трактуються на підставі структури бензолу в рідкому і твердому станах.
бензол, плавлення, кристалізація, переохолодження, поліморфне перетворення, тиск, всебічне стискання, густина

VALERY ALEXANDROV^a, SHAMSHIYA AMERKHANOVA^b,
BEYCAN IBRAHIMOGLU^c, ARTEM POKYNTELYTSIA^a,
OLENA POKYNTELYTSIA^a

EFFECTS OF PRESSURE DECAY DURING PHASE TRANSITION IN
UNIFORMLY COMPRESSED BENZENE

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b E. A. Buketov Karaganda
National University, ^c Mechanical Engineering Department, Ghazi University, Ankara, Turkey

In present paper the phase transitions in benzene at pressures up to 2 300 atm. were studied by thermal analyses. Crystallization of parameters of overheated melt were analyzed. It was found that the melting temperature and equilibrium crystallization temperature are increased crystallization together with increase, while the overcooling is decreased. The effect of small pressure decay (~3 atm.) during the phase transformation in solid benzene at 90 K was observed. It is concluded that the nature of phenomenon is established by benzene structure.

benzene, melting, crystallization, hypothermia, polymorphic transformation, pressure, hydrostatic compression, the density

Александров Валерій Дмитрович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри фізики та фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

Амерханова Шамшия Кенжегазіновна – доктор хімічних наук, професор кафедри фізичної і аналітичної хімії Карагандинського державного університету ім. Є. А. Букетова. Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження процесів комплексоутворення важких, благородних металів і РЗЕ з різними низькомолекулярними і високомолекулярними органічними сполуками; розробка наукової бази для використання високоефективних вітчизняних флотореагентів з метою збагачення корисних копалин; синтез і дослідження плівок на основі водорозчинних полімерів, модифікованих наночастинками срібла, рідкоземельними елементами (самарій, европій).

Бейджан Ибрагимоглы – доктор технічних наук, професор кафедри інженерної механіки університету Газі. Наукові інтереси: вивчення фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин; фізика плазми.

Покинтелица Артем Євгенович – аспірант кафедри нанофізики Донецького національного університету. Наукові інтереси: тонкоплівкові покріття, осадження покріттів у вакуумі, структура тонких плівок, наноматеріали.

Покинтелица Олена Анатоліївна – аспірант кафедри фізики та фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: термодинаміка та кінетика фазових перетворень.

Александров Валерий Дмитриевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

Амерханова Шамшия Кенжегазиновна – доктор химических наук, профессор кафедры физической и аналитической химии Карагандинского государственного университета им. Е. А. Букетова. Научные интересы: физико-химические исследования процессов комплексообразования тяжелых, благородных металлов и РЭ с различными низкомолекулярными и высокомолекулярными органическими соединениями; разработка научной базы для использования высокоэффективных отечественных флотореагентов в целях обогащения полезных ископаемых; синтез и исследование пленок на основе водорастворимых полимеров, модифицированных наночастицами серебра, редкоземельными элементами (самарий, европий).

Бейджан Ибрагимоглы – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной механики университета Гази. Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ; физика плазмы.

Покинтелица Артем Евгеньевич – аспирант кафедры нанофизики Донецкого национального университета. Научные интересы: тонкопленочные покрытия, осаждение покрытий в вакууме, структура тонких пленок, наноматериалы.

Покинтелица Елена Анатольевна – аспирант кафедры физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: термодинамика и кинетика фазовых превращений.

Aleksandrov Valery – DSc (Chem.), Professor, Head of the Physics and Physical Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

Amerkhanova Shamshiya – DSc (Chem.), Professor, Physical and Analytical Chemistry Department, Buketov Karaganda National University. Research interests: physical-chemical studies of the complexation processes of heavy, precious metals and rare-earth elements with a variety of low molecular- and high molecular organic compounds; development of the scientific basis for the use of domestic high- flotation agents for mineral processing; synthesis and study of films based on water-soluble polymers modified with nanoparticles of noble metals (silver, gold, palladium), rare-earths (samarium, europium).

Beycan İbrahimoglu – DSc in Technical Sciences, Professor, Mechanical Engineering Department, Ghazi University. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances; plasma physics.

Pokyntelytsia Artem – post-graduate student, Nanophysics Department, Donetsk National University. Scientific interests: thin film coatings, vacuum deposition, structure of thin films, nanomaterials.

Pokyntelytsia Olena – post-graduate student, Physics and Physical Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: thermodynamic and kinetic phase transformations.

УДК 675.016:620.21

В. М. КІБЗУН, Н. П. НАГОРНА

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ШКІРЯНОЇ СИРОВИНИ

Шкіряна сировина широко використовується в народному господарстві завдяки тому і посідає важливе місце на ринку сировинних матеріалів. Підвищуючи якість сировини, можна суттєво збільшити сировинні ресурси для виробництва конкурентоспроможних товарів. Експертиза шкіряної сировини має суттєве значення для роботи товарознавців в різних сільськогосподарських, сировинних, заготівельних організаціях, на заводах первинної обробки шкіряної сировини, науково-дослідних інститутах, лабораторіях і т. ін. У статті виконано аналітичний огляд і обґрунтuvання теоретичних і методологічних засад проведення товарознавчо-експертної оцінки конкурентоспроможної шкіряної сировини в умовах митниці. Проаналізовано вплив властивостей шкіряної сировини на її якість. Представлено методи експертного дослідження якості шкіряної сировини для її подальшого раціонального використання. Проведено дослідження якості шкіряної сировини та можливостей її покращення за допомогою розробки та виконання рекомендацій по підвищенню природних структурних особливостей та властивостей шкур. Розраховані кількісні показники якості шкіряної сировини.

бичина, шкіряна сировина, показники якості, консервування, знежилення, міздріння

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЇ

Питанням оцінки якості шкіряної сировини присвячені наукові праці [1–5], в яких розкрито особливості первинної обробки шкіряної сировини та її вплив на якість.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В роботі виконано низку паралельних випробувань по визначенням хімічного складу шкури бичини легкої різними методами. Це дозволило визначити їх переваги, тривалість та достовірність отриманих результатів [1].

У першому випадку використовували комплексний метод по визначення маси, вологості, товщини, усолу та маси наважнювачів мокросолених шкур. Ці показники перевіряють при прийманні на таможні та шкірзаводі ПП «Ліна» м. Донецьк [1–3].

Для проведення кількісного визначення складових частин шкури були відібрані мокро-солені шкури бичини легкої, які надходять в ПП «Ліна» м. Донецьк. Місце відбору проб-чепрачна частина шкури. При визначення хімічного складу шкур бичини легкої мокросоленої в першу чергу перевіряли товщину шкур всієї партії протягом 2011–2013 рр. (згідно з ГОСТ 382 «Сыре кожевенное для промышленной переработки»). При наявності шкур, які не відповідають за товщиною стандарту більше 10 %, партія бракується. Результати дослідження представлені в табл. 1.

З таблиці 1 видно, що товщина шкур при дослідженні партій протягом 2011–2013 рр. зменшувалась. Як показали результати дослідження двох партій (партія № 1, № 2) бичини легкої мокро соленої, кількість шкур, які не відповідають вимогам нормативних документів (НД) по товщині, у 2011 р. склала не більше 10 %, то ці шкури були замінені, а партія була прийнята. У 2012 р. кількість шкур двох партій (партія № 3, № 4) бичини легкої мокросоленої, які не відповідають вимогам НД по товщині, склала 14–15 %, у 2013 р. (партія № 5, № 6) кількість шкур, що не відповідають вимогам НД, склала вже 19–20 % від партії та відповідно НД підлягали забракуванню. Таким чином, як показали результати приймання бичини легкої в ПП «Ліна», якість сировини погіршується і особливо за таким показником, як товщина. Що стосується показників вологості та усолу шкір у партії, то вони нерівномірні, але відповідають вимогам нормативної документації. Кількість обважнювачів у

Таблиця 1 – Результати дослідження за товщиною партій мокросолених консервованих шкур бичини легкої, мм

Товщина в стандартній точці, Н, мм		Товщина в стандартній точці, Н, мм	
2011 р. (партія № 1, партія № 2)		2012 р. (партія № 3, партія № 4)	
Партія № 1	Партія № 2	Партія № 3	Партія № 4
Більше або дорівнює 3,5 мм	Більше або дорівнює 3,5 мм	Більше або рівно 3,5 мм	Більше або рівно 3,5 мм
91 %	90 %	85 %	84 %
2013 р. (партія № 5, партія № 6)		2013 р. (партія № 5, партія № 6)	
Партія № 5	Партія № 6	Партія № 5	Партія № 6
Більше або рівно 3,7 мм	Більше або рівно 3,7 мм	81 %	80 %

шкурах не перевищує встановлених норм. Визначали також масу шкур, відсоток усолу, вміст у ній вологи, обважнювачів, масу нетто, дійсну вагу шкури з урахуванням обважнювачів та усолу. Вміст вологи визначали у відсотках за вмістом сухого залишку після випарювання водної витяжки, як відношення кількості сухого залишку до маси шкури. Методи випробування по визначеню усолу та маси шкури проводили за ГОСТ 13104 «Сырье кожевенное: методы определения усола и массы нетто». В роботі визначали масу нетто. Метод полягає у визначенні фактичної маси шкур зважуванням з подальшим обчисленням маси нетто з урахуванням знижки або накидки на обважнювачі та усол за формулою (1) :

$$m = \frac{m_{\phi} \cdot (100 - Y_b)}{100 - Y_{\phi}}, \quad (1)$$

де m_{ϕ} – фактична маса шкури, кг;
 Y_b – усол шкури при вологості 46–47 %;
 Y_{ϕ} – фактичний усол шкури, %.
 m – маса нетто.

Різницю між масою шкур m_{ϕ} фактичною та масою нетто в % визначали за формулою 2:

$$m_1 = \frac{(m_a - m)}{m_{\phi}} \cdot 100. \quad (2)$$

Якщо $m_1 > 0$, то на цю величину робиться знижка маси, а при $m_1 < 0$ накидка.

Результати по визначеню маси шкур, відсотка усолу, вміст у неї вологи, маси нетто наведено в табл. 2. Як свідчать значення таблиці 2, обважнювачі не перевищують норму, передбачену ГОСТ 28425 (0,50 кг), і фактична вага шкур була зменшена на їх вагу. Вологість шкур у партій була значно нерівномірна, і вага шкур з урахуванням усолу та ваги нетто змінювалась в досить значному інтервалі.

За другим методом, який можливо застосовувати для різних методів консервування шкур, визначення вологості та усолу (ГОСТ 13104 «Сырье кожевенное методы определения усола и массы нетто») було обстежено дві партії (№ 5, № 6) шкур обсягом 100 шкур у кожній (табл. 2). Тому можливо припустити, що на ці показники впливають умови консервування шкур і особливо їх тривалість та підготовка шкур (знежиріність). В роботі було проведено також дослідження впливу тривалості консервування знежиреної міздринням і незнежиреної бичини легкої на вміст у неї вологи і хлориду натрію. Консервування знежиреної міздринням і не знежиреної бичини легкої показало, що дифузія хлориду натрію у внутрішні шари шкури, а також зневоднення в першому випадку протікали набагато швидше (табл. 3; рис. 1). Зі шкури, знежиреної міздринням, можна видалити достатню кількість вологи вже за 24 години з моменту засолу. Ця ж шкура з невидаленими прорізями сала досягла відповідного ступеня зневоднення лише після чотирьох діб консервування; при цьому вміст у ній хлориду натрію значно нижче, ніж у знежиреної шкурі.

За результатами досліджень (табл. 3) були знайдені з використанням пакета «EXCEL» рівняння регресії залежності вмісту вологи і хлориду натрію від тривалості консервування для знежиреної і незнежиреної бичини (рис. 1, 2, 3).

Для вологості (%) знежиреної бичини:

Таблиця 2 – Визначення вологості, усолу та маси шкури бичини легкої з урахуванням маси нетто та обважнювачів, 2011–2013 рр.

Воло- гість, W %	Усол, %	Маса за ярликом m_1 , кг	Маса фактична m_2 , кг	Маса нетто, кг	m_1	2% m_1 , кг	Обважню- вачі, кг	Маса з урахуванням усолу, кг
Партія № 1, 2011								
49,55	11,63	19,8	19,975	19,545	2,15375	0,40475	0,265	19,1625
Партія № 2, 2011								
48,46	11,7	23,13	22,7625	22,465	1,42875	0,4625	0,36875	22,1875
Партія № 3, 2012								
49,55	10,97	21,9	21,625	21,1075	2,185	0,43875	0,33875	20,6625
Партія № 4, 2012								
50,38	9,4	21	20,0125	19,71875	1,2725	0,40475	0,2525	19,4875
Партія № 5, 2013								
48,62	12,1							
Партія № 6, 2013								
50,35	10							

Таблиця 3 – Вміст вологи і хлориду натрію в знежиреній та незнежиреній бичині у процесі консервування засолом

Тривалість консервування засолом, год.	Бичина знежирена		Бичина незнежирена	
	Вміст вологи, %	Вміст хлориду натрію, %	Вміст вологи, %	Вміст хлориду натрію, %
0	60,6	0,3	60,6	0,3
2	58,0	1,4	60,5	0,6
4	54,4	5,4	58,0	1,1
8	50,0	6,0	56,0	1,2
24	44,6	12,2	52,0	6,1
48	44,5	12,6	49,6	7,3
72	44,1	13,1	45,1	8,2
96	43	13,0	44,0	10,6

$$y = 0,372 x^2 - 6,0018 x + 67,509; \text{ коефіцієнт детермінації } R^2 = 0,9677.$$

Для вологості (%) незнежиреної бичини:

$$y = -0,1488 x^2 - 1,3083 x + 62,907; \text{ коефіцієнт детермінації } R^2 = 0,9821.$$

Для утримання хлориду натрію (%) в знежиреній бичині:

$$y = -0,0975 x^3 + 1,0933 x^2 - 0,9307 x + 0,1; \text{ коефіцієнт детермінації } R^2 = 0,9669.$$

Аналіз отриманих рівнянь свідчить, що хоча характер перебігу процесу консервування бичини має подібний вигляд, але для знежиреної бичини процес втрати вологи і дифузії хлориду натрію протікає значно інтенсивніше. Вже через 24 години він досягає граничних значень. У той час як для незнежиреної бичини ці процеси стабілізуються тільки через 96 годин. Уповільнення дії консервування при засолюванні, особливо в літній час, приводить до розвитку біохімічних процесів в середині шкіри.

Таким чином, попереднє знежирення шкіри сприяє уповільненню гнильних процесів у шкіряній сировині і підвищує якість вироблених шкір [4–5].

ВИСНОВКИ

Доведено, що якість шкіри, тобто придатність її до отримання певного виду повноцінної шкіри, визначається такими властивостями, як маса, площа, товщина, щільність, здатність поглинати і віддавати вологу, гістологічна будова, наявність дефектів, міцність при розтягуванні та розтяжність. Знання вищеперерахованих властивостей обумовлює правила приймання шкіряної сировини та підбір її у виробничі партії.

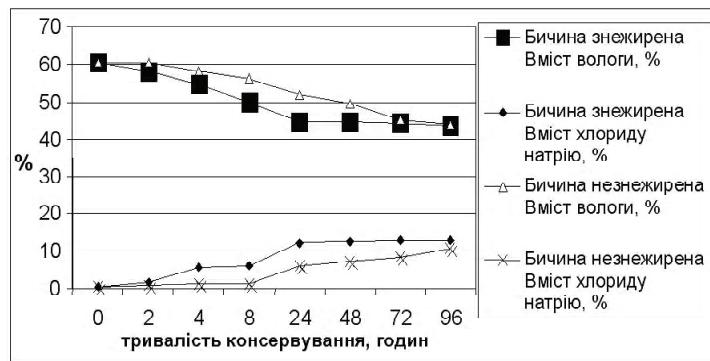


Рисунок 1 – Вміст вологи і хлориду натрію в знежиреній та незнежиреній бичині у процесі консервування засолкою.



Рисунок 2 – Вміст вологи в знежиреній та не знежиреній бичині у процесі консервування засолкою.

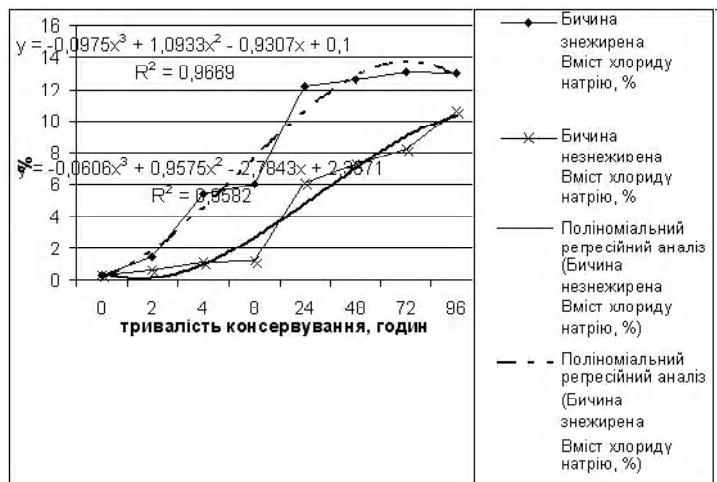


Рисунок 3 – Вміст хлориду натрію в знежиреній та незнежиреній бичині у процесі консервування засолкою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Кибзун, В. М. Обработка результатов исследования обувных материалов на усталость с использованием пакета программ «EXCEL» [Текст] / В. Н. Кибзун, Н. П. Нагорная // Материалы другой Всеукраинской научно-практической Интернет-конференции : «Украинская наука» Ч. 4. Киевский государственный экономический университет. – Киев : КДНЭУ, 2006. – С. 55–57.

2. Кибзун, В. Н. Проблемы товароведно-экспертной оценки кожевенного сырья в условиях таможни [Текст] / В. Н. Кибзун, Н. П. Нагорная, И. В. Сабов // Материалы 3 международной научно-практической конференции «Управление торговлей: теория, практика, инновации» / Российский университет кооперации. – Москва : РУК, 2010. – С. 108–112.
3. Кибзун, В. Н. Анализ влияния основных показателей шкур на качество и подбор в производственные партии [Текст] / В. Н. Кибзун, Н. П. Нагорная, И. В. Сабов // Маркетинг на международных рынках товаров и услуг. Глобальные аспекты : Материалы II Международной научно-практической конференции преподавателей, аспирантов и студентов / Донецький національний університет економіки і торгівлі. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2011. – С. 103–106.
4. Кибзун, В. М. Основні вимоги до митного оформлення шкіряної сировини [Текст] / В. Н. Кибзун // Зб. тез Міжнародної інтернет-конференції «Актуальні питання товарознавства» / Донецький національний університет економіки і торгівлі. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2012. – С. 122–124.
5. Кибзун, В. Н. Исследование эксплуатационных свойств новых материалов в производстве кожаной обуви [Текст] / В. Н. Кибзун // Сб. тез. научной конференции «Товароведение в условиях рынка» / Донецкий институт советской торговли. – Донецк : ДИСТ, 1990. – С. 48.

Отримано 10.12.2014

В. Н. КИБЗУН, Н. П. НАГОРНАЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА КОЖАНОГО СЫРЬЯ

Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского

Кожаное сырье широко используется в народном хозяйстве, благодаря чему занимает важное место на рынке сырьевых материалов. Повысив качество сырья, можно существенно увеличить сырьевые ресурсы для производства конкурентоспособных товаров. Экспертиза кожевенного сырья имеет существенное значение для работы товароведов в разных сельскохозяйственных, сырьевых, заготовительных организациях, на заводах первичной обработки кожевенного сырья, научно-исследовательских институтах, лабораториях и т. д. В работе сделан аналитический обзор и обоснование теоретических и методологических основ проведения товароведно-экспертной оценки конкурентоспособного кожевенного сырья в условиях таможни. Проанализировано влияние свойств кожевенного сырья на его качество. Представлены методы экспертного исследования качества кожевенного сырья для его дальнейшего рационального использования. Проведено исследование качества кожевенного сырья и возможностей его улучшения с помощью разработки и выполнения рекомендаций по повышению естественных структурных особенностей и свойств шкур. Рассчитаны количественные показатели качества кожевенного сырья.

бычина, коженное сырье, показатели качества, консервирование, обезжикивание, мездрение

VALENTINA KIBZUN, NINA NAGORNA

STUDY MATERIAL QUALITY LEATHER

Tugan-Baranovsky Donets National University of Economy and Trade University

The leather raw materials are widely used in a national economy thanks to what take an important place in the market of raw materials. Increasing quality of raw materials, it is possible to increase significantly raw material resources for production of competitive goods. Expertize of rawhide has essential value for operation of commodity researchers in the different agricultural, raw, procuring organizations, at plants of preprocessing of rawhide, research institutes, laboratories, etc. In operation the state-of-the-art review and reasons for theoretical and methodological bases of carrying out trade-expert an assessment of competitive rawhide in the conditions of customs is made. Influence of properties of rawhide on its quality is analyzed. Methods of expert research of quality of rawhide for its further rational use are provided. Its improving by means of development and execution of recommendations about increase of natural structural features and properties of skins is carried out researches of quality of rawhide and opportunities. The calculated quantitative indices of quality of rawhide.

bychina, leather raw materials, figures of merit, conservation, degreasing, mezdreniye

Кібзун Валентина Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Нагорна Ніна Павлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Кибзун Валентина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ДонНУЭТ им. М. Туган-Барановского. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Нагорная Нина Павловна – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ДонНУЭТ им. М. Туган-Барановского. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Kibzun Valentina – PhD (Eng.), Associate Professor, Merchandizing and Examination of Unfood Commodities Department, Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economy and Trade. Scientific interests: development of effective technologies of processing of technogenic raw material in components of composition materials.

Nagorna Nina Pavlovna – PhD (Eng.), Associate Professor, Merchandizing and Examination of Unfood Commodities Department, Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economy and Trade. Scientific interests: development of effective technologies of processing of technogenic raw material in components of composition materials.

УДК 666.974.2

Т. П. КИЦЕНКО, В. Б. МАРТЫНОВА, К. Т. БОРОДАЙ
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ,
ПРОИСХОДЯЩИХ В КАМНЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ И
КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ ЖИДКОСТЕКОЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ПРИ
ТВЕРДЕНИИ И НАГРЕВЕ**

Приведены результаты исследований структурно-фазовых изменений, происходящих в камне алюмосиликатных и кремнеземистых жидкостекольных вяжущих при твердении и нагреве. Установлено, что твердение алюмосиликатных жидкостекольных или алюминатных вяжущих композиций происходит в результате синтеза гидронефелина, который после обжига при 800 °C превращается в нефелин. Твердение кремнеземистых вяжущих систем происходит за счет образования низкоосновного гидросиликата кальция – $m\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$, который после обжига при 800 °C переходит в волластонит.

структурно-фазовые изменения, алюмосиликатные вяжущие, кремнеземистые вяжущие, жидкое стекло

ВВЕДЕНИЕ

Носителем огнеупорных свойств бетонов являются заполнители. Роль вяжущего сводится к обеспечению прочностных свойств, необходимых для транспортирования, монтажа и первого разогрева после твердения и сушки.

В отечественной промышленности одними из наиболее распространенных являются огнеупорные вяжущие и бетоны на основе растворимого силиката натрия или жидкого стекла [1–3]. Недостатком жидкостекольных бетонов является то, что отвердители жидкого стекла (кремнефторид натрия, металлургические шлаки) содержат 0,5–5,0% плавней. Поэтому в разработках [4, 5] в качестве отвердителя жидкого стекла в алюмосиликатных композициях предлагается использовать термоактивированный каолин (ТАК). Однако вяжущие с использованием ТАК имеют два существенных недостатка: он требует предварительный обжиг при температуре 600–750 °C и характеризуется высокой водопотребностью, что увеличивает расход жидкого стекла, стоимость бетона и ввод в него плавня – оксида натрия.

В то же время известно, что при обжиге кускового шамота образуется значительное количество шамотно-каолиновой пыли (ШКП), осаждающейся на электрофильтрах вращающихся печей. Учитывая опыт обжига во вращающихся печах извести, портландцементного клинкера, можно было предположить, что процессы дегидратации и минералообразования в пыли-уносе не соответствуют конечной температуре обжига шамота (около 1 400 °C), некоторая ее часть по морфологии близка к термоактивированному каолину и будет проявлять такое же структурообразующее влияние на жидкостекольные композиции.

В кремнеземистых жидкостекольных вяжущих для снижения отрицательного влияния плавней часть доменного шлака заменялась аморфным микрокремнеземом.

Цель исследований – исследовать структурно-фазовые изменения, происходящие в камне жидкостекольных вяжущих при твердении и нагреве.

Комплексом рентгенофазового и инфракрасноспектроскопического методов исследований установлено, что твердение алюмосиликатных вяжущих обусловлено синтезом гидронефелина. О его образовании свидетельствуют рентгенограммы 1–3 (рис. 1).

© Т. П. Киценко, В. Б. Мартынова, К. Т. Бородай, 2015

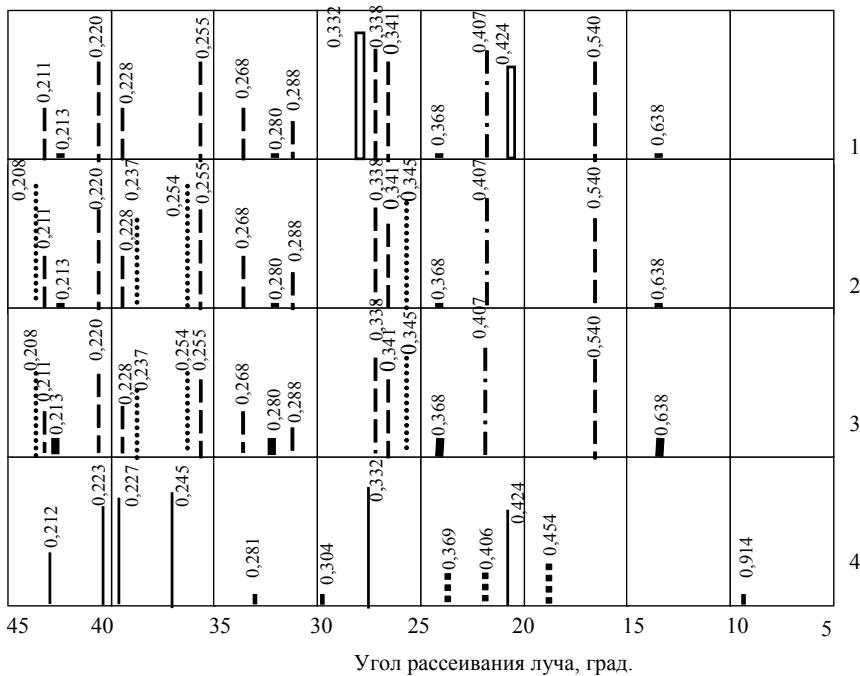


Рисунок 1 – Рентгенограммы камня вяжущих после 28 суток нормального твердения и сушки при 110 °С:
1 – шамот + ШКП = 3 + 1 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$; 2 – ТАК + муллитокорунд = 1 + 9 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$; 3 – микрокремнезем +
муллитокорунд = 2 + 8 + 1,7 $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$; 4 – микрокремнезем + кварцит + шлак = 20 + 75 + 5 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot2\text{SiO}_2$.

На рентгенограмме вяжущего «шамот + ШКП + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ », «муллитокорунд + ТАК + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ » и «муллитокорунд + микрокремнезем + 1,7 $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ » фиксируются хотя и слабые, но четкие отражения с межплоскостными расстояниями: $d = 0,638; 0,368; 0,280$ и $0,213$ нм, принадлежащие $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot2\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ [6–8].

Кроме того, на образование каркасного гидроалюмосиликата указывают ИК-спектрограммы с острым пиком при частоте 770–800 cm^{-1} и впадиной в области 840–1 250 cm^{-1} (рис. 2). Первый пик свидетельствует о связи = $\text{Al}^{IV}\text{-O}$, вторая полоса характеризует валентные колебания $\equiv \text{Si} - \text{O}$ – тетраэдрических связей. Спектры с частотой колебаний 1 500–1 700 cm^{-1} указывают на присутствие в камне вяжущего адсорбированной воды [6, 8].

Твердение шлакощелочного кремнеземистого вяжущего «кварцит + микрокремнезем + доменный граншлак + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ » происходит в результате образования низкоосновного гидросиликата типа CSH (B). На это указывают слабые, но четкие отражения с $d = 0,914; 0,304; 0,281$ нм на рентгенограмме № 4, рис. 1 [7, 8].

На рентгенограмме этого вяжущего (рис. 1) присутствуют достаточно сильные отражения, близкие к отражениям низкотемпературного тридимита ($0,454; 0,406; 0,369$ и др.). Вероятно избыток аморфного кремнезема по механизму зародышеобразования, растворяясь в низкомодульном жидким стекле, переходит в более стабильную твердую фазу, по структуре подобную β -тридимиту.

После обжига при температуре 800 °С на рентгенограммах всех алюмосиликатных вяжущих фиксируются отражения с $d = 0,42; 0,328; 0,302$ нм (рентгенограммы 1–3, рис. 3), принадлежащие нефелину $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot2\text{SiO}_2$ [8].

Учитывая то, что при более высоких температурах идет интенсивно спекание с участием щелочной жидкой фазы, исследовалось влияние определяющих оксидов на минералообразование алюмосиликатной вяжущей матрицы.

Композиции составлялись из микрокремнезема, шамота, муллитокорунда и корунда, затворялись растворами силикатов или алюминатов натрия и обжигались при соответствующих температурах. Установлено, что после обжига при 930–950 °С в композициях с избыточным кремнеземом, по отношению к муллиту и нефелину, последний перерождается в альбит. В композициях с: 80 % Al_2O_3 и 6 % Na_2O ; 90–95 % Al_2O_3 и 4 % Na_2O нефелин после обжига при 950 °С остается.

В композиции с 90 % Al_2O_3 и 2 % Na_2O альбит заменяет нефелин только частично. Прогрев этого состава при 1 200 °С, как и следовало ожидать, ведет к плавлению альбита. При охлаждении он переходит в стекло.

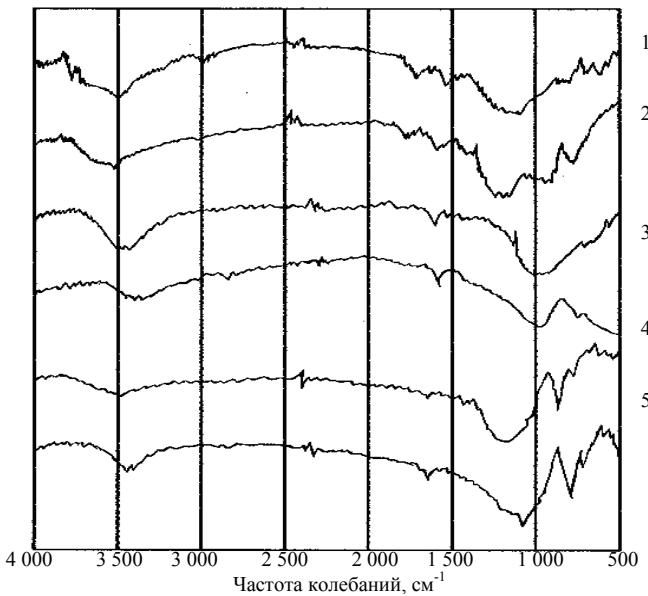


Рисунок 2 – ИК-спектрограммы камня вяжущих: 1 – шамот ШКН-2 + ШКП = 3 + 1 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ после 28 суток нормального твердения и сушки; 2 – ТАК + муллитокорунд = 1 + 9 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ после 28 суток нормального твердения и сушки; 3 – шамот ШКН-2 + ШКП = 3 + 1 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ после 28 суток нормального твердения и обжига при 800 °C; 4 – ТАК + муллитокорунд = 1 + 9 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ после 28 суток нормального твердения и обжига при 800 °C; 5 – микрокремнезем + кварцит + шлак = 20 + 75 + 5 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ после 28 суток нормального твердения и сушки; 6 – микрокремнезем + кварцит + шлак = 20 + 75 + 5 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ после 28 суток нормального твердения и обжига при 800 °C.

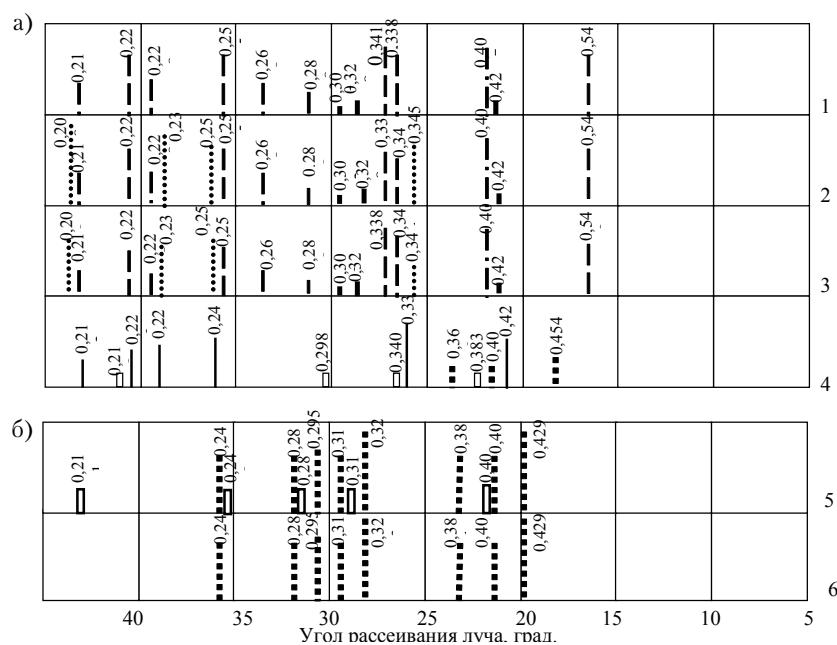


Рисунок 3 – Рентгенограммы камня вяжущих после обжига при 800 °C (а) и 1 400 °C (б):
1 – шамот + ШКП = 3 + 1 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$; 2 – ТАК + муллитокорунд = 1 + 9 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$;
3 – микрокремнезем + муллитокорунд = 2 + 8 + 1,7 $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$; 4 – микрокремнезем + кварцит + шлак =
= 20 + 75 + 5 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$; 5 – микрокремнезем + кварцит + шлак = 15 + 75 + 10 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$;
6 – микрокремнезем + кварцит + шлак = 20 + 75 + 5 + $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$.

После обжига при 1 300 °C композиций с: 90–95 % Al_2O_3 и 4 % Na_2O ; 80 % Al_2O_3 и 6 % Na_2O нефелин превращается в карнегиит.

После перехода щелочных соединений в расплав при 1 300–1 500 °С в композициях, в зависимости от содержания Al_2O_3 и Na_2O , фиксируется муллит, корунд или корунд + β -глиноzem.

На рентгенограмме вяжущего «кварцит + микрокремнезем + доменный граншлак» после обжига при 800 °С гидросиликат кальция превращается в $\beta\text{-CaO}\cdot\text{SiO}_2$ с межплоскостными расстояниями 0,383; 0,340; 0,298; 0,218. Микрокремнезем, вероятно, полностью кристаллизуется в виде β -тридимита – его отражения становятся более интенсивными и четкими (рентгенограмма № 4, рис. 3а). Кварцитовый наполнитель остается неизменным. После прогрева при 1 400 °С в системе с 10 % граншлака α -кварц кварцита практически полностью перерождается в высокотемпературную тридимито-кристобалитовую связку (рентгенограмма № 5, рис. 3б). При содержании 5 % шлака в этой связке преобладает α -тридимит и практически отсутствуют α -кристобалит и α -кварц (рентгенограмма № 6, рис. 3в).

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что твердение алюмосиликатных жидкостекольных вяжущих композиций происходит в результате синтеза гидронефелина, который после обжига при 800 °С превращается в нефелин. При дальнейшем подъеме температуры, в зависимости от содержания свободного кремнеземистого стекла рядового шамота, нефелин может переходить в альбит, смесь альбита и нефелина, либо в карнегиит. После их перехода в расплав в качестве керамической связки служат муллит или корунд.

2. Твердение вяжущих систем « $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$ + доменный граншлак + кварцит» происходит за счет образования низкоосновного гидросиликата кальция – $m\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$, который после обжига при 800 °С переходит в волластонит – $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. При 1 200 – 1 400 °С в системе идет перерождение – кварца через расплав $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ в тридимито-кристобалитовую связку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пивинский, Ю. Е. Керамобетоны – заключительный этап эволюции низкоцементных огнеупорных бетонов (часть I) [Текст] / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. – № 1. – С. 11–15.
2. Сенников, С. Г. Состояние Российской металлургии и огнеупорной промышленности на рубеже третьего тысячелетия [Текст] / С. Г. Сенников, С. Н. Фокин // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. – № 1. – С. 49–56.
3. Хорошавин, Л. Б. Огнеупорная промышленность России и ее развитие [Текст] / Л. Б. Хорошавин. – Екатеринбург : ЦНТИ, 1998. – 52 с.
4. Деркач, М. В. Алюмосиликатные и кремнеземистые огнеупорные бетоны с повышенными термомеханическими свойствами [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / М. В. Деркач, ДонГАСА. – Макеевка, 2002. – 22 с.
5. Патент 43748 Україна, С 04 В 28/26. Вогнетривка бетонна суміш [Текст] / Єфремов О. М., Братчун В. І., Деркач М. В. [та ін.] ; патентовласник Донбаська державна академія будівництва і архітектури. – № 2001075443 ; заявл. 31.17.2001 ; опубл. 17.12.2001, Бюл. № 11. – 3 с.
6. Плюсина, И. И. Инфракрасные спектры силикатов [Текст] / И. И. Плюсина. – М. : Изд-во МГУ, 1967. – 142 с.
7. Минералогические таблицы [Текст] / Под ред. Е. И. Семенова. – М. : Недра, 1981. – 398 с.
8. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов [Текст] / Л. И. Миркин. – М. : Гос. изд. физ.-мат. литературы, 1961. – 863 с.

Получено 11.12.2014

Т. П. КІЦЕНКО, В. Б. МАРТИНОВА, К. Т. БОРОДАЙ
ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВИХ ЗМІН, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ В
КАМЕНІ АЛЮМОСИЛІКАТНИХ І КРЕМНЕЗЕМІСТИХ РІДКОСКЛЯНИХ
В'ЯЖУЧИХ ПРИ ТВЕРДІННІ І НАГРІВІ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Наведено результати досліджень структурно-фазових змін, що відбуваються в камені алюмосилікатних і кремнеземистих рідкоскляніх в'яжучих при твердінні і нагріванні. Встановлено, що твердіння алюмосилікатних рідкоскляніх або алюмінатних в'яжучих композицій відбувається в результаті синтезу гідронефелину, який після випалювання при 800 °С перетворюється в нефелін. Твердіння кремнеземистих в'яжучих систем відбувається за рахунок утворення низкоосновного гідросиликату кальцію – $m\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$, який після випалювання при 800 °С переходить у воластоніт.
структурно-фазові зміни, алюмосилікатні в'яжучі, кремнеземисті в'яжучі, рідке скло

TATYANA KITSENKO, VITA MARTYNNOVA, EKATERINA BORODAY
RESEARCHES OF STRUCTURAL PHASE CHANGES WHAT IS HAPPENING IN
STONE OF ALUMINA-SILICATE AND SILICA LIQUID GLASS BINDERS AT
HARDENING AND HEATING
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The results of researches of structural phase changes that is happening in stone of alumina-silicate and silica liquid glass binders at hardening and heating have been given. Curing alumina-silicate or aluminate binders compositions is in result synthesis hydro nepheline, which after firing at 800 °C turns in nepheline have been carried out. Hardening silica binder systems occurs due to the formation of slightly basic calcium hydro silicate – mCaO the SiO₂ is nH₂O, which after firing at 800 °C enters the wollastonite.

structural phase changes, alumina-silicate binders, silica binders, liquid glass

Киценко Тетяна Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетони.

Мартинова Віта Борисівна – доцент кафедри архітектура промислових та цивільних будівель Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: ніздроваті бетони з підвищеними фізичними та механічними властивостями.

Бородай Катерина Таєрівна – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетони.

Киценко Татьяна Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

Мартынова Вита Борисовна – доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: ячеистые бетоны с повышенными физическими и механическими свойствами.

Бородай Екатерина Таировна – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

Kitsenko Tatyana – PhD in Engineering, Associate Professor, Technology of Building Constructs, Articles and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fire-resistant binders and concretes.

Martynova Vita – PhD in Engineering, Associate Professor, Architecture of Industrial and Civil Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: cellular concrete with increased physical and mechanical properties.

Boroday Ekaterina – assistant, Technology of Building Constructs, Articles and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat-resistant binders and concretes.

УДК 624.21

Д. И. БОРОДАЙ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА АРМИРОВАНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

Сформулирована общая проблема долговечности железобетонных автодорожных мостов Украины. Выполнен анализ технического состояния и долговечности железобетонных автодорожных мостов Украины на основании данных Аналитической экспертной системы управления мостами Укравтодора. Показано влияние типа армирования на долговечность железобетонных элементов автодорожных мостов. Установлено несоответствие между фактическим сроком службы и ресурсом, определенным по нормативной методике. Проанализированы результаты исследования.

железобетонные элементы автодорожных мостов, ненапрягаемая арматура, предварительно напрягаемая арматура, долговечность, срок службы

ПОСТАНОВКА НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ

Автодорожные мосты являются важнейшими составляющими транспортной инфраструктуры Украины. Закрытие моста вследствие аварии или необходимости срочного ремонта приводит к значительным экономическим и социальным убыткам [1].

Согласно оценкам экспертов [2, 3, 4, 5, 6], на дорогах общего пользования в настоящее время более 64 %, а на коммунальных дорогах более 72 % мостов полностью или частично не соответствуют предъявляемым к ним требованиям действующих нормативных документов по грузоподъемности и габаритам. По состоянию на 1.01.2013 г. 1 957 ед. (общей протяженностью 54 км) автодорожных мостов Укравтодора требуют капитального ремонта или реконструкции.

В этих условиях, для безаварийной эксплуатации и продления ресурса сооружений, нужны новые научные подходы к оценке и прогнозу технического состояния элементов мостов на всех стадиях жизненного цикла, подтвержденные данными о фактическом ресурсе элементов с учетом особенностей эксплуатации автодорожных мостов Украины. Нужны алгоритмы, которые дали бы количественные критерии уровня надежности и прогноза ресурса элементов.

Целью работы является анализ влияния типа армирования железобетонных пролетных строений автодорожных мостов на их долговечность, что позволит учитывать при прогнозе ресурса мостов этот параметр.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ УКРАИНЫ

Выполненный в работе анализ технического состояния железобетонных автодорожных мостов Украины основывается на данных, полученных из Аналитической экспертной системы управления мостами (АЭСУМ) Укравтодора. Оценка технического состояния пролетных строений мостов в АЭСУМ осуществляется согласно требованиям нормативного документа ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів» [7]. Данные о времени перехода автодорожных мостов и их элементов в различные эксплуатационные состояния позволяют отследить динамику процесса их деградации во времени, а также изучить влияние конструкционных и эксплуатационных факторов на долговечность проектного сечения на различных

этапах жизненного цикла. В работе рассматривается влияние на долговечность такого фактора, как тип армирования.

База данных АЭСУМ содержит информацию о 16 201 автодорожном мосте на дорогах государственного и местного значения. Из них 3 966 имеют полную техническую характеристику и данные по эксплуатационному состоянию и истории содержания.

Объектом исследования является выборка железобетонных мостов в количестве 2 783 ед. Всего на дорогах Украины общего пользования эксплуатируются 14 305 железобетонных мостов, таким образом, в процентном соотношении выборка содержит информацию о 19,5 % железобетонных мостов Украины. По виду армирования выборка представлена большей частью пролетными строениями с обычной арматурой (рис. 1).

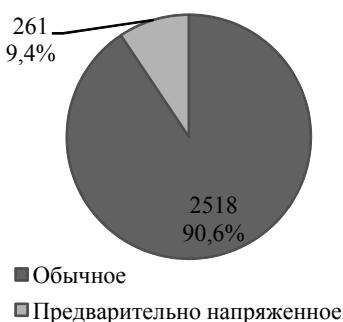


Рисунок 1 – Распределение мостов выборки по типу армирования пролетного строения.

Статистическое исследование вариационных рядов сроков службы заключалось в распределении элементов выборки по группам (табл. 1), соответствующим определённому эксплуатационному состоянию и определении следующих статистических оценок (табл. 2): математическое ожидание; медиана; среднее квадратичное отклонение; дисперсия.

Таблица 1 – Распределение мостов по эксплуатационным состояниям в зависимости от типа армирования

Тип армирования	Эксплуатационное состояние			
	Состояние 2	Состояние 3	Состояние 4	Состояние 5
Обычное, ед.	353	1150	750	265
Предварительно напряженное, ед.	35	173	40	13
Всего	393	1322	790	278

Таблица 2 – Статистические оценки сроков службы железобетонных автодорожных мостов в зависимости от типа армирования

	Медиана, лет	Математическое ожидание, μ , лет	Среднее квадратичное отклонение, σ , лет	Дисперсия, D , лет 2	Объем выборки n , ед.
Состояние 2					
Обычное армирование	38	37,4	16	247	353
Напряженное армирование	24	25,8	16	249	40
Состояние 3					
Обычное армирование	46	46,4	16	258	1150
Напряженное армирование	34	35,0	17	281	172
Состояние 4					
Обычное армирование	47	46,6	14	202	750
Напряженное армирование	36	37,3	17	288	40
Состояние 5					
Обычное армирование	48	46,2	11	132	265
Напряженное армирование	46	43,8	11	129	13

Анализ данных таблицы 2 показывает, что пролетные строения с предварительно напряженной арматурой характеризуются ранним наступлением этапов процесса деградации. Этот факт можно объяснить тем, что преднапряженная арматура более чувствительна к коррозии, а следовательно, в случае недостаточной надежности защитного слоя бетона техническое состояние таких элементов ухудшается интенсивнее.

Подтверждением является опыт эксплуатации струнобетонных пролетных строений, армированных высокопрочной проволокой диаметром 3...5 мм в виде струн. Такие конструкции имеют малую долговечность из-за малой толщины защитного слоя бетона (менее 20 мм), которая часто не выдерживалась при производстве. Зафиксировано большое количество случаев коррозии и обрыва струн в подобных конструкциях вплоть до обрушения балок [8].

Было выполнено сравнение фактической долговечности с прогнозом остаточного ресурса элементов мостов по алгоритму, установленному в нормативном документе ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів» [7]. Жизненный цикл элемента делится на пять дискретных состояний, которые описываются качественными и количественными показателями, образуя иерархию отказов. Модель деградации имеет вид:

$$P_t = 1 - 0,008333 (\lambda t)^5 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где P_t – вероятность того, что элемент перейдет в 5-ое состояние;
 λ – параметр процесса – интенсивность отказов.

Нормативная модель позволяет определять ресурс мостов, находящихся в эксплуатации. В связи с этим прогноз по нормативной методике заключался в определении параметра интенсивности отказов λ , который соответствует заданному времени наступления третьего эксплуатационного состояния, в качестве которого было принято фактическое среднее значение, полученное по результатам обследований. В соответствии с полученным значением параметра интенсивности отказов λ строилась кривая деградации (рис. 2).

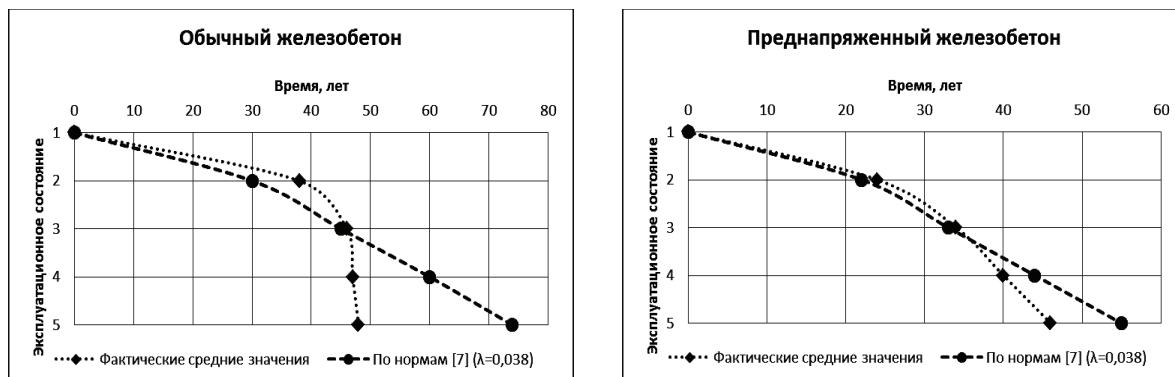


Рисунок 2 – Сравнение фактической долговечности мостов с прогнозом остаточного ресурса по [7].

Как видно из графиков на рис. 2, на участке кривой деградации от третьего эксплуатационного состояния до пятого существует несоответствие между фактическим сроком службы и ресурсом, определенным по нормативной методике [7]. Особенно явно снижение ресурса происходит для мостов с обычным армированием, для случая с предварительно напряженной арматурой это явление носит менее выраженный характер. Однако в обоих случаях ресурс, определенный по нормативной методике, превышает фактический срок службы на 35 % для элементов с обычной арматурой и на 16 % – с предварительно напряженной. Нормативная кривая деградации имеет более пологую форму на последних двух участках.

ВЫВОДЫ

На основании статистического анализа технического состояния 2 783 железобетонных автодорожных мостов Украины установлено, что среднее значение срока службы до капитального ремонта или

реконструкции составляет 46–48 лет. Показано стремительное снижение ресурса автодорожных мостов после наступления третьего эксплуатационного состояния, которое вызвано отсутствием регулярных мероприятий по содержанию автодорожных мостов. Это свидетельствует об отсутствии системы эксплуатации автодорожных мостов в Украине.

Установлено несоответствие между фактическим сроком службы и ресурсом, определенным по нормативной методике, на участке кривой деградации от третьего до пятого эксплуатационного состояния. Нормативная методика прогноза остаточного ресурса предполагает проведение регулярных мероприятий по содержанию моста. Поэтому большее значение нормативного ресурса по сравнению с фактическим сроком службы подтверждает отсутствие системы эксплуатации автодорожных мостов в Украине.

Выражаю глубокую благодарность д. т. н., профессору А. И. Лантух-Лященко за советы и рекомендации при выполнении теоретических и численных методов исследования, приведенных в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Про схвалення Концепції Державної програми забезпечення технологічної безпеки в основних галузях економіки [Текст] : Розпорядження Кабінету Міністрів України № 351-р від 11.06.2003 // Офіційний вісник України. – № 25. – С. 254–255.
2. Коваль, П. М. Вдосконалення системи утримання автодорожніх мостів України [Текст] / П. М. Коваль // Дороги і мости : зб. наук. пр. / Держ. служба автомоб. доріг України (Укравтодор), Держ. дор. НДІ ім. М. П. Шульгіна. – К. : ДерждорНДІ, 2009. – Вип. 11. – С. 133–145.
3. Коваль, П. М. Проблеми діагностики та регенерації автодорожніх мостів України [Текст] / П. М. Коваль, Й. Й. Лучко // Діагностика, довговічність та регенерація мостів і будівельних конструкцій із застосуванням сучасних технологій та матеріалів : зб. наук. пр. – Львів : Каменяр, 1999. – Вип. 1. – С. 48–58.
4. Коваль, П. М. Проблеми забезпечення довговічності автодорожніх мостів, розширеніх накладною плитою [Текст] / П. М. Коваль // Діагностика довговічності та реконструкція мостів і будівельних конструкцій : зб. наук. пр. – Львів : Каменяр, 2000. – Вип. 2. – С. 58–65.
5. Лантух-Лященко, А. І. До питання про створення національної системи експлуатації мостів [Текст] / А. І. Лантух-Лященко, П. М. Кoval'yoв // Діагностика, довговічність та регенерація мостів і будівельних конструкцій із застосуванням сучасних технологій та матеріалів : зб. наук. пр. – Львів : Каменяр, 1998. – Вип. 1. – С. 70–76.
6. Мости: конструкції та надійність [Текст] / [Й. Й. Лучко, П. М. Коваль, М. М. Корнієв та ін.] ; за ред. В. В. Панасюка і Й. Й. Лучка. – Львів : Каменяр, 2005. – 989 с.
7. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів [Текст]. – На заміну ВБН В.3.1-218-174-2002 ; чинний від 2010-03-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с. (Національний стандарт України).
8. Експлуатація і реконструкція мостів [Текст] / Н. Є. Страхова, В. О. Голубев, П. М. Ковалев, В. В. Тодиріка ; за ред. А. І. Лантуха-Лященка. – Ізд. 2-е, испр. – К. : Транспортна Академія України, 2002. – 408 с.

Получено 12.12.2014

Д. І. БОРОДАЙ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ АРМУВАННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
ПРОГОНОВИХ БУДОВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ АВТОДОРОЖНИХ МОСТИВ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Сформульована загальна проблема довговічності залізобетонних автодорожніх мостів України. Виконано аналіз технічного стану і довговічності залізобетонних автодорожніх мостів України на підставі даних Аналітичної експертної системи управління мостами Укравтодору. Показано вплив типу армування на довговічність залізобетонних елементів автодорожніх мостів. Встановлено невідповідність між фактичним терміном служби і ресурсом, визначеним за нормативною методикою. Проаналізовано результати дослідження.

залізобетонні елементи автодорожніх мостів, ненапруженна арматура, попередньо напруженна арматура, довговічність, термін служби

DENIS BORODAY

THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE TYPE OF REINFORCED
CONCRETE BRIDGE SPANS ON THE HIGHWAY BRIDGES DURABILITY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

A general problem of durability of Ukrainian concrete highway bridges is formulated. The analysis of the technical condition and durability of concrete highway bridges in Ukraine on the basis of analytical expert bridge management system is performed. The influence of the type of reinforcement on the durability of reinforced concrete elements of highway bridges is shown. Discrepancy between the actual service life and resources defined by the regulatory procedure is exposed. The research results are analyzed.

reinforced concrete elements of highway bridges, reinforcement, prestressed reinforcement, durability, service life

Бородай Денис Ігорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: надійність та довговічність транспортних споруд.

Бородай Денис Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность и долговечность транспортных сооружений.

Boroday Denis – PhD (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliability and durability of transport constructions.

УДК 691.58

А. В. ТУБАНЬ^a, А. Г. ДОЛЯ^b, Н. С. КОННОВ^b, Д. В. ГУЛЯК^b

^a Донецкий национальный университет экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, ^b Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖФАЗНОГО КОНТАКТНОГО СЛОЯ В СИСТЕМЕ «РАСПАВШАЯСЯ БИТУМОПОЛИМЕРСЕРНАЯ ЭМУЛЬСИЯ – ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВИРОВАННЫЙ СКМС-30 МИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК»

Показано, из большого многообразия гидроизоляционных материалов наиболее эффективным материалом является битумоэмulsionные мастики. Для обеспечения нормативных значений трещиностойкости и адгезии к аппретируемой поверхности предложено нефтяной дорожный битум модифицировать комплексной добавкой – бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 (2,0–2,5 % мас.) совместно с технической серой (30–40 %), а минеральный порошок (наполнитель) механоактивировать СКМС-30 из раствора в углеводородах. Рассмотрены явления и процессы, происходящие на поверхности раздела фаз «минеральный порошок – СКМС-30» и «поверхностно-активированный СКМС-30 минеральный порошок – битумополимерсерное органическое вяжущее».

битумополимерсерная мастика, стабилизированный гидроизоляционный слой из битумополимерсерной мастики, бутадиенметилстирольный каучук, поверхность раздела фаз, свойства

Из большого многообразия гидроизоляционных материалов наиболее универсальными из условий пониженной энергоемкости производства и устройства гидроизоляционного слоя, обеспечения экологической безопасности труда, производительности труда, индустриальности устройства гидроизоляционных слоев и экономичности являются битумоэмulsionные мастики (БИЭМ) [1–6].

В то же время традиционные битумные эмульсии, которые составляют основу матрицы битумоэмulsionных паст, не обеспечивают такие важные эксплуатационные характеристики кровельных и гидроизоляционных слоев, сформировавшихся на поверхности бетонных и железобетонных конструкций, как трещиностойкость (не выше минус 40 °C при раскрытии трещин 0,3 мм) и прочность сцепления с аппретируемой поверхностью (предел прочности сцепления с бетонной поверхностью при сдвиге не менее 0,2–0,3 МПа). Наиболее эффективным способом расширения интервала пластичности композиционных материалов с использованием нефтяного дорожного битума является модификация органического вяжущего комплексной добавкой, включающей бутадиенметилстирольный каучук (СКМС-30) и техническую серу, а в качестве эмульгатора целесообразно использовать комбинированный твердый эмульгатор, а именно комплекс, представленный гидратированной известью и хризотиловым асбестом, что обеспечивает агрегативную и седиментационную устойчивость модифицированных битумоэмulsionных паст и мастик [7, 8].

При недостаточной адгезии битумополимерсерного вяжущего к поверхности минеральных материалов вода,приникая в поры гидроизоляционного покрытия, снижает связь между модифицированным органическим вяжущим и минеральным порошком битумоэмulsionной мастики и подложки, отслаивает битумополимерсерную пленку и тем самым ослабляет прочность гидроизоляционного покрытия. Под воздействием атмосферных факторов (воды, снега, температуры, кислорода воздуха, ультрафиолетового облучения) происходит разобщение, прежде всего частиц минерального порошка (мелкодисперсный наполнитель битумоэмulsionных мастик), выкрашивание. Это наиболее существенное повреждение, наряду с трещинообразованием, которое значительно сокращает срок службы кровельных гидроизоляционных покрытий.

© А. В. Тубань, А. Г. Доля, Н. С. Коннов, Д. В. Гуляк, 2015

Попеременное водонасыщение и высушивание в высохшем (стабилизированном) состоянии сформировавшегося гидроизоляционного покрытия существенно снижает усталостную долговечность гидроизоляционного покрытия [9].

Минеральный порошок структурирует органическое вяжущее (ОВ) в БИЭМ. Увеличивает поверхность контактирования между частицами наполнителя в стабилизированной битумоэмulsionной мастике. Снижает тепловое расширение модифицированного битума и повышает термоокислительную устойчивость, морозостойкость и прочность в области высоких положительных температур.

Установлено, что адсорбционная активность минерального порошка определяется величиной поверхности, химическим и минералогическим составом, количеством активных центров на поверхности, топографией, микрорельефом и чистотой поверхности [10–12].

Взаимодействие органического вяжущего и минерального порошка является важнейшим элементом структурообразования в композиционных материалах на органических вяжущих [13, 14]. Особенности взаимодействия обусловливают наиболее существенные признаки структуры композиционных материалов, а именно, прочность и деформационное поведение в условиях эксплуатации, устойчивость структуры в изменяющемся влажностном режиме, способность противостоять факторам, обусловливающим старение. С целью повышения физико-химического взаимодействия на поверхности раздела фаз (ПРФ) органическое вяжущее – минеральный порошок, поверхность последнего подвергают активации термическими, механическими, физико-химическими и механохимическими способами [15–17].

Использование поверхностно-активированного минерального порошка в составе композиционных материалов улучшает взаимодействие органических материалов с минеральным, достигается более равномерное распределение ОВ на поверхности минеральных частиц, уменьшается на 10–15 % расход вяжущего, снижается температура, а следовательно, энергоемкость производства смесей, уменьшается пористость стабилизированной БИЭМ, повышается однородность структуры и свойств, значительно повышаются деформационно-прочностные характеристики гидроизоляционного покрытия и стабильность при изменении влажностного и температурного режимов работы нежестких гидроизоляционных покрытий.

При механохимической активации горных пород в среде раствора СКМС-30 можно предположить следующие явления. Механическое диспергирование карбонатных горных пород приводит к появлению в поверхностных слоях ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} . Наряду с явлением аморфизации выделяется CO_2 и образуются CaO , Ca(OH)_2 [18]. Реакционная способность твердых тел при их измельчении возрастает вследствие возникновения новых поверхностей, изменения структуры поверхностного слоя, образования свободных радикалов, ионов, которые легко вступают в химическое взаимодействие с обычными насыщенными молекулами.

Так как минеральные материалы подвергаются диспергированию в среде термоэластопласта СКМС-30, в котором из-за неравномерного распределения внутренних напряжений или локализации энергии удара на отдельных участках цепи возникают критические напряжения и происходит разрыв ковалентных связей, например С-Н, С-С, то образуются активные частицы – свободные радикалы, ионы, ион-радикалы [19]. Возможна прививка фрагментов макромолекул, надмолекулярных образований СКМС-30 к поверхности минерального порошка. Фрагменты макромолекул бутадиенметилстирольного каучука будут сорбироваться как на поверхности, так и проникать внутрь зародышевых микротрещин, способствуя диспергированию частиц минеральных материалов (эффект П. А. Ребиндера) [20]. Образующиеся адсорбционно-сольватные слои макромолекул СКМС-30 будут препятствовать сцеплению поверхностноактивированных бутадиенметилстирольным каучуком частиц минерального порошка в агрегаты.

Концентрация полимера на поверхности МП будет оптимальной, когда адгезия его к аппретирующемой поверхности минерального порошка будет максимальной. Таким образом, при диспергировании карбонатных горных пород в среде раствора бутадиенметилстирольного каучука последние должны физически и химически сорбироваться на вновь образованных поверхностях минеральных частиц. Олеофильный структурно-упрочненный слой полимера должен обеспечить молекулярное средство с битумополимерсерным вяжущим.

Следует отметить, что сорбция компонентов битума на поверхности неактивированного минерального порошка затруднена гидрофильтностью последнего и наличием в глубоких бороздках и капиллярах МП пузырьков воздуха, которые препятствуют плотному контакту между ними и являются потенциальными очагами разрушения адгезионной связи. В граничном слое концентрируются

полярные и высокомолекулярные соединения нефтяного дорожного битума. Формируется двойной электрический слой в результате электризации поверхностью МП полярных и поляризующихся компонентов органического вяжущего. Толщина структурированного слоя битума невелика из-за малой молекулярной массы компонентов ОВ ($0,2\text{--}1,0$) 10^{-6} м. При понижении температуры и в результате технологического и эксплуатационного старения происходит выкристаллизование полимерических углеводородов. Образуются псевдокоагуляционные и конденсационные структуры, которые способствуют резкому повышению вязкости ОВ, снижению его релаксационной способности, смещению перехода его в упруго-хрупкое состояние в область повышенных температур. В адсорбционно-сольватном слое возникают высокие остаточные напряжения из-за разности коэффициентов термического сжатия, растяжения нефтяного дорожного битума и минеральной подложки, а также её жесткости.

Поверхностная активация минерального порошка бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 из раствора в легкокипящих углеводородах приведет к формированию на поверхности структурно-упрочненного слоя полимера, который повысит адгезию битумополимерсерного вяжущего к поверхности минерального порошка вследствие увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований сopolимера СКМС-30 с активными центрами олеофильной поверхности, диффузии макромолекул бутадиенметилстирольного каучука в поверхностный адгезионный слой СКМС-30. Это создаст прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсерномасличного слоя с высокой адгезией и когезией.

Упрочнение структуры асфальтования вещества приведет к смещению в область более высоких положительных температур перехода стабилизированного слоя гидроизоляции в вязкопластичное состояние. Вследствие того, что асфальтополимерсерное вяжущее содержит в своем составе бутадиенметилстирольный каучук с температурой стеклования минус 52 °С, то можно ожидать смещения и температуры стеклования БИЭМ в область более низких отрицательных температур по сравнению с немодифицируемой БИЭМ. Следовательно, модифицируемые БИЭМ будут характеризоваться более широким температурным интервалом упруговязкопластичного состояния.

Модифицированные БИЭМ должны отличаться меньшей водопроницаемостью за счет более развитых пленок органического вяжущего на поверхности-активированном МП. Естественно, это приведет к меньшему доступу кислорода к компонентам ОВ и обусловит высокую устойчивость гидроизоляционного покрытия к старению.

Модифицированные гидроизоляционные покрытия будут более устойчивы в условиях попеременного водонасыщения-высушивания, что связано не только с особенностями поровой структуры покрытия, но и со спецификой напряженного состояния, вызываемого водонасыщением и высушиванием. Циклические знакопеременные напряжения, возникающие в гидроизоляционном покрытии при периодически повторяющихся водонасыщении и оттаивании, будут носить в силу повышенной эластичности структурных связей преимущественно упругий характер и соответственно вызывать главным образом обратимые деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попченко, С. Н. Гидроизоляция сооружений и зданий [Текст] / С. Н. Попченко. – Л. : Стройиздат, 1981. – 304 с.
2. Лазько, А. Д. Безрулонная гидроизоляция ограждающих конструкций [Текст] / А. Д. Лазько. – М. : Стройиздат, 1965. – 24 с.
3. Мастики в строительстве [Текст] / [П. Г. Резниченко, В. Е. Бойко, В. М. Фетисова, Г. И. Середа]. – Днепропетровск : Промінь, 1975. – 256 с.
4. РСН 295-88. Проектирование и устройство кровель и гидроизоляций на основе битумных эмульсионных паст и мастик на твердых эмульгаторах [Текст]. – Срок введения в действие 1 июля 1989 год. – М. : Госстрой СССР, 1989. – 29 с.
5. Скориков, С. В. Теоретические принципы регулирования трещиностойкости кровельных водоэмulsionционных покрытий с учетом качества основания [Текст] / С. В. Скориков, А. Е. Ещенко // Кровельные и изоляционные материалы. – 2008. – № 2. – С. 4.
6. Коннов, Н. С. Условия эксплуатации и требования, предъявляемые к мастичным покрытиям и гидроизоляционным материалам в кровлях и подземных конструкциях промышленных зданий [Текст] / Н. С. Коннов, А. В. Тубань // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : Зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, ДонНАБА. – Макіївка, 2014. – Вип. 2014-1(105) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 139–141.
7. Братчун, В. И. Асфальтошлакобетоны на анионных битумных эмульсиях [Текст] / В. И. Братчун, Ю. В. Грицук, В. Л. Беспалов // Наука и Техника в дорожной отрасли. – Москва : ЗАО «Издательство "Дороги"», 2014. – № 4. – С. 22–25.

8. Модифицированные битумные эмульсионные пасты и мастики для устройства гидроизоляции железобетонных конструкций [Текст] / В. И. Братчун, Н. С. Коннов, М. В. Деркач, Н. П. Нагорная // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – 2008. – Вип. 31. – С. 52–57.
9. Гончаренко, В. И. Динамическая и термическая усталость дорожного асфальтобетона [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05. 23.05 / В. И. Гончаренко; ХАДИ. – Харьков, 1983. – 23 с.
10. Волков, М. И. Исследование минеральных порошков для асфальтовых смесей [Текст] / М. И. Волков, И. М. Борщ // Труды ХАДИ. – 1959. – Вып. 18. – С. 73–83.
11. Терлецкая, Л. С. Влияние структуры минерального порошка на свойства асфальтобетонной смеси [Текст] / А. С. Терлецкая // Труды МАДИ. – 1958. – Вып. 23. – С. 70–74.
12. Прочность и долговечность асфальтобетона [Текст] / Под. ред. Б. И. Ладыгина и И. К. Яцевича. – Минск : Наука и техника, 1972. – 298 с.
13. Королев, В. И. Модель строения битумной пленки на минеральных зернах в асфальтобетоне [Текст] / И. В. Королев // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1981. – № 8. – С. 63–67.
14. Асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер [и др.] // Наука и Техника в дорожной отрасли. – Москва, 2013. – № 3. – С. 35–41.
15. Сотникова, В. М. Совершенствование метода физико-химической активации минеральных порошков [Текст] / В. И. Сотникова, Л. Б. Гезенцевой // Совершенствование технологии строительства асфальтобетонных и других черных покрытий : Труды СоюздорНИИ / Гос. всесоюз. дор. НИИ ; [Редкол.: И. А. Плотникова (отв. ред.) и др.]. – М. : Союздорнии, 1981. – С. 126–135.
16. Плотникова, А. И. Физико-химическая активация минеральных порошков как средство регулирования процесса взаимодействия битумных эмульсий с минеральными материалами [Текст] / А. И. Плотникова // Строительство асфальтобетонных покрытий с применением активированных минеральных материалов : [Сб. статей / Редкол.: В. Н. Сотникова (отв. ред.)]. – М. : Союздорнии, 1978. – С. 15–23.
17. Курденкова, И. Б. Механохимическая модификация минерального материала в асфальтобетоне твердыми полимерами [Текст] / И. Б. Курденкова // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов : Тез. докл. всесоюз. конф. (Харьков, 21–23 сент. 1983) / [Редкол.: Грушко И. М. (гл. ред.) и др.]. – Харьков : ХАДИ, 1983. – С. 61–62.
18. Ходаков, Г. С. Тонкое измельчение строительных материалов [Текст] / Г. С. Ходаков. – М. : Издательство литературы по строительству, 1972. – 239 с.
19. Барамбайм, Н. К. Механохимия высокомолекулярных соединений [Текст] / Н. К. Барамбайм. – М. : Химия, 1978. – 384 с.
20. Ребиндер, П. А. Понижение твердости при адсорбции поверхностно-активных веществ. Склерометрия и физика дисперсных систем [Текст] // Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды / П. А. Ребиндер. – М. : Наука, 1979. – С. 143–154.

Получено 19.12.2014

О. В. ТУБАНЬ^a, А. Г. ДОЛЯ^b, М. С. КОННОВ^b, Д. В. ГУЛЯК^b
ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ МІЖФАЗНОГО КОНТАКТНОГО
ШАРУ В СИСТЕМІ «БІТУМОПОЛІМЕРСІРЧАНА ЕМУЛЬСІЯ, ЩО
РОЗПАЛАСЯ – ПОВЕРХНЕВО-АКТИВОВАНИЙ СКМС-30 МІНЕРАЛЬНИЙ
ПОРОШОК»

^a Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, ^b Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Показано, що з великою різноманіття гідроізоляційних матеріалів найбільш ефективним матеріалом є бітумоемульсійні мастики. Для забезпечення нормативних значень тріщиностійкості та адгезії до апгрейдованої поверхні запропоновано нафтовий дорожній бітум модифікувати комплексною добавкою – бутадієнметилстирольний каучук СКМС-30 (2,0–2,5 % мас.) спільно з технічною сіркою (30–40 %), а мінеральний порошок (наповнювач) механоактивувати СКМС-30 з розчину у вуглеводнях. Розглянуто явища і процеси, що відбуваються на поверхні поділу фаз «мінеральний порошок – СКМС-30» та «поверхнево-активований СКМС-30 мінеральний порошок – бітумополімерсірчане органічне в'яжуче». бітумополімерсірчана мастика, стабілізований гідроізоляційний шар з бітумополімерсірчаної мастики, бутадієнметилстирольний каучук, поверхня поділу фаз, властивості

ALEXANDER TUBAN ^a, ANATOLIY DOLYA ^b, NIKOLYY KONNOV ^b,
DENIS GULYAK ^b

FORMATION PATTERN OF INTERFACE CONTACT LAYER WITHIN THE
«INVERTED POLYMERIC BITUMEN EMULSION – SKMS-30 SURFACE
ACTIVATED MINERAL POWDER» SYSTEM

^a Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economy and Trade University, ^b Donbas
National Academy of Civil Engineering and Architecture

It is shown that the bituminous emulsion mastic is the most effective material from a large variety of waterproofing materials. It is suggested both to modify oil road bitumen by SKMS-30 (2,0–2,5 wt %.) butadiene-methyl styrene rubber complex additive together with industrial sulfur (30–40 %), and to activate mineral powder (filler) mechanically by SKMS-30 solution from hydrocarbons solution to ensure standard values of fracture toughness and adhesion to the finishing surface. The phenomena and processes occurring at «SKMS-30 mineral powder» and «SKMS-30 surface-activated mineral powder – polymeric bitumen organic binder» phase interface have been considered.

polymeric bitumen mastic, stabilized waterproofing polymeric bitumen mastic layer, butadiene-methyl styrene rubber, phase interface, properties

Тубань Олександр Вікторович – аспірант кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: вивчення довговічності покрівельних і гідроізоляційних матеріалів.

Доля Анатолій Григорович – кандидат технічних наук, професор кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Коннов Микола Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології, організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних складів технологій виробництва бітумноемульсійних паст і мастик для улаштування гідроізоляції.

Гуляк Денис Вячеславович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: одержання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорского дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Тубань Александр Викторович – аспирант кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ДонНУЭТ им. М. Туган-Барановского. Научные интересы: Изучение долговечности кровельных и гидроизоляционных материалов.

Доля Анатолий Григорьевич – кандидат технических наук, профессор кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Коннов Николай Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, организации строительства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных составов технологий производства битумноэмulsionционных паст и мастик для устройства гидроизоляции.

Гуляк Денис Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологических и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модификации органических вязущих.

Tuban Alexander – post-graduate student, Merchandizing and Examination of Unfood Commodities Department, Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economy and Trade. Scientific interests: study durability of roofing and waterproofing materials.

Dolya Anatoliy – PhD (Eng.), Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of technogenic raw materials in road building.

Konnov Nikolyy – PhD (Eng.), Associate Professor, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective compositions of technologies of production bitumenemulsive pastes and mastics for the device of hydraulic isolation.

Gulyak Denis – PhD (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.

УДК 691.32

А. А. ШИШКИН

Криворожский национальный университет

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЕНОБЕТОНА

Сокращение сроков производства работ по производству строительных изделий может быть достигнуто путем применения материалов, имеющих высокую скорость формирования свойств. Одним из таких материалов является гипс. Однако широкое использование гипса сдерживается из-за его недостаточной водостойкости, вследствие чего имеет место значительная потеря прочности изделий при их увлажнении. Целью настоящей работы является исследование влияния на прочность, водостойкость и водонепроницаемость пенобетона на основе гипсоцементного вяжущего щелочных солей непредельных жирных кислот и натрий-кальциевых силикатных стекол. В исследованиях были рассмотрены различные варианты использования молотого натрий-кальциевого силикатного стекла в качестве наполнителя пенобетона на основе гипсоцементного вяжущего, используемого одновременно с солями непредельных жирных кислот. Основным параметром, характеризующим протекание реакций взаимодействия между компонентами бетона, было изменение прочностных характеристик полученных пенобетонов. Исследование изменения прочности при сжатии во времени позволили выявить высокое значение прочности пенобетонов при использовании стеклянного наполнителя.

бетон, наполнитель, прочность, пена, кислоты

Одним из важнейших факторов, определяющих стоимость работ по изготовлению строительных изделий, в том числе из пенобетона, является их продолжительность. Сокращение сроков производства указанных работ может быть достигнуто применением материалов, имеющих высокую скорость формирования свойств. Одним из таких материалов является гипс. Из гипсовых вяжущих веществ широко применяют строительный гипс. Практически неисчерпаемы запасы гипсового сырья – двухводного гипса, относительная простота производства гипса и его ценные строительные свойства позволяют рассматривать последний как достаточно эффективный и качественный строительный материал. При этом основным преимуществом гипса является достаточно высокая скорость схватывания и твердения, что обуславливает, в частности, высокую скорость производства работ, связанных с изготовлением строительных конструкций и изделий.

Однако широкое использование гипса сдерживается из-за его недостаточной водостойкости, вследствие чего имеет место значительная потеря прочности изделий при их увлажнении. Так как прочность гипсовых изделий при насыщении водой уменьшается до 35...45 % от прочности в сухом состоянии, вследствие чего не рекомендуется применять гипсовые материалы в конструкциях, подвергающихся значительному и длительному воздействию воды. Кроме того, прочность гипсового камня достаточно невысока, что также ограничивает сферу его применения. Поэтому вопрос повышения водостойкости и прочности изделий из пенобетона на основе гипса или гипсовых вяжущих при сохранении высокой скорости набора прочности представляет большой научный и практический интерес и достаточно актуальный.

Использование при производстве пенобетона вяжущих веществ на основе гипса и тонкоизмельченного натрий-кальциевого силикатного стекла позволит повысить конструкционные и эксплуатационные качества пенобетона.

Современный обобщающий подход к теории композиционных материалов с заполнителями и наполнителями в виде дисперсных частиц сводится к тому, что совокупность свойств композитов рассматривается на уровне двух бинарных систем: связующего (как комбинации вяжущего и

высокодисперсных наполнителей, в том числе негидратированных зерен вяжущего) и макроконгломерата [1–3].

По мнению П. П. Будникова, В. М. Юнга и других исследователей, основной причиной низкой водостойкости гипсовых изделий является относительно высокая растворимость гипса. Снижение растворимости гипса можно достичь, применяя добавки, имеющие общий ион с сульфатом кальция. Наиболее распространенной добавкой такого типа является известь. Уменьшение растворимости двууглекарбата может быть также достигнуто путем совместного введения извести и гидравлических добавок в различных соотношениях [4]. Окончательно А. В. Волженским [5–6] было определено, что смешанное вяжущее, содержащее гипс, портландцемент и гидравлическую добавку, обладает высоким качеством и может применяться для производства строительных изделий, и в том числе пенобетона, где положительные свойства данного вяжущего проявляются наиболее ярко.

В то же время существует проблема активного взаимодействия натрий-кальциевого силикатного стекла (минеральные и волокнистые стеклянные материалы, стеклоткань, пеностекло), которые могли бы быть использованы как эффективные заполнители в цементных пенобетонах, с цементным камнем. Эта проблема создает серьезные проблемы при использовании натрий-кальциевого силикатного стекла как эффективного наполнителя в цементных композиционных материалах.

Известны исследования натрий-кальциевого стекла как наполнителя цементного теста. Выявлено, что добавление стекла в цементную композицию в большинстве случаев приводит к протеканию процесса щелочно-силикатного взаимодействия и снижению прочности. Однако порошки стекла высокой дисперсности не приводят к расширению образцов [7].

Таким образом, анализ известных работ показал, что натрий-кальциевые силикатные стекла могут быть использованы в качестве гидравлической добавки в гипсоцементных вяжущих.

Известно, что в процессе гидролиза мыл непредельных жирных кислот кислоты, образующиеся при гидролизе, обычно находятся на поверхности раздела газ – вода, а ионы – преимущественно в объеме жидкости [8]. Это положение легло в основу теоретических положений о том, что введение в состав как тяжелого, так и пенобетона щелочных солей непредельных жирных кислот приводит к повышению прочности и снижению водопоглощения бетонов [9].

На основе результатов анализа известных исследований, приведенных в литературных источниках, можно предположить, что использование в качестве гидравлической добавки в гипсоцементные вяжущие молотого натрий-кальциевого силикатного стекла совместно с солями непредельных жирных кислот позволит повысить прочность и водостойкость пенобетона на основе гипсоцементного вяжущего.

Целью настоящей работы является исследование влияния на прочность, водостойкость и водонепроницаемость пенобетона на основе гипсоцементного вяжущего, щелочных солей непредельных жирных кислот и натрий-кальциевых силикатных стекол.

Эксперименты проводились в соответствии со стандартными методиками. Контроль прочности образцов производили на универсальной машине УММ-100. Дня изготовления образцов использовали стандартный цемент М400 производства ПАТ «Хайдельберг цемент» (г. Кривой Рог) и гипс строительный Даниловского завода. Молотое натрий-кальциевое силикатное стекло получали дроблением бытового стеклобоя в молотковой дробилке с последующим помолом в роторной мельнице. В качестве щелочной соли непредельных жирных кислот применяли промышленный олеат натрия [10].

Предварительными исследованиями было определено оптимальное соотношение между гипсом и портландцементом, которое составило 1:2, 8. Как показали исследования, введение в данную систему до 12 % молотого натрий-кальциевого стекла с удельной поверхностью 250–300 м²/кг приводит к незначительному увеличению (до 20 %) прочности получаемого камня и значительному повышению водостойкости (до 150 %).

Выявлено, что существенное расширение образцов, характерное для щелочно-силикатного взаимодействия, наблюдается только у бетонов с крупными фракциями (более 1,25 мм) молотого натрий-кальциевого силикатного стекла.

Изучение зависимости прочности при сжатии от времени выдержки бетонов позволило выявить значительное повышение прочности (до 134 %) образцов пенобетонов при использовании стеклянного наполнителя минимальной исследованной фракции. Во времени наблюдается резкий прирост прочности при снижении размера зерен наполнителя.

Результаты исследований показали, что при размере частиц стекольного наполнителя менее 50 мкм происходит аномальный рост прочности, значительно превышающий прочность композиций на стан-

дартном наполнителе из кварцевого песка. Такое увеличение прочности может быть объяснено способностью дисперсного стекла включаться в процессы образования новых фаз при образовании цементного камня за счет высокой удельной поверхности порошков стекла. Проблема подавления процесса щелочно-силикатного взаимодействия стекольного наполнителя с цементом может быть частично решена легко осуществляемым технологическим путем, который заключается в активации поверхности зерен стеклянного наполнителя ионами железа. Для этого достаточно производить помол натрий-кальциевого силикатного стекла в присутствии железосодержащих оксидов [11].

В результате такой обработки поверхность частиц стеклянного наполнителя насыщается силикатным железом и становится активной по отношению к поверхностно-активным веществам (ПАВ) типа непредельных жирных кислот и особенно их солей. Это обеспечивает адсорбцию солей непредельных жирных кислот на поверхности стеклянного заполнителя и, как следствие, прилипание его к воздушным пузырькам пены.

Вследствие этого воздушные пузырьки пены (в дальнейшем поры бетона) оказываются «бронированными» стеклянным наполнителем, покрытым углеводородными радикалами ПАВ, а межпоровое пространство пенобетона насыщается ионами щелочного металла. Это способствует ускорению набора прочности бетоном и повышению ее величины.

Экспериментальные исследования подтвердили теоретические положения, приведенные выше. Введение в состав пенобетона на основе гипсоцементного вяжущего стеклянного наполнителя, активированного ионами железа, и ПАВ на основе непредельных жирных кислот привело в условиях эксперимента к повышению прочности пенобетона. Увеличение содержания олеата натрия в рассматриваемой системе от 0,01 до 0,10 % от массы минеральной части вяжущего приводит к увеличению прочности пенобетона, соответственно, на 100...300 %, водонепроницаемости на 30...120 %, морозостойкости на 50...140 % и снижению водопоглощения на 25...150 % [12].

Следует отметить, что, чем ниже плотность пенобетона (выше его пористость), тем выше эффективность применения активированного стеклянного наполнителя и ПАВ на основе непредельных высших жирных кислот (больший прирост величин контролируемых показателей). При прочих равных условиях (соотношении между компонентами минеральной части вяжущего, условий получения и твердения пенобетона) оптимальное количество олеата натрия и величина прироста прочности пенобетона увеличиваются. Повышение водонепроницаемости и морозостойкости косвенно подтверждает выдвинутую гипотезу о создании на поверхности пор в пенобетоне прочного и плотного слоя, который закупоривает поры, предотвращая проникновение сквозь них влаги.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках поставленной задачи можно сделать следующие выводы:

1. Возможным путем подавления процесса щелочно-силикатного взаимодействия между стеклянным наполнителем и цементом может быть модификация стекла путем активации его поверхности ионами железа с одновременным применением ПАВ на основе непредельных высших жирных кислот.

2. Установлено, что активация натрий-кальциевого силикатного стекла ионами железа, не только обеспечивает повышение водостойкости гипсоцементного вяжущего, но и в присутствии солей непредельных жирных кислот приводит к увеличению количества замкнутых пор и влечет за собой повышение прочности и морозостойкости пенобетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны: [науч. изд-е] [Текст] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М. : Изд-во АСБ, 2006. – 368 с.
2. Beneficiated Fly Ash Versus Normal Fly Ash or Silica Fume [Текст] / M. Collepardi, S. Collepardi, J. J. Olagot, R. Troli // the 9th CANMET/ACI International Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, 20–25 May 2007 : Proc. / Ed. V. M. Malhotra. – Warsaw (Poland) : CANMET/ACI, 2007. – P. 1–8.
3. Шишкин, А. А. Пути повышения прочности пористых бетонов [Текст] / А. А. Шишкин // Вісник ОДАБА, Вип. 35. – Одеса : «Місто майстрів», 2009. – С. 390–394.
4. Будников, П. П. Гипсовые безобжиговые цементы [Текст] / П. П. Будников, Л. Г. Гулинова, С. А. Торчинская / Химический журнал. – 1967. – Т. 21, №. 2. – С. 28–36.
5. Технология вяжущих веществ [Текст] / В. Н. Юнг, Ю. М. Бутт, С. Д. Окороков, В. Ф. Журавлев. – М. : Промстройиздат, 1952. – 326 с.
6. Волженский, А. В. Гипсоцементные и гипсоплаковые вяжущие и изделия [Текст] / А. В. Волженский, М. И. Роговой, В. И. Стамбулко. – М. : Госстройиздат, 1960. – 168 с.

7. Кетов, П. Л. Использование вяжущих свойств дисперсных силикатных стекол при утилизации стеклобоя [Текст] / П. Л. Кетов, В. С. Корзапов, С. И. Пузанов // Стройт. материалы. – 2007. – № 5. – С. 2–3.
8. Remarque W. Glass powder as a reactive addition for blast furnace cements : [Текст] / W. Remarque, D. Heinz, C. Schleusser // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001. Dundee UK. – Р. 229–238.
9. Годэн, А. М. Флотация [Текст] / А. М. Годэн. – М. : Госнаучлит по горному делу, 1959. – 653 с.
10. Qaudin, A. M. Mineral concentration by oil adhesion [Текст] / A. M. Qaudin // the XVth century, Eng. Mining J. – 1990. – 141(10). – Р. 43–44.
11. Шишкин, А. А. Специальные бетоны для усиления строительных конструкций эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред [Текст] : дис. ... доктора техн. наук : 05.23.05 / Шишкин Александр Алексеевич. – Кривой Рог, 2003. – 336 с.
12. Шишкина, А. А. Свойства и технология пенобетона, модифицированного оксидами железа [Текст] : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.05 / Шишкина Александра Александровна. – Кривой Рог, 2010. – 178 с.

Получено 22.12.2014

О. О. ШИШКІН
ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІНОБЕТОНУ
Криворізький національний університет

Скорочення термінів виконання робіт по виробництву будівельних виробів може бути досягнуто шляхом застосування матеріалів, що мають високу швидкість формування властивостей. Одним з таких матеріалів є гіпс. Однак широке використання гіпсу стримується через його недостатню водостійкість, внаслідок чого має місце значна втрата міцності виробів при їх зволоженні. Метою цієї роботи є дослідження впливу на міцність, водостійкість і водонепроникність пінобетону на основі гіпсоцементного в'яжучого лужних солей негранічних жирних кислот і натрій-кальцієвих силікатних стекол. У дослідженнях були розглянуті різні варіанти використання меленого натрій-кальцієвого силікатного скла як наповнювача пінобетону на основі гіпсоцементного в'яжучого, використовуваного одночасно з солями ненасичених жирних кислот. Основним параметром, що характеризує протікання реакцій взаємодії між компонентами бетону, була зміна характеристик міцності отриманих пінобетонів. Дослідження зміни міцності при стисненні в часі дозволили виявити високе значення міцності пінобетонів при використанні скляного наповнювача.

бетон, наповнювач, міцність, піна, кислоти

ALEXANDER SHISHKIN
WAYS TO ENHANCE THE QUALITY OF FOAM
Krivoy Rog National University

Reducing the time of works for the production of building products can be achieved by using materials having a high rate of formation properties. One such material is a gypsum. However, the widespread use of gypsum is constrained due to its lack of water resistance, so that there is a significant loss of strength products at their moisture. The aim of this work is to study the influence of the strength, water resistance and water resistance of foam on the basis of gypsum cement binder alkali salts of unsaturated fatty acids and sodium-calcium silicate glasses. The studies were reviewed various options of using ground soda-lime silicate glass as a filler foam based on gypsum cement binder used together with salts of unsaturated fatty acids. The main parameter characterizing the reactions of interaction between the components of concrete, was the change in the strength characteristics of foam concrete. Study of changes in compressive strength over time revealed a high value foam concrete strength using a glass filler.

concrete, filler, strength, foam, acid

Шишкин Олександр Олексійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології будівельних виробів, матеріалів і конструкцій Криворізького національного університету. Академік Академії гірничих наук України. Наукові інтереси: фізико-механічні властивості будівельних матеріалів і виробів.

Шишкин Александр Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных изделий, материалов и конструкций Криворожского национального университета. Академик Академии горных наук Украины. Научные интересы: физико-механические свойства строительных материалов и изделий.

Shishkin Alexander – DSc (Eng.), Professor, the Head of the Technology of Building Wares, Materials and Constructions Department, Krivoy Rog National University. Academician of Academy of Mountain Sciences of Ukraine. Scientific interests: properties of building materials and wares.

УДК 625.855.3

ЭЛАЛЛАК ДЖААФАР МУССА^a, АХМЕД ТАЛИБ МУТТАШАР МУТТАШАР^b, В. П. ДЕМЕШКИН^b

^a Луганский национальный аграрный университет, ^b Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ТРАНСПОРТНЫЕ НАГРУЗКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РЕСПУБЛИКЕ ИРАК

Выполнен анализ погодно-климатических условий, в которых эксплуатируются нежесткие покрытия внегородских автомобильных дорог Ирака: температура, скорость ветра, среднегодовое количество осадков. С использованием метода «Суперпейв» (США) на глубине 2 см для асфальтобетонных дорожных одежд, эксплуатируемых в Республике Ирак, установлены расчетные: максимальная летняя температура 70,2 °C и минимальная зимняя минус 7,8 °C. С учетом коэффициента динамичности транспортных нагрузок определен нормативный предел прочности при сжатии асфальтобетона при 75 °C.

условия эксплуатации, нежесткая дорожная одежда, метод «Суперпейв», максимальные и минимальные температуры эксплуатации автомобильных дорог Ирака

Ирак расположен между двумя крупнейшими государствами Ближнего Востока Саудовской Аравией и Ираном (рис. 1). Он также граничит с Иорданией, Сирией, Турцией и Кувейтом [1].



Рисунок 1 – Географическое расположение Республики Ирак.

Площадь Ирака 438 317 км², население 32 665 000 человек, столица Багдад (7 216 040 человек).

Большую часть территории занимает Месопотамская низменность, находящаяся между реками Тигр и Евфрат. В месте слияния этих рек и впадения в Персидский залив образовались болота. На севере и востоке страны лежат хребты Армянского и Иранского нагорий. На запад от Евфрата расположена Сирийская пустыня.

Климат Ирака субтропический средиземноморский с жарким сухим летом и теплой дождливой зимой. Наиболее выражены два сезона: продолжительное знойное лето (май – октябрь) и более короткая прохладная, а иногда холодная зима (декабрь–март) [1].

© Элаллак Джаяфар Мусса, Ахмед Талиб Мутташар Мутташар, В. П. Демешкин, 2015

Для северных горных районов характерны жаркое сухое лето и мягкая теплая зима с редкими морозами и частыми снегопадами. В Эль-Джазипе сухое знойное лето и мягкая дождливая зима. Для нижней Месопотамии характерны жаркое лето и теплая зима с дождями и относительно высокая влажность воздуха. Для юго-западных районов типичны сухое жаркое лето и прохладная зима с редкими дождями. Во многих районах Ирака зарегистрированы сезонные и суточные перепады температуры (иногда достигающие 30 °C).

Средние температуры июля 32–35 °C, минимальные 25–28 °C, абсолютный максимум 57 °C. Средние температуры января 10–13 °C, среднеянварский максимум 16–18 °C, минимум минус 4 ... минус 7 °C, абсолютный минимум на севере Ирака достигает минус 18 °C.

В Багдаде температура в тени доходит до 50 °C (максимальная в августе). В Мосуле и Басре температура в тени выше 40 °C держится не менее 8 месяцев.

Осадки выпадают преимущественно зимой (в декабре-январе), причем их немного в центральных и южных районах Ирака: среднее годовое количество осадков в Багдаде 180 мм, на юго-западе Ирака около 100 мм, в Басре 160 мм. По мере продвижения к северу их количество возрастает и составляет около 300 мм и до 500–800 мм в горах [1].

Летом (в мае-июне) непрерывно дуют ветры северо-западных румбов, несущие массы песка (пыльные бури), а зимой преобладают северо-восточные ветры, особенно сильные в феврале.

В таблице 1 приведены максимальные и минимальные температуры в тени для ряда регионов Ирака.

Таблица 1 – Максимальные и минимальные температуры в тени для ряда регионов Ирака

Регион	Максимальная температура воздуха в тени, °C	Минимальная температура воздуха в тени, °C
Мосул	49,2	-10,3
Киркук	49,7	-11,6
Ругба	43,6	-10,2
Багдад	49,9	-5,7
Эль-Кут	48,8	-7,1
Надж	50,9	-6,9
Басра	51,7	-2,2

Ирак располагает развитой сетью автомобильных дорог общей протяженностью 45,5 тыс. км (из них 38,8 тыс. км с твердым покрытием, 22 тыс. км дорог, это дороги I а и I б технических категорий [2]). Автодороги расположены в основном в меридианном направлении. Дороги 1а и 1б технических категорий построены от Багдада к границам Турции, Саудовской Аравии, Иордании, Сирии и Ирана, Кувейта: Багдад – Дивания – Басра, Багдад – Кут – Асмара – Басра, Басра – Умм – Каср, Басра – Сафван, Багдад – Мосул – Телафер – Синжар, Багдад – Мосул -Захо, Багдад – Ханекин, Багдад – Киркук – Эрбиль – Равандуз [3].

Расчетную максимальную летнюю температуру в асфальтобетонном покрытии на глубине 2 см от поверхности на территории Ирака рассчитывали по формуле (1), рекомендуемой техническими условиями Supergravel [4, 5], которые разработаны в США для выполнения «Стратегической программы дорожных исследований на основе теоретического анализа условий эксплуатации автомобильных дорог» с использованием математических моделей тепловых потоков и энергетического баланса, допущения типичных значений для солнечной адсорбции, передачи радиации через воздух, атмосферной радиации и скорости ветра.

$$T_{\max(20 \text{ mm})} = 0,9545 (T_{\text{air}} - 0,00618 \text{ Lat}^2 + 0,2289 \text{ Lat} + 42,2) - 17,78 \text{ °C} \quad (1)$$

где T_{\max} – максимальная расчетная температура асфальтобетонного покрытия на глубине 20 мм; T_{air} – средняя из абсолютных-максимальных температур воздуха в тени за семидневный период, °C;

Lat – северная широта в градусах расположения Багдада. Причем при выводе этой формулы приняты: коэффициент поглощения солнечной радиации 0,9; коэффициент пропускания атмосферой солнечного излучения 0,81; атмосферное изменение 0,7 и скорость ветра 4,5 м/сек.

Тогда

$$T_{\max(20 \text{ mm})} = 0,9545 (50 - 0,00618 \cdot 37^2 + 0,2289 \cdot 37 + 42,2) - 17,78 \text{ °C} = 70,2 \text{ °C}$$

Предложенный подход позволяет уточнить и рассчитать максимальные температуры асфальтобетонного покрытия для каждого дорожно-климатического района Ирака.

С учетом коэффициента динамичности (1,25–1,50) [6] имеет место превышение действующих напряжений по отношению к прочности асфальтобетона при температуре нагрева асфальтобетонного покрытия до 70 °C. В нормативных документах Европы и Ирака низкая нормируемая прочность при сжатии при 50 °C ($R_{50} = 1,2$ МПа) является причиной колейности (около 14 % от числа дефектов), а также усталостной долговечности (рис. 2–3) на внутригородских и магистральных дорогах Ирака [7].

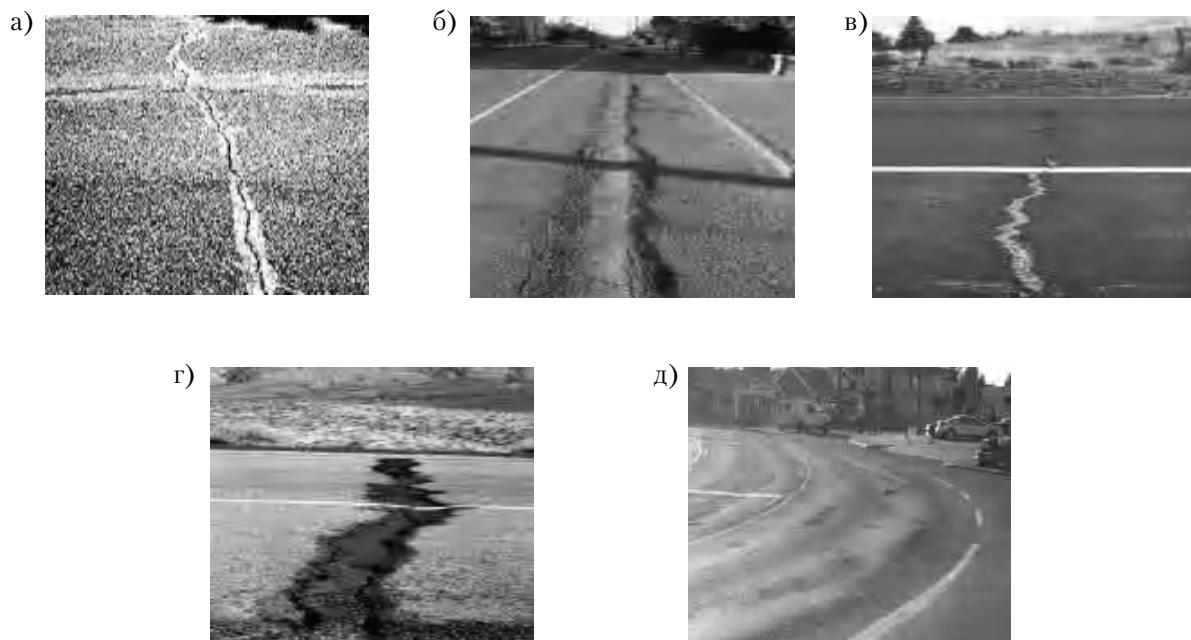


Рисунок 2 – Характерные усталостные трещины (2 а, б, в, г) и пластические деформации (2 д) на автомобильных дорогах Ирака.

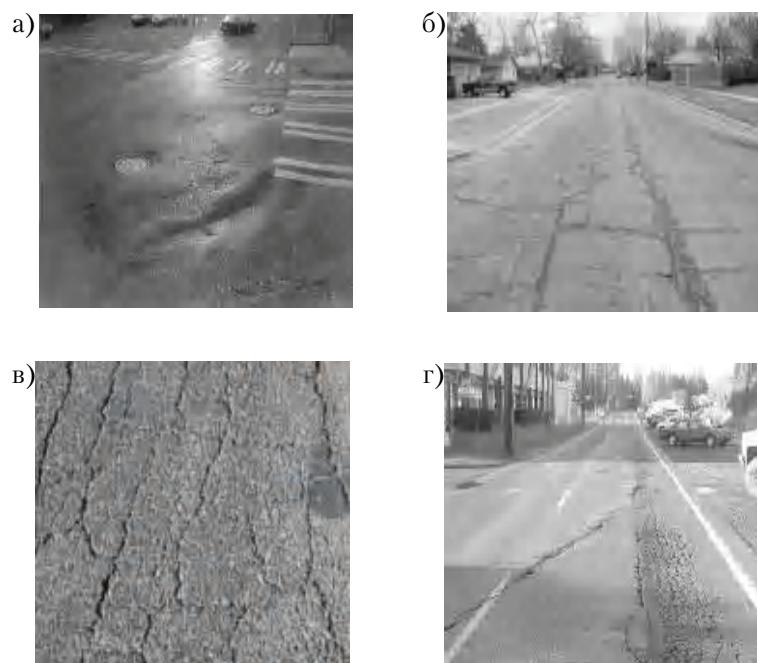


Рисунок 3 – Характерные пластические деформации (3 а) и усталостные трещины (3 б, в, г) на автомобильных дорогах Ирака.

В этих условиях нормативный предел прочности при сжатии при максимальной температуре асфальтобетонного покрытия (целесообразно в центральных районах Ирака температуру покрытия принимать 75 °C, а предел прочности при сжатии при 75 °C назначать $R_{75} > 1,2 \cdot 1,5 > 1,8$ МПа при сохранении деформативности (трещиностойкости) в области отрицательных температур).

Минимальную температуру поверхности асфальтобетонного покрытия вычисляли по системе Supergravel, например, для условий эксплуатации в Киркуке

$$T_{\min(20\text{мин})} = 0,859 T_{\text{air}} + 1,7, \quad (2)$$

где T_{air} – расчетная минимальная суточная температура воздуха.

Тогда,

$$T_{\min(20\text{мин})} = 0,859 \cdot (-11) + 1,7 = -7,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Таким образом, интервал пластичности вязкоупругопластического состояния асфальтобетонного покрытия в Республике Ирак должен составлять с учетом повышения и понижения температуры асфальтобетонного покрытия на 2–3 °C соответственно

$$\text{ИП} = |73| + |11| = 84 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большая иллюстрированная энциклопедия географии [Текст] / Редактор: Бологова Валентина, Земцова Татьяна, Красновская Ольга [и др.]. – М. : Махаон, 2005. – 488 с.
2. Радовский, Б. С. Проблема повышения долговечности дорожных одежд и методы ее решения в США [Текст] / Б. С. Радовский // Дорожная техника : Каталог-справочник. – Санкт-Петербург : ООО «Славутич», 2006. – С. 68–81.
3. Химические процессы и формирование сетчатой структуры в битуме, модифицированном Элевалом АМ в присутствии полифосфорной кислоты [Текст] / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, В. Л. Беспалов [и др.] // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук праць. Сучасні будівельні матеріали і конструкції. – 2006. – Том 23. – С. 4–10.
4. Радовский, Б. С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу СУПЕРПЕЙВ [Текст] / Б. С. Радовский // Дорожная техника : Каталог-справочник. – Санкт-Петербург : ООО «Славутич», 2007. – С. 86–99.
5. Телтаев, Б. Б. Учет климатических условий эксплуатации при выборе битума для асфальтобетонных смесей [Текст] / Б. Б. Телтаев, Е. В. Калинович, Г. Г. Измайлова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 2. – С. 17–26.
6. Гамеляк, І. П. Проблеми та перспективи використання геосинтетичних матеріалів у дорожньому будівництві [Текст] / І. П. Гамеляк // Дорожня галузь України. – 2009. – № 4. – С. 82–86.
7. Горельшев, Н. В. Асфальтобетонные смеси с уменьшенным содержанием битума : [Текст] / Н. В. Горельшев, К. Я. Лобзова // Автомобильные дороги. – 1978. – № 4. – С. 4–6.

Получено 26.12.2014

ЕЛАЛЛАК ДЖААФАР МУССА ^a, АХМЕД ТАЛІБ МУТТАШАР МУТТАШАР ^b,

В. П. ДЕМЕШКІН ^b

КЛІМАТИЧНІ УМОВИ ТРАНСПОРТНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРИГ В РЕСПУБЛІЦІ ІРАК

^a Луганський національний аграрний університет, ^b Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано аналіз погодно-кліматичних умов, в яких експлуатуються нежорсткі покриття позаміських автомобільних доріг Іраку: температура, швидкість вітру, середньорічна кількість опадів. З використанням методу «Суперпейв» (США) на глибині 2 см для асфальтобетонного дорожнього одягу, що експлуатується в Республіці Ірак, встановлені розрахункові: максимальна літня температура 70,2 °C і мінімальна зимова мінус 7,8 °C. З урахуванням коефіцієнта динамічності транспортних навантажень визначено нормативну границю міцності у разі стиску асфальтобетону при 75 °C.

умови експлуатації, нежорсткий дорожній одяг, метод «Суперпейв», максимальні і мінімальні температури експлуатації автомобільних доріг Іраку

ELALLAK JAAFAR MOUSSA ^a, AHMED TALIB MUTTASHAR MUTTASHAR ^b,
VALENTIN DEMESCHKIN ^b

CLIMATIC CONDITIONS AND TRAFFIC LOADS OPERATION OF HIGHWAYS
IN THE REPUBLIC OF IRAQ

^a Lugansk National Agrarian University, ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The analysis of climatic conditions, which are operated non-rigid covering non-urban roads in Iraq: temperature, wind speed, the average annual rainfall. Using the method of «Superpave» (USA) at a depth of 2 cm for pavements, operating in the Republic of Iraq set design: maximum summer temperature of 70,2 °C and minimum winter minus 7,8 °C. Given the dynamic traffic load factor is defined standard compressive strength of asphalt concrete at 75 °C.

operating conditions, non-rigid pavement, the method of «Superpave», the maximum and minimum temperature operation of highways Iraq

Элаллак Джаяфар Мусса – аспірант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Луганського національного аграрного університету. Наукові інтереси: надійність та довговічність дорожніх одягів Іраку.

Ахмед Талиб Мутташар Мутташар – аспірант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: надійність та довговічність автомобільних доріг.

Демешкин Валентин Павлович – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Элаллак Джаяфар Мусса – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Луганского национального аграрного университета. Научные интересы: надежность и долговечность дорожных одежд Ирака.

Ахмед Талиб Мутташар Мутташар – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность и долговечность автомобильных дорог.

Демешкин Валентин Павлович – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Elallak Jaafar Moussa – post-graduate student, Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliability and longevity of highways Iraq.

Ahmed Talib Muttashar Muttashar – post-graduate student, Highways and Airdromes Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: reliability and longevity of highways.

Demeschkin Valentin – senior teacher, Heating Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies of processing of man-triggered raw material in the components of materials of compositions.

УДК 625.855.3

М. К. ПАКТЕР, А. А. СТУКАЛОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ДОРОЖНОГО БИТУМА В СЛОЯХ РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ

В работе представлены результаты исследования влияния толщины слоя битума на его термоокислительные превращения по убыли массы Δm , изменению пенетрации Π_{25} и температуры размягчения T_p в стационарных слоях различной толщины при $(163 \pm 1)^\circ\text{C}$ и свободном доступе кислорода воздуха. Сделан вывод о наличии поверхностного слоя толщиной $\delta = 0,16$ мм, в котором происходят основные химические превращения, связанные с диффузией кислорода в битум.

нефтяной дорожный битум, термоокислительное старение, толщина слоя битума

Известно, что определяющим фактором технологического старения битумов являются термоокислительные превращения его групповых составляющих [1]. В процессе производства асфальтобетонных смесей (АБС) и их укладки битум подвергается термоокислительному старению (ТОС) в слоях различной толщины [2, 3]: от измеряемых метрами в хранилищах до микронных пленок в АБС.

Известно, что ТОС проявляется в изменении массы битума (Δm), изменении пенетрации при 25°C (Π_{25}), температуры размягчения (T_p) и хрупкости (T_{xp}), вязкости, когезии и группового химического состава битума (ГХС) [1, 4–7]. Изменением показателей Δm , Π_{25} , T_p характеризуют склонность битумов к технологическому старению по ДСТУ 4044-2001 [6], эти же показатели, дополненные вязкостью, характеризуют склонность битумов к старению по европейским нормам (EN 12607-1, метод RFOT [7]). При этом по [6] старение выполняется в стационарном слое толщиной $\delta \approx 4$ мм при 163°C в течение 5 ч на воздухе, а по методу RFOT – в движущемся слое $\delta \approx 1,2$ мм при 163°C в течение 75 мин при фиксированной скорости воздуха.

Предлагается также оценивать интенсивность старения битума по изменению динамической вязкости и ГХС в процессе искусственного старения в пленке толщиной 50 мкм [8], а в работе [4, с. 104, 106] приводятся результаты исследования искусственного старения битумов для широкого температурно-временного интервала в слоях 50 мкм и 5 мкм по изменению когезии и ГХС.

Цель данной работы – установить влияние толщины слоя битума на его термоокислительные превращения (ТОС).

С этой целью изучали изменение показателей Δm , Π_{25} и T_p при ТОС битума БНД 60/90 в стационарных слоях различной толщины при $(163 \pm 1)^\circ\text{C}$ в термошкафу при свободном доступе воздуха в чашках Петри.

Максимальные относительные расхождения между параллельными определениями не превышали: по Δm 0,01 %, по $\Delta \Pi_{25}$ 5 %, по ΔT_p 2 %.

Изменение характеристик битума после ТОС Π_{25} , $\Delta \Pi_{25} = \Pi_{25i} - \Pi_{25c}$, T_p и $\Delta T_p = T_{pc} - T_{pi}$ приведено в табл. 1 (индексы относятся к исходному (и) и состаренному (с) битумам).

По абсолютному значению убыли массы (Δm_r) при ТОС рассчитывали удельную и относительную убыль массы и эффективную скорость реакций ТОС, связанных с Δm .

Удельную убыль массы Δm_{yd} рассчитывали как убыль массы Δm_r в граммах на единицу открытой поверхности (S в см^2) битума:

$$\Delta m_{yd} = \frac{\Delta m_r}{S}. \quad (1)$$

Таблица 1 – Изменение характеристики битума после ТОС при 163 °C

Образец битума	Π_{25} , дмм		$\Delta\Pi_{25}$, дмм		T_p , °C		ΔT_p , °C	
	при толщине слоя битума δ , мм							
	2,5	4,0	2,5	4,0	2,5	4,0	2,5	4,0
Исходный БНД 60/90 <u>После ТОС</u>	62	62	—	—	47	47	—	—
2 ч	—	56	—	6	—	47,5	—	0,5
5 ч	39	46	23	16	53	49	6	2
10 ч	31	39	31	23	59	53	12	6
20 ч	22	—	40	—	—	—	—	—

Относительную убыль массы (степень превращения α) находили как отношение убыли массы Δm_r к исходной навеске битума (m), в %:

$$\alpha = \frac{\Delta m_r}{m} \cdot 100. \quad (2)$$

Связь α и Δm_{yd} (g/cm^2) с толщиной слоя битума (δ , мм) при плотности битума $\rho = 1 g/cm^3$:

$$\alpha = 1\ 000 \cdot \frac{\Delta m_{yd}}{\delta} \quad (3)$$

Среднюю скорость реакции ($\bar{\vartheta}$) находили как отношение α_t (степени превращения к заданному моменту времени t) к длительности t экспозиции (ТОС):

$$\bar{\vartheta} = \frac{\alpha_t}{t}, \quad (4)$$

соответственно, среднюю удельную скорость – как

$$\bar{\vartheta}_{yd} = \frac{\Delta m_{yd}}{t} \quad (5)$$

Эти данные сведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2 – Изменение массы битума при различной экспозиции при 163 °C

Образец битума	α , %		$\Delta m_{yo} \cdot 10^4, \varepsilon/cm^2$		$\bar{\vartheta} \cdot 10^2, \%/\chi$		$\bar{\vartheta}_{yo} \cdot 10^4, \varepsilon/cm^2 \cdot \chi$	
	при толщине слоя битума δ , мм							
	2,5	4,0	2,5	4,0	2,5	4,0	2,5	4,0
Исходный	—	—	—	—	—	—	—	—
БНД 60/90	—	—	—	—	—	—	—	—
<u>После ТОС</u>	—	—	—	—	—	—	—	—
2 ч	—	0,093	—	3,72	—	4,7	—	1,86
5 ч	0,298	0,209	7,45	8,34	6,0	4,2	1,49	1,67
10 ч	0,590	0,368	14,8	14,7	5,9	3,7	1,48	1,47
20 ч	0,934	—	23,4	—	4,7	—	1,17	—

Таблица 3 – ТОС битума в течение 5 ч в слоях различной толщины

Толщина слоя битума, δ , мм	α , %	$\Delta m_{yo}, \varepsilon/cm^2$	$\bar{\vartheta}, \%/\chi$	$\bar{\vartheta}_{yo}, \varepsilon/cm^2 \cdot \chi$
4,0	0,209	$8,34 \cdot 10^{-4}$	0,042	$1,67 \cdot 10^{-4}$
2,5	0,298	$7,44 \cdot 10^{-4}$	0,060	$1,49 \cdot 10^{-4}$
0,47	1,509	$7,09 \cdot 10^{-4}$	0,302	$1,42 \cdot 10^{-4}$
0,054	3,963	$2,14 \cdot 10^{-4}$	0,793	$0,43 \cdot 10^{-4}$

Из уравнений (3)...(5) находим:

$$\bar{\vartheta} = 1000 \cdot \frac{\bar{\vartheta}_{yo}}{\delta}. \quad (6)$$

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как следует из табл. 2 и 3, скорость (изменения степени превращения α) в расчете на единицу массы ($\dot{\vartheta}$) или поверхности ($\dot{\vartheta}_{y\delta}$) образца мало изменяется с ростом экспозиции для $\delta = (0,47...4,0)$ мм. Но для $\delta = 0,054$ мм имеет место резкий скачок (уменьшение) $\dot{\vartheta}_{y\delta}$.

На рис. 1 приведены эти данные в координатах $\dot{\vartheta}_{y\delta} = f(\delta)$ при $t = 5$ ч, где эта зависимость (в первом приближении) представлена ломаной линией с точкой перегиба ($\delta = 0,16$ мм, $\dot{\vartheta}_{y\delta} = 1,67 \cdot 10^{-4}$ г/см²·ч).

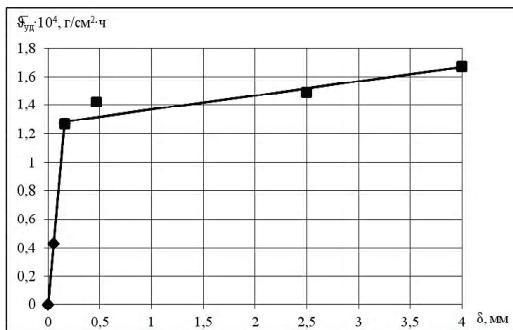


Рисунок 1 – Изменение средней скорости превращения битума ($\dot{\vartheta}_{y\delta}$) при ТОС (163 °C / 5 ч) от толщины слоя (δ).

Мы интерпретируем это явление как наличие поверхностного слоя толщиной $\delta = 0,16$ мм, в котором происходят основные химические превращения, связанные с диффузией кислорода в битум, при экспозиции 5 часов.

При $\delta \leq 0,16$ мм весь слой битума вовлечен в процессы, связанные с ТОС. При $\delta > 0,16$ мм эти процессы происходят только в поверхностном (реакционном) слое толщиной 0,16 мм, а более глубокие слои битума участвуют преимущественно в диффузионных процессах (конвективная и молекулярная диффузия масел в реакционный слой взамен израсходованных; диффузия избытка асфальтенов, смол, пероксидных и других свободных радикалов из реакционного слоя в глубинные, обусловленная различием их концентраций).

Именно эти диффузионные процессы в битуме обуславливают небольшой рост $\dot{\vartheta}_{y\delta}$ с ростом δ .

Исходя из приведенного рассмотрения, можно (в первом приближении) представить зависимость $\dot{\vartheta}_{y\delta} = f(\delta)$ в виде линейных уравнений (для $t = 5$ часов):

$$\delta > 0,16 \text{ мм} \quad \dot{\vartheta}_{y\delta} = 1,27 \cdot 10^{-4} + 0,18 \cdot 10^{-4} (\delta - 0,16), \quad (7)$$

$$\delta \leq 0,16 \text{ мм} \quad \dot{\vartheta}_{y\delta} = 7,96 \cdot 10^{-4} \cdot \delta, \quad (8)$$

где $\dot{\vartheta}_{y\delta}$ выражена в г/см²·ч, а δ – в мм.

По данным табл. 2 можно найти зависимость скорости превращения битума ($\delta > 16$ мм) от времени (рис. 2): скорость превращения $\dot{\vartheta}_{y\delta}$ снижается во времени, максимальную скорость найдем экстраполяцией на момент начала ТОС ($t = 0$ часов). Для слоя $\delta = 4$ мм $\dot{\vartheta}_{y\delta} \approx 2 \cdot 10^{-4}$ г/см²·ч. С течением времени $\dot{\vartheta}_{y\delta}$ снижается, что связано с расходованием масел в реакционном поверхностном слое битума, повышением вязкости этого слоя и, следовательно, со снижением скорости диффузии кислорода [9].

Зависимость $\dot{\vartheta}_{y\delta}$ от длительности ТОС в интервале 2...20 ч описывается уравнением регрессии:

$$\dot{\vartheta}_{y\delta} \cdot 10^4 = 2,05 - 0,28 \ln t \quad (R^2 = 0,896) \quad (9)$$

На рис. 2 можно заметить точку перегиба в районе 7 часов ($\alpha \approx 0,3 \%$).

Связь химических превращений с изменением технических характеристик битума

Известно, что химические превращения полимеров при ТОС сопровождаются испарением летучих продуктов термоокислительной деструкции и изменением технических характеристик [10–12]. Применительно к битумам это рассмотрено С. А. Апостоловым [13, с. 57, 65]: при малой концентрации асфальтенов и смол и относительно высокой растворяющей способности масляного компонента окислительные превращения могут быть представлены схемой

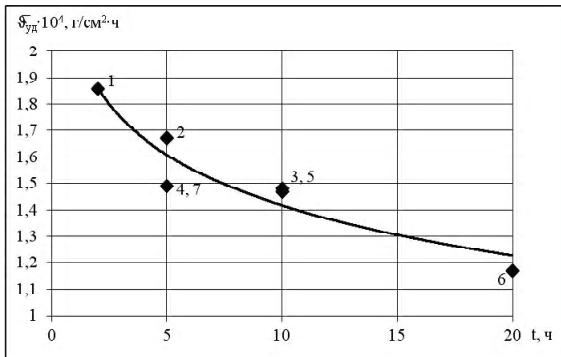


Рисунок 2 – Изменение средней удельной скорости ТОС битума ($\dot{\vartheta}_{\text{уд}}$) от длительности экспозиции (t) при 163°C и толщине слоя 4 мм (точки 1, 2, 3), 2,5 мм (точки 4, 5, 6) и 0,47 мм (точка 7).



где МН – масла;

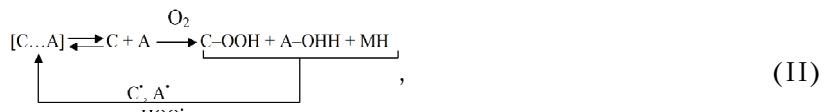
МО – кислородсодержащие вещества;

С – смолы;

А – асфальтены;

[] – вещество в состоянии ассоциата.

При увеличении концентрации в битуме смол и асфальтенов (как это имеет место с увеличением α в наших экспериментах или в точке перегиба на рис. 2) термоокислительные превращения можно представить в виде следующей схемы последовательно-параллельных реакций:



Процессы (I)...(VI) учитывают физическое агрегирование в реакционном слое, что поясняет влияние толщины слоя битума и степени превращения на средние скорости ТОС (см. выше).

Эти же схемы иллюстрируют образование легких продуктов окисления (воды, свободных радикалов), которые должны испаряться при 163°C .

Кстати, схема Гуна [14] предусматривает образование газообразных продуктов окисления не только из компонентов масел (парафино-нафтенных,monoциклоароматических,бицикло- и полициклоароматических углеводородов), но также из смол и асфальтенов.

Из приведенных данных однозначно следует наличие связи убыли массы (α) и изменений Π_{25} , T_p . Об этом свидетельствуют данные табл. 1 и 2 и рис. 3. Зависимость $\Delta\Pi_{25} = f(\alpha)$ и $\Delta T_p = y(\alpha)$ имеют вид несимметричных S-образных кривых. При этом точка перегиба, соответствующая максимуму $d(\Delta\Pi_{25})/d\alpha$ и $d(\Delta T_p)/d\alpha$, на этих кривых соответствует $\alpha \approx 0,3$ (как на рис. 2).

Однако на рис. 3 представлен упрощенный вариант корреляции (при $\alpha \geq 0,1\%$) в виде монотонных кривых с высокой степенью детерминации (R^2):

$$\Delta\Pi_{25} = 14,5 \ln \alpha + 39,4 \quad (R^2 = 0,986), \quad (10)$$

$$\Delta T_p = 36 \cdot \alpha^{1,77} \quad (R^2 = 0,973). \quad (11)$$

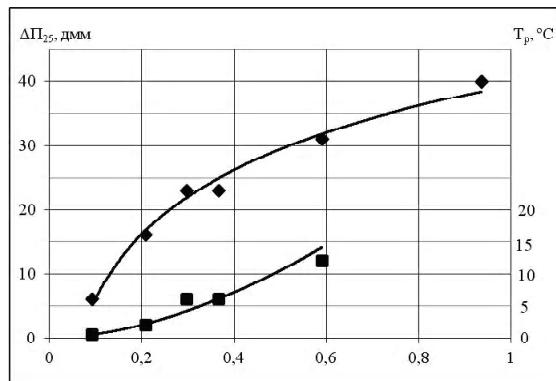


Рисунок 3 – Корреляция изменения пенетрации ($\Delta\Pi_{25}$, ♦) и температуры размягчения (ΔT_p , ■) со степенью превращения битума (α) при ТОС (163 °C).

Изменение технических характеристик битума при ТОС в тонких слоях

Используя приведенные зависимости (7–9), можно рассчитать $\vartheta_{y\phi}$ для слоев битума различной толщины при различной длительности ТОС, а по этим данным из уравнений (4–6) найти степень превращения (α_t) и удельную убыль массы (Δm_{yd}) к заданному моменту времени t часов ТОС.

Уравнения (10, 11) позволяют найти изменения технологических показателей ($\Delta\Pi_{25}$ и ΔT_p), соответствующие найденному выше значению α .

Разумеется, конкретные значения α , $\Delta\Pi_{25}$ и ΔT_p , найденные по упомянутым экспериментальным зависимостям, относятся к изученному нами конкретному битуму БНД 60/90 ($\Pi_{25} = 62$ дмм, $T_p = 47$ °C). Однако проанализировать тенденции изменения α , $\Delta\Pi_{25}$ и ΔT_p с изменением толщины слоя и длительности ТОС для любого вязкого дорожного битума этот подход позволяет.

В табл. 4 сведены эти расчеты по вышеприведенным зависимостям: для ТОС при 163 °C в тонких слоях битума ($\delta \leq 0,16$ мм). Из уравнений (6) и (8) следует, что для этих слоев $\vartheta \approx 0,8$ %/ч. Из уравнения (4) находили $\alpha_t = \vartheta \cdot t = 0,8 \cdot t$ (где α_t — время экспозиции в часах). $\Delta\Pi_{25}$ при $\alpha \geq 0,1$ % находили по уравнению (10). При $\alpha < 0,1$ % ($t < 7,5$ мин) принимали прямую пропорциональность зависимости $\Delta\Pi_{25}(\alpha)$:

$$\Delta\Pi_{25}(t) = \frac{\Delta\Pi_{25}(7,5)}{\alpha_{7,5}} \cdot \alpha_t = \frac{6,1}{0,1} \cdot \alpha_t = 61\alpha_t, \quad (12)$$

ΔT_p при $\alpha \geq 0,1$ % находили по уравнению (11). При $\alpha < 0,1$ % принимали:

$$\Delta T_p(t) = \frac{\Delta T_p(7,5)}{\alpha_{7,5}} \cdot \alpha_t = \frac{0,61}{0,1} \cdot \alpha_t = 6,1\alpha_t, \quad (13)$$

где $\Delta\Pi_{25}(t)$ и $\Delta\Pi_{25}(7,5)$ — показатели $\Delta\Pi_{25}$ к моменту t минут и 7,5 минут (табл. 4).

$\Delta T_p(t)$ и $\Delta T_p(7,5)$ — ΔT_p к моменту t и 7,5 минут.

α_t и $\alpha_{7,5}$ — степень превращения битума к моменту t и 7,5 минут.

Таблица 4 – Изменение характеристик БНД 60/90 при термоокислительном старении (163 °C) в тонких слоях ($\delta \leq 0,16$ мм)

Экспозиция ТОС, t , мин	α , %	$\Delta\Pi_{25}$, дмм	ΔT_p , °C	Показатели состаренного битума	
				Π_{25} , дмм	T_p , °C
0,0	0,0	0,0	0,0	62	47,0
0,5	0,007	0,4	0,04	62	47,0
1,0	0,013	0,8	0,08	61	47,1
7,5	0,10	6,1	0,61	56	47,6
10,0	0,13	9,9	0,97	52	48,0
37,5	0,50	29,4	10,6	33	57,6
60,0	0,80	36,5	24,1	25	71,1

Как следует из табл. 4 (в полном соответствии с рис. 3), для БНД 60/90 при производстве асфальтобетона (смешивание, хранение, транспортировка, укладка) допустим лишь кратковременный контакт тонких ($\delta \leq 0,16$ мм) пленок битума с кислородом воздуха, поскольку в этих технологических процессах происходит не только «сиюминутное» окисление (в момент контакта битума с воздухом), но и «пролонгированное» (за счет вовлеченной мелкодисперсной воздушной среды при смешивании битума с минеральными материалами), как это убедительно показано Дон Броком [15].

При 163 °С даже десятиминутный контакт приводит к изменению пенетрации на 10 дмм. Следовательно, необходимо ограничивать контакт битума с воздухом уже на стадии смешивания материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технологическое старение дорожного битума как двухфакторный процесс [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, А. А. Стукалов [и др.] // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Зб. наук. праць. – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 31–41.
2. Силкин, В. В. Асфальтобетонные заводы [Текст] / В. В. Силкин, А. П. Лупанов. – М. : Эконом-Информ, 2008. – 266 с.
3. Викторенков, Я. В. Влияние гранулометрии минерального порошка на состав и прочность асфальтобетона [Текст] / Я. В. Викторенков, Р. А. Голиков, М. К. Пактер // Современные проблемы строительства : Ежегодн. науч.-техн. сб. – Донецк : ДП «Донецкий Промстройнипроект», 2013. – С. 98–102.
4. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
5. Братчун, В. И. Особенности реологического поведения состаренных битумов [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, А. А. Стукалов [и др.] // Вісник ДонНАБА. – 2013. – Вип. 2013-1(99) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 92–100.
6. ДСТУ 4044-2001. Битумы нефтяные дорожные вязкие. ТУ [Текст]. – Взамен ГОСТ 22245-90 ; введ. 01.01.2002. – К. : Госстандарт Украины, 2001. – 10 с.
7. ОДМ 218.7.005-2008. Рекомендации по методу определения устойчивости к старению вязких нефтяных дорожных битумов [Текст]. – Утверждены распоряжением Росавтодора от 20.10.2008 г. № 438-р. – М. : Росавтодор, 2009. – 16 с.
8. ОДМ 218.3.020-2012. Методические рекомендации по обеспечению устойчивости битумов против старения в технологических процессах изготовления и применения асфальтобетонных смесей [Текст]. – Введен впервые. – М. : Росавтодор, 2012. – 38 с.
9. Чалых, А. Е. Диффузия в полимерных системах [Текст] / А. Е. Чалых. – М. : Химия, 1987. – 312 с.
10. Грасси, Н. Деструкция и стабилизация полимеров [Текст] / Н. Грасси, Дж. Скотт. – М. : Мир, 1988. – 446 с.
11. Павлов, Н. Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях [Текст] / Н. Н. Павлов. – М. : Химия, 1982. – 224 с.
12. Гладышев, Г. П. Стабилизация термостойких полимеров [Текст] / Г. П. Гладышев, Ю. А. Ершов, О. А. Шустова. – М. : Химия, 1979. – 272 с.
13. Апостолов, С. А. Научные основы производства битумов [Текст] / С. А. Апостолов. – Л. : Изд. Лен. ун-та, 1988. – 168 с.
14. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы [Текст] / Р. Б. Гун. – М. : Химия, 1973. – 432 с.
15. Brock, J. D. Oxidation of asphalt. Technical Paper T-103 [Текст] / J. D. Brock. – Chattanooga : Astec Industries, Inc., 1986. – 20 p.

Получено 30.12.2014

**М. К. ПАКТЕР, О. А. СТУКАЛОВ
ТЕРМООКИСНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДОРОЖНОГО БІТУМУ В ШАРАХ
РІЗНОЇ ТОВЩИНИ**
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У роботі представлені результати дослідження впливу товщини шару бітуму на його термоокисні перетворення за втратою маси Δm , зміною пенетрації P_{25} і температури розм'якшення T_p в стаціонарних шарах різної товщини при $(163 \pm 1)^\circ\text{C}$ і вільному доступі кисню повітря. Зроблені висновки про наявність поверхневого шару товщиною $\delta = 0,16$ мм, в якому відбуваються основні хімічні перетворення, що пов'язані з дифузією кисню в бітум.

нафтний дорожній бітум, термоокисне старіння, товщина шару бітуму

MIXAIL PAKTER, ALEKSANDR STUKALOV
THERMO-OXIDATIVE CONVERSION ROAD BITUMEN IN THE LAYERS
DIFFERENT THICKNESSES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

In this work presented the results of investigation of influence of the layer's thickness of the bitumen on its thermo-oxidative conversion which were expressed of mass loss Δm , change of penetration P_{25} and softening temperature T_p in stationary layers of varying thickness at $(163 \pm 1)^\circ\text{C}$ with free access of air oxygen. Concluded about presence of surface layer of thickness $\delta = 0,16$ mm, in which there are basic chemical transformations associated with the diffusion of oxygen into the bitumen.

petroleum road bitumen, thermo-oxidative aging, layer's thickness of bitumen

Пактер Михайло Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії 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.

Стукалов Олександр Анатолійович – асистент кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Пактер Михаил Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика технологических и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модификации структуры бетонов.

Стукалов Александр Анатольевич – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологических и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модификации органических вяжущих.

Pakter Mixail – PhD (Eng.), Associate Professor, 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.

Stukalov Aleksandr – Assistant, 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.

ЗМІСТ

САМОЙЛОВА О. Е. Моделювання поверхневого натяжіння групових хімічних компонентів бітуму	5
БАРАБАШ І. В., ЗУБЧЕНКО Н. А. Властивості бетонів на активованому композиційному в'яжучому	9
БРATЧУН В. І., ПАКТЕР М. К., БЕСПАЛОВ В. Л., СТУКАЛОВ О. А., ГУЛЯК Д. В. Прогнозування зміни групового складу у разі технологічного старіння дорожнього бітуму	14
БРATЧУН В. І., КАРАТ Л. Д., ПАКТЕР М. К., ГУЛЯК Д. В., ЩЕРБАНЬ С. В., УРУТИН К. О. Бітумоподібні в'яжучі на основі коксохімічної сировини	21
РОМАСЮК Є. О., БЕСПАЛОВ В. Л., ДЕМЕШКІН В. П. Дослідження утомленісної довговічності асфальтобетонів з комплексно-модифікованою структурою	27
БАЧУРІН А. М., НЕФЕДОВ В. В. Полімерний композиційний матеріал на основі полімерних і золошлакових відходів	34
АЛЕКСАНДРОВ В. Д., АМЕРХАНОВА Ш. К., ІБРАГІМОГЛІ Б., ПОКИНТЕЛИЦЯ А. Є., ПОКИНТЕЛИЦЯ О. А. Ефекти падіння тиску, що супроводжують фазові перетворення бензолу під дією всебічного стиснення	39
КІБЗУН В. М., НАГОРНА Н. П. Дослідження якості шкіряної сировини	47
КІЦЕНКО Т. П., МАРТИНОВА В. Б., БОРОДАЙ К. Т. Дослідження структурно-фазових змін, що відбуваються в камені алюмосилікатних і кремнеземистих рідкоскляних в'яжучих при твердинні і нагріві	53
БОРОДАЙ Д. І. Дослідження впливу типу армування залізобетонних прогонових будов на довговічність автодорожніх мостів	58
ТУБАНЬ О. В., ДОЛЯ А. Г., КОННОВ М. С., ГУЛЯК Д. В. Закономірності формування міжфазного контактного шару в системі «бітумополімерсірчана емульсія, що розпалася – поверхнево-активований СКМС-30 мінеральний порошок»	63
ШИШКІН О. О. Шляхи підвищення якості пінобетону	69
ЕЛАЛЛАК ДЖААФАР МУССА, АХМЕД ТАЛІБ МУТТАШАР МУТТАШАР, ДЕМЕШКІН В. П. Кліматичні умови транспортних навантажень експлуатації автомобільних доріг в Республіці Ірак	74
ПАКТЕР М. К., СТУКАЛОВ О. А. Термоокисні перетворення дорожнього бітуму в шарах різної товщини	79

СОДЕРЖАНИЕ

САМОЙЛОВА Е. Э. Моделирование поверхностного натяжения групповых химических компонентов битума	5
БАРАБАШ И. В., ЗУБЧЕНКО Н. А. Свойства бетонов на активированном композиционном вяжущем	9
БРАТЧУН В. И., ПАКТЕР М. К., СТУКАЛОВ А. А., БЕСПАЛОВ В. Л., ГУЛЯК Д. В. Прогнозирование изменения группового состава при технологическом старении дорожного битума	12
БРАТЧУН В. И., Л. Д. КАРАТ, ПАКТЕР М. К., ГУЛЯК Д. В., ЩЕРБАНЬ С. В., УРУТИН К. А. Битумоподобные вяжущие на основе коксохимического сырья	21
РОМАСЮК Е. А., БЕСПАЛОВ В. Л., ДЕМЕШКИН В. П. Исследование усталостной долговечности асфальтобетонов с комплексно-модифицированной структурой	27
БАЧУРИН А. Н., НЕФЕДОВ В. В. Полимерный композиционный материал на основе полимерных и золошлаковых отходов	34
АЛЕКСАНДРОВ В. Д., АМЕРХАНОВА Ш. К., ИБРАГИМОГЛЫ Б., ПОКИНТЕЛИЦА А. Е., ПОКИНТЕЛИЦА Е. А. Эффекты падения давления, сопровождающие фазовые превращения бензола под действием всестороннего сжатия	39
КИБЗУН В. Н., НАГОРНАЯ Н. П. Исследование качества кожаного сырья	47
КИЦЕНКО Т. П., МАРТЫНОВА В. Б., БОРОДАЙ К. Т. Исследование структурно-фазовых изменений, происходящих в камне алюмосиликатных и кремнеземистых жидкостекольных вяжущих при твердении и нагреве	53
БОРОДАЙ Д. И. Исследование влияния типа армирования железобетонных пролетных строений на долговечность автодорожных мостов	58
ТУБАНЬ А. В., ДОЛЯ А. Г., КОННОВ Н. С., ГУЛЯК Д. В. Закономерности формирования межфазного контактного слоя в системе «распавшаяся битумополимерсерная эмульсия – поверхностно-активированный СКМС-30 минеральный порошок»	63
ШИШКИН А. А. Пути повышения качества пенобетона	69
ЭЛАЛЛАК ДЖААФАР МУССА, АХМЕД ТАЛИБ МУТТАШАР МУТТАШАР, ДЕМЕШКИН В. П. Климатические условия и транспортные нагрузки эксплуатации автомобильных дорог в Республике Ирак	74
ПАКТЕР М. К., СТУКАЛОВ А. А. Термоокислительные превращения дорожного битума в слоях различной толщины	79

CONTENTS

SAMOYLOVA HELEN. Modelling of a superficial tension group chemical components of bitumen	5
BARABASH IVAN, ZUBCHENKO NATALIA. Properties of concrete on activated composite binders	9
BRATCHUN VALERY, PAKTER MIXAIL, STUKALOV ALEKSANDR, BESPALOV VITALY, GULYAK DENIS. Predict changes in the group composition for technological aging road bitumen	14
BRATCHUN VALERY, KARAT LEONID, PAKTER MIXAIL, GULYAK DENIS, SHCHERBAN SERGEY, URUTIN KONSTANTIN. Bitumen binders on the basis of raw coke	21
ROMASYUK EUGENIY, BESPALOV VITALY, DEMESCHKIN VALENTIN. Investigation of the fatigue life of asphalt modified with complex structure	27
BACHURIN ALEXEY, NEFEDOV VLADISLAV. The polymer composite material based on polymer and ash waste	34
ALEXANDROV VALERY, AMERKHANOVA SHAMSHIYA, IBRAHIMOGLU BEYCAN, POKYNTELYTSIA ARTEM, POKYNTELYTSIA OLENA. Effects of pressure decay during phase transition in uniformly compressed benzene	39
KIBZUN VALENTINA, NAGORNA NINA. Study material quality leather	47
KITSENKO TATYANA, MARTYNNOVA VITA, BORODAY EKATERINA. Researches of structural phase changes what is happening in stone of alumina-silicate and silica liquid glass binders at hardening and heating	53
BORODAY DENIS. The research of the influence of the type of reinforced concrete bridge spans on the highway bridges durability	58
TUBAN ALEXANDER, DOLYA ANATOLIY, KONNOV NIKOLYY, GULYAK DENIS. Formation pattern of interface contact layer within the «Inverted polymeric bitumen emulsion – SKMS-30 durface activated mineral powder» system	63
SHISHKIN ALEXANDER. Ways to enhance the quality of foam	69
ELALLAKJAAFAR MOUSSA, AHMED TALIB MUTTASHAR MUTTASHAR, DEMESCHKIN VALENTIN. Climatic conditions and traffic loads operation of highways in the Republic of Iraq	74
PAKTER MIXAIL, STUKALOV ALEKSANDR. Thermo-oxidative conversion road bitumen in the layers different thicknesses	79