

ВІСНИК
ДОНБАСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ



Випуск 2016-1(117)

**СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ
МАТЕРІАЛИ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ВЕСТНИК

**Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Издается с декабря 1995 года

Выходит 8 раз в год

Выпуск 2016-1(117)

**СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

Макеевка 2016

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 2016-1(117)

**СУЧАСНІ
БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Макіївка 2016

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 № 5 от 25.01.2016

Редакционная коллегия:

Горохов Е. В., д. т. н., профессор (главный редактор);
Мушанов 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;
Ефремов А. Н., д. т. н., профессор;
Белошенко В. А., д. т. н., профессор;
Любомирский Н. В., д. т. н., профессор;
Ядыкина В. В., д. т. н., профессор.

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

Подписано в печать 15.02.2016 Формат 60х84 1/8. Бумага многофункциональная офисная.
Печать ризографичная. Услов. печат. лист. 12,00 Тираж 300 экз. Заказ 012-16

Адрес редакции и издателя

86123, 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://donnasa.ru/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, г. Макеевка, ул. Державина, 2

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 № 5 від 25.01.2016

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;

Єфремов О. М., д. т. н., професор;

Білошенко В. О., д. т. н., с. н. с.;

Любомирський М. В., д. т. н., професор;

Ядிகіна В. В., 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 15.02.2016 Формат 60x84 1/8. Папір багатофункціональний офісний.
Друк різнографічний. Умов. друк. арк. 12,00 Тираж 300 прим. Заказ 012-16

Адреса редакції і видавця

86123, 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://donnasa.ru/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, м. Макіївка, вул. Державіна, 2

© Донбаська національна академія
будівництва і архітектури, 2016

УДК 543.226+69.059

**В. Д. АЛЕКСАНДРОВ ^а, О. В. СОБОЛЬ ^а, О. В. АЛЕКСАНДРОВА ^а, А. Ю. СОБОЛЕВ ^а, Е. А. ПОКИНТЕЛИЦА ^а,
Д. П. ЛОЙКО ^б, Ш. К. АМЕРХАНОВА ^с**

^а Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ^б Государственная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», ^с Карагандинский национальный университет им. Е. А. Букетова

ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗОПЕРЕХОДНЫХ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В статье дан краткий анализ проблемы создания теплоаккумулирующих материалов на основе фазовых превращений, использующихся в строительной индустрии. Предлагаются методология и способы разработки эффективных теплоаккумулирующих материалов. В их основе лежат систематические исследования теплофизических свойств материалов, влияния термической предистории фаз на параметры плавления и кристаллизации, поиск наиболее эффективных составов путем построения равновесных и неравновесных диаграмм состояния. Предложена номенклатура веществ, пригодных для создания ФПТАМ.

теплоаккумулирующие материалы, теплоаккумуляторы, строительная индустрия, фазовый переход, плавление, кристаллизация, переохлаждение, энтальпия плавления, термический анализ, диаграммы состояния, эвтектика

Аккумуляция теплоты за счет использования свойств теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) получило широкое применение в строительной индустрии [1–2] для обеспечения комфортных условий в жилых и производственных помещениях.

Такие строительные материалы, как бетон, кирпич, саман, камень, древесина, являются достаточно хорошими ТАМ, поскольку обладают высокими показателями теплоемкости. Эти вещества напрямую поглощают и излучают поглощенную энергию при нагревании и последующем охлаждении. Так, при освещении солнечными лучами они аккумулируют энергию видимого света и длинноволнового ИК-излучения. Эта энергия затем благодаря теплопроводности окружающей среды распространяется по помещению. Для расширения номенклатуры ТАМ пассивного типа разрабатываются различные композиционные смеси. Например, композиция (Патент РФ JST 22 5591 8, МПК C04B28/02, опубл. 10.07.2005 г.), которая включает портландцемент, керамический песок, полимерсодержащий пластификатор, железосодержащий пигмент и воду, предназначена для изготовления стендовых изделий. Известна бетонная смесь для изготовления строительных изделий (Патент РФ JST 2179160, МПК C04B28/06 опубл. 10.02.2002 г.), содержащая глиноземистый цемент, жидкое стекло и заполнители различных фракций. Целый ряд изобретений рекомендуют использовать ФПТАМ для изготовления и строительства теплоаккумулирующих камер, каминов, печей, для производства облицовочных декоративных элементов различных архитектурных форм.

Кроме пассивных ТАМ, широкое распространение получили т. н. фазопереходные теплоаккумулирующие материалы (ФПТАМ). В фазопереходных ТАМ, например, при плавлении и кристаллизации, поглощается и выделяется теплота фазового перехода. Для использования этих свойств ФПТАМ конструируются соответствующие теплоаккумуляторы (ТА), либо разрабатываются различные конструктивные изделия. Аккумуляторы теплоты фазового перехода в строительном деле в основном предназначены для обогрева помещений. Классическим примером использования ФПТАМ является поддержание температуры помещения за счет периодического поглощения и выделения теплоты фазового перехода в дневное и ночное время, особенно при заморозках.

Кроме того, ФПТАМ применяются при изготовлении спецодежды строителям, монтажникам, работникам жилищно-коммунальных служб при работе в суровых зимних условиях.

Приведем некоторые примеры использования ФПТАМ в строительном деле. Так, в патентах [3, 4] предлагается стеновые панели здания выполнять многослойной с ФПТАМ. Данные панели обеспечивают уменьшение тепловых потерь, увеличивают теплоаккумулирующую способность за счет фазового перехода (т.к. энтальпия плавления ФПТАМ значительно больше теплоты за счет теплоемкости бетона, камня и др.), предохраняют здание от перегрева летом и переохлаждения зимой.

Для повышения аккумулирующей способности и обеспечения регулирования теплового режима помещений рекомендуются стеновые панели и другие конструкционные элементы выполнять с использованием ФПТАМ [5].

Известный химический концерн BASF разработал производство ФПТАМ. Они представляют собой микрокапсулы из полимеров, внутри которых находится вещество (в основном парафин или глауберова соль), имеющее фазовый переход при температурах, близких к комнатной [6]. Микрокапсулы размером несколько микрон вводились в состав различных строительных материалов (шпатлевки, штукатурки, ДСП, ДВП и др.) Эти капсулы обладают высокой прочностью, и поэтому их добавка не требует изменений в технологиях работы со стройматериалами. Избыточная теплота, поглощенная в течение дня, в ночное время высвобождается обратно, что «сглаживает» температурные колебания, создавая сбалансированный климат внутри помещений. Можно отметить изобретение [7], где описывается ТАМ, состоящий из полимерного связывающего и теплоаккумулирующего вещества (кристаллогидрата). Сущность изобретения заключается в том, что при действии высокотемпературного теплового поля кристаллогидрат претерпевает ряд физико-химических превращений, сопровождаемых эндотермическими эффектами (дегидратация, испарения воды, нагрев кристаллизационной воды). Состав позволяет получать покрытия, устойчивые к действию высокотемпературных нагрузок, возникающих при пожаре.

Для успешной работы различных теплоаккумулирующих устройств важны не только конструктивные решения, но и поиск наиболее эффективных веществ, применяемых в качестве ФПТАМ.

Аккумулирующая среда на основе фазового перехода должна иметь следующие свойства:

- высокую энтальпию фазового перехода и плотность;
- удобную для эксплуатационных условий температуру плавления;
- высокую теплоемкость в твердой и жидкой фазах;
- высокую теплопроводность в твердой и жидкой фазах;
- отсутствие тенденции к расслоению теплоаккумулирующего материала и температурную стабильность;
- отсутствие возможности переохлаждения при затвердении и перегрева при плавлении;
- низкое термическое расширение и незначительное изменение объема при плавлении;
- слабую химическую активность, что позволяет использовать недорогие конструкционные материалы для изготовления тепловых аккумуляторов и вспомогательного оборудования;
- безопасность (отсутствие отравляющих паров, а также опасных реакций с рабочей или теплообменной средой).

В качестве ФПТАМ используются как индивидуальные вещества, так и их смеси. Смеси, в основном эвтектического состава, готовят с целью поиска необходимого температурного интервала работы теплоаккумулятора и снижения переохлаждения. Кроме того, для предотвращения расслаивания жидкой фазы (например, гидратов) и стимулирования кристаллизации в смесь вводят различные ингибиторы. Однако поиск соответствующих смесей ингибиторов зачастую носит интуитивный и случайный характер. Для строгого научного подхода к этой проблеме необходимы систематические исследования условий, вызывающих неравновесную кристаллизацию, устойчивость теплофизических характеристик, построения и анализа равновесных и неравновесных диаграмм состояния.

На кафедре физики и физического материаловедения нашей академии на протяжении последних 10 лет ведутся исследования по поиску веществ, обладающих перечисленными свойствами, пригодными для разработки теплоаккумулирующих материалов с использованием теплоты плавления и кристаллизации. Объектами исследования являлись низкомолекулярные органические вещества и их смеси, водные растворы солей натрия, кристаллогидраты. Для изучения теплофизических свойств ФПТАМ нами разработаны специальные методы исследования. Это так называемый циклический термический анализ (ЦТА) [8] и совмещенный метод ЦТА и ДТА [9]. Суть метода ЦТА заключается в непрерывной циклической записи кривых нагревания-охлаждения в заданном температурном интервале, включающем тот или иной фазовый переход. В качестве примеров на рис. 1–3 приведены

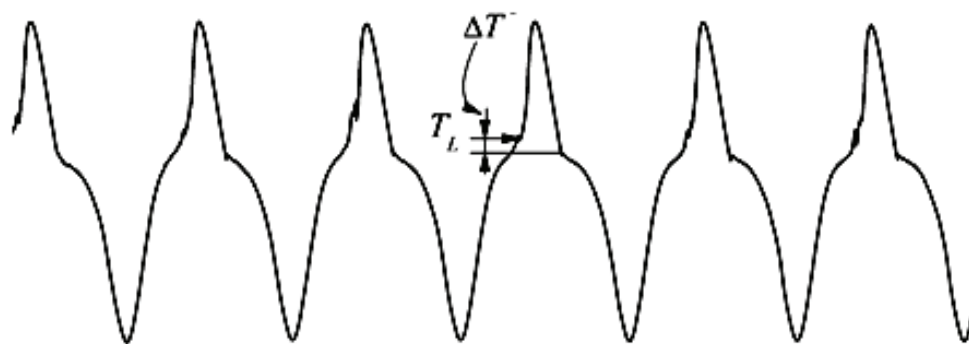


Рисунок 1 – Серия кривых нагрева и охлаждения, характеризующих плавление и кристаллизацию, пальмитиновой кислоты.

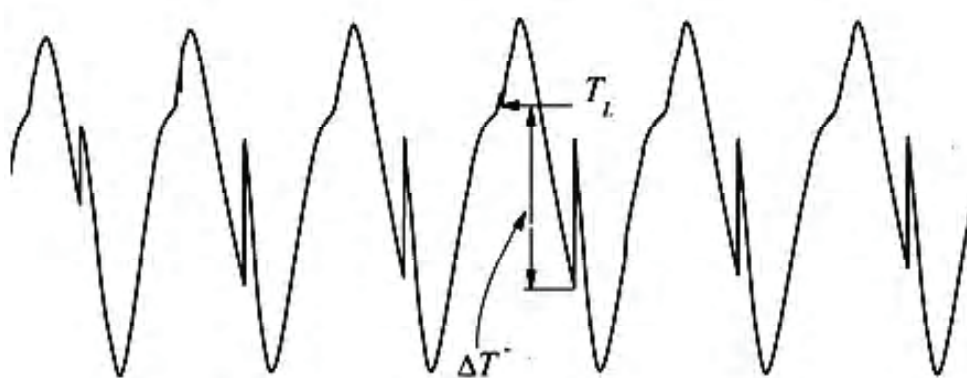


Рисунок 2 – Серия кривых нагрева и охлаждения, характеризующих плавление и кристаллизацию, бензойной кислоты.

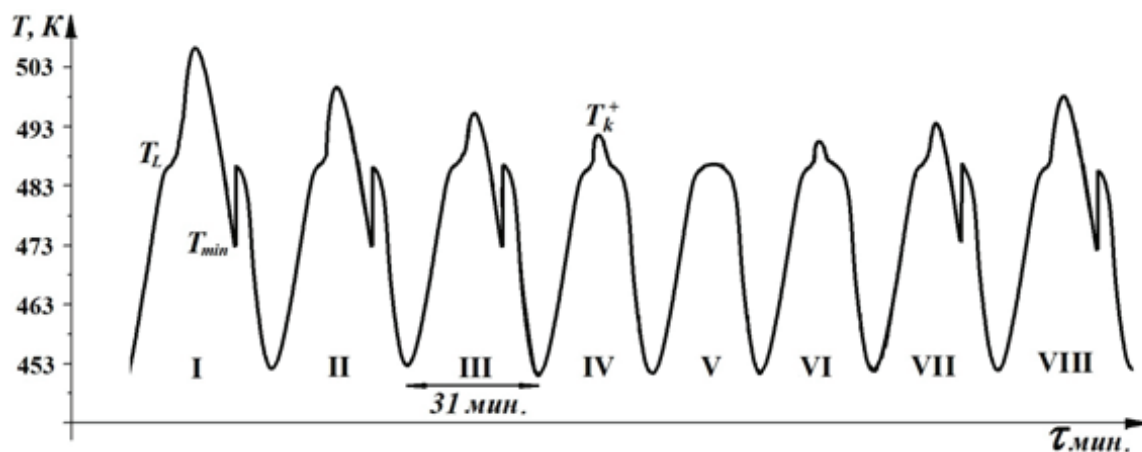


Рисунок 3 – Серия кривых нагрева и охлаждения, характеризующих кристаллизацию р-терфенила с переохлаждением и без него.

серии термоциклов нагрева и охлаждения однокомпонентных веществ, отражающих суть метода ЦТА.

С помощью данного метода удалось решить одну из основных проблем ФПТАМ, а именно значительно уменьшить их склонность к переохлаждениям и взрывным кристаллизациям (рис. 3). Практически для всех индивидуальных веществ было установлено резкое уменьшение переохлаждения в

случае, если жидкая фаза прогревалась до некоторой критической величины. Таким образом, были обнаружены «критические» границы перегрева жидкой фазы ΔT_k^+ относительно температуры плавления, разграничивающие последующие процессы кристаллизации от взрывной (после ощутимых переохлаждений) к квазиравновесной с незначительным переохлаждением (рис. 4).

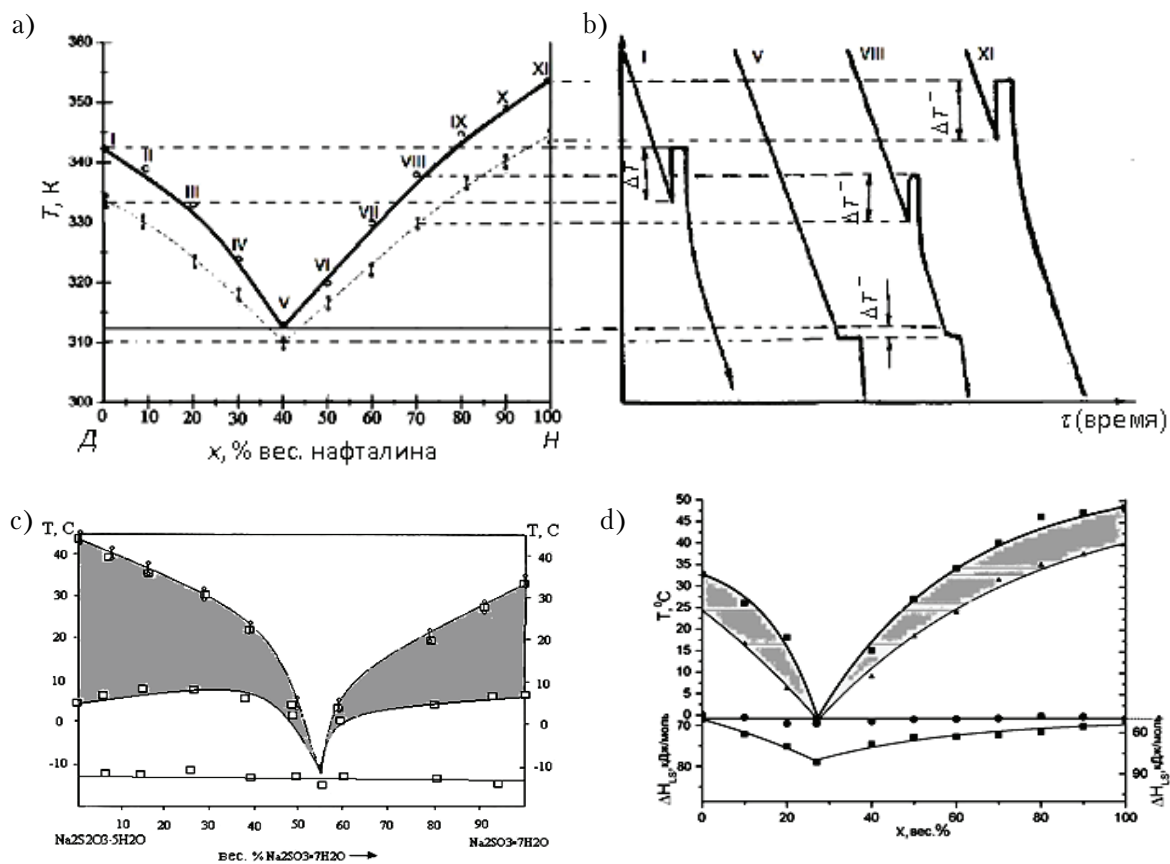


Рисунок 4 – Равновесные и неравновесные диаграммы состояния, построенные по термограммам нагревания-охлаждения.

В таблицах 1 и 2 приведены теплофизические характеристики исследованных веществ (кристаллогидратов и низкомолекулярных органических соединений) с указанием критических перегревов и переохлаждений.

Таблица 1 – Характеристики неорганических веществ, используемых в качестве ТАМ

№	Вещество	Химическая формула	Температура плавления, °С	Теплота плавления кДж/кг	Переохл. ΔT , К	
					при $\Delta T^+ > \Delta T_k^+$	при $\Delta T^+ < \Delta T_k^+$
1	Пентагидрат тиосульфата натрия	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	48,0	206,0	44	2–3
2	Декагидрат сульфата натрия	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	32,5	251,0	16	1–3
3	Гептагидрат сульфита натрия	$\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	33,4	179,0	25	2–4
4	Декагидрат карбоната натрия	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	22,0–36,1	247,6	13	1–2
5	Тригидрат ацетата натрия	$\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	58	272,4	70	4–5
6	Вода	H_2O	0	335	8	0

Таблица 2 – Характеристики органических веществ, используемых в качестве ТАМ

№	Вещество	Химическая формула	Температура плавления, °С	Теплота плавления кДж/кг	Переохл. ΔT , К	
					при $\Delta T^+ > \Delta T_k^+$	при $\Delta T^+ < \Delta T_k^+$
1	Дифенил	$C_{12}H_{10}$	71,1	190	10	0–1
2	Нафталин	$C_{10}H_8$	80,3	147	10	0–1
3	Дибензил	$C_{14}H_{14}$	52,5	126,4	22	1–3
4	Парафин	–	55,5	210	2,5	0
5	О-терфинил	$C_{18}H_{14-1,2}$	56,3	74,7	32	3–4
6	М-терфинил	$C_{18}H_{14-1,3}$	87,5	134,6	37	3–4
7	Р-терфинил	$C_{18}H_{14-1,4}$	212,7	154,2	12	1–2

Таким образом, для индивидуальных однокомпонентных веществ удалось выявить условия, при которых переохлаждения снижаются до минимальных значений без использования ингибиторов и внешних воздействий. При термоциклировании проявляется еще одна особенность фазопереходного вещества, «работающего» в установленном режиме – устойчивость равновесных фазовых переходов в результате многократного термоциклирования (рис. 2).

Применение многокомпонентных систем обеспечивает определенное преимущество перед однокомпонентными ФПТАМ. Это и возможность выбора количественного соотношения компонентов в смесях с наименьшими предкристаллизационными переохлаждениями и высокими значениями теплот фазовых превращений. Это и использование дорогостоящих веществ с высокими термоаккумулирующими свойствами наряду с дешевыми с сохранением теплоемкостных характеристик ТАМ. Как показали наши опыты над бинарными системами, эффективным методом в этом плане является построение соответствующих равновесных и неравновесных диаграмм состояния по термограммам нагревания-охлаждения. На рис. 4 представлены некоторые диаграммы с термограммами охлаждения, отражающие суть поиска наиболее оптимального состава, соответствующего требованиям к ТАМ. На основании исследований было установлено, что наиболее приемлемыми составами в смесях являются эвтектические. Именно эвтектические составы обладают наименьшими переохлаждениями из всех остальных смесей в данной системе (рис. 4).

Кроме того, в отличие однокомпонентных веществ квазиравновесная кристаллизация эвтектического состава с минимальными переохлаждениями не зависит от степени перегрева жидкой фазы, а экзо- и эндотермические процессы устойчивы к многократному термоциклированию (рис. 5).

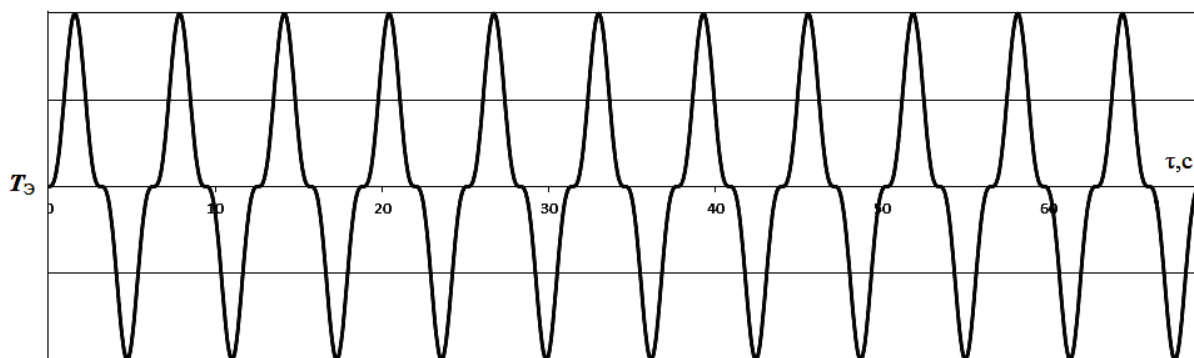


Рисунок 5 – Термограммы эвтектического состава 58 % дифенила + 42 % нафталина, характеризующие устойчивое отсутствие переохлаждения при кристаллизации.

В таблицах 3, 4 показаны эвтектические составы водных растворов кристаллогидратов, системы бинарных кристаллогидратов, а также системы бинарных низкомолекулярных органических веществ, которые можно рекомендовать для использования в качестве ТАМ.

В лабораторных условиях на разработанной установке для теплоснабжения были успешно опробованы такие вещества, как парафин, глауберова соль, тригидрат ацетата натрия и некоторые эвтектические смеси из указанных выше таблиц.

Таблица 3 – Эвтектические составы водных растворов кристаллогидратов и системы бинарных кристаллогидратов, используемых в качестве ТАМ

№	Эвтектика	$T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_L, \text{кДж/кг}$
1	52,2 % H_2O + 47,8 % $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	-15,0	1–2	273
2	90 % H_2O + 10 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-1,2	2	328
3	60 % H_2O + 40 % $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-5,0	1	270
4	60 % H_2O + 40 % $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	-18,0	1	310
5	78 % H_2O + 22 % $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-3,0	1	315
6	40 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + 60 % $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	-15	1–2	223
7	50 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + 50 % $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-8,0	0	215
8	45 % $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 55 % $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-17,0	2	193
9	47 % $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ + 53 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-1,0	2	251
10	50 % $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ + 50 % $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	19	1	256
11	50 % $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ + 50 % $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	19	1	261,7

Таблица 4 – Системы бинарных низкомолекулярных органических веществ, используемых в качестве ТАМ

№	Эвтектика	$T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta H_L, \text{кДж/кг}$
1	80 % бензол + 20 % нафталин	3,6	4	130,0
2	73 % бензол + 27 % дифенил	-6,0	3	120,2
3	58 % дифенил + 42 % нафталин	41,0	1	108,0
4	67,1 % бензойная кислота + 32,9 % нафталин	67,0	2	123,0
5	Нафталин + дифенил	32,0	2	132,8
6	50 % резорцин + 50 % пирокатехин	58,0	0	148,9
7	67 % резорцин + 33 % гидрохинон	126,0	17	170,0
8	70 % пирокатехин + 30 % гидрохинон	85,0	10	213,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левенберг, В. Д. Аккумуляция тепла [Текст] / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач. – Киев : Техника, 1991. – 112 с.
2. Бекман, Г. Тепловое аккумуляция энергии [Текст] / Г. Бекман, П. Гилли. – М. : Мир, 1987. – 260 с.
3. Пат. 2223451 Российская Федерация, МПК7 F 24 J 2/04, F 24 J 2/34. Стеновая панель здания [Текст] / В. Д. Бабаев, В. Н. Данилин ; патентообладатель Дагестанский государственный университет. – № 2002106153 ; заявл. 06.03.02 ; опубл. 10.02.04, Бюл. № 4. – 7 с.
4. Волшаник, В. В. Энергоэффективность стеновой панели сфазопереходным теплоаккумулирующим материалом [Текст] / В. В. Волшаник, В. Д. Бабаев // Кровельные и изоляционные материалы. – 2012. – № 3. – С. 13–15.
5. Шишкин, Н. Д. Комбинирование и эффективное использование источников тепловой энергии в автономных теплоэнергетических комплексах, включая возобновляемые источники [Текст] : дис. ... д-ра технических наук : 01.04.14 / Н. Д. Шишкин. – М., 2005. – 312 с.
6. Применение микрокапсулированных теплоаккумулирующих материалов с фазовым переходом в строительстве [Текст] / Ф. Рёснер, О. Б. Рудков, Ю. С. Альбинская [и др.] // Научный Вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 5. – С. 64–70.
7. Патент 2161174 Российская Федерация, МПК7 C 09 K 5/06, C 08 G 18/83, C 08 L 75/04, C 08 K 3/24. Теплоаккумулирующий материал [Текст] / И. П. Петрюк, В. Ф. Каблов, А. Н. Гайдадин, А. М. Огрель ; заявитель патентообладатель Волгоградский государственный технический университет. – № 99100365/04 ; заявл. 05.01.1999 ; опубл. 27.12.2000, Бюл. № 4. – 12 с.
8. Пат. № 33399А Україна, МПК G 01 N 25/02 (2006.01), G 01 N 25/20 (2006.01). Спосіб термічного аналізу [Текст] / В. Д. Александров, О. О. Баранніков ; заявник і патентовласник Александров Валерій Дмитрович, Баранніков Олександр Олександрович. – № 99020930 ; заявл. 18.02.1999 ; опубл. 15.02.2001, Бюл. № 1. – 8 с.
9. Пат. № 83721 Україна, МПК (2006) G 01 N 25/02, G 01 N 25/20. Спосіб сумісного циклічного та диференційного термічного аналізу [Текст] / Александров В. Д., Фролова С. О., Постніков В. А., Прокоф'єв С. В. ; власник Донбаська національна академія будівництва і архітектури. – а200608831 ; заявл. 07.08.2006 ; опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15. – 4 с.

Получено 01.12.2015

В. Д. АЛЕКСАНДРОВ ^a, О. В. СОБОЛЬ ^a, О. В. АЛЕКСАНДРОВА ^a,
А. Ю. СОБОЛЕВ ^a, О. А. ПОКИНТЕЛИЦА ^a, Д. П. ЛОЙКО ^b,
Ш. К. АМЕРХАНОВА ^c

ЗАСТОСУВАННЯ ФАЗОПЕРЕХІДНИХ ТЕПЛОАКУМУЛЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У БУДІВНИЦТВІ

^a Донбаська національна академія будівництва і архітектури, ^b Державна організація вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського», ^c Карагандинський національний університет ім. Є. А. Букетова

У статті дано короткий аналіз проблеми створення теплоаккумулювальних матеріалів на основі фазових перетворень, що використовуються в будівельній індустрії. Пропонуються методологія та способи розробки ефективних теплоаккумулювальних матеріалів. У їхній основі лежать систематичні дослідження теплофізичних властивостей матеріалів, впливу термічної передісторії фаз на параметри плавлення та кристалізації, пошук найбільш ефективних складів, шляхом побудови рівноважних і нерівноважних діаграм стану. Запропонована номенклатура речовин, придатних для створення ФПТАМ.

теплоаккумулювальні матеріали, теплоаккумулятори, будівельна індустрія, фазовий перехід, плавлення, кристалізація, переохолодження, ентальпія, термічний аналіз, діаграми стану, евтектика

VALERY ALEKSANDROV ^a, OKSANA SOBOLOV ^a, OLGA ALEKSANDROVA ^a,
ALEXANDR SOBOLEV ^a, OLENA POKYNTELYTSIA ^a, DMITRY LOYKO ^b,
SHAMSHIYA AMERKHANOVA ^c

APPLICATION THE OF HEAT-RETAINING MATERIALS IN OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade»,
^c E. A. Bukyetov Karaganda State University

In article the short analysis of a problem of creation of heat-retaining materials on the basis of the phase transformations which are used in the construction industry is given. The methodology and ways of development of effective heat-retaining materials are offered. Systematic researches of heatphysical properties of materials, influences of thermal background of phases on parameters of melting and crystallization, search of the most effective structures, by creation of equilibrium and nonequilibrium charts of a state are their cornerstone. The nomenclature of the substances suitable for creation of PHTHAM is offered.

heat-retaining materials, heataccumulators, construction industry, phase transition, melting, crystallization, overcooling, melting enthalpy, thermal analysis, charts of a state, eutectic

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.

Соболь Оксана Вікторівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри фізики та фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

Александрова Ольга Валеріївна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики і інформатики Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: методи математичної фізики, математичне моделювання термодинамічних задач.

Соболев Олександр Юрійович – асистент кафедри фізики та фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: термодинаміка та кінетика фазових перетворень.

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

Лойко Дмитро Петрович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Державної організації вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: термодинаміка та кінетика фазових перетворень.

Амерханова Шамшия Кенжегазинівна – 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, європій).

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.

Соболев Оксана Викторовна – кандидат химических наук, доцент кафедры физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

Александрова Ольга Валерьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: методы математической физики, математическое моделирование термодинамических задач.

Соболев Александр Юрьевич – ассистент кафедры физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: термодинамика и кинетика фазовых превращений.

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

Лойко Дмитрий Петрович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Государственной организации высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: термодинамика и кинетика фазовых превращений.

Амерханова Шамшия Кенжегазинівна – 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 РЗЭ с различными низькомолекулярными 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).

Aleksandrov Valery – D.Sc. (Eng), Professor; the Head of Physics and 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.

Sobol Oksana – Ph.D. (Chem. Sc.), Assistant Professor, Physics and 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.

Aleksandrova Olga – Ph.D. (Physical and Mathematical Sciences), Assistant Professor, Applied Mathematics and Informatics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: methods of mathematical physics, mathematical modeling of thermodynamic problems.

Sobolev Alexandr – Assistant, Physics and Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: thermodynamic and kinetic phase transformations.

Pokyntelytsia Olena – Assistant, Physics and Material Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: thermodynamics and kinetics of phase transformations.

Loyko Dmitry – Ph.D. (Eng.), Professor, the Head of the Merchandise Technique and Examination of Nonfood Consumer Goods Department, State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: thermodynamic and kinetic phase transformations.

Amerkhanova Shamshiya – D.Sc. (Chemistry), Professor, Physical and Analytical Chemistry Department, E. A. Bukyetov Karaganda State University. Scientific interests: physical chemical studies of the complexation of 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).

УДК 666.9.01

**М. К. ПАКТЕР^а, Л. Д. КАРАТ^б, В. И. БРАТЧУН^а, А. А. СТУКАЛОВ^а, Р. В. ПАРАЩЕВИН^а,
Д. Н. ГОНЧАРОВ^а**

^а Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ^б УкрГосНИИпластмасс

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ КАК РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫЕ ПОЛИМЕР-ОЛИГОМЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

Рассмотрены синтетические битумоподобные вяжущие вещества на основе коксохимического сырья с позиции их отношения к повышенной температуре в присутствии кислорода воздуха. Показано, что в отличие от каменноугольных дегтей (представляющих растворы каменноугольного пека в высококипящих каменноугольных маслах) синтетические вяжущие являются реакционноспособными полимер-олигомерными системами. Исходя из этих представлений, рекомендованы области их применения, в частности в дорожном строительстве. Показано, что синтетические вяжущие могут быть использованы взамен дорожных битумов в эмульсионных технологиях. В этом случае они будут иметь преимущества перед традиционными дорожными битумами, являясь прекурсорами анионных ПАВ. По этой же причине перспективно их использование в качестве адгезивов для геосинтетических материалов в дорожном строительстве.

синтетические битумоподобные вяжущие вещества, термоокислительная стабильность, реакционноспособные полимер-олигомерные системы, дорожное строительство, эмульсионные технологии

В работе [1] приведены технические характеристики битумоподобных вяжущих (условное обозначение СП), полученных химической модификацией каменноугольной смолы и каменноугольного дорожного дегтя. Показано, что таким способом могут быть получены синтетические аналоги вязких дорожных битумов (БНД по ДСТУ 4044-2001 и битумов, модифицированных полимерами, БМП по ДСТУ Б В.2.7-135:2007) и строительных битумов (БН по ДСТУ 4148-2003).

Приближаясь по своим малакометрическим характеристикам к БНД и БН, эти синтетические аналоги (СП) не выдерживают испытания по п. 4. технических требований ДСТУ 4044 (изменение свойств после прогрева). Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что потеря массы для образцов СП на порядок выше, чем для БНД, но существенно ниже, чем для исходного дегтя.

В данной работе рассматриваются причины термической нестабильности битумоподобных вяжущих и области их использования в связи с этим.

В табл. 2 приведено сопоставление технических характеристик наиболее структурированного (вязкого) дегтя Д-6 и образцов СП.

Как видно из табл. 2, деготь Д-6 значительно уступает по термостабильности образцам СП. Это однозначно свидетельствует об эффективности химической модификации дегтя. Действительно, в СП содержатся лишь следы фракции, выкипающей до 300 °С, тогда как в Д-6 ее содержание превышает 30 %.

Удаление летучих масел из Д-6 при 183 °С приводит к образованию хрупкого пекоподобного остатка, тогда как после прогрева СП в тех же условиях образуется частично сшитый полимер (T_p и P_{25} этого полимера близки к показателям строительных и кровельных битумов).

Еще интересней сопоставление термического поведения Д-6 и СП при прогреве в слое $\delta = 1$ мм при 110 °С / 4 часа. Как следует из табл. 2, образцы СП на порядок более устойчивы (по потере массы), чем Д-6. Изменение ΔT_p составляет 1,0...3,5 °С.

Эти данные позволяют сделать заключение о том, что изменение свойств битумоподобных вяжущих при повышенной температуре (110 и 185 °С) связано не с испарением летучих компонентов, а с

© М. К. Пактер, Л. Д. Карат, В. И. Братчун, А. А. Стукалов, Р. В. Паращевин, Д. Н. Гончаров, 2016

Таблица 1 – Изменение свойств образцов битумоподобных вяжущих (СП) после прогрева на воздухе в слое толщиной $\delta = 4$ мм при 163 °С в течение 5 часов по ДСТУ 4044-2001

Показатели	Технические требования ДСТУ 4044	Образцы битумоподобных вяжущих	
		СП-455	СП-449
1. Изменение массы образца после прогрева, %	не более 0,8...1,2	9,1	7,9
2. Пенетрация, P_{25} , дмм			
исходная	–	116	150
после прогрева (остаточная)	–	10	34
3. Остаточная пенетрация, % от исходной	не менее 60...50	5,6	22,7
4. Температура размягчения, T_p , °С			
исходная	–	39,0	44,0
после прогрева	–	71,5	74,5
5. Изменение T_p , °С	не более 6,0...7,0	32,5	30,5

Таблица 2 – Сравнительные характеристики дегтя (Д-6) и битумоподобных вяжущих (СП)*

Показатели	Д-6**	СП-449	СП-455
Потеря массы, %			
(1) в слое 1 мм при 110 °С/4 ч	19,1 [2]	0,5	0,5
(2) в слое 4 мм при 163 °С/5 ч	28,9	7,9	9,1
T_p , °С			
исх.	18–33 [2]	39,0	44,0
после прогрева (1)	40 [2]	42,5	45,0
после прогрева (2)	67	71,5	74,5
P_{25} , дмм			
исх.	270–300 [2]	150,0	116,0
после прогрева (1)	–	130,0	103,0
после прогрева (2)	5	34	10
Плотность (25°С) исх.	1,24–1,26 [2]	1,19 [1]	1,22 [1]
Массовая доля веществ, не растворимых в толуоле, %	– / н.б. 20 [2]	25	30
Массовая доля фракций, %, перегоняемых до температуры, °С:			
170	– / 1,5 [2]	отс.	отс.
270	– / 10 [2]	отс.	отс.
300	– / 20 [2]	0,5	0,5
T_p остатка после отбора фракций до 300 °С, не более	– / 70 [2]	39	44
ГСХ			
α -фракция	19,2–20,0 [2]	–	–
β -фракция	8,9–10,3 [2]	–	–
γ -фракция	71,9–69,0 [2]	–	–

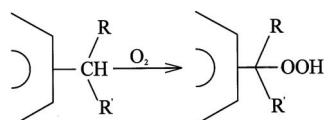
Примечание:

* в квадратных скобках указан литературный источник.

** в знаменателе указаны требования по нормативной документации.

термополимеризацией и термоокислительной деструкцией, которые при низких температурах (< 100 °С) протекают в незначительной степени.

Такой вывод находится в полном согласии с особенностью химического строения продуктов СП – наличием в их составе алкилзамещенных производных, которые при повышенных температурах в результате автоокисления образуют гидроперекиси по реакционноспособным третичным α -углеродным атомам, что снижает стойкость к термоокислительной деструкции из-за фрагментации алкильных цепей перекисных соединений с образованием функционализированных продуктов распада с меньшей молекулярной массой (1).



[11, 12]

Изложенные выше соображения позволяют наметить рациональные области применения битумоподобных вяжущих (СП), в которых не требуется длительное использование температур выше 100:

1. Использование СП взамен традиционных дегтей и дегтеполимерных вяжущих [5, 6].
2. Использование СП в качестве полимерных модификаторов каменноугольных дорожных дегтей [5].
3. Использование СП взамен дорожных битумов в эмульсионных технологиях [2]: уход за свежеложенным цементобетоном и цементогрунтом; подгрунтовка; укрепление поверхности откосов земляного полотна; приготовление черного щебня и щебеночных пористых смесей из карбонатных пород; приготовление эмульсионно-минеральных плотных смесей, в том числе – грунтовых; закрепление подвижных песков; укрепление грунтов верхней части земляного полотна; формирование слоев дорожных одежд методом пропитки.

В то же время СП не следует использовать для поверхностной обработки дорожного покрытия, учитывая их вероятную склонность к фотоокислительной деструкции.

Использование СП в эмульсионных технологиях имеет преимущество перед традиционными битумами (БНД), так как СП по своей химической природе являются прекурсорами анионных ПАВ.

Их поверхностная активность обусловлена наличием карбоксильных групп и может направлено регулироваться (наряду с малакометрическими характеристиками [1]).

4. Использование СП взамен дорожных битумов в эмульсионных гидроизоляционных мастиках [7] и влажных органоминеральных смесях [8].

5. Использование СП в качестве строительных и кровельных битумов, как это уже отмечалось ранее [1].

В тех случаях, когда требуется дополнительная защита поверхности СП от фотоокислительных процессов, можно использовать введение обычного нефтяного битума или минеральных масел, которые будут диффундировать на поверхность СП и защищать ее [1].

При этом поверхностная активность СП (см. выше) обеспечит более высокие их адгезионные свойства по сравнению с традиционными нефтяными битумами [9]. А это, в свою очередь, обеспечит повышение механических характеристик, водостойкости и морозостойкости асфальтобетона [2, 4].

С другой стороны, более высокая вязкость СП (П25, Тр) по сравнению с традиционными дегтями (и даже дегтеполимерными вяжущими) обеспечит улучшение качества дегтебетона [2, с. 246, 255, 263]: повышение механических характеристик (прочность при сжатии, сдвиге, изгибе), водостойкости и морозостойкости.

Есть дополнительный серьезный резерв повышения механических и эксплуатационных свойств асфальтобетонов на битумоподобных вяжущих, связанный с наличием в составе СП карбоксильных групп (см. выше). Это позволяет рассматривать СП не только как олигомер-полимерную [1], но и как реакционноспособную систему. Так, введение в СП эпоксидных олигомеров (или отходов их производства) позволит осуществить регулируемую химическую модификацию СП с целью заданного изменения свойств асфальтополимербетона.

6. Отметим еще две области возможного использования битумоподобных вяжущих (СП), которые базируются на их плохом совмещении с нефтяными битумами [1] и полярностью, о чем сказано выше:

а) создание защитных прослоек между слоями дорожного покрытия с целью предотвращения сульфативных реакций (подробнее об этих процессах [10]).

б) использование СП в качестве адгезива для геосинтетических материалов, которые все шире используются в дорожном строительстве [13, 14].

ВЫВОДЫ

1. Синтетические битумоподобные вяжущие на основе коксохимического сырья являются реакционноспособными олигомер-полимерными системами.

2. Они могут быть использованы взамен нефтяных дорожных, строительных и кровельных битумов со следующими ограничениями: не допускается длительное воздействие температур выше 100 °С и прямое воздействие солнечной радиации.

3. Битумоподобные вяжущие имеют преимущество перед нефтяными битумами при их использовании в эмульсионных технологиях и для химической модификации (в частности, эпоксидными олигомерами).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Битумоподобные вяжущие на основе коксохимического сырья [Текст] / В. И. Братчун, Л. Д. Карат, М. К. Пактер [и др.] // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / МОН України ; ДонНАБА. – Макіївка, 2015. – Вип. 2015-1(111) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 21–26.
2. 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 ред. д. т. н. В. І. Братчуна. – Донецьк : Вид-во «Ноулідж» (Донецьке відділення), 2013. – 338 с. – ISBN 5-7763-0351-6.
3. 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 Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2010. – Вип. 2010-1(81) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 22–34.
4. Органические вяжущие для дорожного строительства [Текст] / С. К. Илиополов, Е. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-нв-Дону : ДорТрансНИИ, РГСУ, 2003. – 428 с.
5. Братчун, В. И. Дорожный дегтеполимербетон [Текст] / В. И. Братчун, В. А. Золотарев, А. Н. Бачурин. – Киев : Вища школа, 1987. – 107 с.
6. Братчун, В. И. Вяжущие материалы в производстве строительных конструкций [Текст] : учебное пособие / В. И. Братчун, В. А. Лысенко. – К. : Вища шк., 1989. – 112 с.
7. Конов, Н. С. О физических и механических свойствах затвердевшей битумополимерсерной эмульсионной мастики [Текст] / Н. С. Коннов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2010. – Вип. 2010-1(81) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 3–10.
8. Оксак, С. В. Влияние содержания воды на свойства бетонов из влажных органоминеральных смесей [Текст] / С. В. Оксак // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2010. – Вип. 2010-1(81) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 95–97.
9. Золотарев, В. А. Особенности влияния содержания полимера типа СБС и ПАВ на адгезионные свойства битумов [Текст] / В. А. Золотарев, С. В. Кудрявцева-Вальдесс // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2010. – Вип. 2010-1(81) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 42–47.
10. Пактер, М. К. Особенности изменения группового состава битума при эксплуатационном старении дорожного покрытия [Текст] / М. К. Пактер // Покращення конструктивних, технологічних та експлуатаційних показників автомобільних доріг і штучних споруд на них у дослідженнях студентів і молодих науковців : Матеріали міжнародної наук.-практ. конф. / Під ред. М-во освіти і науки України, Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – Харків : ХНАДУ, 2014. – С. 273–278.
11. Рахимов, А. И. Химия и технология органических перекисных соединений [Текст] / А. И. Рахимов. – М. : Химия, 1979. – 392 с.
12. Нонхибел, Д. Химия свободных радикалов [Текст] / Д. Нонхибел, Дис. Уолтон. – М. : Мир, 1977. – 606 с.
13. Гамеляк, І. П. Критерії вибору армуючих синтетичних матеріалів при посиленні асфальтобетонного покриття [Текст] / І. П. Гамеляк, В. В. Кострицький, В. Ю. Маналатьєв // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2008. – Вип. 75. – С. 157–166.
14. ГБН В.2.3-37641918-544:2014. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги [Текст] / Міністерство інфраструктури України. – Київ : [б. и.], 2014. – 143 с

Получено 04.12.2015

М. К. ПАКТЕР ^а, Л. Д. КАРАТ ^б, В. І. БРАТЧУН ^а, О. А. СТУКАЛОВ ^а,
Р. В. ПАРАЩЕВІН ^а, Д. Н. ГОНЧАРОВ ^а

СИНТЕТИЧНІ В'ЯЖУЧІ ЯК РЕАКЦІЙНОЗДАТНІ ПОЛІМЕР-ОЛІГОМЕРНІ СИСТЕМИ

^а Донбаська національна академія будівництва і архітектури,

^б ДП «УкрдержНДІпластмас»

Розглянуто синтетичні бітумноподібні в'язучі речовини на основі коксохімічної сировини з позиції їх відношення до підвищеної температури у присутності кисню повітря. Показано, що на відміну від кам'яновугільних дьогтів (являють собою розчини кам'яновугільного пеку у висококиплячих кам'яновугільних маслах) синтетичні в'язучі є реакційноздатними полімер-олігомерними системами. Виходячи з цих уявлень, рекомендовані області їх застосування, зокрема в дорожньому будівництві. Показано, що синтетичні в'язучі можуть бути використані замість дорожніх бітумів в емульсійних технологіях. У цьому випадку вони будуть мати переваги перед традиційними дорожніми бітумами, будучи прекурсорами аніонних ПАР. З цієї ж причини перспективне їх використання як адгезивів для геосинтетичних матеріалів в дорожньому будівництві.

синтетичні бітумноподібні в'язучі речовини, термоокислювальна стабільність, реакційноздатні полімер-олігомерні системи, дорожнє будівництво, емульсійні технології

MIXAIL PAKTER ^a, LEONID KARAT ^b, VALERY BRATCHUN ^a,
ALEKSANDR STUKALOV ^a, ROMAN PARASCHEVIN ^a, DMITRIY GONCHAROV ^a
SYNTHETIC KNITTING AS A REACTIVE POLYMER-OLIGOMERIC SYSTEM

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

We consider these synthetic bitumen binders on the basis of raw material coke in terms of their relationship to the elevated temperature in the presence of oxygen. It is shown that unlike coal tar (tar pitch are solutions in high-boiling coal tar oils), synthetic binders are oligomeric reactive polymer systems. Based on these ideas, we recommended in application, in particular in the road construction. It is shown that synthetic binders can be used instead of a road bitumen emulsion technology. In this case, they will have the advantage over the traditional road bitumen, as a precursor of the anionic surfactant. For the same reason perspective their use as adhesives for geosynthetics in road construction.

bitumen synthetic binders, thermal stability, reactive polymer-oligomeric systems, road construction, emulsion technology

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.

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

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.

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.

Парашевин Роман Валерійович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Гончаров Дмитро Миколайович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

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.

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.

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.

Стукалов Александр Анатольевич – ассистент 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 модифицирования органических вяжущих.

Паращевин Роман Валерьевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Гончаров Дмитрий Николаевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Pakter Mixail – Ph.D. (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.

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

Bratchun Valery – D.Sc. (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.

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.

Paraschevin Roman – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of technogenic raw materials in road building.

Goncharov Dmitriy – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of technogenic raw materials in road building.

УДК 691.16

М. К. ПАКТЕР, И. В. КАНДАЕВА, И. П. ЖУКОВ, А. Ю. МИРОНЕНКО, Т. С. ВОВК, А. В. МИРОШНИЧЕНКО
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

О РАСЧЕТНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ХРУПКОСТИ БИТУМОВ И БИТУМОПОДОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложен способ уменьшения погрешности при расчетном определении температуры хрупкости битумов (T_{xp}) по методу С. Л. Вдовиченко (по Π_{25} и T_p) за счет использования корреляций расчетных и экспериментальных значений T_{xp} . Показано, что эти корреляции различаются для битумов различного происхождения. Предложенный способ позволяет использовать метод С. Л. Вдовиченко также для расчетного определения T_{xp} модифицированных вязких дорожных битумов и синтетических битумоподобных вяжущих.

вязкие дорожные битумы, битумы, модифицированные полимерами (БМП), битумоподобные вяжущие вещества, температура хрупкости битумов

Температура хрупкости битума (T_{xp}) – важный показатель его качества, поскольку является нижней границей интервала пластичности, а также – нижним температурным пределом эксплуатационного применения асфальтобетонных дорожных покрытий [1]. Этот показатель нормируется ДСТУ 4044-2001 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия».

Вместе с тем экспериментальное определение T_{xp} по Фраасу (ГОСТ 11507-78 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу») связано с серьезными погрешностями, которые могут достигать 1...5 °C [1].

В качестве альтернативы экспериментальному определению T_{xp} предложены аналитические (расчетные методы), исходными данными для которых служат характеристики физических свойств битумов (температура размягчения T_p , пенетрация при 25 °C (Π_{25}) и 0 °C, индекс пенетрации, динамическая вязкость, эквивалентные температуры для $\Pi = 31$ дмм и $\Pi = 800$ дмм) [1–7].

Однако и эти расчетные методы связаны с погрешностью в несколько градусов.

Цель данной работы – наметить подходы к уменьшению этих расчетных погрешностей при определении аналитическим (расчетным) методом температуры хрупкости дорожных битумов.

В настоящее время отсутствует единое мнение о том, каким фундаментальным свойствам битума соответствует T_{xp} [1]. Однако это температура, близкая к температуре стеклования, при которой отсутствует сегментальная подвижность крупных молекул и перескоки мономерных молекул. Согласно [5, 8] T_p битума соответствует вязкость $\eta_{Tp} \approx 1\,500$ Па·с, а $\eta_{Tp} \approx 10^{11} \dots 10^{12}$ Па·с. В свою очередь, вязкость связана с пенетрацией при температуре ее измерения [5, 9].

Отсюда следует связь T_{xp} с вязкостью, а через нее – с T_p и пенетрацией (и совсем не обязательно с Π_{25}). Поскольку вязкость и связанные с ней свойства битумов зависят от их группового химического состава (ГХС), молекулярной массы, строения и полярности групповых компонентов, распределения их по молекулярным массам (ММР) и типам функциональностей (РТФ) [5, 9–13], нетрудно понять, что предложенные расчетные методы не могут обеспечить высокую точность определения T_{xp} для битумов различного происхождения и состава.

Однако можно предположить, что применение расчетного метода к битумам-аналогам (имеющим сходный ГХС и близкие по своим параметрам компоненты) может быть скорректировано таким образом, что обеспечит приемлемую точность определения T_{xp} .

Для проверки этого предположения мы использовали метод С. Л. Вдовиченко [6, 7] применительно к вязким дорожным битумам (по ДСТУ 4044-2001); битумам, модифицированным полимерами, и синтетическим битумоподобным вяжущим [14].

© М. К. Пактер, И. В. Кандаева, И. П. Жуков, А. Ю. Мироненко, Т. С. Вовк, А. В. Мирошниченко, 2016

Расчет выполнялся по методике и номограммам, приведенным в работе [7]: по значениям Π_{25} и T_p для данного образца битума находили коэффициент теплочувствительности битума (K_T) по соответствующей номограмме. Затем по номограмме для определения температуры хрупкости находили T_{xp} , используя найденный K_T и T_p в качестве входных параметров.

Коэффициент теплочувствительности битума K_T определяется как отношение перепада уровней вязкости при температуре определения пенетрации (25°C) и T_p (метод К и Ш) к величине этого температурного интервала (выраженного разностью обратных температур) [6]:

$$K_T = \frac{\lg \eta_{25} - \lg \eta_{T_p}}{\left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273 + T_p} \right)}$$

Эта формула подтверждает приведенные выше рассуждения о связи T_{xp} с Π_{25} и T_p через вязкость битума и о неизбежности отклонений расчетных значений T_{xp}^p от экспериментальных T_{xp}^3 .

В табл. 1 приведен пример такого расчета (исходные данные взяты из [15, с. 214 / табл. 10.11]).

Таблица 1 – Расчет T_{xp} по методике [6, 7]

Битум	Π_{25} , дмм	T_p , $^\circ\text{C}$	T_{xp}^3 , $^\circ\text{C}$	K_T	T_{xp}^p , $^\circ\text{C}$	T_{xp}^H , $^\circ\text{C}$	ΔT_{xp}^p , $^\circ\text{C}$	ΔT_{xp}^H , $^\circ\text{C}$
БНД 40/60	53	53	-17	0,81	-13	-10	-4	-3
БНД 60/90	75	49	-19	0,82	-14	-12	-5	-2
БНД 90/130	96	47	-21	0,80	-16	-15	-5	-1
БНД 130/200	145	43	-23	0,78	-20	-17	-3	-3

Здесь $\Delta T_{xp}^p = T_{xp}^3 - T_{xp}^p$, $\Delta T_{xp}^H = T_{xp}^p - T_{xp}^H$, T_{xp}^H – максимально допустимое значение T_{xp} по ДСТУ 4044-2001.

Как видно из табл. 1, расчет дает завышенное значение T_{xp}^p по сравнению с фактическим (T_{xp}^3) и заниженное, по сравнению с максимально допустимым (T_{xp}^H). Такой вариант вполне приемлем для входного и операционного контроля T_{xp} битумов производственными дорожными лабораториями (вместо экспериментального определения, как это предполагается рядом авторов [1, 6, 7]).

На рис. 1а приведены парные линейные корреляции между T_{xp}^3 и T_{xp}^p для битумов из табл. 1 [15] и битумов другого происхождения, но также удовлетворяющих требованиям ДСТУ 4044 (взяты из [5]), прямые обозначены I и II, соответственно.

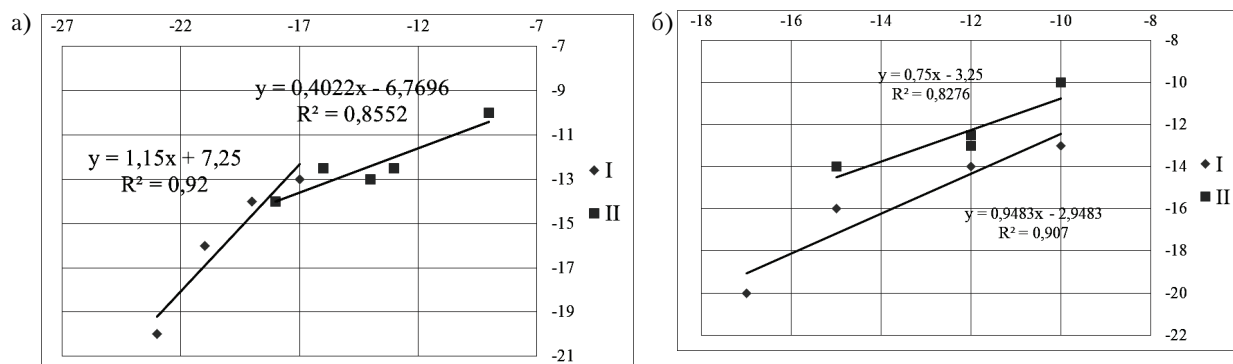


Рисунок 1 – Корреляции между значениями T_{xp} : а) корреляции между значениями T_{xp}^3 (ось абсцисс) и T_{xp}^p (ось ординат); б) то же между T_{xp}^H (ось абсцисс) и T_{xp}^p (ось ординат).

Как видно из рис. 1а, коэффициент корреляции (R) и детерминации (R^2) достаточно высоки в обоих случаях, что подтверждает определяющее влияние структурных параметров битумов (которые находят отражение в температурной зависимости вязкости через показатели Π_{25} и T_p) на T_{xp} . Однако различие в ГХС, ММР, РТФ и т. д., приводят к разному отличию этих зависимостей, не говоря уже о том, что Π_{25} и T_p не могут в полной мере характеризовать изменение вязкости с изменением температуры.

На рис. 16 представлены корреляции T_{xp}^p (T_{xp}^n) для тех же образцов битума (I и II). Здесь тоже наблюдаются хорошие корреляции, а линии регрессии почти параллельны. Это подтверждает предположение о том, что для битумов различной природы (состава, структурной организации) должны существовать различные уравнения регрессии $T_{xp}^p = f(P_{25}, T_p)$.

На рис. 2 приведены корреляции T_{xp}^p (T_{xp}^n) для битумоподобных вяжущих из работы [14]. И даже в этом случае получена очень хорошая корреляция, хотя битумоподобные вяжущие по своей природе не являются нефтяными битумами, а получены из коксохимического сырья ароматической природы.

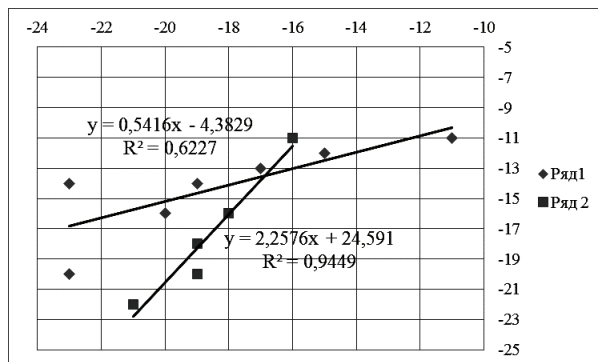


Рисунок 2 – Корреляции между значениями T_{xp}^p и T_{xp}^n для битумов вязких дорожных [5] (ряд 1) и битумоподобных вяжущих [14] (ряд 2).

Аналогичная корреляция имеет место для модифицированных битумов (рис. 3). Для битумов, модифицированных блоксополимером «стирол – бутадиен – стирол» (СБС) корреляция заметно хуже (рис. 3 (ряд 1)). Скорее всего, это связано со сложными закономерностями процесса взаимодействия полимера СБС с ГХС, битума, что отражается на мицеллярной структуре модифицированных битумов (тем более, что корреляция не обязательно должна быть линейной).

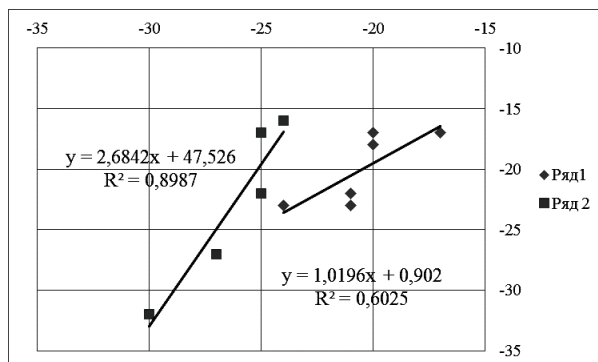


Рисунок 3 – Корреляции между значениями T_{xp}^p и T_{xp}^n для битумов, модифицированных СБС [15, с. 215] (ряд 1) и олигомерным каучуком с инициатором полимеризации [5, с. 213] (ряд 2).

Полученные корреляционные зависимости сведены в табл. 2.

Как видно из рисунков и табл. 2, наблюдаются значительные отклонения расчетных значений (T_{xp}^p) от экспериментальных (T_{xp}^n). Но для битумов-аналогов (по составу и строению) имеет место высокая степень корреляции между T_{xp}^p и T_{xp}^n .

Следовательно, для снижения погрешностей расчета T_{xp} (по показателям P_{25} и T_p) при постоянном поставщике битума (полученном на одном сырье и по одной технологии) можно воспользоваться такой корреляцией.

Таблица 2 – Параметры линейных корреляций

№ п/п	Характеристика образца	Источник данных	Рисунок (линия)	a_0	b	R	R^2
1	Битумы нефтяные вязкие дорожные	[15, с. 214]	1a (I)	+7,25	1,15	0,96	0,920
2		[5]	1a (I)	-6,77	0,40	0,92	0,850
3		[5]	2 (I)	-4,38	0,55	0,79	0,629
4	БМП (СБС)	[15, с. 215]	3 (I)	+0,90	1,02	0,78	0,603
5	БМП (олигомерный каучук с инициатором)	[5, с. 213]	3 (2)	+47,53	2,68	0,95	0,899
6	Битумоподобные вяжущие	[14]	2 (2)	+24,59	2,26	0,97	0,945

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пыриг, Я. И. Определение температуры хрупкости графо-экспериментальным методом [Текст] / Я. И. Пыриг // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2011. – Вип. 2011-1(87) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 147–150.
2. Золотарев, В. А. Обобщенные температурно-пенетрационные зависимости дорожных битумов [Текст] / В. А. Золотарев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. – № 1. – С. 21–26.
3. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы [Текст] / Р. Б. Гун. – М. : Химия, 1973. – 432 с.
4. Применение ЯМР-релаксационных явлений в исследованиях свойств дорожных битумов [Текст] / Р. С. Кашаев, А. Ф. Кемалов, Р. З. Фахрутдинов, И. Н. Дияров // Проблемы производства и применения дорожных битумов : Труды Российской научно-практической конф. / Казанский гос. арх.-строит. ун-т. – Казань : [б. и.], 2001. – С. 124.
5. Органические вяжущие для дорожного строительства [Текст] / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова, Е. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-на-Дону : ДорТрансНИИ, РГСУ, 2003. – 428 с.
6. Вдовиченко, С. Л. Исследование методов оценки и способа повышения долговечности по трещиностойкости асфальтобетонных покрытий в условиях БССР [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. Л. Вдовиченко. – Минск : БПИ, 1972. – 24 с.
7. Ремез, Н. И. Безаппаратурный метод оценки температуры хрупкости битумов [Текст] / Н. И. Ремез, Я. Н. Ковалев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 4. – С. 19–21.
8. Испытание дорожно-строительных материалов [Текст] / В. А. Золотарев, В. И. Братчун, А. В. Космин [и др.] ; под ред. В. А. Золотарева, А. В. Космина. – Харьков : ХНАДУ, 2012. – 368 с.
9. Радовский, Б. С. Конструирование и расчет дорожных одежд в первой половине XX столетия [Текст] : часть I / Б. С. Радовский // Дорожная техника : каталог-справочник. – СПб. : Славутич, 2013. – С. 96–123.
10. Кутын, Ю. А. О взаимосвязи между качеством сырья и свойствами битумного вяжущего и об участии нефтепереработки в производстве полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) [Текст] / Ю. А. Кутын, Э. Г. Теляшев, Х. Мушреф // Дорожная техника : каталог-справочник. – СПб. : Славутич, 2013. – С. 44–47.
11. Гохман, Л. М. Прочная взаимосвязь качества битумов и структуры сырья, применяемого для их производства [Текст] / Л. М. Гохман, Е. М. Гуракий, А. Р. Давыдова // Автомобильные дороги. – 2011. – № 01(950). – С. 77–83.
12. Печеный, Б. Г. Битумы и битумные композиции [Текст] / Б. Г. Печеный. – М. : Химия, 1990. – 256 с.
13. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1972. – 264 с.
14. Битумоподобные вяжущие на основе коксохимического сырья [Текст] / В. И. Братчун, Л. Д. Карат, М. К. Пактер [и др.] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2015. – Вип. 2015-1(111) : Современные строительные материалы. – С. 21–25.
15. 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. – Донецьк : Вид-во «Ноулідж» (Донецьке відділення), 2013. – 338 с. – ISBN 5-7763-0351-6.

Получено 07.12.2015

М. К. ПАКТЕР, І. В. КАНДАЄВА, І. П. ЖУКОВ, А. Ю. МИРОНЕНКО, Т. С. ВОВК,
А. В. МИРОШНИЧЕНКО
ПРО РОЗРАХУНКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КРИХКОСТІ
БІТУМІВ І БІТУМОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Запропоновано спосіб зменшення похибки при розрахунковому визначенні температури крихкості бітумів (T_{xp}) за методом С. Л. Вдовиченко (по P_{25} і T_p) за рахунок використання кореляцій розрахункових

і експериментальних значень T_{xp} . Показано, що ці кореляції розрізняються для бітумів різного походження. Запропонований спосіб дозволяє використовувати метод С. Л. Вдовиченко також для розрахункового визначення T_{xp} модифікованих в'язких дорожніх бітумів і синтетичних бітумоподібних в'язких.

в'язкі дорожні бітуми, бітуми, модифіковані полімерами (БМП), бітумно подібні в'язучі речовини, температура крихкості бітумів

MIXAIL PAKTER, IRYNA KANDAIEVA, ILYA ZHUKOV, ANASTASIA
MIRONENKO, TATYANA VOVK, ALENA MIROSHNICHENKO
ESTIMATED DETERMINING THE TEMPERATURE BRITTLENESS OF
BITUMEN AND BITUMEN MATERIALS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

A method for reducing errors in determining the estimated temperature brittleness of bitumen (T_{xp}) method S. L. Vdovichenko (by P_{25} and T_r) by using the correlation between the calculated and experimental values T_{xp} has been suggested. It is shown that these correlations are different for bitumen of different origin. The proposed method makes it possible to use the method of S. L. Vdovichenko for determining the estimated T_{xp} modified viscous road bitumen and synthetic like bitumen binders.

viscous bitumen road, bitumen, modified polymers (BMP), like bitumen binders, temperature brittleness 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; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Кандаєва Ірина Василівна – магістрант, майстер виробничого навчання кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інноваційні технології ремонту та реконструкції мостів.

Жуков Ілля Павлович – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Мироненко Анастасія Юріївна – студент Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Вовк Тетяна Сергіївна – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення впливу фізичних та хімічних факторів на процеси зміни фізико-механічних властивостей і довговічності асфальтобетону.

Мирошниченко Альона Василівна – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вивчення впливу фізичних та хімічних факторів на процеси зміни фізико-механічних властивостей і довговічності асфальтобетону.

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.

Кандаева Ирина Васильевна – магистрант, мастер производственного обучения кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: инновационные технологии ремонта и реконструкции мостов.

Жуков Илья Павлович – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Мироненко Анастасия Юрьевна – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Вовк Татьяна Сергеевна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение влияния физических и химических факторов на процессы изменения физико-механических свойств и долговечности асфальтобетона.

Мирошниченко Алена Васильевна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: изучение влияния физических и химических факторов на процессы изменения физико-механических свойств и долговечности асфальтобетона.

Pakter Mixail – Ph.D. (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.

Kandaieva Iryna – graduate student, master of industrial training, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: innovative technology of bridge repair and reconstruction.

Zhukov Ilya – 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.

Mironenko Anastasia – 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.

Vovk Tatyana – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: study of the influence of physical and chemical factors on the processes of change of physico-mechanical properties and durability of asphalt concrete.

Miroshnichenko Alena – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: study of the influence of physical and chemical factors on the processes of change of physical-mechanical properties and durability of asphalt concrete.

УДК 625.855.4

Е. А. РОМАСЮК, В. Л. БЕСПАЛОВ, Д. В. ГУЛЯК, А. Г. ДОЛЯ, В. П. ДЕМЕШКИН, Ю. В. БЕЛОУС, Л. А. КУРКЧИ
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ВЛИЯНИЕ АГРЕССИВНЫХ СРЕД НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В работе исследовано влияние агрессивных сред в виде водных растворов солей, кислот и попеременного замораживания-оттаивания на усталостную долговечность асфальтобетонных покрытий под действием динамических нагрузок. Установлено, что наибольшей устойчивостью к воздействию агрессивных сред обладают асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой, которая включает введение полимерных добавок в органические вяжущие и активацию поверхности минеральных материалов растворами полимеров.

асфальтобетон, усталостная долговечность, модификатор, агрессивная среда

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Основной причиной снижения сроков службы асфальтобетонных покрытий дорог является возникновение деформаций и разрушений под действием механических напряжений от транспортных средств и агрессивных растворов (чаще всего антигололедных реагентов), что связано с недостаточной коррозионной устойчивостью применяемых асфальтобетонных покрытий. Асфальтобетон разрушается главным образом при длительном или попеременном увлажнении – высыхании, а также в результате попеременного замораживания и оттаивания [1–3]. Вода, замерзающая в порах асфальтобетона, увеличиваясь в объеме на 9 %, вызывает напряжения растяжения в стенках пор и внутреннее разуплотнение структуры материала при попеременном замораживании – оттаивании [4, 5]. Химическая стойкость асфальтобетонного покрытия в отношении агрессивных сред определяется способностью битума противостоять агрессивной среде, степени водонасыщения и набухания в агрессивной среде, коэффициентом диффузии, характеризующим скорость проникновения среды в покрытие, устойчивостью к агрессивной среде минерального материала, сохранением прочностных свойств асфальтобетона.

Химические реагенты, находящиеся в воде, взаимодействуют с компонентами асфальтобетона, разрушают его структуру и снижают важнейшие показатели его технических свойств. Эти процессы приводят к увеличению количества полярных групп и растворимости отдельных компонентов битума, вызывая изменения в групповом составе органического вяжущего, это приводит в дальнейшем к химическому взаимодействию и вымыванию растворимых продуктов реакции карбоната кальция из тонкодисперсного известнякового наполнителя. Действие динамических нагрузок способствует еще большему раскрытию трещин. Это приводит к более интенсивному проникновению агрессивных сред внутрь структуры материала и тем самым значительно снижает усталостную долговечность асфальтобетона [6, 7].

В исследованиях ХНАДУ [1, 2] показано, что под влиянием воды, растворов солей (NaCl), кислот (H_2SO_4 , HCl) и ПАВ разрушение асфальтобетона происходит в результате локальных разрушений битумной пленки с последующим прониканием агрессивных сред сквозь битумную прослойку и дальнейшему развитию трещин по адгезионным связям. Характерно, что интенсивность развития трещин зависит от вязкости битума, его содержания, адгезии к минеральным материалам, гранулометрического состава и плотности асфальтобетона, а также от температурного фактора [1–5].

В связи с этим представляет интерес изучение влияния агрессивных сред на усталостную долговечность стандартных и модифицированных асфальтовых бетонов под воздействием кратковременных циклических нагрузок.

© Е. А. Ромасюк, В. Л. Беспалов, Д. В. Гуляк, А. Г. Доля, В. П. Демешкин, Ю. В. Белоус, Л. А. Куркчи, 2016

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве базового битума для приготовления дорожных асфальтобетонов принят БНД 60/90 Павлодарского НПЗ, дата изготовления – март 2012 г. (паспорт качества № 6 от 29.03.2012) асфальтобетоны типов «А» и «Б» (составы В. А. Золотарева) [1]; асфальтобетон типа «Б», комплексно-модифицированный этиленглицидилакрилатом (битум модифицирован 2 % мас. Elvaloy-AM и 0,5 % мас. полифосфорной кислоты ПФК-105, и поверхностно-активированные минеральные материалы: 0,7 % мас. Elvaloy-AM); щебеночно-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 поверхностно-активированный 0,5 % мас. СКМС-30 [8, 9].

Гранулометрический состав минеральной части принятых асфальтобетонов представлен полными остатками на соответствующих ситах (мм). Асфальтобетон типа «А» (состав проф. В. А. Золотарева): 15...10 – 29 %; 10...5 – 21 %; 5,0...2,5 – 15 %; 2,50...1,25 – 1 %; 1,25...0,63 – 8 %; 0,630...0,315 – 11 %; 0,315...0,140 – 5 %; 0,140...0,071 – 3 %; минеральный порошок – 7 %. Тип «Б» (состав проф. В. А. Золотарева): 15...10 – 22,8 %; 10...5 – 17,2 %; 5,0...2,5 – 17,2 %; 2,50...1,25 – 12,8 %; 1,25...0,63 – 8,3 %; 0,630...0,315 – 6,5 %; 0,315...0,140 – 4,8 %; 0,140...0,071 – 3,2 %; минеральный порошок – 7,2 %. Литой асфальтобетон (состав проф. В. И. Братчуна): 15...10 – 22,8 %; 10...5 – 17,2 %; 5,0...2,5 – 12,8 %; 2,50...1,25 – 12,8 %; 1,25...0,63 – 7,3 %; 0,630...0,315 – 6,5 %; 0,315...0,140 – 3,1 %; 0,140...0,071 – 0 %; минеральный порошок – 17,5 %. Состав ЩМА-10: 15...10 – 50 %; 10...5 – 25 %; 5,0...2,5 – 5 %; 2,50...1,25 – 2 %; 1,25...0,63 – 2 %; 0,630...0,315 – 2 %; 0,315...0,140 – 2 %; 0,140...0,071 – 2 %; минеральный порошок – 10 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Из рис. 1 (нагрузка частотой в 1 Гц, напряжение – 0,40–0,45 МПа при температуре 20 °С) следует, что водонасыщение негативно влияет на усталостную долговечность. Уменьшение количества циклов до разрушения у стандартного горячего асфальтобетона типа «Б» после 30 суток водонасыщения составляет более 30 %. Значительно более стойкими к водной среде оказались асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой. Снижение количества циклов до разрушения асфальтобетона комплексно-модифицированного этиленглицидилакрилатом марки Elvaloy-AM составило не более 10 %. Модифицированный литой асфальтобетон закономерно имеет большую стойкость к действию водонасыщения (снижение долговечности составило около 2 %). Это свидетельствует о том, что комплексная модификация структуры литого асфальтобетона бутадиевметилстирольным каучуком приводит к повышению адгезии и когезии структурированного модифицированного вяжущего, что позволило значительно снизить количество внутрискруктурных пор и пустот в бетоне и, следовательно, повысить плотность модифицированного асфальтобетона и снизить водонасыщение и набухание композиционного материала [5, 8, 10].

На рис. 2 показано влияние количества циклов до разрушения (нагрузка частотой в 1 Гц, напряжение – 0,40–0,45 МПа при температуре 20 °С) исследуемых асфальтобетонов после 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания:

- 1) замораживание – в течение 12 ч при температуре минус 18 °С;
- 2) оттаивание (полное размораживание) – в течение 12 ч при комнатной температуре в воде с температурой 18–23 °С.

После 20 циклов попеременного замораживания-оттаивания усталостная долговечность горячего асфальтобетона типа «Б» снизилась более чем на 50 %; долговечность асфальтобетона с комплексно-модифицированной структурой Elvaloy-AM снизилась на 25 %; комплексно-модифицированного литого асфальтобетона – на 20 %.

В качестве агрессивных химических сред, с целью исследования их влияния на долговечность асфальтобетона, были приняты: вода, 5%-й раствор соли (NaCl), 2%-й раствор соляной кислоты (HCl) в соответствии с исследованиями, выполненными под руководством проф. В. А. Золотарева в ХНАДУ [1, 2]. Результаты испытаний приведены на рис. 3.

Хлориды, содержащиеся в растворах солей и кислот, способствуют более глубокому прониканию растворов в поры и микротрещины асфальтобетона, значительно ослабляя тем самым прочность коагуляционных контактов. При этом величина насыщения и набухания асфальтобетона раствором соли NaCl в 1,5 раза выше, чем водой. По этой причине усталостная долговечность мелкозернистого асфальтобетона после 15 суток выдерживания в водном растворе NaCl и HCl снижается на 15...20 % [3, 6, 7].

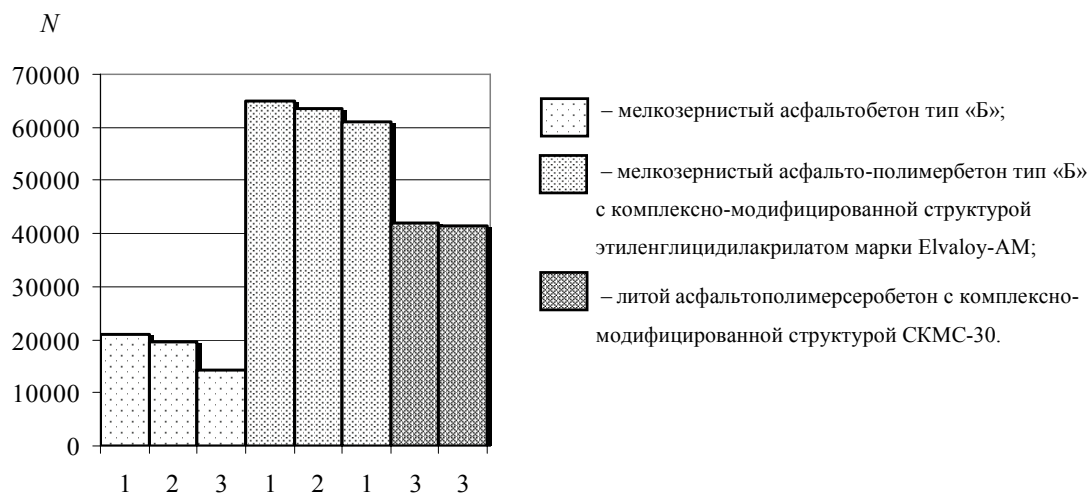


Рисунок 1 – Сравнение значений усталостной долговечности различных типов асфальтобетонов (N) в зависимости от времени водонасыщения: 1 – без водонасыщения; 2 – после 15 суток водонасыщения; 3 – после 30 суток водонасыщения.

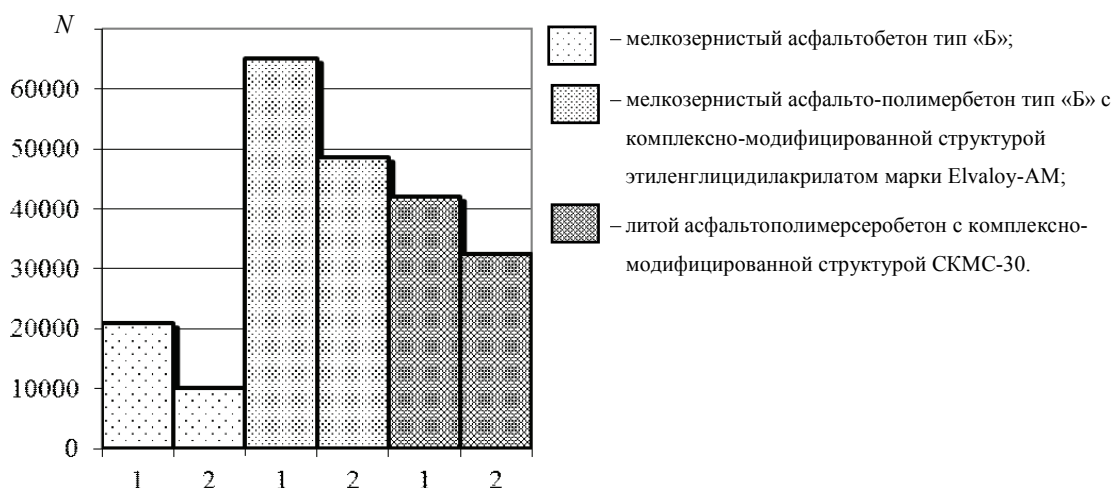


Рисунок 2 – Зависимость усталостной долговечности различных типов асфальтобетонов (N) после попеременного замораживания-оттаивания: 1 – без замораживания-оттаивания; 2 – после 20 циклов замораживания-оттаивания.

Таким образом, асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой характеризуются более высокой усталостной долговечностью при действии различных агрессивных сред.

ВЫВОДЫ

Исследована усталостная долговечность асфальтобетонов при действии различных агрессивных сред (вода, растворы солей и кислот). Наиболее устойчивым к действию агрессивных сред является литой асфальтобетон с комплексно-модифицированной структурой, в котором битум модифицирован 2,0 % мас. бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 + 30 % технической серы, а минеральный порошок поверхностно активирован 0,5 % мас. бутадиен-метилстирольным каучуком СКМС-30.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов [Текст] / В. А. Золотарев. – Харьков : Вища школа, 1977. – 116 с.
2. Ефремов, С. В. Долговечность асфальтобетона под действием нагрузок и агрессивных сред [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / С. В. Ефремов. – Харьков, 2010. – 217 с.

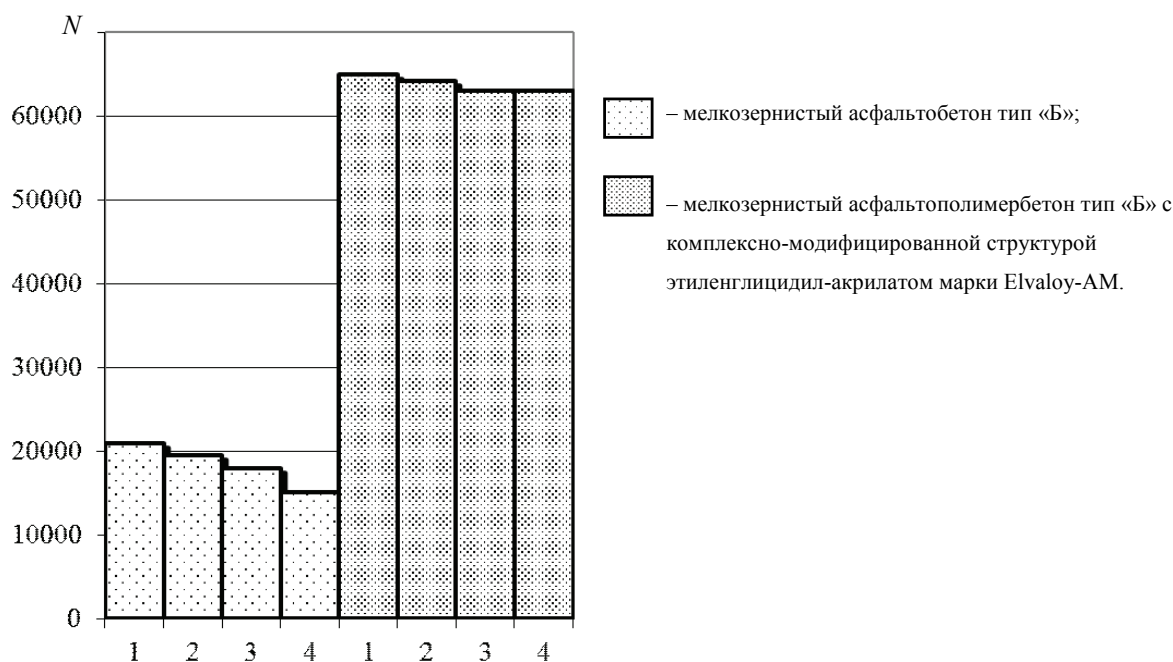


Рисунок 3 – Сравнение значений усталостной долговечности различных типов асфальтобетонов (N) в зависимости от действия на них в течение 15 суток агрессивных сред: 1 – воздух; 2 – вода; 3 – водный раствор 5 % NaCl; 4 – водный раствор 2 % HCl.

- Струганов, Е. В. Влияние антигололедных реагентов на коррозионную устойчивость асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст] / Е. В. Струганов, Г. С. Меренцова // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2011. – № 1. – С. 273–276.
- Гончаренко, В. И. Термическая и динамическая усталость дорожного асфальтового бетона [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / В. И. Гончаренко. – Макеевка, 1983. – 176 с.
- Оценка влияния активированных минеральных порошков и полимерных модификаторов на температуру хрупкости асфальто вяжущего вещества [Текст] / Е. А. Ромасюк, В. И. Братчун, В. В. Гончаренко, Ахмед Талиб Мутташар Мутташар // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка : ДонНАБА, 2013. – Вип. 2013-1(99) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 84–91.
- Седов, А. В. Влияние агрессивных сред противогололедных материалов на разрушение асфальтобетонных покрытий от знакопеременных температур и циклических нагрузок [Текст] / А. В. Седов // Вестник ХНАДУ. – Харьков : ХНАДУ, 2006. – № 34-35. – С. 48–51.
- Подольский, В. П. Коррозионная устойчивость асфальтобетонов с использованием минерального порошка из углеродсодержащих материалов [Текст] / В. П. Подольский, А. В. Ерохин // Научный Вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – Воронеж, 2008. – № 1. – С. 249–252.
- Ахмед, Талиб Мутташар Мутташар. Модифицированные асфальтобетонные смеси для устройства покрытий нежестких дорожных одежд в климатических условиях республики Ирак [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Ахмед Талиб Мутташар Мутташар. – Макеевка, 2013. – 168 с.
- Эль-Хаг, Адиль Ибрагим. Дорожные асфальтополимерсеробетоны для региональных условий республики Судан [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Эль-Хаг Адиль Ибрагим. – Макеевка, 1998. – 138 с.
- Романюк, Е. А. Физические свойства и деформационно-прочностные характеристики комплексно-модифицированных асфальто вяжущих веществ [Текст] / Е. А. Ромасюк // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка : ДонНАБА, 2014. – Вип. 2014-1(105) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 17–23.

Получено 08.12.2015

Є. О. РОМАСЮК, В. Л. БЕСПАЛОВ, Д. В. ГУЛЯК, А. Г. ДОЛЯ, В. П. ДЕМЕШКІН,
Ю. В. БЕЛОУС, Л. О. КУРКЧИ

ВПЛИВ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ
АСФАЛЬТОБЕТОНІВ ПІД ДІЄЮ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У роботі досліджено вплив агресивних середовищ у вигляді водних розчинів солі, кислот і поперемінного заморожування-відтавання на втомну довговічність асфальтобетонів під дією динамічних навантажень. Встановлено, що найбільшу стійкість до впливу агресивних середовищ мають асфальтобетони з комплексно-модифікованою структурою, яка включає введення полімерних добавок в органічні в'язучі і активацію поверхні мінеральних матеріалів розчинами полімерів.

асфальтобетон, втомна довговічність, модифікатор, агресивне середовище

EVGENY ROMASYUK, VITALY BESPALOV, DENIS GULYAK, ANATOLIY DOLYA,
VALENTIN DEMESCHKIN, YULIA BELOUS, LIDIA KURKCHI

THE IMPACT OF AGGRESSIVE MEDIA ON THE DURABILITY OF ASPHALT
CONCRETE UNDER DYNAMIC LOADS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper considers the influence of aggressive media in the form of aqueous solutions of salts, acids, and alternate freezing and thawing on the fatigue life of asphalt concrete under dynamic loads. It was found out that the greatest resistance to aggressive media possess the asphalt concrete with the complex – a modified structure, which includes the introduction of polymer additives in organic binders and activating the surface of mineral materials Polymer Solutions.

asphalt concrete, the fatigue life, modifier, aggressive environment

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

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

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 нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

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.

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

Белоус Юлія Вікторівна – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Куркчи Лідія Олександрівна – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Ромасюк Евгений Александрович – ассистент 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 модифицирования 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 технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

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.

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.

Белоус Юлия Викторовна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Куркчи Лидия Александровна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Romasyuk Evgeny – 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.

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

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

Dolya Anatoliy – Ph.D. (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.

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 technogenic raw material in the components of materials of compositions.

Belous Yulia – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of technogenic raw materials in road building.

Kurkchi Lidia – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of technogenic raw materials in road building.

УДК 666.972.55

И. Ю. ПЕТРИК, Н. М. ЗАЙЧЕНКО, А. И. СЕРДЮК

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ВЫСОКОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЕТОНЫ С ОБОГАЩЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИЕЙ ЗОЛЫ-УНОСОМ ТЭС

Разработана экспериментальная установка для обогащения золы-уноса ТЭС электрической сепарацией с целью применения в составах высокофункциональных бетонов, в которых частичная замена портландцемента золой-уносом составляет более 50 %. Способ обогащения основан на обработке золы-уноса, содержащей частицы с различными электроповерхностными свойствами, в высоковольтном электрическом поле. Установлено, что дисперсность золы, а также содержание несгоревших угольных частиц (ППП) после обработки в электрическом сепараторе свободного падения имеют неодинаковую величину для проб, отобранных из различных зон сепаратора относительно положения электродов. Пробы, отобранные с катода и ячеек, близких к катоду, содержат наибольшее количество несгоревшего углерода. Более высокая величина остатка на сите № 008 для проб из центральных ячеек свидетельствует о недостаточно высокой напряженности электрического поля, необходимой для отклонения частиц от вертикальной траектории в сторону действия силовых полей электродов. Установлено положительное влияние электросепарированной золы, используемой в качестве частичной замены портландцемента, на снижение водопотребности цементно-зольных паст и бетонных смесей. Повышение подвижности бетонной смеси в результате слабого пластифицирующего действия электросепарированной золы-уноса может частично компенсировать снижение прочности бетона, который в своем составе содержит большое количество золы взамен портландцемента (50 % и больше), особенно в ранние сроки твердения.

высокофункциональный бетон, зола-унос ТЭС, потери при прокаливании, электрическая сепарация, электрический заряд, электростатическое поле, подвижность

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Под термином «высокофункциональные бетоны» (High Performance Concretes) объединены многокомпонентные бетоны, характеризующиеся комплексом улучшенных технологических, физико-механических и эксплуатационных свойств, таких как: высокая прочность, долговечность, морозостойкость; низкий коэффициент истираемости; уменьшенное тепловыделение при твердении; надежные защитные свойства по отношению к стальной арматуре; высокая коррозионная стойкость, стабильность объема [8]. Основной особенностью высокофункциональных бетонов является прежде всего повышенный расход цемента, а также низкое значение водоцементного фактора и высокое значение отношения «цементная паста – заполнитель». Это обуславливает повышенный риск раннего трещинообразования вследствие термических напряжений при тепловыделении цемента в массивных конструкциях, высокие значения аутогенной и влажностной усадки. Обязательным условием получения высокофункциональных бетонов является применение в их составах минеральных (пуццолановых) добавок в большом количестве взамен части портландцемента, например золы-уноса ТЭС [1, 13].

В составах обычных бетонов содержание золы-уноса, применяемой взамен части портландцемента, как правило, не превышает 15–20 %. Однако в этом случае не решаются проблемы повышения сульфатостойкости бетона, стойкости к щелочной коррозии заполнителей и термического трещинообразования [15].

Канадским институтом «CANMET» (V. M. Malhotra, P. K. Mehta [6, 7]) разработаны составы бетонов с высоким содержанием золы-уноса (50–60 % в составе вяжущего) – High-Volume Fly Ash Concretes (HVFAС). Достижение такими бетонами высоких показателей физико-механических

© И. Ю. Петрик, Н. М. Зайченко, А. И. Сердюк, 2016

свойств и долговечности основывается на следующих принципах: расход золы взамен части портландцемента составляет не менее 50 % в составе вяжущего; содержание воды затворения не более 130 л/м³; расход портландцемента не более 200 кг/м³. В то же время при высоком содержании в составе бетона золы-уноса замедляется рост прочности бетона в раннем возрасте. Реакция золы с гидроксидом кальция в основном протекает в первые 3–7 суток с образованием продуктов гидратации в виде низкоосновных гидросиликатов кальция с более низким соотношением (C/S). Однако большое количество непрореагировавшей золы остается после 91 суток твердения. В этом случае вяжущие системы с высоким содержанием золы-уноса можно рассматривать как композиционный материал, в котором частицы золы выступают в роли реакционного наполнителя [4].

Установлено [9], что в бетоне с водовязущим отношением В/В = 0,5 замена портландцемента золой в количестве 45 % снижает прочность бетона при сжатии в проектном возрасте на 30 %, в то же время в бетоне с В/В = 0,3 – лишь на 17 %. При этом для снижения водовязущего отношения (В/В ≤ 0,3) необходимо обязательное применение эффективных суперпластификаторов.

Высокий расход золы в составе бетона оказывает также негативное влияние на его морозостойкость. Снижение морозостойкости обусловлено, как правило, отрицательным влиянием золы на эффективность воздухововлекающих добавок, а также присутствием в золе органических остатков в виде несгоревшего углерода, которые набухают в воде, плохо сцепляются с вяжущим и способны образовывать соединения, разрушающие вяжущее [14].

Перечисленные факторы обуславливают необходимость разработки различных способов повышения качества золы для эффективного использования в составах высокофункциональных бетонов. Под термином «зола-унос» (летучая зола) понимается тонкодисперсный минеральный порошок, образующийся в результате сжигания преимущественно измельченного пылевидного каменного угля в котлах с эксплуатационной температурой около 1 400 °С. В результате горения образуется кремнистая зола, содержащая оксиды кремния, алюминия и железа и менее 10 % оксида кальция. Среднее время нахождения частицы угля в топочном пространстве составляет приблизительно 3–4 секунды. Зола, образовавшаяся в результате горения, находится в расплавленном состоянии и выносятся дымовыми газами через конвективные части котла, после чего улавливается электрофильтрами на выходе из котла [3].

Свойства золы зависят от ряда факторов, таких как марка и качество угля, температура и время нахождения топлива в котле. Одними из наиболее важных свойств являются минералогический состав, содержание стеклофазы и несгоревшего углерода, определяемое по показателю потерь при прокаливании (ППП). Последние могут значительно варьироваться (от 1 до 10 %) и зависят от особенностей электростанции. Так, применение горелок с низкой эмиссией оксидов азота NO_x, как правило, повышает этот показатель [11].

Существует несколько способов и технологий улучшения качества золы [2, 5]. В Европе функционирует целый ряд предприятий по обогащению летучей золы, в основу которого положены различные технологические приемы: просеивание и разделение на фракции; тонкий помол (размер частиц менее 10 мкм); флотация (отделение микросфер с поверхности золоотстойников); магнитная сепарация (удаление ферромагнитных частиц); пневматическая сепарация в циклонах. Так, в работе шотландских ученых [12] показано, что после продувки исходной золы в установке с коническим циклоном можно выделить наиболее дисперсную составляющую с размером частиц менее 5 мкм. В то же время даже в ультрадисперсных фракциях золы было обнаружено содержание несгоревшего углерода. Более эффективной с точки зрения снижения содержания несгоревшего углерода является электростатическая сепарация золы в различных по конструкции электросепараторах.

Целью настоящей работы является установление эффективности способа обогащения летучей золы электрической сепарацией и исследование влияния золы на подвижность цементных паст и бетонных смесей.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Способ электрической сепарации, основанный на различной электрической проводимости веществ, реализуется путем обработки потока частиц золы-уноса в высоковольтном электрическом поле [18]. Сепарацию по электрической проводимости применяют для разделения минеральных смесей, зерна которых значительно различаются по удельному сопротивлению. Поверхностная электрическая проводимость минералов в основном зависит от химического состава и структуры минералов. Процесс заключается в создании на зернах минералов электрического заряда, отличающегося по значению или знаку, с последующим пропусканием потока заряженных частиц через электростатическое

поле. Разделение происходит путем отклонения траекторий движения заряженных частиц от траекторий, характерных для движения незаряженных частиц при отсутствии внешнего электрического поля.

Для электрической сепарации могут применяться барабанные, камерные, камерные трубчатые сепараторы. В данном исследовании используется камерный электростатический сепаратор свободного падения (рис. 1). Разделяемый материал поступает из дозатора в зону с электростатическим полем. Поле создается вертикально расположенными некоронирующими электродами. Падая вниз под действием силы тяжести, частицы отклоняются в сторону электродов под влиянием кулоновских сил. Направление действия электрической силы зависит от знака избыточного заряда частицы. Расширение межэлектродного расстояния в нижней части сепаратора позволяет расширить веер разделяемой золы-уноса и улучшить, таким образом ее сепарацию.

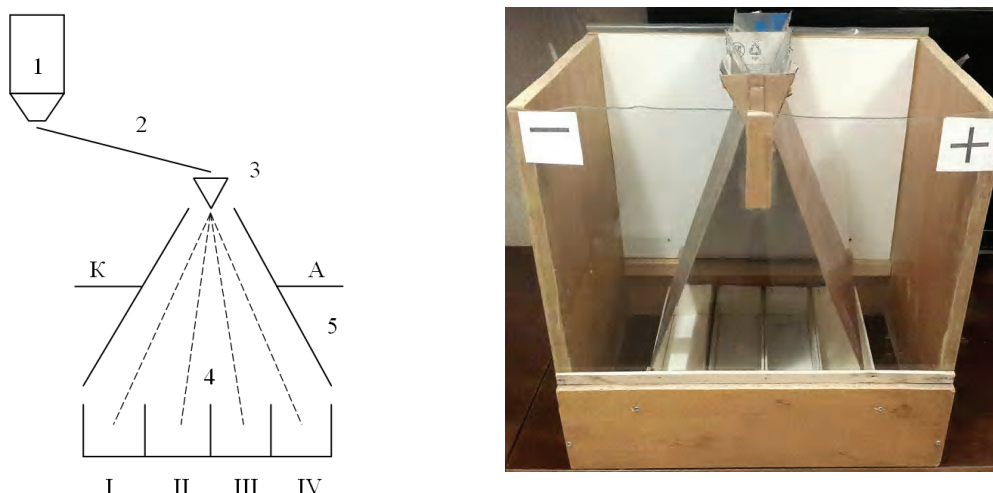


Рисунок 1 – Схема действия и внешний вид камерного электростатического сепаратора свободного падения: 1 – бункер; 2 – наклонная плоскость; 3 – воронка; 4 – приемные контейнеры; 5 – электроды (А – анод, К – катод).

Преимуществом данного типа сепараторов является большая производительность, так как процесс разделения частиц материала осуществляется не на поверхности электрода, а в межэлектродном пространстве. Недостатком данной конструкции является постепенное накопление слоя золы в результате осаждения частиц на электроды. При образовании на электроде слоя пыли определенной величины он отваливается от электрода, и часть отсепарированного материала попадает в непригодные «хвосты» [19].

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментальных исследований использованы следующие материалы:

- вяжущее вещество: портландцемент (ПЦ) Амвросиевского комбината СЕМ I-42,5 N;
- заполнители: щебень (Щ) гранитный фракции 5–20 мм; песок (П) кварцевый Краснополянского месторождения ($M_{кр} = 2,2$);
- минеральная добавка: зола-унос (ЗУ) Зуевской ТЭС (химический состав представлен в табл. 1);
- суперпластификатор (СП) – акрилатный полимер Dynamon SR-3.

В соответствии с требованиями ГОСТ 25818-91 «Золы-уноса ТЭС для бетонов» определены показатели потерь при прокаливании (ГОСТ 11022-95 «Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности») и остаток на сите № 008 (ГОСТ 310.2-76 «Цементы. Методы определения тонкости помола»). Содержание несгоревшего углерода определяется по массе остатка пробы золы после прокалывания в муфельной печи при температуре 815 ± 10 °C, точность взвешивания 0,1 мг.

Показатели насыпной плотности золы-уноса определены в соответствии с ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытания», нормальной густоты цементно-золевых паст – в соответствии с ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Таблица 1 – Химический состав золы-уноса Зуевской ТЭС

Содержание оксидов, %										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	ППП
56.60	21.82	15.39	0.75	2.52	1.05	0.09	2.08	0.74	0.03	1.27

Электрическая сепарация золы-уноса осуществлена с помощью камерного электростатического сепаратора свободного падения. Медные пластинчатые электроды подключаются к источнику высокого напряжения; величина напряженности электростатического поля составляет 2,0–3,5 кВ/см, разность потенциалов измеряется киловольтметром электростатическим С-196.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для установления эффективности способа сепарации в высоковольтном электростатическом поле исходную навеску золы массой 500 г, предварительно высушенную до постоянной массы, через дозатор по наклонному медному лотку просыпали сквозь электродное пространство электрического сепаратора. Под действием электростатического поля траектория падения частиц отклонялась от вертикальной, в результате чего исходная навеска золы распределялась соответствующим образом в ячейках сепаратора, а также на поверхности электродов (табл. 2). Установлено, что дисперсность частиц золы, характеризуемая величиной остатка навески после просеивания через сито № 008, уменьшается по мере приближения ячейки к электроду. Наиболее крупные частицы сосредоточены в центральных ячейках II и III. Вероятно, это связано с тем, что более крупные частицы имеют меньший поверхностный электрический заряд, в результате кулоновские силы слабы для преодоления силы тяжести и отклонения траектории падения частиц от вертикальной.

Таблица 2 – Свойства электросепарированной золы-уноса ТЭС

Наименование свойства	Показатель свойств пробы золы (электрод, № ячейки)					
	К	I	II	III	IV	A
Количество, г/%, от общей навески	12/2,4	56/11,2	128/25,6	146/29,2	119/23,8	37/7,4
Потери при прокаливании, %	24,1	2,1	1,09	0,48	0,14	–
Потери при прокаливании, % от общей навески	0,58	0,24	0,28	0,14	0,034	–
Насыпная плотность, кг / м ³	1116	1110	1124	1149	1145	1137
Остаток на сите №008, %	0,00	1,93	3,52	3,70	1,83	0,00

Процесс сепарирования частиц в установке основан на различных по знаку и величине поверхностных зарядах веществ, входящих в состав золы. Известно [17], что такие материалы как известняк, мрамор, оксид алюминия, доломит, магнезит, известь, ангидрит, гипс, углерод, имеют положительный электрический заряд, в то время как кварц, каолинит, оксиды железа – отрицательный. Установлено, что максимальное содержание несгоревших угольных частиц, определяемое по показателю потерь при прокаливании (82 % от общего содержания ППП = 1,27 %), после электрического сепарирования сосредоточено в навесках, отобранных с катода и ячеек, близких к катоду. Об этом свидетельствуют также более высокие показатели насыпной плотности навесок золы, близких к зоне анода. Согласно [16] заряд несферических частиц, что характерно для зерен несгоревшего углерода, в 1,4–1,8 раз больше заряда шарообразных частиц (алюмосиликатные сфероиды), имеющих эквивалентную массу. Различие между зарядами частиц правильной и неправильной формы особенно значительно для частиц с размерами менее 200 мкм. Этим объясняется достаточно высокая эффективность сепарирования как тонкодисперсных, так и относительно крупных частиц несгоревшего углерода.

При исследовании цементно-зольных паст с различным содержанием золы взамен части портландцемента установлено, что при содержании золы в количестве 30 % нормальная густота пасты незначительно увеличивается в сравнении с контрольным образцом, содержащим 100 % портландцемента (табл. 3). В то же время, при более высоком расходе золы – 60 %, нормальная густота цементно-зольной пасты меньше контрольного образца на основе портландцемента. Согласно [10] величина электрокинетического потенциала частиц золы-уноса составляет $\zeta = -12...-14$ мВ, для частиц портландцемента $\zeta = +2,17$ мВ. При небольшом содержании золы в составе цементной пасты

Таблица 3 – Водопотребность цементно-зольных паст

Состав, №	Исходная ЗУ (контрольный)			Электросепарированная ЗУ, ячейка			
				I (катод)		IV (анод)	
	1	2	3	4	5	6	7
Портландцемент, %	100	70	40	70	40	70	40
Зола-унос, %	0	30	60	30	60	30	60
Нормальная густота, %	25,6	26,2	25,0	25,1	24,3	25,2	24,8

частицы с различным по знаку электрокинетическим зарядом флокулируют вследствие кулоновского притяжения, что обуславливает снижение подвижности пасты (увеличение водопотребности). В случае, когда расход золы высокий, в цементно-зольной системе преобладает отрицательный интегральный заряд частиц, при этом происходит их электростатическое отталкивание, что обеспечивает повышение подвижности пасты. Очевидно, что более низкая водопотребность цементно-зольных паст, содержащих электросепарированную золу, обусловлена более высоким электрическим потенциалом частиц с одноименным по знаку зарядом. Данный эффект может быть положительно использован в составах бетонов с высоким содержанием золы-уноса.

При невысоком расходе золы – ЗУ = 15 % (отбор из ячейки IV), подвижность бетонной смеси имеет меньшее значение в сравнении с контрольным составом (табл. 4). По мере увеличения содержания золы взамен части портландцемента наблюдается рост подвижности бетонной смеси. При этом данный эффект можно объяснить более высоким объемным содержанием вяжущей пасты, с одной стороны, а также высоким содержанием с одинаковым по знаку электрическим зарядом дисперсных частиц золы, с другой стороны. Немаловажное значение имеет также практически полное отсутствие в составе электросепарированной золы частиц несгоревшего углерода, ухудшающих подвижность бетонных смесей. Повышение подвижности бетонной смеси в результате слабого пластифицирующего действия электросепарированной золы-уноса может частично компенсировать снижение прочности бетона, который в своем составе содержит большое количество (50 % и больше) золы взамен портландцемента, особенно в ранние сроки твердения.

Таблица 4 – Состав бетонных смесей с частичной заменой портландцемента золой

№	ЗУ, %	В/(ПЦ+ЗУ) (В/Ц)	Расход материалов, кг/м ³					Объем теста вяжущего, л	ОК, см
			В, л	ПЦ	ЗУ	Щ	П		
1	0	0,30 (0,30)	141	494	–	734	1122	307,6	16,5
2	15	0,30 (0,35)		420	74	723	1106	317,2	15,4
3	30	0,30 (0,43)		346	148	714	1089	327,2	15,8
4	45	0,30 (0,54)		272	222	700	1076	337,2	17,2
5	60	0,30 (0,75)		198	296	692	1059	346,7	18,7

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что дисперсность частиц золы, обработанной в камерном электростатическом сепараторе свободного падения, по показателю величины остатка навески после просеивания через сито № 008 уменьшается по мере приближения ячейки к электроду. При этом пробы, отобранные с катода и ячеек, близких к катоду, содержат наибольшее количество несгоревшего углерода. Более высокая величина остатка на сите № 008 для проб из центральных ячеек свидетельствует о недостаточно высокой напряженности электрического поля, необходимой для отклонения частиц от вертикальной траектории в сторону действия силовых полей электродов.

2. При исследовании цементно-зольных паст с различным содержанием золы взамен части портландцемента установлено, что при содержании золы в количестве 30 % нормальная густота пасты незначительно увеличивается в сравнении с контрольным образцом, содержащим 100 % портландцемента. В то же время при более высоком расходе золы – 60 %, нормальная густота цементно-зольной пасты меньше контрольного образца на основе портландцемента. Этот эффект проявляется в большей мере для цементно-зольных паст, содержащих электросепарированную золу-унос.

3. Повышение подвижности бетонной смеси в результате слабого пластифицирующего действия электросепарированной золы-уноса может частично компенсировать снижение прочности бетона, особенно в ранние сроки твердения, который в своем составе содержит большое количество (50 % и больше) золы взамен портландцемента

4. Дальнейшие направления исследования должны быть направлены на изучение кинетики твердения бетонов с высоким содержанием золы-уноса, деформационных и эксплуатационных характеристик бетонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. An innovation method in producing high early strength PFA concrete [Текст] / C. S. Poon, S. C. Kou, L. Lam, Z. S. Lin // Creating with Concrete: International Conf., Dundee, Scotland, UK, 8–10 September 1999 : Proc. / S. C. Kou. – London (England, UK) : Thomas Telford, 1999. – P. 131–138.
2. Beneficiated Fly Ash Versus Normal Fly Ash or Silica Fume [Текст] / M. Collepardi, S. Collepardi, J. J. Olagot Ogoumah, 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. Jones, M. R. Characteristics of the ultrafine component of fly ash [Текст] / M. R. Jones, A. McCarthy, A.P.P.G. Booth // Fuel. – 2006. – Volume 85, Issue 16. – P. 2250–2259.
4. Lam, L. Degree of hydration and gel/space ratio of high-volume fly ash/cement systems [Текст] / L. Lam, Y. L. Wong, C. S. Poon // Cement and Concrete Research. – 2000. – Vol. 30. – P. 747–756.
5. Li, G. Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO₂ [Текст] / Gengying Li // Cement and Concrete Research. – 2004. – Vol. 34, No 6. – P. 1043–1049.
6. Malhotra, V. M. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete [Текст] / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Ottawa : Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., 2002. – 101 p.
7. Mehta, P. K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development [Текст] / P. K. Mehta // Intern. Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 20–21 May 2004 : Proc. / Edited by Kejin Wang. – Beijing (China) : Iowa State University, 2004. – P. 3–13.
8. Hela, R. New Generation Cement Concretes [Текст]. Ideas, Design, Technology and Applications 2 : LLP-Erasmus: 8203-0519/IP/Kosice 03/REN / R. Hela, L. Bodnárová. – Brno : Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, 2009. – 174 p.
9. Poon, C. S. A study on high strength concrete prepared with large volumes of low calcium fly ash [Текст] / C. S. Poon, L. Lam, Y. L. Wong // Cement and Concrete Research. – 2000. – Vol. 30. – P. 447–455.
10. Termkhajornkit, P. Role of fly ash on the fluidity of paste [Электронный ресурс] : The Thesis for M. Eng. degree / P. Termkhajornkit. – Sapporo, 2002. – Режим доступа : <http://www.eng.hokudai.ac.jp>.
11. Triboelectrostatic separation of fly ash [Электронный ресурс] : Paper No 10 / Y. Soong, M. R. Schoffstall, G. A. Irdi, T. A. Link // 1999 International Ash Utilization Symposium / Center for Applied Energy Research, University of Kentucky. – Lexington : KY, 1999. – Режим доступа : <http://www.flyash.info>.
12. Use of a Database of Chemical Mineralogical and Physical Properties of North American Fly Ash to Study the Nature of Fly Ash and its Utilization as a Mineral Admixture in Concrete [Текст] / G. I. McCarthy, I. K. Solem, O. E. Manz and D. I. Hassett // Proc. MRS Symposium «Material Research Society». – Pittsburgh, 1999. – Vol. 178. – P. 3–33.
13. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны: научное издание [Текст] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 368 с.
14. Инновационные подходы к развитию предприятий, отраслей, комплексов [Текст]. В 2 книгах. Кн. 2 : монография / А. Д. Верхотуров, В. М. Макиенко, А. В. Угляница [и др.]. – Одесса : Купrienko С. В., 2015. – 209 с.
15. Зайченко, Н. М. Бетоны с высоким содержанием золы для массивных железобетонных конструкций [Текст] / Н. М. Зайченко, А. И. Сердюк // Вісник Донбаської національної будівництва і архітектури. – 2013. – Вип. 2013-1(99) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 137–144.
16. Зимон, А. Д. Адгезия пыли и порошков [Текст] / А. Д. Зимон. – М. : Химия, 1976. – 432 с.
17. Олофинский, Н. Ф. Электрические методы обогащения [Текст] / Н. Ф. Олофинский. – [Изд. 3-е, перераб. и доп.]. – М. : Недра, 1970. – 522 с.
18. Сулейманов, О. А. Электростатическая сепарация, как способ сухой переработки минерального сырья [Электронный ресурс] / О. А. Сулейманов // Научное пространство Европы – 2013. – 2013. – Режим доступа : http://www.rusnauka.com/11_NPE_2013/Chimia/5_134046.doc.htm.
19. Admin. Трибоэлектростатическая сепарация [Электронный ресурс] / Admin // : Образовательный блог – всё для учебы. – 31.03.2012. – Режим доступа : <http://all4study.ru/elektrotehnologiya/triboelektrostaticheskaya-separaciya.html>.

Получено 09.12.2015

І. Ю. ПЕТРИК, М. М. ЗАЙЧЕНКО, О. І. СЕРДЮК
ВИСОКОФУНКЦІОНАЛЬНІ БЕТОНІ ЗІ ЗБАГАЧЕНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ
СЕПАРАЦІЄЮ ЗОЛОЮ-ВИНЕСЕННЯ ТЕС
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розроблено експериментальну установку для збагачення золи-винесення ТЕС електричною сепарацією з метою застосування у складах функціональних бетонів, в яких часткова заміна портландцементу

золою-винесення складає більше 50 %. Спосіб збагачення заснований на обробленні золи-винесення, що містить частки з різними електроповерхневими властивостями, у високовольтному електричному полі. Встановлено, що дисперсність золи, а також вміст незгорілих вугільних частинок після оброблення в електричному сепараторі вільного падіння мають неоднакову величину для проб, відібраних з різних зон сепаратора щодо положення електродів. Проби, відібрані з катода і осередків, близьких до катода, містять найбільшу кількість незгорілого вуглецю. Більш висока величина залишку на ситі № 008 для проб з центральних осередків свідчить про недостатньо високу напруженість електричного поля, необхідну для відхилення частинок від вертикальної траєкторії в сторону дії силових полів електродів. Встановлено позитивний вплив електросепарованої золи, використаної для часткової заміни портландцементу, на зниження водопотреби цементно-золинних паст і бетонних сумішей. Підвищення рухливості бетонної суміші в результаті слабкої пластифікувальної дії електросепарованої золи-винесення може частково компенсувати зниження міцності бетону, який у своєму складі містить велику кількість золи замість портландцементу (50 % і більше), особливо в ранні терміни твердіння.

високофункціональний бетон, зола-винесення ТЕС, втрати при прожарюванні, електрична сепарація, електричний заряд, електростатичне поле, рухливість

IRINA PETRIK, NIKOLAI ZAICHENKO, ALEXANDER SERDIUK
HIGHLY FUNCTIONAL CONCRETE WITH ENRICHED ELECTRICAL
SEPARATION OF FLY ASH THERMAL POWER PLANTS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The experimental installation has been developed for beneficiating of fly ash thermal power plant electrical separation to be used in the compositions of highly functional concretes in which partial replacement of Portland cement fly ash is more than 50 %. Beneficiating method is based on processing of fly ash, which contains particles with different electrical surface properties in a high electric field. It is determined that the dispersibility of ash and content of the burned coal particles, after treatment in an electric freefall separator are unequal in magnitude for samples taken from different areas of the separator relatively to the electrodes position. The samples taken from the cathode and cells closest to the cathode contain the major amount of unburned carbon. The higher value of residue on sieve № 008 of the sample from the central cells indicates that the electric field, required for the deviation from vertical trajectory of the particles in the direction of action of force fields electrodes is insufficiently high. It is determined that separated electric ash used as a partial replacement of Portland cement influences positively on reduction of water demand of cement-ash pastes and concrete mixtures. Increase of the concrete mixture mobility as a result of weak plasticizing action of electrically separated fly ash can partially compensate the reduction of the concrete, strength which contains a large amount of ash instead of Portland cement (50 % more), especially in the early stages of hardening.

high-performance concrete, fly ash thermal power plant, loss on ignition, electric separation, electric charge, an electrostatic field, mobility

Петрик Ірина Юріївна – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: високоякісні бетони з високим вмістом золи-винесення ТЕС.

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: технологія та властивості модифікованих високоміцних бетонів.

Сердюк Олександр Іванович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології та хімії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка природоохоронних технологій переробки промислових відходів.

Петрик Ирина Юрьевна – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: высококачественные бетоны с высоким содержанием золы-унос ТЭС.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: технология и свойства модифицированных высокопрочных бетонов.

Сердюк Александр Иванович – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии и химии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка природоохранных технологий переработки промышленных отходов.

Petrik Irina – Assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-quality concrete with high fly ash thermal power plants.

Zaichenko Nikolai – D.Sc. in Engineering, Professor, the Head of the Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technology and properties of modified high strength concrete.

Serdiuk Alexander – D.Sc. in Chemistry, Professor, the Head of the Applied Ecology and Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: include the development of environmental technologies for processing industrial waste.

УДК 666.974.2

Т. П. КИЦЕНКО, В. Б. МАРТЫНОВА, А. Р. КАБАНЦОВА
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕУПОРНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЕФОРМАЦИИ ПОД НАГРУЗКОЙ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ И КРЕМНЕЗЕМИСТЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА

Приведены результаты исследований огнеупорности и показателей температуры деформации под нагрузкой алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов на основе жидкого стекла. Установлено, что огнеупорность и температура деформации под нагрузкой алюмосиликатных бетонов соизмерима с аналогичными показателями алюмосиликатных обжиговых материалов примерно с таким же содержанием глинозема. Для кремнеземистых бетонов огнеупорность и температура деформации под нагрузкой соответственно всего на 20...50 и 30...60 °С ниже аналогичных показателей обжигового динасового кирпича, огнеупорность которого колеблется обычно в пределах 1 710...1 730 °С, а температура начала деформации – 1 630...1 650 °С.

огнеупорность, температура деформации под нагрузкой, алюмосиликатные и кремнеземистые бетоны, жидкое стекло

ВВЕДЕНИЕ

Высокая долговечность и экономическая эффективность предопределила значительный рост производства огнеупорных бетонов за последние 40 лет. Так, в США, Японии доля бетонов в общем объеме потребления огнеупоров за этот период возросла в 10–30 раз и достигла уровня 30...40 %. В странах СНГ доля бетонов в общем объеме потребления огнеупоров примерно вдвое ниже [1–3].

В отечественной промышленности накоплен большой положительный опыт использования жидкостекляных огнеупорных бетонов [4]. С жидким стеклом в бетоны вводится не более 2 % Na_2O . Недостатком жидкостекляных бетонов является то, что отвердители жидкого стекла (кремнефторид натрия, металлургические шлаки) содержат 0,5...5,0 % плавней. Поэтому щелочные алюмосиликатные и кремнеземистые огнеупорные бетоны на основе растворимых силикатов и алюминатов натрия со структурообразующими компонентами (отвердителями), не содержащие оксидов-плавней, являются одними из наиболее перспективных огнеупоров потому, что позволяют вводить в состав бетонов не более 2 % активного плавня – Na_2O . Это практически не снижает огнеупорность наполнителей и заполнителей – основных носителей огнеупорных свойств бетонов.

В известных жидкостекляных композициях таких бетонов в качестве структурообразующих компонентов применяют термоактивированный каолин или незначительную часть доменного гранулированного шлака, а в бетонах на основе алюмината натрия – тонкомолотый шамот. Однако термоактивированный каолин требует обжига при 600...750 °С и характеризуется высокой водопотребностью, что увеличивает расход жидкого стекла, Na_2O и, как следствие, стоимость бетона. Жидкостекляные кремнеземистые бетоны с низким расходом доменного граншлака (1...2 % CaO – активного плавня) имеют незначительную прочность после твердения в нормальных условиях и при пропаривании, что ограничивает их применение.

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработаны жидкостекляные вяжущие композиции с отвердителями, не являющимися плавнями по отношению к алюмосиликатным и кремнеземистым наполнителям и заполнителям. В качестве структурообразующих компонентов используется шамотнокаолиновая пыль-унос (ШКП) и ультрадисперсный аморфный кремнезем.

© Т. П. Киценко, В. Б. Мартынова, А. Р. Кабанцова, 2016

На основе разработанных вяжущих с использованием в качестве заполнителя шамота ШКН-2 и муллитокорунда подобраны составы виброформованных бетонов.

Цель исследований – определить огнеупорность и показатели температуры деформации под нагрузкой жидкостекольных алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов.

В качестве структурообразующих компонентов и микрозаполнителей вяжущих использованы следующие тонкодисперсные материалы: шамотно-каолиновая пыль с электрофильтров вращающихся печей Владимирского огнеупорного завода, полученная при обжиге шамота марки ШКВ-1; каолин Новоселицкого месторождения марки НК – 1 (ТУУ 322-7-00190503-038-95); тонкомолотый шамот марки ШКН-2 (ТУУ 322-7-00190503-083-97), полученный обжигом во вращающихся печах Новоселицкого каолина; муллито-корундовый шамот Часовоярского огнеупорного комбината из брикетов для производства изделий по ТУ 14-8-555-87, доменный граншлак Макеевского металлургического комбината (ГОСТ 3476-74); Овручский кварцит марки ЗКТ-97 (ТУ 14-8-92-74).

Заполнители фракций 0,16...5,00 мм и 5...20 мм готовились из шамота марки ШКН-2, динаса из лома изделий, зернистого Овручского кварцита марки ПМК (ТУ 14-8-141-75).

В качестве щелочного компонента вяжущих и бетонов принято: стекло натриевое жидкое (ГОСТ 13078-81) с силикатным модулем $Ms = SiO_2 / Na_2O = 3,0$. Изменение силикатного модуля жидкого стекла осуществляли добавлением соответствующего количества раствора гидроксида натрия (ГОСТ 2263-79*) с учетом данных [5].

Огневые свойства вяжущих и бетонов испытывали по стандартным методикам.

В исследованиях использовались бетоны, составы которых приведены в табл. 1. Выбор составов бетонов был продиктован следующими соображениями. Так как при скорости нагрева 150...300 °С/час легкоплавкие эвтектики расплавляются, а значит увеличивают их температуру плавления, более тугоплавкие составляющие частицы материала с размером зерен менее 0,2 мм [6, 7]. При подготовке пробы материала, в том числе бетона, для испытания на огнеупорность он измельчается до полного прохода через сито с ячейкой 0,2 мм. Поэтому содержание оксидов-плавней в этом случае можно относить ко всей массе бетона и прогнозировать огнеупорность согласно диаграммам состояния.

Таблица 1 – Составы бетонных смесей

№ п/п	Расход материалов, кг/м³															
	тонкомолотые						фр. 0,16–5,00 мм			фр. 5–20 мм				Растворы плотностью 1,3 г/см³		
	ШКП	ТАК	ДГШ	Шамот ШКН-2	муллитокорунд	микрокремнезем	кварцит	Шамот ШКН-2	муллитокорунд	кварцит	Шамот ШКН-2	муллитокорунд	динас	Na₂O·SiO₂	1,7Na₂O·Al₂O₃	Na₂O·2SiO₂
1	125	–	–	375	–	–	–	700	–	–	770	–	–	285	–	–
1–а	–	–	–	400	–	100	–	715	–	–	770	–	–	–	275	–
2	–	65	–	–	585	–	–	–	935	–	–	1 070	–	255	–	–
3	–	–	–	–	585	65	–	–	945	–	–	1 080	–	–	245	–
4	–	–	50	–	–	100	350	–	–	650	–	–	700	–	–	280
5	–	–	25	–	–	100	375	–	–	645	–	–	700	–	–	280
6	–	–	50	–	–	–	450	–	–	650	–	–	700	–	–	290

Сложнее с прогнозированием показателей температуры деформации бетонов под стандартной нагрузкой 0,196 МПа. Можно полагать, что химическое взаимодействие легкоплавких эвтектик и грубодисперсных частиц заполнителей крупнее 0,2 мм будет идти значительно более медленное, чем принятая скорость нагрева при испытании. В этом случае предварительный прогрев бетона будет иметь важное значение в повышении показателей температуры деформации под нагрузкой.

Для оценки влияния гранулометрического состава заполнителей на показатели огневых свойств бетонов произведен расчет относительного содержания определяющих оксидов условно в связке (силикат натрия + тонкомолотые составляющие вяжущих + 30 % тонкозернистой части мелкого заполнителя), в связке + грубодисперсная часть мелкого заполнителя и в целом в бетоне (табл. 2 и 3).

Таблица 2 – Расчетное содержание определяющих оксидов в алюмосиликатных бетонах

№ состава бетона по табл. 1	Содержание оксидов, %					
	в связке		в связке + мелком заполнителе		в бетоне	
	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Al ₂ O ₃
1	4,6	36,4	2,8	37,8	1,75	38,6
1-а	4,4	36,5	2,7	37,9	1,74	39,2
2	3,5	82,2	2,1	86,0	1,3	88,4
3	3,4	83,3	2,07	87,5	1,16	89,0

Таблица 3 – Расчетное содержание определяющих оксидов в кремнеземистых бетонах

№ состава бетона по табл. 1	Содержание оксидов, %								
	в связке			в связке + мелком заполнителе			в бетоне		
	Na ₂ O	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	SiO ₂	Na ₂ O	CaO	SiO ₂
4	3,7	3,6	90,7	2,4	2,3	93,2	1,8	2,5	93,6
5	3,7	1,9	92,6	2,4	1,3	94,4	1,8	1,8	94,3
6	3,6	3,6	90,4	2,3	2,4	93,0	1,7	2,5	94,4

Анализ результатов определения огнеупорности бетонов, приведенных в табл. 4, показывает, что полное усреднение химического состава образцов происходит уже при первом нагреве с принятой скоростью в 250...300 °С/час – длительность предварительного обжига бетонов не влияет на их огнеупорность. Полученные показатели огнеупорности бетонов хорошо согласуются с расчетными показателями, выполненными согласно предполагаемой низкощелочной части диаграммы Na₂O-Al₂O₃-SiO₂ и низкощелочной, высококремнеземистой части диаграммы Na₂O-CaO-SiO₂ [6–8].

Дополнительное введение Na₂O в количестве 1,25...1,80 % практически не сказывается на огнеупорности алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов. Например, по сравнению с огнеупорностью заполнителя из шамота ШКН-2, использованного в бетонах состава 1, 2 и имеющего огнеупорность 1 770 °С, огнеупорность бетона состава 1 ниже всего на 10 °С. Связано это, вероятно, не столько с введением щелочи, сколько с относительным снижением содержания глинозема – в бетоне 38,6 %, в заполнителе 40,2 %. Дополнительное введение в вяжущее муллитокорунда и доведение содержания глинозема в бетоне состава 2 до 41,2 % выравнивает огнеупорность связки и заполнителя.

Влияние предварительного обжига на температуру деформации бетонов под нагрузкой существенное, особенно для шамотных бетонов. Так, для состава 1 увеличение длительности предварительного прогрева при температуре 1 400 °С от 0 до 1 и 4 часов повышает температуру начала деформации от 1 305 соответственно до 1 400 и 1 450 °С. Аналогичные результаты характерны и для состава 2 – соответствующие температуры равны 1 360, 1 440 и 1 460 °С. Сравнение этих результатов с данными, вытекающими из анализа диаграммы Na₂O-Al₂O₃-SiO₂, позволяют сделать вывод о том, что 4-х часовой предварительный прогрев достаточен для стабилизации огневых свойств шамотных бетонов.

Для муллитокорундовых бетонов предварительный обжиг еще более необходим, т. к. разница между температурой деформации предварительно обожженных и необожженных образцов для них значительно выше и достигает 200–245 °С. Причем по сравнению с необожженными образцами предварительный обжиг при 1 400 °С практически не ведет к увеличению температуры деформации бетонов. Поэтому для муллитокорундовых композиций необходимо увеличить температуру предварительного прогрева до 1 600 °С, при которой стабилизируется состав расплава и корундовой фазы связки.

В отличие от шамотных и муллитокорундовых бетонов, для которых увеличение времени предварительного прогрева образцов от 1 до 4 часов ведет к незначительному, 15–20 °С (из 100–245 °С), увеличению температуры начала деформации под нагрузкой, для кремнеземистых бетонов это увеличение заметно существеннее – 40–60 °С из 160–240 °С.

ВЫВОДЫ

1. Огнеупорность и температура деформации под нагрузкой алюмосиликатных бетонов соизмерима с аналогичными показателями алюмосиликатных обжиговых материалов примерно с таким же содержанием глинозема. Регулирование содержания глинозема позволяет получать бетоны с одинаковыми огневыми свойствами заполнителей и вяжущей матрицы.

Таблица 4 – Огнеупорность и показатели температуры деформации под нагрузкой

№ состава бетона по табл. 4.1	Параметры предварительного прогрева		Огнеупорность, °С	Температура деформации, °С	
	температура, °С	время, час.		начало	40%
1(1-а)	1 400	–	1 750–1 760	1 305	1 360 – срез
		1	1 750–1 760	1 430	1 485
		4	1 750–1 760	1 450	1 540
2	1 600	–	1 960	1 420	1 780 – срез
		1	1 960	1 650	1 880
		4	1 960	1 665	1 900
3	1 600	–	1 950	1 465	1 830 – срез
		1	1 950	1 670	1 900
		4	1 950	1 665	1 890
4	1 400	–	1 680–1 690	1 370	1 375 – срез
		1	1 680–1 690	1 540	1 550 – срез
		4	1 680–1 690	1 590	1 600 – срез
5	1 400	–	1 710	1 440	1 450 – срез
		1	1 710	1 560	1 570 – срез
		4	1 710	1 600	1 610 – срез
6	1 400	–	1 680–1 690	1 350	1 360 – срез
		1	1 680–1 690	1 530	1 540 – срез
		4	1 680–1 690	1 590	1 600 – срез

2. Огнеупорность и температура деформации под нагрузкой кремнеземистых бетонов соответственно всего на 20...50 и 30...60 °С ниже аналогичных показателей обжигового динасового кирпича, огнеупорность которого колеблется, обычно, в пределах 1 710...1 730 °С, а температура начала деформации – 1 630...1 650 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Керамобетоны – заключительный этап эволюции низкоцементных огнеупорных бетонов (часть I) [Текст] / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. – № 1. – С. 11–15.
2. 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. Огнеупорная промышленность России и ее развитие [Текст] / Л. Б. Хорошавин. – Екатеринбург: ЦНТИ, 1998. – 52 с.
4. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях [Текст] / Под ред. В. Д. Глуховского. – Киев: Вища шк., 1981. – 224 с.
5. Растворимое стекло [Текст] / П. Н. Григорьев, В. И. Матвеев. – М.: Промстройиздат, 1978. – 152 с.
6. Диаграммы состояния силикатных систем [Текст]. Выпуск третий. Тройные силикатные системы / Н. А. Торопов, В. П. Барзаковский, В. В. Лапин [и др.]. – Л.: Наука, 1972. – 448 с.
7. Физико-химические системы силикатной технологии [Текст] / Д. С. Белянкин, В. В. Лапин, Н. А. Торопов. – М.: Промстройиздат, 1954. – 372 с.
8. Химическая технология керамики и огнеупоров [Текст] / Ред. П. П. Будников, Д. Н. Полубояринов. – М.: Стройиздат, 1972. – 552 с.

Получено 14.12.2015

Т. П. КИЦЕНКО, В. Б. МАРТИНОВА, А. Р. КАБАНЦОВА
ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕТРИВКОСТІ ТА ПОКАЗНИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ
ДЕФОРМАЦІЇ ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ АЛЮМОСИЛІКАТНИХ І
КРЕМНЕЗЕМИСТИХ БЕТОНІВ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Наведено результати досліджень вогнетривкості та показників температури деформації під навантаженням алюмосиликатних і кремнеземистих бетонів на основі рідкого скла. Встановлено, що вогнетривкість і температура деформації під навантаженням алюмосиликатних бетонів порівнянна з аналогічними показниками алюмосиликатних випалювальних матеріалів приблизно з таким же вмістом глинозему. Для кремнеземистих бетонів вогнетривкість і температура деформації під

навантаженням відповідно всього на 20...50 і 30...60 °С нижче від аналогічних показників обпалювальної диносової цегли, вогнетривкість якої коливається, як правило, у межах 1 710...1 730 °С, а температура початку деформації – 1 630...1 650 °С.

вогнетривкість, температура деформації під навантаженням, алюмосилікатні і кремнеземисті бетони, рідке скло

TATYANA KITSSENKO, VITA MARTINOVA, ALINA KABANSOVA
THE STUDY OF FIRE RESISTANCE AND TEMPERATURE DEFORMATION
UNDER LOAD OF ALUMINA-SILICATE AND SILICEOUS CONCRETES ON THE
BASIS OF LIQUID GLASS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The results of studies on the fire resistance and temperature deformation under load of alumina-silicate and siliceous concretes on the basis of liquid glass have been given. It is established that the resistance and temperature of deformation under load alumina-silicate concretes comparable with similar firing properties of alumina-silicate materials with approximately the same content of alumina. For siliceous concrete, the resistance and temperature of deformation under load, respectively, and only 20...50 and 30...60 °C lower than those of the silica brick kiln, the resistance of which varies usually in the range 1 710...1 730 °C, and the temperature beginning deformation – 1 630...1 650 °C.

fire resistance, temperature deformation under load, alumina-silicate and siliceous concretes, 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.

Мартынова Віта Борисівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури промислових та цивільних будівель Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: ніздрюваті бетони з підвищеними фізичними та механічними властивостями.

Кабанцова Аліна Романівна – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і 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 – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: ячеистые бетоны с повышенными физическими и механическими свойствами.

Кабанцова Алина Романовна – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

Kitsenko Tatyana – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fire-resistant binders and concretes.

Martynova Vita – Ph.D. (Eng.), 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.

Kabansova Alina – graduate student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat-resistant binders and concretes.

УДК 625.855.3

В. Л. БЕСПАЛОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

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

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

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

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

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

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

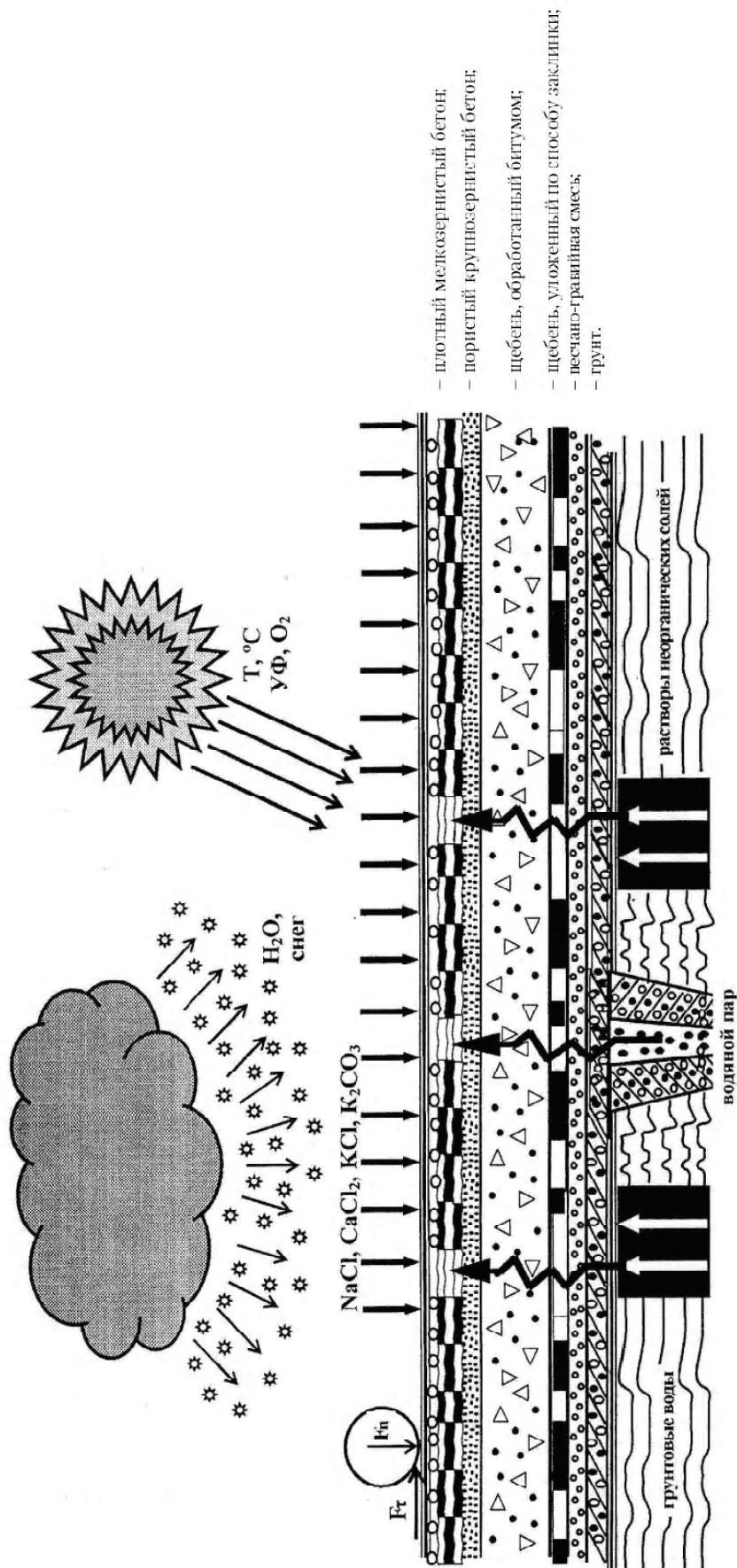


Рисунок 1 – Автотранспортные, атмосферно-климатические и эксплуатационные факторы воздействия на конструкцию дорожной одежды: F_n и F_τ – нормальные и сдвигающие силы со стороны колеса автомобиля; а) поперечный разрез дорожной одежды.

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

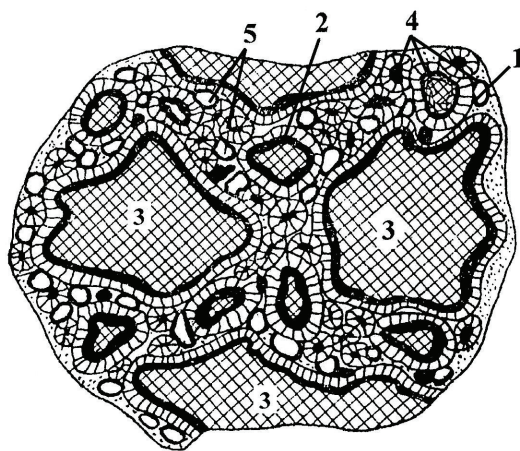


Рисунок 2 – Структура асфальтобетона: 1 – минеральные частицы минерального порошка (наполнителя); 2 – минеральные частицы песка; 3 – минеральные частицы щебня; 4 – адсорбционные прослойки битума; 5 – воздушные поры.

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 1 – Конструктивно-функциональная схема асфальтобетона

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

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

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

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

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

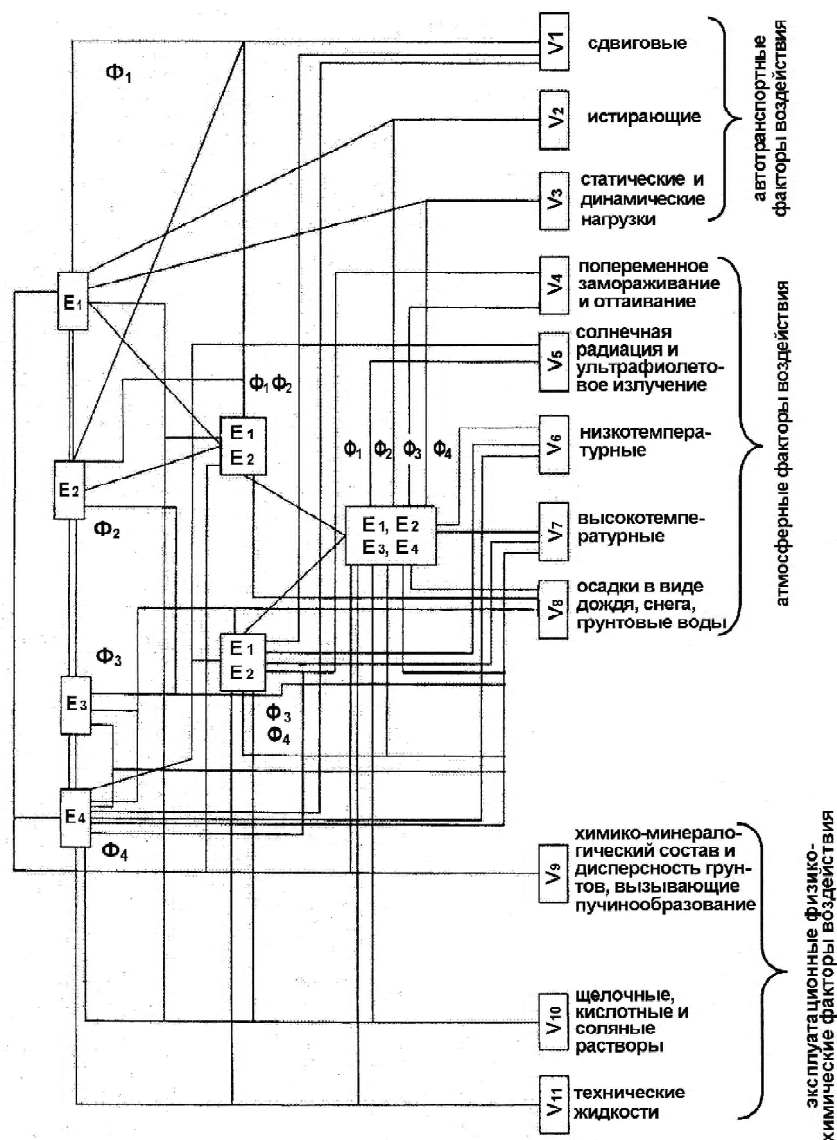


Рисунок 3 – Конструктивно-функциональная схема асфальтобетона. E_1, E_2, E_3, E_4 – элементы асфальтобетона – щебень, песок, минеральный порошок и нефтяной дорожный битум, битумополимерное вяжущее соответственно; объекты воздействия на асфальтобетон в покрытии внешней среды; V_1 – сдвиговые, V_2 – истирающие, V_3 – статические и динамические нагрузки, V_4 – попеременное замораживание – оттаивание, V_5 – солнечная радиация и ультрафиолетовое излучение, V_6, V_7 – низкотемпературные и высокотемпературные воздействия соответственно, V_8 – осадки в виде снега и грунтовые воды, V_9 – химико-минералогический состав и дисперсность грунтов вызывающие пучинообразование, V_{10} – щелочные, кислотные и соляные растворы, V_{11} – технические жидкости; $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ – функции (реакции) элементов на действие окружающей среды.

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

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

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

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

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

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

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

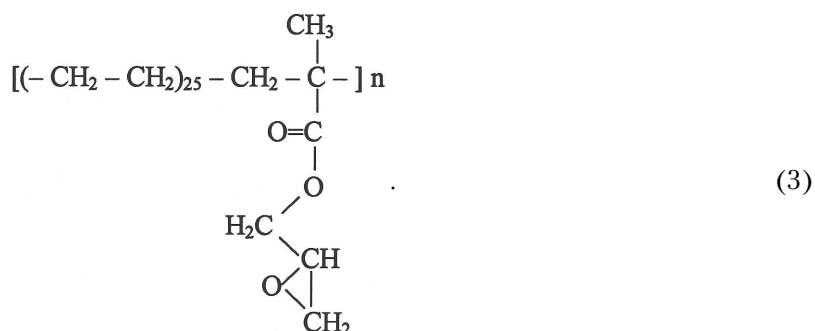
В ряде стран Европы и США синтезированы полимеры для нефтяных дорожных битумов, которые повышают сдвигоустойчивость и усталостную долговечность асфальтобетонных покрытий, например этилен-винил-ацетат (EVA). EVA содержит в макромолекулах полярные группы, активно взаимодействующие с асфальтенами и ароматическими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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 2 – Физико-механические свойства асфальтобетона

Показатели	Состав мелкозернистой асфальтобетонной смеси типа Б	
	Асфальтобетонная смесь приготовлена на битуме $P_{25} = 59$ град, известняковый минеральный порошок неактивирован	Асфальтобетонная смесь, в которой битум $P_{25} = 74$ град, модифицирован этиленглицидилакрилатом (2,0 % мас.) в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105 (0,2 % мас.); минеральные материалы (щебень, песок, минеральный порошок) поверхностно активированы этиленглицидилакрилатом (0,7 % мас.)
Средняя плотность, ρ_0^a , кг / м ³	2 338	2 453
Набухание, Н, % от объема	0,6	0,0
Водонасыщение, W, % от объема	2,94	0,25
Предел прочности при сжатии, МПа, при:		
0 °С	6,8	7,8
20 °С	3,1	6,1
50 °С	1,1	2,3
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, $K_{вд}$	0,78	1,0

ВЫВОДЫ

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Получено 14.12.2015

В. Л. БЕСПАЛОВ

ТЕОРЕТИЧНІ ПРИНЦИПИ ОТРИМАННЯ ДОРОЖНІХ БЕТОНІВ З
ПІДВИЩЕНОЮ ДОВГОВІЧНІСТЮ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

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

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

VITALY BESPALOV

THEORETICAL PRINCIPLES OF PRODUCTION OF ROAD CONCRETE WITH
ENHANCED DURABILITY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

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

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

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

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

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

УДК 625.855.3, 514.18

Е. В. КОНОПАЦКИЙ, А. И. БУМАГА, В. А. БОЧОРИШВИЛИ
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ДЕГТЕБЕТОНА ОТ ЧЕТЫРЁХ ПАРАМЕТРОВ

В работе предложен способ геометрического моделирования физико-механических свойств мелкозернистого дегтебетона, зависящих от четырех параметров, реализованный в БН-исчислении. На основании предложенного способа получена аналитическая зависимость предела прочности при сжатии от вязкости дегтя, концентрации полимера в органическом вяжущем, концентрации активатора на поверхности минерального порошка и температуры.

геометрическая модель, БН-исчисление, модифицированный мелкозернистый дегтебетон, предел прочности при сжатии, вязкость дегтя, концентрация полимера в органическом вяжущем, концентрация активатора, температура

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Бетоны на органических вяжущих – наиболее распространенные дорожно-строительные материалы, широкое применение которых обеспечивает высокий уровень индустриализации строительства конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог и их эксплуатационную надежность. Следует отметить, что на современном этапе исследование физико-механических свойств асфальтобетонов, которые влияют на его прочность и долговечность, невозможно без использования широких возможностей и инструментов математического и компьютерного моделирования. Основным же недостатком современных математических моделей, которые используются для исследования физико-механических свойств асфальтобетонов, является невозможность одновременного учета всех параметров, которые влияют на процессы взаимодействия компонентов в асфальтобетоне. Как правило, на практике используют зависимость необходимых физико-механических свойств асфальтобетона от одного параметра с помощью графика функции и от двух параметров, которые представлены в виде номограмм с изолиниями, или в виде отсека поверхности. Если нужно проанализировать математическую зависимость более чем от двух параметров, то избыточные параметры фиксируются и строится математическая зависимость от двух параметров, затем выбираются другие два параметра и весь этот процесс повторяется. То есть все необходимые физико-механические свойства бетонов на органических вяжущих исследуются по очереди. Такой подход не позволяет оценить одновременное влияние всех параметров на физико-механические свойства бетонов на органических вяжущих.

В данной статье предлагается использование математического аппарата БН-исчисления для моделирования многопараметрических явлений и процессов как геометрических объектов многомерного пространства на примере моделирования зависимости предела прочности при сжатии модифицированного мелкозернистого дегтебетона от вязкости дегтя, концентрации полимера в органическом вяжущем, концентрации активатора поверхности минерального порошка и температуры.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Для исследования свойств модифицированного дегтебетона и их оптимизации в зависимости от состава и количества его компонентов, используются математические модели, полученные на основе

© Е. В. Конопацкий, А. И. Бумага, В. А. Бочоришвили, 2016

регрессионного анализа [1]. Но такие математические модели не всегда соответствуют нужным критериям адекватности, а иногда дают значительную погрешность по сравнению с исходными данными. Вообще достоинства и недостатки математических моделей на основе регрессионного анализа в литературе представлены в виде сравнения методов регрессионного анализа с другими статистическими методами и методами планирования эксперимента.

Нами было проанализировано три диссертационные работы [2, 3, 4], в которых для математического моделирования свойств модифицированного дегтебетона был использован регрессионный анализ. Фрагмент результатов анализа эффективности использования регрессионного анализа для математического описания зависимости физико-механических свойств модифицированного дегтебетона приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ эффективности использования регрессионного анализа по сравнению с исходными данными

№ п/п	\bar{Y}_1	Y_1	%	\bar{Y}_2	Y_2	%	\bar{Y}_3	Y_3	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,1	9,96	28,7	3	4,30	30,3	0,9	1,34	33,0
2	5,6	13,2	57,6	2,2	5,00	56,0	0,7	1,51	53,8
3	5,8	10,00	42,0	2,4	4,06	40,9	0,8	1,26	36,7
4	7,3	13,88	47,4	2,9	4,91	41,0	1	1,47	32,1
5	8,7	13,52	35,7	3,8	5,20	27,0	1,2	1,55	22,8
6	4,9	9,30	47,3	1,8	3,98	54,8	1,5	1,26	18,9

В таблице 1: \bar{Y}_i значения предела прочности при сжатии, полученные во время эксперимента, которые являются исходными данными для регрессионного анализа; Y_i значения предела прочности при сжатии, полученные на основе уравнений регрессии.

Проведенный нами анализ, фрагмент которого представлен в таблице 1 нескольких математических моделей многокомпонентных систем – дегтебетонов, созданных на основе регрессионного анализа, показал, что отклонение полученных значений при подстановке в уравнение регрессии от заданных значений достигает 50...60 %. Следует отметить, что регрессионный анализ может эффективно применяться при большом количестве экспериментальных данных. При небольшом же количестве экспериментальных данных использование регрессионного анализа не всегда оправдано и эффективно.

С другой стороны, математический аппарат БН-исчисление позволяет конструировать геометрические объекты с наперед заданными характеристиками и представлять их в пространстве любой размерности. Эта возможность БН-исчисления может быть эффективно использована для моделирования многопараметрических процессов и явлений, что позволяет избежать погрешностей регрессионного анализа, так как условие полного соответствия исходным данным было заложено изначально на стадии конструирования модели процесса.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получить аналитическое описание геометрической модели зависимости предела прочности при сжатии мелкозернистого дегтебетона от вязкости дегтя, концентрации полимера в органическом вяжущем, концентрации активатора и температуры.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

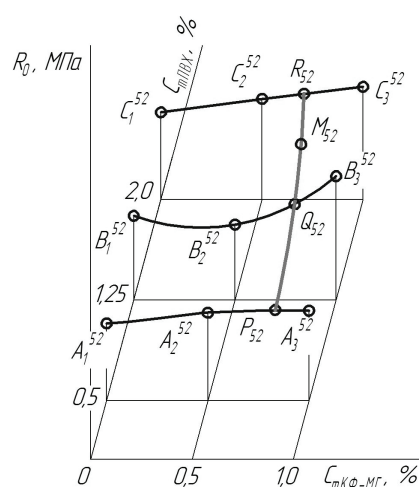
Геометрическая модель зависимости предела прочности при сжатии от четырех параметров: вязкости дегтя C_{30}^{10} , концентрации отсева поливинилхлорида в органическом вяжущем $C_m^{ПВХ}$, концентрации активатора на поверхности минерального порошка $C_m^{KM-МГ}$ и температуры образцов мелкозернистого дегтебетона строится на основе экспериментальных данных, приведенных в таблице 2, которые были получены в [4].

Как следует из таблицы 2, предел прочности при сжатии был определен при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – R_0 , при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – R_{20} и при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – R_{50} соответственно.

Таблица 2 – Экспериментальные данные зависимости предела прочности при сжатии дегтебетона от четырех параметров

№ п/п	C_{30}^{10}, c	$C_m^{ПВХ}, \%$	$C_m^{KM-MГ}, \%$	$R_0, \text{МПа}$	$R_{20}, \text{МПа}$	$R_{50}, \text{МПа}$
1	2	3	4	5	6	7
1	52	0,5	0	4,9	1,8	0,5
2	52	0,5	0,5	5,6	2,0	0,6
3	52	0,5	1,0	5,8	2,4	0,8
4	52	1,25	0	5,5	2,9	1,0
5	52	1,25	0,5	5,3	2,7	0,95
6	52	1,25	1,0	6,0	3,0	1,2
7	52	2,0	0	5,6	2,2	0,7
8	52	2,0	0,5	6,0	3,0	0,8
9	52	2,0	1,0	7,3	2,9	1,0
10	130	0,5	0	7,3	3,0	1,1
11	130	0,5	0,5	7,5	3,1	1,0
12	130	0,5	1,0	7,6	3,2	1,0
13	130	1,25	0	7,3	2,9	0,9
14	130	1,25	0,5	10,0	4,0	1,3
15	130	1,25	1,0	8,6	3,8	1,2
16	130	2,0	0	9,8	4,1	1,0
17	130	2,0	0,5	11,0	5,1	1,4
18	130	2,0	1,0	10,2	4,9	1,3
19	208	0,5	0	7,1	3,0	0,9
20	208	0,5	0,5	8,0	3,5	1,2
21	208	0,5	1,0	9,2	3,8	1,3
22	208	1,25	0	8,7	4,3	1,3
23	208	1,25	0,5	9,7	4,5	1,5
24	208	1,25	1,0	10,2	4,9	1,6
25	208	2,0	0	9,2	3,8	1,2
26	208	2,0	0,5	10,1	4,2	1,5
27	208	2,0	1,0	12,0	5,4	1,6

Для лучшего понимания построения модели процесса определения предела прочности при сжатии дегтеполимербетона, представим геометрическую модель зависимости предела прочности при сжатии от четырех параметров в виде трех этапов. Во-первых, установим зависимость предела прочности при сжатии от концентрации активатора поверхности минерального порошка и концентрации отсева поливинилхлорида в каменноугольном вяжущем при температуре 0 °С (рис. 1).

**Рисунок 1** – Установление зависимости двух параметров.

Поскольку количество точек опорных и образующих дуг равно трем, используем для геометрического моделирования точечное уравнение дуги параболы, которая проходит через три точки [5]. Полученный отсек поверхности фактически является параболической поверхностью типа «Луна» [6] и выражается следующей последовательностью аналитических зависимостей в виде точечных уравнений:

$$\begin{cases} P_{52} = A_1^{52}\bar{u}(1-2u) + 4A_2^{52}\bar{u}u + A_3^{52}u(2u-1), \\ Q_{52} = B_1^{52}\bar{u}(1-2u) + 4B_2^{52}\bar{u}u + B_3^{52}u(2u-1), \\ R_{52} = C_1^{52}\bar{u}(1-2u) + 4C_2^{52}\bar{u}u + C_3^{52}u(2u-1), \\ M_{52} = P_{52}\bar{v}(1-2v) + 4Q_{52}\bar{v}v + R_{52}v(2v-1). \end{cases} \quad (1)$$

Во-вторых, установим соответствие между предыдущими двумя параметрами, это: концентрация отсева поливинилхлорида в каменноугольном вяжущем ($C_m^{ПВХ}$) и концентрация активатора на поверхности минерального порошка ($C_m^{KM-MГ}$) – и третьим параметром – вязкостью дегтя. Для этого необходимо трижды построить поверхность типа «Луна» при вязкости дегтя $C_{30}^{10} = 52, 130$ и 208 с при температуре 0°C (рис. 2), трижды используя последовательность точечных уравнений, аналогичных последовательности (1).

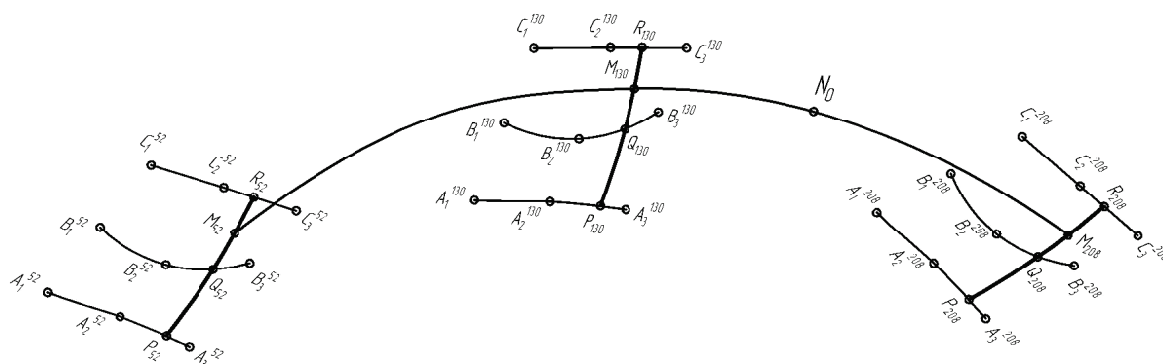


Рисунок 2 – Установление зависимости трех параметров.

Из геометрической схемы (рис. 2) видно, что опорными контурами отсека гиперповерхности есть образующие дуги трех отсеков поверхности типа «Луна». Поскольку количество опорных контуров равно трем, используем в качестве образующей отсека гиперповерхности дугу параболы 2-го порядка, которая будет проходить через 3 точки, образуя гиперповерхности типа «Гиперлуна»:

$$\begin{cases} M_{52} = P_{52}\bar{v}(1-2v) + 4Q_{52}\bar{v}v + R_{52}v(2v-1), \\ M_{130} = P_{130}\bar{v}(1-2v) + 4Q_{130}\bar{v}v + R_{130}v(2v-1), \\ M_{208} = P_{208}\bar{v}(1-2v) + 4Q_{208}\bar{v}v + R_{208}v(2v-1), \\ N_0 = M_{52}^0\bar{w}(1-2w) + 4M_{130}^0\bar{w}w + M_{208}^0w(2w-1). \end{cases} \quad (2)$$

В-третьих, установим зависимость между четвертым параметром с предыдущими тремя. Для этого нужно трижды использовать полученную ранее гиперповерхность типа «Гиперлуна» при температуре $0, 20$ и 50°C . В данном случае опорными контурами будут три образующие гиперповерхности, которые аналитически выражаются последовательностями, аналогичными (2), а образующей – дуга параболы 2-го порядка, проходящей через три точки. Эта последовательность аналитических зависимостей представлена точечными уравнениями в (3).

$$\begin{cases} N_0 = M_{52}^0\bar{w}(1-2w) + 4M_{130}^0\bar{w}w + M_{208}^0w(2w-1), \\ N_{20} = M_{52}^{20}\bar{w}(1-2w) + 4M_{130}^{20}\bar{w}w + M_{208}^{20}w(2w-1), \\ N_{50} = M_{52}^{50}\bar{w}(1-2w) + 4M_{130}^{50}\bar{w}w + M_{208}^{50}w(2w-1), \\ T = N_0\bar{w}(1-2w) + 4N_{20}\bar{w}w + N_{50}w(2w-1). \end{cases} \quad (3)$$

Таким образом, имеем расчетный алгоритм (в виде последовательностей точечных уравнений) геометрической модели зависимости предела прочности при сжатии модифицированного мелкозернистого дегтебетона от концентрации активатора на поверхности минерального порошка, концентрации в каменноугольном вяжущем отсева поливинилхлорида, вязкости дегтя и температуры.

Как видно из последовательностей точечных уравнений (1), (2) и (3), все тройки точек увязаны с помощью однотипного уравнения дуги параболы 2-го порядка, что облегчает программирование такого расчетного алгоритма. Также авторами была создана программная реализация предложенной геометрической модели в программном пакете *Maple* для расчета предела прочности при сжатии в зависимости от четырех параметров. Все необходимые исходные данные для программирования приведены в таблице 2.

Следует отметить, что предложенный выше расчетный алгоритм состоит из точечных уравнений, которые, в сущности, являются символьной записью, и для перехода к параметрическим уравнениям необходимо выполнить покоординатный расчет точек. Но, при параллельном проецировании, если одна из трех координат трехмерного пространства равняется нулю, получим проекцию геометрического объекта на одну из плоскостей проекций, а если две с трех координат трехмерного пространства будут равняться нулю, то получим проекцию – на одну из осей проекций прямоугольной декартовой системы координат. Обобщая эту логическую последовательность, можно сделать вывод, что для определения любой из характеристик процесса, используя особые уравнения БН-исчисления, достаточно сделать расчеты лишь по необходимой характеристике, то есть по одной из координатных осей многомерной системы координат. Например, если нужно определить границу прочности при сжатии R модифицированного мелкозернистого дегтебетона, то нет необходимости делать покоординатный расчет для всех пяти координат пятимерного пространства, к которому принадлежит геометрическая модель процесса, достаточно сделать расчеты только по одной координате, которая характеризует границу прочности при сжатии R .

ВЫВОДЫ

В статье получено аналитическое описание, представленное последовательностями точечных уравнений, геометрической модели зависимости предела прочности при сжатии модифицированного мелкозернистого дегтебетона от вязкости дегтя, концентрации полимера в каменноугольном вяжущем, концентрации активатора на поверхности минерального порошка и температуры, которое позволяет уменьшить количество дорогостоящих экспериментов для аналитического описания и исследования необходимых свойств дегтебетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двойкін, Л. Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту [Текст] : Навч. посібник / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, В. В. Житковський. – Рівне : НУВГП, 2011. – 174 с.
2. Самойлова, Е. Э. Дорожные асфальтобетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой с использованием реакционно-способного термопласта Элвалой АМ [Текст] : дис. ... кандидата технических наук : 05.23.05 / Самойлова Елена Эдуардовна. – Макеевка, 2007. – 171 с.
3. Рыбалко, И. Ф. Минеральный порошок из шлама нейтрализации травильных растворов [Текст] : дис. ... кандидата технических наук : 05.23.05 / Рыбалко Иван Федотович. – Макеевка, 1999. – 137 с.
4. Ходун, В. Н. Дёгтебетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] : дис. ... кандидата технических наук : 05.23.05 / Ходун Владимир Николаевич. – Макеевка, 1999. – 146 с.
5. Бумага, А. І. Точкове рівняння дуги параболы другого порядку [Текст] / А. І. Бумага // Прикладна геометрія та інженерна графіка : Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К. : КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 49–52.
6. Кучеренко, В. В. Формалізовані геометричні моделі нерегулярної поверхні для гіперкількісної дискретної скінченної множини точок [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01 / Кучеренко Вадим Володимирович. – Мелітополь, 2013. – 234 с.

Получено 15.12.2015

**Є. В. КОНОПАЦЬКИЙ, А. І. БУМАГА, В. О. БОЧОРШВИЛІ
ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛЕЖНОСТІ ГРАНИЦІ МІЦНОСТІ ПРИ
СТИСКУ МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОЗЕРНИСТОГО ДЬОГТЕБЕТОНУ
ВІД ЧОТИРЬОХ ПАРАМЕТРІВ**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У роботі запропоновано спосіб геометричного моделювання фізико-механічних властивостей модифікованого дрібнозернистого дьогтебетону, що залежать від чотирьох параметрів, реалізований у БН-численні. На підставі запропонованого способу отримана аналітична залежність границі міцності при стиску від в'язкості дьогтю, концентрації полімеру в кам'яновугільному в'язучому, концентрації активатора на поверхні мінерального порошку і температури.

геометрична модель, БН-числення, модифікований дрібнозернистий дьогтебетон, границя міцності при стисненні, в'язкість дьогтю, концентрація полімеру в органічному в'язучому, концентрація активатора, температура

**EVGENIY KONOPATSKIY, ALLA BUMAGA, VIKTORIYA BOCHORISHVILI
THE GEOMETRIC MODEL OF DEPENDENCE COMPRESSIVE STRENGTH OF
GRAINED TARMACADAM FROM FOUR PARAMETERS**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This paper proposes a method of geometric modeling physical and mechanical properties of fine-grained tarmacadam dependent on four parameters, implemented in BN-calculation. Based on the proposed method, an analytical dependence of the compressive strength of tar viscosity, the concentration of the polymer in the bitumen, activator concentration and temperature, has been carried out.

geometric model, BN-calculation, fine tarmacadam, compressive strength, the viscosity of tar, concentration of polymer in the bitumen, activator concentration, temperature

Конопацький Євген Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціалізованих інформаційних технологій і систем Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: визначення геометричних багатовидів за допомогою багатокуткових і баготорадіальних параметризацій методом узагальнених тригонометричних функцій у точковому численні Балюби-Найдиша; розробка інструментів багатови-мірної геометрії у точковому численні Балюби-Найдиша для геометричного моделювання багатопараметричних явищ і процесів.

Бумага Алла Іванівна – магістр технічних наук, асистент кафедри спеціалізованих інформаційних технологій і систем Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: визначення геометричних багатовидів за допомогою багатокуткових і баготорадіальних параметризацій методом узагальнених тригонометричних функцій у точковому численні Балюби-Найдиша; розробка інструментів багатови-мірної геометрії у точковому численні Балюби-Найдиша для геометричного моделювання багатопараметричних явищ і процесів.

Бочорішвілі Вікторія Олександрівна – студентка Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: визначення геометричних багатовидів за допомогою багатокуткових і баготорадіальних параметризацій методом узагальнених тригонометричних функцій у точковому численні Балюби-Найдиша; розробка інструментів багатови-мірної геометрії у точковому численні Балюби-Найдиша для геометричного моделювання багатопараметричних явищ і процесів.

Конопацкий Евгений Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры специализированных информационных технологий и систем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: определение геометрических многообразий с помощью много-угловых и многорадиальных параметризаций методом обобщенных тригонометрических функций в точечном исчислении Балюбы-Найдыша; разработка инструментов многомерной геометрии в точечном исчислении Балюбы-Найдыша для геометрического моделирования многопараметрических процессов и явлений.

Бумага Алла Ивановна – магистр технических наук, ассистент кафедры специализированных информационных технологий и систем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: определение геометрических многообразий с помощью много-угловых и многорадиальных параметризаций методом обобщенных тригонометрических функций в точечном исчислении Балюбы-Найдыша; разработка инструментов многомерной геометрии в точечном исчислении Балюбы-Найдыша для геометрического моделирования многопараметрических процессов и явлений.

Бочоришвили Виктория Александровна – студентка Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: определение геометрических многообразий с помощью много-угловых и многорадиальных параметризаций методом обобщенных тригонометрических функций в точечном исчислении Балубы-Найдыша; разработка инструментов многомерной геометрии в точечном исчислении Балубы-Найдыша для геометрического моделирования многопараметрических процессов и явлений.

Konopatskiy Evgeniy – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Specialized Information Technology and Systems Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the definition of geometric manifolds using multiangle and multiradial parameterizations by generalized trigonometric functions in a dot calculation by Balyuba-Naydysh, development tools multidimensional geometry in a dot calculation by Balyuba-Naydysh for geometric modeling multiparametric processes and phenomena's.

Bumaga Alla – graduate student, the assistant, Specialized Information Technology and Systems Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the definition of geometric manifolds using multiangle and multiradial parameterizations by generalized trigonometric functions in a dot calculation by Balyuba-Naydysh, development tools multidimensional geometry in a dot calculation by Balyuba-Naydysh for geometric modeling multiparametric processes and phenomena's.

Bochorishvili Viktoriya – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the definition of geometric manifolds using multiangle and multiradial parameterizations by generalized trigonometric functions in a dot calculation by Balyuba-Naydysh, development tools multidimensional geometry in a dot calculation by Balyuba-Naydysh for geometric modeling multiparametric processes and phenomena's.

УДК 625.855.3

В. В. ЗОЛОТАРЕВА, Ю. С. КОЧЕРГИН

Государственная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»

ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И АДГЕЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Показано, что добавка нанопорошков оксидов циркония и алюминия приводит к значительному росту показателей когезионной прочности (в 1,8...2,0 раза), деформации при разрыве (в 1,2...1,3 раза) и модуля упругости (в 1,4...1,7 раза) мастик при сравнительно небольшом изменении износостойкости, адгезионной прочности и теплостойкости эпоксиполимеров. Разработаны принципы создания новых антифрикционных многослойных покрытий, в которых основную нагрузку берет на себя металл силового каркаса, а высокие антифрикционные свойства обеспечивает наноструктурное покрытие, которое может состоять из одного или нескольких слоев, несущих различную нагрузку – одни слои обладают антифрикционной стойкостью, а другие – адгезионной. Предложены эпоксидные композиции для ремонта газонефтепроводов подводных переходов с улучшенными адгезионными характеристиками и прочностью на сжатие.

полимерные нанокомпозиты, эпоксидные смолы, модуль упругости, прочность при растяжении, износостойкость, матрица, деформация при разрыве, полиоксипропилентриамин

В последнее время одним из интереснейших перспективных направлений в науке о полимерах и материаловедении является разработка принципов получения полимерных нанокомпозитов [1].

Поскольку изделия на основе эпоксидных смол (ЭС) характеризуются высокими физико-механическими, диэлектрическими и химическими свойствами и находят широкое применение в различных отраслях промышленности, они служат прекрасной матрицей для получения нанокомпозитов [2]. Показано, что при содержании в эпоксидном полимере (ЭП) 2...3 мас. ч. органоглины возрастает прочность при растяжении. Модуль упругости повышается вплоть до наполнения 10 мас. ч., а ударная вязкость наполненного органоглиной полимера увеличивается в 2...3 раза и достигает своего максимума при содержании наполнителя 1...2 мас. ч. Модуль упругости композиционного материала повышается на 20 % по сравнению с ненаполненной ЭС. Введение гибридного кремний содержащего материала приводит к повышению износостойкости и существенному снижению коэффициента трения с 0,7 до 0,3. При использовании в качестве наполнителей оксидов и сульфидов металлов установлено, что введение MoS_2 и TiO_2 приводит к уменьшению композиции в 8...10 раз, а коэффициент трения при этом изменяется незначительно.

В работе [3] показано, что углеродные нанотрубки (УНТ) в малых количествах (от 0,001 до 0,020 %) значительно повышают прочностные характеристики эпоксидного композиционного материала (прочность при изгибе и модуль упругости возрастают на 27...38 %, прочность при сдвиге на 16 %), что открывает перспективы их применения в авиационной и космической промышленности.

Предложена [4] методика оценки фрактальной размерности поверхности нанокластеров в структуре сетчатых ЭП, трактуемых как естественные нанокомпозиты. Автор [4] исходил из предположений других исследователей, которые сформулировали положение, что полимерные системы в силу особенностей своего строения всегда являются наноструктурными. При этом существуют различные трактовки такой структуры. Структура полимера представляет собой рыхлоупакованную матрицу, в которую погружены области локального порядка (кластеры). Эти кластеры можно рассматривать как нанонаполнитель, представляющий собой набор нескольких плотноупакованных

коллинеарных сегментов разных макромолекул с размерами до 1 нм [5]. Причем в отличие от наночастиц неорганических наполнителей нанокластеры являются поверхностными фракталами.

Наряду с армирующим действием исходные и функционализированные УНТ способны влиять на изменение физико-механических характеристик композитов за счет участия в процессе отверждения эпоксидных олигомеров и формирования структуры полимерной матрицы [6].

В последнее время большое внимание уделяется исследованию нанокompозитов и их применению на железнодорожном транспорте [7]. Разработаны принципы создания новых антифрикционных многослойных покрытий, в которых основную нагрузку берет на себя металл силового каркаса, а высокие антифрикционные свойства обеспечивает наноструктурное покрытие, которое может состоять из одного или нескольких слоев, несущих различную функциональную нагрузку – одни слои обладают антифрикционной стойкостью, а другие – адгезионной. Данные системы могут быть применены на предприятиях железнодорожного транспорта как принципиально новый смазочный материал в системе колесо-рельс для нанесения покрытия на боковую грань рельса в кривых малого радиуса. Качественно новые эксплуатационные и потребительские свойства таких изделий позволяют достичь увеличения безаварийного срока службы деталей и устройств, снижения расходов на замену вышедшего из строя оборудования и уменьшения сроков простоя оборудования.

Авторами [8] предложены эпоксидные композиции для ремонта газонефтепроводов подводных переходов с улучшенными адгезионными характеристиками и прочностью на сжатие. Эффект достигается за счет введения в ЭС наноразмерных частиц фуллерена и органобентонита на основе монтмориллонитовых глин.

В работе [9] дан краткий обзор новейших достижений в области нанотехнологий строительных материалов. Рассматриваются наноструктурные бетоны, в том числе с применением нанокompозитной арматуры, модифицированные наночастицами сталь, полимерные покрытия и краски, адгезивы, герметики и строительные материалы (в том числе на основе ЭС) специального назначения (полимерные композиты, связующее, стекло), обладающие высокими эксплуатационными свойствами.

Интересным направлением получения нанокompозитов является золь-гель технология для формирования частиц наполнителя на основе разных алкоксисилановых соединений. Установлено, что при содержании полисилоксановых частиц (ПСЧ) 0,5...1,5 мас. % для композитов на основе триэпоксида и 1,5...3,0 мас. % для композитов на основе диэпоксида наблюдается увеличение прочности при одноосном растяжении модуля упругости, а также адгезионной прочности клеевых соединений при равномерном отрыве. При этом более высокие физико-механические свойства имеют системы, полученные при формировании золь-гелей первичных ПСЧ в отсутствие эпоксидного олигомера. Получены композиты с высокими деформационно-прочностными и адгезионными свойствами, термостабильностью, водо-, кислото- и щелочестойкостью, которые могут быть использованы в качестве антифрикционных полимерных композитов для стальных и титановых пар трения.

Цель настоящей работы заключается в исследовании влияния нанопорошков оксидов циркония (ZrO_2) и алюминия (Al_2O_3) на физико-механические и адгезионные свойства эпоксидных полимеров.

В качестве объекта исследования была выбрана промышленная диановая смола ЭД-20. Отвердителем служил полиоксипропилен триамин марки Т-403 производства компании Huntsman Chemicals.

В качестве нанопорошков использовали оксид алюминия, полученный плазмохимическим методом, и диоксид циркония с разной термической предысторией, отличающихся размерами частиц, удельной поверхностью и фазовым составом (табл. 1). Получение нанопорошков ZrO_2 осуществляли методом осаждения гидроксида из раствора азотнокислой соли водным раствором аммиака. Осадок многократно промывали для удаления побочных продуктов реакции. В этом состоянии и после сушки гидроксид циркония имел аморфную структуру. С целью получения частиц разных размеров проводилось прокалывание в печи СНОЛ при 500 и 700 °С. Размеры частиц ($D_{сca}$) определяли методами рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной микроскопии. Удельную поверхность ($S_{вет}$) определяли по методу адсорбции азота, основанному на уравнении БЭТ.

Отверждение композиций проводили по режимам I (22 °С / 240 ч) и II (22 °С / 24 ч + 120 °С / 3 ч).

Адгезию клеевых соединений образцов (Ст. 3) при сдвиге (τ_b) и отрыве ($\sigma_{отр}$) определяли по ГОСТ 14759-69 и 14760-69 соответственно. Предел текучести ($\sigma_{сж}^T$) и разрушающее напряжение ($\sigma_{сж}^P$) при сжатии измеряли по ГОСТ 4651-82.

Показатель истирания (I) определяли по ГОСТ 11012-69. Сущность метода заключается в определении уменьшения объема образца в кубических миллиметрах в результате истирания (износа)

Таблица 1 – Размеры и фазовый состав нанопорошков

Химический состав	Температура прокаливания, °C	D_{sca}^1 , нм	$S_{вет}^2$, м ² /г	Фазовый состав (тетрагональная фаза/моноклинная фаза), %
ZrO ₂	500	9,1	60	23/77
	700	23,2	31	9/91
Al ₂ O ₃	–	10±300	–	γ-фаза

Примечание:

¹ размер частиц определяли методами рентгеноструктурного анализа и просвечивающей электронной микроскопии, D_{sca} – область когерентного рассеяния рентгеновских лучей;

² удельная поверхность определялась по методу БЭТ.

на 1 м пути истирания шлифовальной шкуркой. Испытания проводили на машине типа APGI (производство ФРГ). Нагрузка на образец составляла 1 кг, длина пути истирания образца – 10 м (25 оборотов цилиндра машины).

Предельные механические свойства при одноосном растяжении измеряли на динамометре Поляни. Модуль упругости (E) рассчитывали по наклону начального участка кривой напряжение – деформация (σ – ϵ). Мерой работы разрушения (A_p) служила площадь под кривой σ – ϵ . Объекты исследования деформационно-прочностных свойств представляли собой пленки толщиной ~ 100 мкм, полученные при отверждении композиций между двумя полированными поверхностями металлических плит, покрытых тонким слоем антиадгезива.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В табл. 2 и 3 приведены результаты исследования влияния нанопорошков с разной температурой прокаливания ($T_{пр}$) на свойства ЭП. Видно, что при увеличении $T_{пр}$ вводимого порошка с 500 до 700 °C наблюдается значительное уменьшение параметров σ_p , ϵ_p , E и A_p . В то же время величины $\sigma_{сж}^T$, τ_v и I изменяются незначительно.

Таблица 2 – Свойства ЭП от типа нанопорошка и температуры прокаливания

Химический состав нанопорошка ¹	Температура прокаливания, °C	σ_p , МПа	ϵ_p , %	E, ГПа	A_p , кДж/м ²	$\sigma_{сж}^T$, МПа	$\sigma_{сж}^P$, МПа
ZrO ₂	500	$\frac{70,8^2}{105,8}$	$\frac{6,5}{5,7}$	$\frac{1,41}{2,03}$	$\frac{3,72}{4,84}$	$\frac{—}{81}$	$\frac{—}{136}$
	700	$\frac{30,3}{33,5}$	$\frac{2,3}{3,0}$	$\frac{1,15}{1,20}$	$\frac{0,56}{0,81}$	$\frac{—}{83}$	$\frac{—}{163}$
Al ₂ O ₃	–	$\frac{76,1}{105,3}$	$\frac{4,8}{3,6}$	$\frac{1,59}{2,18}$	$\frac{2,92}{3,03}$	$\frac{—}{76}$	$\frac{—}{149}$

Примечание:

¹ содержание 5 мас. ч. на 100 мас. ч. ЭП;

² числитель – образцы отверждены по режиму I, знаменатель – по режиму II.

Таблица 3 – Зависимость адгезионной прочности и истирания ЭП от типа нанопорошка и температуры прокаливания

Химический состав нанопорошка ¹	Температура прокаливания, °C	τ_v , МПа	I, мм ³ /м	ρ , кг/м ³	$I^* = (I \cdot \rho) 10^{-6}$, кг/м
ZrO ₂	500	$\frac{21,8^2}{25,9}$	$\frac{15,2}{8,7}$	$\frac{1\ 184,2}{1\ 195,4}$	$\frac{18,0}{10,4}$
	700	$\frac{22,4}{23,8}$	$\frac{14,8}{11,7}$	$\frac{1\ 202,7}{1\ 188,0}$	$\frac{17,8}{13,9}$
Al ₂ O ₃	–	$\frac{23,3}{24,1}$	$\frac{11,1}{11,7}$	$\frac{1\ 171,2}{1\ 198,2}$	$\frac{13,0}{13,3}$

Примечание:

¹ содержание 5 мас. ч. на 100 мас. ч. ЭП;

² числитель – образцы отверждены по режиму I, знаменатель – по режиму II.

Сопоставление данных, приведенных в табл. 1–3, позволяет заключить, что более высокие значения прочностных характеристик, модуля упругости, работы разрушения и стойкости к истиранию при использовании нанопорошков, полученных при температуре прокаливания 500 °С, очевидно, могут быть связаны как с меньшим размером частиц (табл. 1), так и (что более вероятно) большей их удельной поверхностью, по сравнению с порошками, полученными при 700 °С.

Как следует из рис. 1 и 2, зависимости деформационно-прочностных свойств от концентрации (С) нанопорошков имеют экстремальный характер. При этом положение и величина максимумов зависят от химической природы наполнителя и термической предыстории.

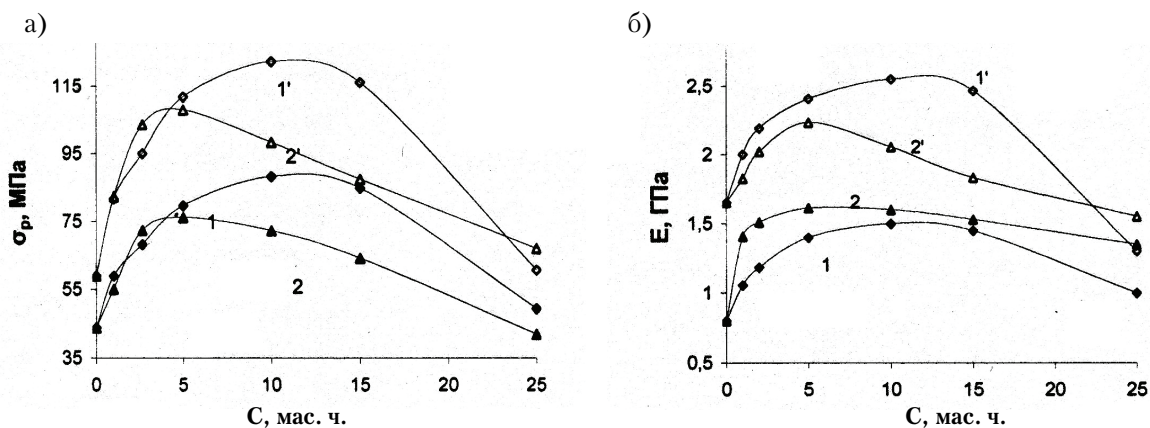


Рисунок 1 – Зависимость σ_p (а) и E (б) от концентрации ZrO_2 , прокаленного при 500 °С (1, 1') и Al_2O_3 (2, 2'). Образцы отверждены по режимам: I (1, 2) и II (1', 2').

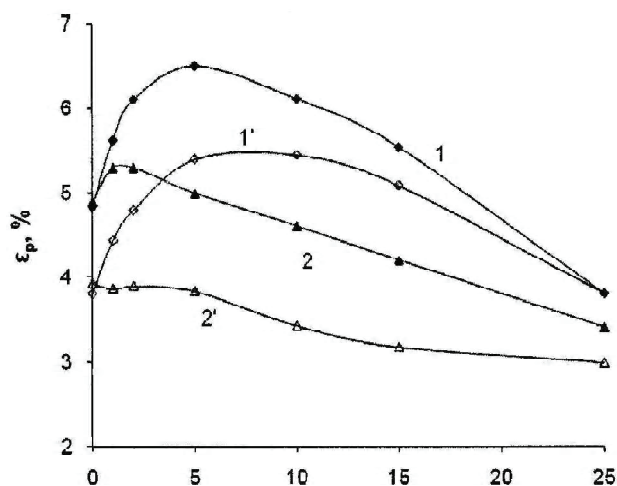


Рисунок 2 – Зависимость ϵ_p от концентрации ZrO_2 (1, 1') и Al_2O_3 (2, 2'). Образцы отверждены по режимам: I (1, 2) и II (1', 2')

Если для ZrO_2 максимумы прочности и жесткости (рис. 1) проявляются при содержании наполнителя ~ 12 мас. ч., то для Al_2O_3 – при ~5 мас. ч. Абсолютные значения σ_p выше для ZrO_2 как для образцов, отвержденных без подвода тепла извне (режим I), так и для термообработанных (режим II) образцов.

При этом значения σ_p в точке максимума превосходят величину прочности базового (не содержащего наполнителя) образца более чем в 2 раза при наполнении ZrO_2 и в ~ 1,8 раза при наполнении Al_2O_3 .

Деформация при разрыве ϵ_p (рис. 2) при наполнении ZrO_2 возрастает в ~ 1,3 раза в области максимума, а затем при увеличении концентрации наполнителя снижается до значений, близких к величине ϵ_p базового образца. В случае введения Al_2O_3 для образцов, отвержденных по режиму I, после образования слабо выраженного максимума присодержания наполнителя 1–2 мас. ч. наблюдается

монотонное снижение ε_p . Для образцов, подвергнутых термообработке (режим II), максимум вырождается, а уменьшение ε_p происходит с разными скоростями: при $0 < C < 5$ мас. ч. и при $C > 15$ мас. ч. снижение очень малое, а в интервале $5 < C < 15$ мас.ч. величина деформации при разрыве убывает достаточно быстро. Такое различное влияние нанопорошков на деформационную способность может быть, в частности, объяснено следующим образом. Как известно [10], наночастицы проявляют тенденцию к образованию агрегатов с размерами до 300 нм и даже агломератов с размерами до 3 000 нм. Структура агрегата с сильно связанными наночастицами при деформации допускает их поворот и скольжение, на что расходуется энергия развивающейся трещины, обуславливая тем самым повышение пластичности материала. Большое значение при этом имеют количество и распределение агрегатов на пути продвигающейся трещины. Трещина быстро продвигается, когда агрегатов мало. Если же агрегатов больше определенного числа, то они начинают работать как множество преград для продвижения трещины, т. е. реализуется определенный упрочняющий эффект. Исходя из этого механизма и учитывая характер наблюдаемых на рис. 2 зависимостей $\varepsilon_p - C$, можно предположить, что наночастицы ZrO_2 связаны в агрегатах намного прочнее, чем Al_2O_3 .

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о весьма сложном характере влияния нанопорошков ZrO_2 и Al_2O_3 на комплекс механических и триботехнических свойств эпоксидных полимеров. Наполнение нанопорошками способствует существенному увеличению прочности при растяжении (в 1,8...2,0 раза), при сжатии (в 1,2...1,5 раза) и модуля упругости (в 1,4...1,7 раза) эпоксидных полимеров. Показано, что зависимость деформации при разрыве от концентрации нанопорошков имеет экстремальный характер, причем значение ε_p в максимуме на 30 % выше, чем у базового образца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективные разработки ВИАМ в области наноматериалов и нанотехнологий [Текст] / Е. Б. Чабина, Г. А. Морозов, А. Н. Луценко, С. Ю. Скрипачев // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. – № 6. – С. 9–15.
2. Кузьев, И. М. Основные направления развития науки и техники в области полимерных нанокompозитов и нанотехнологий на современном этапе [Текст] / И. М. Кузьев, В. И. Сытар, О. С. Кабат // Вопросы химии и химической технологии. – 2006. – № 4. – С. 126–130.
3. Хозин, В. Г. Усиление эпоксидных полимеров [Текст] / В. Г. Хозин. – Казань : Изд-во ПИК «Дом печати», 2004. – 446 с.
4. Промышленные полимерные композиционные материалы [Текст] : Пер. с англ. / Под ред. П. Г. Бабаевского. – М. : Химия, 1980. – 472 с.
5. Козлов, Г. В. Кластерная модель аморфного состояния полимеров [Текст] / Г. В. Козлов, В. У. Новиков // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171, № 7. – С. 717–764.
6. О механизме усиления эпоксидных смол углеродными нанотрубками [Текст] / А. В. Богатов, С. В. Кондрашов, И. А. Мансурова [и др.] // Все материалы – энциклопедический справочник. – 2012. – № 4. – С. 7–11.
7. Колесников, В. И. Повышение износостойкости металлополимерной трибосистемы с использованием нанотехнологий [Текст] / В. И. Колесников // Транспорт России: становление, развитие, перспективы : Материалы научно-практической конференции. – М. : МИИЕ, 2009. – № 5. – С. VII–5–VII–11.
8. Золотарева, В. В. Исследование эпоксидно-каучуковых композиций, отвержденных полиоксипропилентриамином [Текст] / В. В. Золотарева, Т. А. Кулик, Ю. С. Кочергин // Полимерные материалы на основе эпоксидных смол, фенольных и других олигомеров. Получение, свойства, применение: Сборник научных трудов УкрГосНИИпластмасс // Под ред. д. т. н., проф. Ю. С. Кочергина. – Донецк : ООО «Друк-ИНФО». – 2005. – С. 150–154.
9. Фиговский, О. Л. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах [Текст] / О. Л. Фиговский, Д. А. Бейлин, А. Н. Пономарев // Нанотехнологии в строительстве. – 2012. – № 3. – С. 6–21.
10. Белошенко, В. А. Эффект памяти формы в полимерах и его применение [Текст] / В. А. Белошенко, В. Н. Варюхин. – Киев : Наук. думка, 2005. – 192 с.

Получено 18.12.2015

В. В. ЗОЛОТАРЬОВА, Ю. С. КОЧЕРГІН
ВПЛИВ НАНОПОРОШКІВ НА МЕХАНІЧНІ ТА АДГЕЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ
ЕПОКСИДНИХ ПОЛІМЕРІВ

Державна організація вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського»

Показано, що добавка нанопорошків оксидів цирконію та алюмінію призводить до значного зростання показників когезійної міцності (в 1,8...2,0 рази), деформації при розриві (у 1,2...1,3 разу) і модуля пружності (в 1,4...1,7 разу) мастики при порівняно невеликій зміні зносостійкості, адгезійної міцності і теплостійкості епоксиполімерів. Розроблено принципи створення нових антифрикційних багатшарових покриттів, в яких основне навантаження бере на себе метал силового каркаса, а високі антифрикційні властивості забезпечує наноструктурне покриття, яке може складатися з одного або декількох шарів, що несуть різне навантаження – одні шари мають антифрикційну стійкість, а інші – адгезійну. Запропоновано епоксидні композиції для ремонту газонафтопроводів підводних переходів з полішеними адгезійними характеристиками і міцністю на стиск.

полімерні нанокомпозити, епоксидні смоли, модуль пружності, міцність при розтягуванні, зносостійкість, матриця, деформація при розриві, поліоксипропілентріамін

VIKTORIYA ZOLOTAREVA, YURIY KOCHERGIN
EFFECT OF NANOPOWDERS TO MECHANICAL AND ADHESIVE
PROPERTIES OF EPOXY POLYMERS

State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade»

It is shown that the addition of nanopowders oxides of zirconium and aluminum leads to significant growth of the indicators of the cohesive strength (1.8...2.0 times), deformation at rupture (1.2...1.3 times) and the modulus of elasticity (in 1.4 of 1.7 times) polymer with a relatively small change of wear resistance, adhesion strength and heat resistance of epoxy polymers. The principles of creating new antifriction multilayer coatings in which the basic load assumes the metal power skeleton, and the high frictional properties provides nanostructured coating, which may consist of one or several layers bearing different load – some layers have an anti-friction resistance and others – Adhesion. Epoxy compositions are proposed for repairs gas and oil pipe line underwater crossings with improved adhesion properties and compressive strength.

polymer nanocomposites, epoxy resin, elastic modulus, tensile strength, wear resistance of the matrix, the deformation at rupture, polyoxypropylenetriamine

Золотарьова Вікторія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Державної організації вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: товарознавство пластичних мас.

Кочергін Юрій Сергійович – доктор технічних наук, професор кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Державної організації вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: технологія полімерних композиційних матеріалів.

Золотарева Виктория Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Государственной организации высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: товароведение пластических масс.

Кочергин Юрий Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Государственной организации высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: технология полимерных композиционных материалов.

Zolotarova Viktoriya – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: commodity research of plastic the masses.

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

УДК 678.046.686-044.952

О. С. ПОПОВА, Ю. С. КОЧЕРГИН

Государственная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЯ МАРКИ NORMCAL НА ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КЛЕЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Выполнены исследования влияния наполнителя марки Normcal (Турция) на комплекс технологических, физико-механических и адгезионных свойств эпоксидных клеевых композиций. Приведены деформационно-прочностные, адгезионные и другие свойства эпоксидных полимеров, содержащих 50 мас. ч. наполнителя с различным размером частиц. Установлено, что увеличение модулей упругости в стеклообразном и высокоэластическом состояниях при введении наполнителей хорошо согласуется с расчетными значениями, определенными из зависимости Гута-Смолвуда. Показано, что наполнитель марки Normcal может быть с успехом использован в эпоксидных клеевых материалах, обеспечивая лучшие деформационно-прочностные свойства эпоксидных клеевых композиций.

эпоксидные смолы, наполнитель, модуль упругости, прочность при растяжении, деформация при разрыве, динамические механические свойства

В настоящее время синтетические клеи применяют практически во всех отраслях промышленности. Современные синтетические клеи склеивают различные материалы, соединения которых долговечны, способны работать в широком интервале температур и в любых климатических условиях.

Масштабы использования клеевых материалов на основе синтетических смол значительно увеличились в последние годы. Среди них особое значение приобретают эпоксидные смолы.

В связи с этим расширение ассортимента и регулирование свойств эпоксидных клеевых материалов с заданными свойствами является актуальным вопросом и представляет научный интерес.

Сегодня на рынке представлены разнообразные клеи отечественного и зарубежного производства. Производители предлагают широкий выбор клеящих средств на основе эпоксидных полимеров, которые отличаются назначением, качественными и ценовыми характеристиками и т. д. Среднегодовые мировые темпы роста производства эпоксидных клеевых материалов составляют около 4 % в год, темпы потребления 7–8 %.

Развитие ассортимента эпоксидных клеев осуществляется в направлении улучшения их качества, особенно экологической безопасности, санитарно-гигиенических свойств, долговечности и повышения их конкурентоспособности.

Целью настоящей работы является проведение исследований влияния наполнителя марки Normcal (Турция) на комплекс технологических, физико-механических и адгезионных свойств эпоксидных клеевых композиций.

В качестве эпоксидного олигомера (ЭО) была использована промышленная диановая смола марки Epikote-828 (содержание эпоксидных групп 22,6 %, вязкость при 25 °С 12–4 Па·с). Совмещение смолы с разбавителем (высокоактивный бифункциональный мономер «винилокс») проводили при комнатной температуре. В качестве наполнителя использовали молотый карбонат кальция марки Normcal (Турция), его свойства приведены в табл. 1.

Карбонат кальция (CaCO_3) широко применяется для наполнения полимерных композиционных материалов, благодаря низкой стоимости и безвредности при высокой чистоте, что позволяет получать изделия, разрешенные к употреблению в контакте с пищевыми продуктами.

Таблица 1 – Свойства наполнителя марки Normcal

Параметры	Марка наполнителя				
	1	3	5	20	40
Максимальный размер частиц, мкм	6,0–7,0	11,0–15,0	23,0–26,0	35,0–55,0	55,0–70,0
Средний размер частиц, мкм	2,01	2,82	4,24	6,21	8,34

В настоящее время на рынке широко представлен карбонат кальция различных производителей, отличающийся размером частиц и их распределением по размерам.

Отверждение композиций проводили диэтилентриамином ДЭТА по режимам 22 °С/108 ч (I – холодное отверждение) и 22 °С/24 ч + 120 °С/3 ч (II – отверждение с термообработкой).

Разрушающее напряжение при растяжении (σ_p) и деформацию при разрыве (ϵ_p) измеряли на динамометре типа Поляни [1] при скорости растяжения $3,8 \cdot 10^{-5}$ м/с. Модуль упругости (E) рассчитывали по наклону начального участка кривой σ – ϵ . Температуру стеклования (T_g) определяли при постоянной растягивающей нагрузке 1 МПа на приборе, описанном в [2]. Прочность при растяжении (σ_p) определяли по ГОСТ 4651-82.

Водостойкость определяли по приращению массы образцов после экстракции в кипящей воде в течение 3 ч.

Адгезионную прочность при сдвиге (τ_v) и отрыве ($\sigma_{отр}$) определяли по ГОСТ 14759-69 и ГОСТ 14760-69 соответственно.

Динамические механические характеристики (динамический модуль упругости E', модуль потерь E'', тангенс угла механических потерь tg δ) измеряли на установке ДМА 983 термоаналитического комплекса DuPont 9900. На блоке Dual Sample 912 этого же комплекса методом дифференциальной сканирующей калориметрии определяли теплофизические свойства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В табл. 2 приведены деформационно-прочностные, адгезионные и другие свойства эпоксидных полимеров, содержащих 50 мас. ч. наполнителя с различным размером частиц.

Таблица 2 – Зависимость свойств эпоксидных материалов от размеров частиц наполнителя Normcal

Параметры	Базовый образец ¹	Марка наполнителя				
		1	3	5	20	40
Прочность при сдвиге клеевых соединений, τ_v , МПа	<u>19,7</u> 23,5 ²⁾	<u>21,4</u> 23,6	<u>21,6</u> 24,1	<u>22,0</u> 24,4	<u>21,8</u> 24,3	<u>20,3</u> 24,0
Прочность при отрыве клеевых соединений, $\sigma_{отр}$, МПа	24,6	25,9	25,8	26,7	26,7	25,6
Прочность при растяжении, σ_p , МПа	<u>60,3</u> 70,8	<u>56,7</u> 62,7	<u>57,1</u> 64,1	<u>58,1</u> 62,9	<u>57,3</u> 63,1	<u>55,8</u> 61,9
Деформация при разрыве, ϵ_p , %	<u>2,9</u> 4,1	<u>2,7</u> 3,3	<u>2,8</u> 3,3	2,8 3,3	<u>2,7</u> 3,3	<u>2,6</u> 3,2
Динамический модуль упругости E, ГПа	<u>1,48</u> 1,55	<u>1,49</u> 1,54	<u>1,45</u> 1,54	<u>1,46</u> 1,55	<u>1,44</u> 1,54	<u>1,44</u> 1,51
Температура стеклования, T_g , °С	<u>54</u> 101	<u>57</u> 104	<u>57</u> 105	<u>58</u> 105	<u>57</u> 105	<u>58</u> 105
Водостойкость, W, %	0,93	0,89	0,88	0,85	0,85	0,84

Примечание:

¹ Epikote-828 (100 мас. ч.) + винилокс (10 мас. ч.) + ДЭТА (14 мас. ч.)

² До черты – образцы отверждены по режиму I, после черты – по режиму II.

Видно, что введение наполнителя приводит к некоторому увеличению адгезионных параметров как при сдвиге, так и отрыве клеевых соединений, а также температуры стеклования и модуля упругости. В то же время когезионная прочность σ_p и деформация при разрыве ϵ_p , наоборот, несколько снижаются.

При этом значения параметров в большей мере зависят от режима отверждения, чем от размера наполнителя.

Что касается параметров, определенных методом динамической механической спектроскопии (табл. 3), то одни из них, а именно модули $E'_{25}, E'_{в.э.}, E''_{м.}$, существенно возрастают (\sim в 2 раза), а другие $\text{tg } \delta_m, \text{Ttg } \delta_m, T_{E''_{м.}}, T_c'', T_c^k$ изменяются довольно мало.

Таблица 3 – Влияние размера наполнителя на динамические механические свойства ЭП¹

Параметры	Базовый образец ¹	Марка наполнителя				
		1	3	5	20	40
Динамический модуль упругости, E' , при 25 °С, МПа	1,59	2,99	2,87	2,75	2,73	2,79
Модуль высокоэластичности, $E_{в.э.}$, МПа	35,97	81,30	82,69	79,81	70,12	73,54
Температура начального участка перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое, T_c'' , °С	100,7	104,8	104,6	106,0	104,4	104,7
Температура конечного участка перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое, T_c^k , °С	125,6	132,8	133,4	131,8	133,2	133,0
Максимальное значение тангенса угла механических потерь, $\text{tg } \delta_m$	0,3994	0,3871	0,4133	0,4151	0,4093	0,4011
Температура $\text{tg } \delta_m$, °С	122,7	128,9	129,1	127,7	129,5	129,3
Максимум модуля потерь $E''_{м.}$, МПа	135,7	276,0	286,6	281,3	240,2	230,2
Температура $T_{E''_{м.}}$, °С	117,7	129,9	123,4	122,2	12,7	123,0

Примечание:

¹ Режим отверждения – II.

При анализе данных, приведенных в работе [3], обращают на себя внимание следующие экспериментальные факты. Температура T_c'' , определенная динамическим методом, практически совпадает с результатами, полученными в статическом режиме для T_c^k . Температура T_c^k , хотя и несколько выше, но достаточно хорошо коррелирует с температурой максимума тангенса угла механических потерь. Величина максимума $\text{tg } \delta$ практически не изменяется при добавлении наполнителя. Хотя если бы потери были обусловлены только движением молекул полимера, то для наполненного полимера максимум $\text{tg } \delta$ должен быть меньше в соответствии с соотношением Нильсена:

$$\text{tg } \delta_k \approx \text{tg } \delta_n \cdot V_n,$$

где k – означает композит (наполненный полимер),

V_n – объемная доля полимера.

Очевидно, если в ненаполненном полимере $V_n = 1$, то в наполненном $V_n = 1 - V_n$, где V_n – объемная доля наполнителя. В случае введения 50 мас. ч. наполнителя Normcal его объемная доля составляет $\sim 23\%$, т. е. величина $\text{tg } \delta_m$ для наполненного образца должна составлять 0,77 от значения $\text{tg } \delta_m$ для базового образца.

Как видно из табл. 2, небольшое снижение (и при этом меньшее, чем предсказывает соотношение Нильсена) наблюдается только для самых маленьких из исследуемых частиц (марка 1). Для других размеров частиц имеет место увеличение $\text{tg } \delta_m$ по сравнению с базовым образцом, т. е. в наполненном полимере происходит дополнительное рассеяние механической энергии, источником которого может быть, например, трение между частицами наполнителя или между наполнителем и полимером.

Отметим также, что увеличение модулей упругости в стеклообразном и высокоэластическом состоянии при введении наполнителей хорошо согласуется с расчетными значениями, определенными из зависимости Гута-Смолвуда:

$$E_n = E_n \cdot (1 + 2,5V_n + 14,1 \cdot V_n^2).$$

При $V_n = 0,23$ величина, стоящая в скобках, составляет 2,31, т. е. модули наполненного полимера (при данной степени наполнения) будут превосходить модули базового образца в 2,91 раза.

Для модуля $E'_{25}, E'_{в.э.}$ расчетное значение равно $2,31 \cdot 1,59 = 3,67$ ГПа, что несколько больше (на $\sim 22\%$), чем экспериментально определенные величины. Для модуля высокоэластичности расчетное значение составляет $2,31 \cdot 35,97 = 83,09$ МПа, что практически совпадает с экспериментальными величинами.

Установлено, что наполнитель марки Normcal может быть с успехом использован в эпоксидных клеевых материалах, обеспечивая лучшие технологические, физико-механические и адгезионные свойства эпоксидных клеевых композиций.

Результаты проведенного исследования показывают, величина тангенса угла механических потерь ($\tan \delta$) практически не изменяется при введении наполнителя. Это находится в некотором противоречии с теоретическими представлениями, согласно которым $\tan \delta$ тем меньше, чем выше содержание наполнителя. Допустимо, что эффект может быть связан с дополнительным рассеиванием механической энергии за счет трения частиц наполнителя между собой или с полимерной матрицей [4–5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малкин, А. Я. Методы измерения механических свойств полимеров [Текст] / А. Я. Малкин, А. А. Аскадский, В. В. Коврига. – М. : Химия, 1978. – 336 с.
2. Станкевич, В. К. Технологические аспекты получения винилокса – нового перспективного мономера и полупродукта [Текст] / В. К. Станкевич, Б. А. Трофимов, Л. Е. Белозеров // ВКН : Расширенные тезисы докладов всесоюзной конференции «Современные проблемы химической технологии». Т. 3 : Новые направления в комплексной переработке природного органического сырья / Под ред. д. х. н. А. И. Холькина. – Красноярск : ИХХТ СО АН СССР, 1986. – С. 272–273.
3. Винилокс – эффективный разбавитель эпоксидных композиций [Текст] / О. С. Попова, Ю. С. Кочергин, Т. И. Григоренко, Е. Э. Самойлова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2011. – Вип. 2011-1(87) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 3–10. – ISSN 1814-3296.
4. Золотарева, В. В. Исследование истирания эпоксидных композиций [Текст] / В. В. Золотарева, В. А. Липская, Ю. С. Кочергин // Полимерные материалы на основе эпоксидных, фенольных и других олигомеров. Получение, свойства, применение : Сборник научных трудов УкрГосНИИпластмасс / Под ред. д. т. н., проф. Ю. С. Кочергина. – Донецк : Друк-ИНФО, 2005. – С. 159–162.
5. Золотарева, В. В. Исследование эпоксидно-каучуковых композиций, отвержденных полиоксипропилен триамином [Текст] / В. В. Золотарева, Т. А. Кулик, Ю. С. Кочергин // Полимерные материалы на основе эпоксидных смол, фенольных и других олигомеров. Получение, свойства, применение : Сборник научных трудов / Под ред. д. т. н., проф. Ю. С. Кочергина. – Донецк : УкрГосНИИпластмасс, Друк-ИНФО, 2005. – С. 150–154.

Получено 21.12.2015

О. С. ПОПОВА, Ю. С. КОЧЕРГІН

ВПЛИВ НАПОВНЮВАЧА МАРКИ NORMCAL НА ДЕФОРМАЦІЙНО-МІЦНІСТНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ КЛЕЙОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Державна організація вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського»

Виконані дослідження впливу наповнювача марки Normcal (Туреччина) на комплекс технологічних, фізико-механічних і адгезійних властивостей епоксидних клейових композицій. Наведені деформаційно-міцнісні, адгезійні та інші властивості епоксидних полімерів, що містять 50 мас. ч. наповнювача з різним розміром частинок. Встановлено, що збільшення модулів пружності у склоподібного і високоеластическому стані при введенні наповнювачів добре узгоджується з розрахунковими значеннями, визначеними із залежності Гута-Смолвуда. Показано, що наповнювач марки Normcal може бути з успіхом використаний в епоксидних клейових матеріалах, забезпечуючи кращі деформаційно-міцнісні властивості епоксидних клейових композицій.

епоксидні смоли, наповнювач, модуль пружності, міцність при розтягуванні, деформація при розриві, динамічні механічні властивості

OXANA POPOVA, YURIY KOCHERGIN

EFFECT OF FILLING MATERIAL OF BRAND NORMCAL ON DEFORMATION STRENGTH PROPERTIES PASTE EPOXY MATERIALS

State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade»

The researches of effect of filling materials of brand Normcal (Turkey) on complex of engineering, physical and mechanical properties and adhesion properties of paste epoxy compositions, have been carried out. Deformation and strength, adhesive and other properties of epoxy polymers, containing 50 mass. h. of filling

materials with various size of particles, have been given. It has been found out that increasing of elasticity modulus in glassy and high-elastic state under introduction of filling materials accords with design value, which was determined by dependence G₁ = f(ρ). It has been shown that filling material of Normcal brand can be successfully used in paste epoxy material, and can guarantee the best deformational and strength properties of paste epoxy compositions.

epoxy resin, filling material, elastic modulus, tensile strength, strain at break, the dynamic mechanical properties

Попова Оксана Сергіївна – старший викладач кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Державної організації вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: дослідження проблем розвитку асортименту епоксидних клеючих засобів; інноваційні підходи до оцінки якості епоксидних клеїв; вивчення сучасного вітчизняного та світового ринку синтетичних клеїв.

Кочергин Юрій Сергійович – доктор технічних наук, професор кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Державної організації вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: технологія полімерних композиційних матеріалів.

Попова Оксана Сергеевна – старший преподаватель кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Государственной организации высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: исследование проблем развития ассортимента эпоксидных клеящих средств; инновационные подходы к оценке качества эпоксидных клеев; изучения современного отечественного и мирового рынка синтетических клеев

Кочергин Юрий Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Государственной организации высшего профессионального образования «Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: технология полимерных композиционных материалов.

Popova Oksana – senior lecturer, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: development studies range of epoxy adhesive means, innovative approaches to assessing the quality of epoxy adhesives, the study of contemporary domestic and world market of synthetic adhesives.

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

УДК 675.016:620.21

В. Н. КИБЗУН, Н. П. НАГОРНАЯ

Государственная организация высшего профессионального образования «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского»

ОБ ОБОСНОВАНИИ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КАЧЕСТВО ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

На примере производства овчинно-шубных изделий разработана иерархическая систематика показателей, определяющих качество готовой продукции. Овчинно-шубные изделия пользуются повышенным спросом у населения и благодаря этому занимают одно из основных мест на рынке сырьевых материалов. Повышая качество сырья овчинно-шубных изделий, можно увеличить сырьевые ресурсы для производства конкурентоспособных товаров. В работе проведена рейтинговая оценка ассортимента и качества овчинно-шубных изделий разных производителей на основе опроса покупателей и экспертов. Разработана иерархическая систематика показателей качества и ассортимента на стадии проектирования и потребления. Проведен анализ состояния научных исследований, существующих нормативных документов, требований к меховой одежде, потребительская и экспертная оценка показателей качества меховых изделий.

показатели качества, ассортимент, овчина-шубная, проектирование, производство, потребление

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам оценки качества меховых полуфабрикатов из овчины шубной посвящены научные работы [1–3], в которых рассматривается иерархическая систематика показателей качества и ассортимента меховых изделий, на стадии проектирования, производства и потребления.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для выпуска высококачественных овчинно-шубных изделий, пользующихся повышенным спросом, большое значение имеет оценка их ассортимента и качества.

По особенностям производства овчинно-шубные изделия подразделяют на нагольные (кожевой тканью наружу) и крытые (с верхом из ткани на подкладке из шубной овчины). В отличие от меховой одежды овчинно-шубные изделия изготавливаются однослойными, без утепляющих и подкладочных материалов. Изделия из овчины отличаются разнообразным покроем (в отличие от изделий из пушнины, покрой которых не меняется или меняется незначительно) и колористическим оформлением. В настоящее время вводится дифференциация одежды по потребительским группам и по назначению. Для нарядных изделий из овчины шубной используют остроумные формы кроя [1–2].

Изделия из шубной овчины должны быть изготовлены в соответствии с требованиями нормативных документов по техническим описаниям. Одежда должна правильно сидеть на фигуре, соответствовать размеру и росту. Самые ответственные участки изделия полочки, спинка, воротник, лацкан, борт должны быть изготовлены из шкурок одного сорта. Вставки и приставки тщательно подобраны, чтобы они не выделялись на общем фоне изделия. Шкурки должны быть однородными по мягкости и толщине кожевой ткани. Окраска кожевой ткани крашенных шкурок должна быть равномерной, без пятен и непрокрашенных мест; рисунок на шкурках при многотонном крашении четким, равномерным по всей площади. Пороки на шкурках: дыры, разрывы, ломины, плешины, участки шкурок с явно отличающейся окраской кожевой ткани должны быть удалены.

Швы, соединяющие детали, должны быть без захвата волоса, а шов высотой не более 2 мм. Требуется, чтобы поперечные швы полочек и спинки совпадали и не были перекошены.

Готовые изделия должны быть тщательно очищены от пыли, концов ниток, подсеченного волоса. Доброкачественные овчинно-шубные изделия должны быть красивыми, прочными, не стесняющими движения человека, сшитыми добротно, без дефектов [3].

В работе была проведена рейтинговая оценка ассортимента и качества овчинно-шубных изделий разных производителей на основе опроса покупателей и экспертов; разработана иерархическая систематика показателей качества и ассортимента на стадии проектирования и потребления.

Начальным этапом при проведении рейтинговой оценки явился выбор структурной схемы показателей свойств овчинно-шубных изделий. Для решения поставленной задачи был проведен анализ состояния научных исследований, существующей нормативной документации, требований к меховой одежде, потребительская и экспертная оценка показателей качества меховых изделий. В результате было выявлено отсутствие требований к конкретным меховым товарам, в том числе овчинно-шубным, различный подход к классификации потребительных свойств овчинно-шубных изделий, что еще более проявляется при углубленном изучении различного ассортимента изделий, вкладываемого в одноименные понятия в разных документах.

Наиболее близкой к условиям процесса проектирования меховых изделий и полной ее структуризации является иерархическая система показателей качества, разработанная Л. И. Байдаковой. Автором предложена номенклатура показателей (художественно-эстетических) для меховых полуфабрикатов и готовых изделий, которые могут быть использованы и при их органолептической оценке качества [4]. Однако на современном этапе проектирования и производства одежды из натурального меха оценка её качества только по эстетическим показателям является недостаточно объективной и полной, так как осуществляется визуально и поэтому не позволяет на стадии проектирования заложить необходимые показатели свойств, соответствующие требованиям потребителей, массового производства и условиям эксплуатации.

В связи с этим проведение дальнейших исследований по разработке структурной схемы показателей качества овчинно-шубной одежды представляется целесообразным. Это обеспечит обоснованное проектирование изделий из натурального меха и овчины шубной, а в дальнейшем позволит перейти от органолептических методов оценки к объективным инструментальным.

Для определения перечня показателей качества, входящих в структурную схему показателей свойств меховых изделий и выявления их значимости, в работе был проведен анкетный опрос (3 тура) специалистов торговли, специалистов ТПП, Управления по защите прав потребителей, преподавателей ДонНУЭТ.

Первый тур опроса проходил в виде обсуждения предложений специалистов о важности групп показателей качества. Второй тур позволил оценить первый вариант структурной схемы показателей качества. Проведение второго тура заключалось в дальнейшей разработке структурной схемы, отборе и уточнении оцениваемых показателей. Так, наиболее важными для меховых изделий, по мнению экспертов, признаны следующие группы показателей: потребительский уровень – эстетические (1-е место), эргономические (2-е место), эксплуатационные (3-е место), технико-экономический уровень – конструкторско-технический (4-е место).

По итогам двух туров анкетного опроса определен перечень групп, подгрупп и единичных показателей, разработана структурная схема показателей качества для различных меховых изделий.

Наряду с показателями, указанными в стандартах, в предлагаемую схему дополнительно вводили показатели, обеспечивающие надежность при эксплуатации меховых изделий. Например, в группу эксплуатационных показателей включена подгруппа «Формоустойчивость материалов и элементов конструкции».

Необходимость учета этих показателей обуславливается тем, что в процессе изготовления и эксплуатации требуется подчеркнуть красоту меха, его «игру», подвижность, что может быть достигнуто соблюдением определенных значений таких показателей, как плотность, драпируемость, усадка и т. д. Методы оценки и качественные значения этих показателей должны быть определены дополнительно.

Показатели качества полуфабрикатов являются важными для создания высококачественных меховых изделий и их эксплуатации. Несмотря на то, что они определяются на стадии оценки качества мехового полуфабриката, их целесообразно включить в структурную схему показателей качества для учета на этапе проектирования готовых изделий.

Известно, что одежда в зависимости от назначения может быть: повседневная, нарядная, спортивная, и показатели свойств для этих изделий будут различны. В этом отношении предлагаемая структура показателей свойств является универсальной, так как может служить основой для разработки номенклатуры показателей качества меховой одежды любого назначения.

При разработке предполагаемой структуры для определения наиболее значимых показателей, на третьем уровне (туре) опроса восьми экспертам было предложено оценить значимость ограниченного числа показателей для нарядных пальто из шубной овчины на стадии проектирования. При этом наиболее значимым присваивается ранг, равный 1, наименее значимым – 7, где n – число рассматриваемых показателей. Результаты ранжирования обрабатывали с помощью методов математической статистики с использованием ПК [5]. В таблицах 1 и 2 представлены коэффициенты единичных показателей качества для нарядных пальто из шубной овчины. Анализ результатов опроса с 95%-й вероятностью позволил утверждать, что мнение экспертов согласуется по коэффициенту конкордации.

Таблица 1 – Данные экспертного ранжирования меховых изделий из шубной овчины

№ экспертов	Половозрастной признак, X^1	Вид изделия, назначенная, X^2	Применяемый полуфабрикат, масса, X^3	Отделка кожаной ткани, X^4	Конструкция изделия, X^5	Цвет кожаной ткани, X^6	Соответствие моде, X^7
1	3	2	1	4	6	5	7
2	2	3	1	5	6	4	7
3	2	1	3	6	5	7	4
4	3	1	2	6	4	7	5
5	2	1	3	4	6	7	5
6	3	1	2	5	7	4	6
7	3	1	2	4	6	5	7
8	2	1	3	6	4	7	5
	20	12	17	40	44	46	45

Таблица 2 – Расчет коэффициента конкордации

Показатели	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Сумма
$\sum_{i=1}^m x_{ij}$	20	12	17	40	44	46	45	1 342
$\sum_{i=1}^m x_{ij} \frac{m \cdot (n+1)}{2}$	10,5	11,5	–11	8,5	8,5	–3,5	–4,5	
$\left[\sum_{i=1}^m x_{ij} \frac{m \cdot (n+1)}{2} \right]^2$	144	400	225	64	144	196	169	

При математической обработке данных, представленных в таблицах 1, 2 по показателям $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7$, определили коэффициент конкордации по формуле (1):

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^m x_{ij} - 0,5m(n+1) \right]^2}{m^2 (n^3 - n)}, \quad (1)$$

где $n = 7$ количество факторов,
 $m = 8$ – число экспертов.

В данном случае коэффициент конкордации W удовлетворительный и равен $W = 0,652$, так как он должен быть $0 < W < 1$, то есть, чем ближе к единице коэффициент, тем теснее согласованы между собой мнения экспертов (2).

$$W = \frac{12 \cdot 1242}{49 \cdot (512 - 8)} = 0,652. \quad (2)$$

Однако, как следует из данных таблиц 1, 2, эксперты не всегда одинаково ранжируют показатели. Поэтому значимость коэффициента конкордации проверяли по критерию X_2 (коэффициент Пирсона) по формуле:

$$X^2 = \frac{12C^U r^n (S - S')^2}{mn(n+1)}. \quad (3)$$

Фактическое значение равно:

$$X^2 = \frac{1368,856}{37,33} = 36,67. \quad (4)$$

Для оценки значимости необходимо полученное фактическое значение $X^2_{\text{ф}}$ сравнить с табличным $X^2_{\text{т}}$. Табличное значение находится по статистической значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $n-1 = 8-1 = 7$:

$$X^2_{\text{м}}(\alpha, n-1) = X^2_{\text{м}}(0,05; 8-1) = 12,6. \quad (5)$$

Полученное $X^2_{\text{ф}}$ сравнили с $X^2_{\text{т}}$ для числа показателей $n-1 = 7$ ($36,669 > 12,6$). Отсюда следует, что полученный коэффициент конкордации статистически значим и не случаен.

Результаты ранжирования были использованы для оценки относительной значимости показателей, которую рассчитали по формуле:

$$V_i = \frac{mn - n}{[n^2 - (1 + 2 + \dots + n)m]}. \quad (6)$$

$$V_1 = 0,213,$$

$$V_2 = 0,258,$$

$$V_3 = 0,230.$$

$$V_4 = 0,097,$$

$$V_5 = 0,076.$$

$$V_6 - V_7 = 0,063.$$

В результате ранжирования выявлены следующие наиболее значимые классификационные признаки для пальто из овчины шубной на этапе потребления.

$V_2 = 0,258$ – вид изделия;

$V_3 = 0,230$ – применяемые полуфабрикаты;

$V_1 = 0,213$ – половозрастная группа.

По этим показателям можно проводить анализ структуры ассортимента и качества овчинно-шубных изделий, поступающих в торговую сеть.

Наиболее значимый для нарядных пальто из шубной овчины на этапе проектирования оказались следующие основные показатели: соответствие моде и художественное оформление изделия, его оригинальность, стилистическое соответствие; соответствие и гармоничность сочетания основных и отделочных материалов; конструкция изделия; цвет шубной овчины; масса изделия; отделка кожей ткани.

Кроме того, на стадии проектирования целесообразно учитывать следующие дополнительные показатели качества (коэффициент значимости которых близок к уровню значимости): уровень использования скорняжных и пошивочных работ, их оригинальность; удобство пользования изделием; теплозащитные свойства; вентилируемость изделия; средний срок сохраняемости мехового полуфабриката; драпируемость изделия; сохранение конструкции в процессе эксплуатации и изготовления.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в зависимости от поставленной цели необходимо выбирать необходимое и достаточное количество показателей качества, ранжировать их с помощью объективных методов, определять количественные значения этих показателей и в дальнейшем использовать их для комплексной оценки качества изделий.

Предложенная универсальная схема показателей является перспективной для одежды из натурального меха любого назначения. По мере ее дальнейшего совершенствования она может быть использована для оценки уровня качества на различных этапах: проектирования, производства и потребления, это будет способствовать решению задач улучшения качества и расширения ассортимента меховой одежды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инфраструктура товарного рынка [Текст] : Навч. посібник / під. ред. проф. О. О. Шубіна. – 2-е вид., перероб. та доп. – К. : НМЦВО МОН України: НМФ «Студцентр», 2004. – 816 с.

2. Ринок непродовольчих товарів України: реалії та перспективи [Текст] : Монографія. В 3-х т. Т. 1 / О. О. Шубін, О. М. Азарян, Д. В. Гаркуша [та ін.] ; за наук. ред. О. О. Шубіна ; М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2010. – 576 с. – ISBN 978-966-385-189-1.
3. Інновації в асортименті непродовольчих товарів і напрямки його розвитку [Текст] : навч. посіб. для студ. спец. 6.030510, 7.030510, 8.030510 ден. та заоч. форм навчання / за ред. проф. Д. П. Лойко. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2012. – 517 с.
4. Товарознавство. Непродовольчі товари [Текст] : Підручник / Д. П. Лойко [та ін.] ; за ред. проф. Д. П. Лойко. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2014. – 679 с.
5. Кібзун, В. М. Товарознавство шкіряно-взуттєвих і хутряних товарів [Текст] : Метод. вказівки для виконання самостійних робіт студентів з використанням ПК / В. М. Кібзун, Н. П. Денисова. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2003. – 24 с.

Получено 25.12.2015

В. М. КІБЗУН, Н. П. НАГОРНА

ПРО ОБҐРУНТУВАННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЯКІСТЬ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

Державна організація вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського»

На прикладі виробництва овчинно-шубних виробів розроблена ієрархічна систематика показників, що визначають якість готової продукції. Овчинно-шубні вироби користуються підвищеним попитом у населення і завдяки цьому займають одне з основних місць на ринку сировинних матеріалів. Підвищуючи якість сировини хутряних виробів, можна збільшити сировинні ресурси для виробництва конкурентоспроможних товарів. У роботі проведена рейтингова оцінка асортименту та якості хутряних виробів різних виробників на основі опитування покупців та експертів. Розроблено ієрархічну систематику показників якості та асортименту на стадії проектування і споживання. Проведено аналіз стану наукових досліджень, існуючих нормативних документів, вимог до хутряного одягу, споживчу та експертну оцінку показників якості хутряних виробів.

показники якості, асортимент, овчина-шубна, проектування, виробництво, споживання

VALENTINA KIBZUN, NINA NAGORNA

ABOUT GROUNDING FACTORS, WHICH ARE DETERMINED THE QUALITY OF MANUFACTURED GOODS

State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade»

By an example of sheep-fur-coat production it has been developed the hierarchic systematics indicators, which determine the quality of manufactured goods. Sheep-fur-coat products are in high demand among the population and thus occupy a key position in the market for raw materials. Improving the quality of raw sheep-fur-coat products it can be increased the raw materials for production of competitive goods. The work carried out rating of the range and quality of sheep-fur-coat products from different manufacturers on the basis of a survey of buyers and experts. The hierarchical taxonomy of indicators of quality and variety in the design stage and consumption has been developed. The analysis of the state of scientific research, the existing regulations, requirements for fur clothes, consumer and expert assessment indicators of quality of fur, has been carried out.

quality indicators, range, sheep-skin coat, design, production, consumption

Кібзун Валентина Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Державної організації вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: дослідження споживчих властивостей одягово-взуттєвих товарів.

Нагорна Ніна Павлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Державної організації вищої професійної освіти «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла 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 Государственной организации высшего профессионального образования «Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: исследование потребительных свойств одежно-обувных товаров.

Нагорная Нина Павловна – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Государственной организации высшего профессионального образования «Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

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

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

УДК 666.974.2

А. Н. ЕФРЕМОВ, О. Б. КОНЕВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

БЕСЦЕМЕНТНЫЕ ШЛАКОБЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ОТВАЛЬНЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ

Показано, что чрезмерно быстросхватывающиеся жидкостекольные мелкозернистые бетонные смеси в течение первых 30 минут после схватывания или 50...60 минут после затворения сохраняют пластичность, достаточную для формования методом полусухого прессования плотных изделий, что обеспечивает дальнейшее их твердение. Установлено влияние концентрации и расхода жидкого стекла на прочность жидкостекольных бетонов на основе вяжущих из дисперсных гранулированного доменного и кристаллических сталеплавильных шлаков. Получены бесцементные шлакобетоны полусухого прессования марок 100–200.

жидкостекольные вяжущие на основе сталеплавильных шлаков, шлакобетоны полусухого прессования

ВВЕДЕНИЕ

На основе шлакощелочных вяжущих, затворенных жидким стеклом с силикатным модулем 1,0...2,2 и плотностью 1,20...1,25 г/см³, можно получать бетоны марок 700...1 000 и более, а при использовании промышленного стекла с модулем 2,6...3,4 той же концентрации – бетоны марок 300–700 [1, 2]. Однако такие вяжущие, особенно на свежемолотых основных доменных граншлаках, характеризуются чрезмерно короткими сроками схватывания, что существенно ограничивает возможность их применения [2, 3].

В последние годы в черной металлургии с целью извлечения металла и утилизации приступили к широкой переработке отвальных сталеплавильных шлаков. Технология переработки включает дробление, магнитную сепарацию металлизированных составляющих, рассев шлака на фракции для продажи строителям. При этом, например, на заводе «Донецксталь» образуется значительное количество песчано-щебенистой смеси фракции 0–8(10) мм, которая пользуется незначительным спросом у потребителей, в немалой степени из-за значительного, до 40 %, содержания пылевидной фракции менее 0,16 мм. Эта фракция образовалась в результате силикатного распада минералов шлаков и состоит в основном из γ -2CaO·SiO₂.

В технологии жаростойких бетонов получили широкое применение жидкостекольные вяжущие композиции с отвердителями из саморассыпающихся кристаллических шлаков и нефелинового шлама. Их твердение происходит, вероятно, за счет взаимодействия силиката натрия с γ -2CaO·SiO₂ по поверхности разрыхленных тонкодисперсных частиц с образованием гелеобразных гидросиликатов типа (Na₂O, CaO) · nSiO₂ · mH₂O. Такие вяжущие также имеют чрезмерно короткие сроки схватывания [4].

Научная гипотеза работы: в течение 30...60 минут после схватывания жидкостекольные мелкозернистые песчано-щебенистые смеси из сталеплавильных шлаков сохраняют пластичность, достаточную для формования плотных изделий методом полусухого прессования. Прессование даст необходимое уплотнение бетона и восстановит коагуляционные связи, что обеспечит дальнейшее твердение изделий.

Цель работы – разработка технологии и исследование эксплуатационных свойств изделий полусухого прессования на основе стабилизированных сталеплавильных кристаллических шлаков и жидкого стекла.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве шлакового компонента вяжущих использовались пылеватая часть фракции менее 0,16 мм мартеновского и электросталеплавильного шлаков завода «Донецксталь» и молотый доменный граншлак Мариупольского комбината им. Ильича с остатками сите 0,08 мм соответственно 12, 16 и 8 %. Силикатный модуль жидкого стекла составлял 2,9, а плотность изменялось от 1,2 до 1,3 г/см³.

Анализ гранулометрического состава песчано-щебенистой смеси шлака фракции 0–10 мм показал (табл. 1), что она содержит 22,7 и 19,8 % соответственно пылевидной и щебенистой фракций, песчаная фракция 0,16...5,00 мм имеет модуль крупности 2,8 и относится к крупнозернистым пескам.

Таблица 1 – Гранулометрический состав шлака фракции 0–10 мм

Показатели свойств	Остатки, %, на ситах с ячейкой, мм						
	5	2,5	1,25	0,63	0,314	0,16	дно
Частные остатки фракции 0–10 мм	19,8	12,9	15,1	16,4	20,4	15,4	22,7
Частные остатки фракции 0,16–5 мм	–	16,1	18,8	20,4	25,4	19,3	–
Общие остатки фракции 0,16–5 мм	–	16,1	34,9	55,3	80,7	100	–

Щебенистая фракция 5...10 мм характеризуется высокой прочностью, ее дробимость равна 11,9...12,1 %, что согласно ДСТУ Б В.2.7-35-95 по пределу прочности при сжатии соответствует марке 1200 (120 МПа). Щебень характеризуется стабильной структурой и практически не подвержен распаду – потеря массы после прогрева в автоклаве колеблется в пределах 0,4...1,6 % (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-механические свойства шлаковых фракций

Фракция, мм	Дробимость, %	Стойкость структуры (потери массы), %	Модуль крупности	Средняя насыпная плотность, кг/м ³
0–10	–	–	–	1 490
0,16–5	–	–	2,8	1 430
5–10	11,9–12,1	0,4–1,6	–	1 545

Активность вяжущих изучалась на образцах-кубиках с ребром 2 см, заформованных из теста нормальной густоты (ДСТУ EN 196-3:2007). Исследования бетонов проводили на цилиндрах диаметром 7 см, отпрессованных при давлении 20 МПа. Бетонные смеси приготавливались из 30 % тонкодисперсных шлаков, 25 % песчаной и 45 % щебенистой фракции шлака. Расход жидкого стекла изменялся в пределах 14...22 % от массы сухой части бетонов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Установлено, что нормальная густота вяжущих на основе кристаллических шлаков в 1,57...1,72 превышает нормальную густоту теста вяжущих из молотого доменного граншлака (табл. 3). Это свидетельствует о значительном разрыхлении поверхности частиц электросталеплавильного и мартеновского шлаков в результате силикатного распада.

Сроки схватывания всех вяжущих короткие: начало 14...27, конец 18...30 минут. С увеличением плотности жидкого стекла сроки схватывания увеличиваются, а нормальная густота теста уменьшается, хотя и незначительно.

Исследовано влияние времени выдержки полусухой бетонной смеси с момента схватывания вяжущего до момента формирования прессованием на прочность бетонов. Результаты этих исследований приведены на рис. 1. Их анализ показывает, что выдержка смесей в течение 30...60 минут после схватывания вяжущих снижает прочность бетонных образцов соответственно на 15...25 и 38...40 %. Т. е. в течение первых 30 минут после схватывания или 50...60 минут после затворения смеси должны быть заформованы.

Результаты исследования влияния плотности жидкого стекла на прочность мелкозернистого пресованного бетона приведены на рис. 2. Они свидетельствуют о том, что с увеличением плотности жидкого стекла прочность бетонов на всех видах исследованных шлаков растет. Однако этот рост незначительный и составляет при увеличении плотности жидкого стекла от 1,20 до 1,30 г/см³ на 10...22 %.

Таблица 3 – Нормальная густота, сроки схватывания и активность вяжущих

№ п/п	Вид шлака	Плотность жидкого стекла, г/см ³	Нормальная густота, %*	Время схватывания, мин		Прочность при сжатии, МПа
				начало	конец	
1	Молотый доменный гранулированный	1,2	23,3	22	26	12,2
2		1,3	22,0	27	38	18,4
3	Электросталеплавильный	1,2	37,6	14	18	14,1
4		1,3	36,2	17	23	21,0
5	Мартеновский	1,2	40,1	18	24	8,6
6		1,3	37,9	23	30	11,2

*Примечание: нормальная густота рассчитывалась как отношение массы воды в жидком стекле к суммарной массе шлаков и сухого силиката натрия жидкого стекла (при плотности 1,2 и 1,3 г/см³ концентрация силиката натрия принималась согласно [5] соответственно 18,3 и 28,0 %).

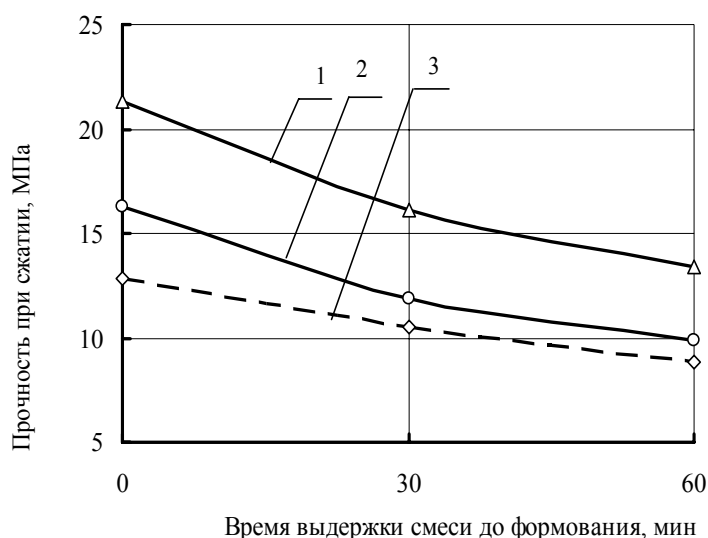


Рисунок 1 – Влияние времени предварительной выдержки смеси после схватывания на прочность прессованных бетонов на основе пылеватой фракции: 1 – электросталеплавильного шлака; 2 – доменного молотого граншлака; 3 – мартеновского шлака.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что чрезмерно быстросхватывающиеся жидкостекольные мелкозернистые бетонные смеси в течение первых 30 минут после схватывания или 50...60 минут после затворения сохраняют пластичность, достаточную для формования методом полусухого прессования плотных изделий, что обеспечивает дальнейшее их твердение.

2. Установлено, что при плотности 1,2...1,3 г/см³ и расходе 14...18 % жидкого стекла от массы сухих компонентов на основе вяжущих из дисперсных гранулированного доменного и кристаллических сталеплавильных шлаков можно получать бесцементные шлакобетоны полусухого прессования марок 100–200.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях [Текст] / [под ред. В. Д. Глуховского]. – К. : Вища шк., 1981. – 224 с.
2. Кривенко, П. В. Специальные шлакощелочные цементы [Текст] / П. В. Кривенко. – К. : Будівельник, 1992. – 192 с.
3. Ефремов, А. Н. Шлакощелочные вяжущие и бетоны с повышенными жаростойкими свойствами [Текст] : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.05 : защищена 18.11.1981 : утв. 21.04.1982 / А. Н. Ефремов. – К., 1981. – 210 с. : ил. – Библиогр.: С. 143–162.
5. Тарасова, А. П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе [Текст] / А. П. Тарасова. – М. : Стройиздат, 1982. – 132 с.

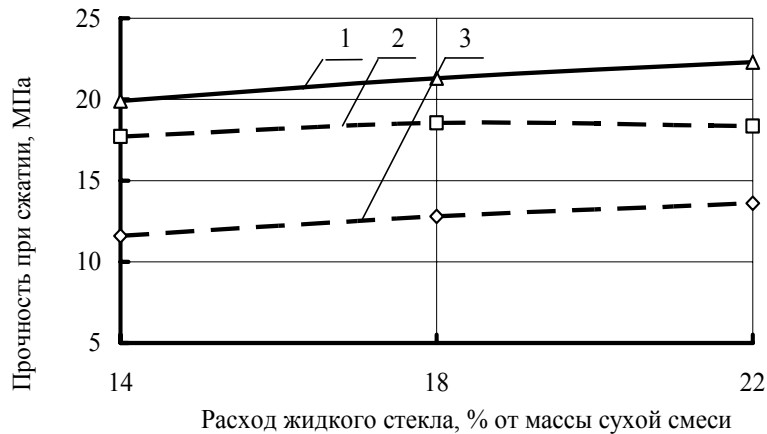


Рисунок 2 – Влияние расхода жидкого стекла плотностью 1,30 г/см³ на прочность прессованных бетонов на основе пылеватой фракции: 1 – электросталеплавильного шлака; 2 – доменного граншлака (молотого); 3 – мартековского шлака.

6. Григорьев, П. Н. Растворимое стекло [Текст] / П. Н. Григорьев, В. И. Матвеев. – М. : Промстройиздат, 1956. – 443 с.

Получено 04.02.2016

О. М. ЄФРЕМОВ, О. Б. КОНЄВ
БЕЗЦЕМЕНТНІ ШЛАКОБЕТОНИ НА ОСНОВІ ВІДВАЛЬНИХ
СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ШЛАКІВ
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Показано, що надмірно швидкозастійні рідкоскляні дрібнозерністі бетонні суміші протягом перших 30 хвилин після тужавіння або 50...60 хвилин після замішування зберігають пластичність, достатню для формування методом напівсухого пресування щільних виробів, що забезпечує подальше їх твердіння. Встановлено вплив концентрації і витрати рідкого скла на міцність рідкоскляних бетонів на основі в'яжучих з дисперсних гранульованого доменного і кристалічних сталеплавильних шлаків. Отримані безцементні шлакобетони напівсухого пресування марок 100–200.

рідкоскляні в'язучі на основі сталеплавильних шлаків, шлакобетони напівсухого пресування

ALEXANDER YEFREMOV, OLEG KONEV
THE CEMENTLESS SLAG CONCRETE ON THE BASIS OF DUMP STEEL-
SMELTING SLAGS
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

It is shown that excessively fast-setting liquid-glass compact-grained concrete mixes within the first 30 minutes after setting or 50...60 minutes after tempering keep the plasticity sufficient for formation by method of a moist molding of the dense products that provides their further concreting. It has been found out the influence of concentration and a consumption of liquid glass on durability of concrete on the basis of knitting from dispersible granuloze domain and crystalline steel-smelting slags. Cementless cinder concretes of a moist molding of quality class 100–200 have been recovered.

liquid-glass bindings on the basis of steel-smelting slags, cinder concretes of a moist molding

Єфремов Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів, жаростійкі та вогнетривкі бетони.

Конев Олег Борисович – асистент кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: бетони на основі металургійних шлаків.

Ефремов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, жаростойкие и огнеупорные бетоны.

Конеv Олег Борисович – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: бетоны на основе металлургических шлаков.

Yefremov Alexander – D.Sc. (Eng.), Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: binders and concretes on the basis of industrial waste, refractory concretes.

Konev Oleg – Assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concrete on the basis of metallurgical slags.

УДК 624.21

Д. И. БОРОДАЙ, И. В. КАНДАЕВА, С. С. АЛЮК, Д. С. НАУМЕНКО, А. С. ЧМЫРЬ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ НА ИХ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Выполнен анализ технического состояния и долговечности железобетонных автодорожных мостов Украины по критерию технологии строительства на основании данных Аналитической экспертной системы управления мостами Укравтодора. Показано влияние типа пролетного строения мостов по технологии строительства на их долговечность. Установлена недостаточная фактическая долговечность пролетных строений. Проанализированы результаты исследования.

автодорожный мост, пролетное строение, монолитный железобетон, сборный железобетон, долговечность, срок службы

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анализ технического состояния автодорожных мостов Украины детально рассмотрен в ряде работ [1–3], в которых указывается, что фактический срок службы железобетонных конструкций мостов составляет 25–30 лет и не соответствует потенциальным возможностям железобетона как материала. Основными причинами недостаточного срока службы является коррозия арматуры (40 % случаев) и бетона (65 % случаев). В России на дорогах общей сети 22 % мостов находятся в неудовлетворительном и в аварийном состоянии [4]. При этом средний срок службы российских мостов до ремонта составляет 30–40 лет [5]. Из 6,5 тысяч мостов Республики Беларусь 40 % не соответствуют современным нормативным требованиям по причине быстрого разрушения мостовых конструкций вследствие активной солевой коррозии бетона и металла [6]. Долговечность железобетонных мостов находится в пределах 35–40 лет.

Данные о техническом состоянии железобетонных мостов некоторых Европейских стран (табл. 1) свидетельствуют о существенных проблемах в обеспечении требуемого ресурса мостов даже в случае функционирования специализированных систем управления мостами.

Таким образом, проблема недостаточной долговечности железобетонных мостов является актуальной как для стран с развивающейся экономикой, где наблюдается недостаточный объем финансирования ремонтно-эксплуатационных мероприятий, так и для развитых стран с большими объемами финансирования.

Существует большое количество факторов, определяющих интенсивность процесса износа мостов. Идентификация этих факторов и количественная оценка их влияния на ресурс сооружений позволит уточнять параметры моделей прогноза долговечности автодорожных мостов, необходимых для эффективного функционирования систем управления мостами.

Рассматривая сборную и монолитную технологии возведения мостов из железобетона и учитывая наличие как достоинств, так и недостатков у каждой из них, логично было бы предположить, что данный параметр оказывает влияние на долговечность сооружений и должен быть оценен количественно на основании имеющихся сведений о техническом состоянии эксплуатируемых мостов с целью использования полученных результатов исследования при оценке ресурса.

Таблица 1 – Техническое состояние мостов в некоторых Европейских странах [7]

Страна	Количество мостов на государственных дорогах, шт.	Доля железобетонных мостов, %	Доля железобетонных мостов в неудовлетворительном состоянии, %
Великобритания	9 515	71	30
Франция	21 549	62	14
Германия	34 824	92	37
Норвегия	9 163	75	46
Словения	1 761	87	15

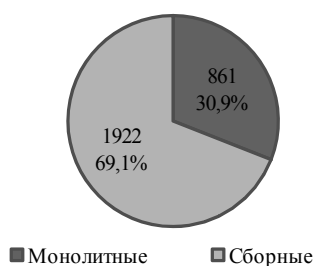
Целью работы является анализ влияния типа пролетного строения по технологии строительства на долговечность автодорожных мостов, что позволит учитывать при прогнозе ресурса мостов этот параметр.

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ УКРАИНЫ ПО ДАННЫМ АЭСУМ

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» [8]. 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. Анализ представленной выборки свидетельствует о том, что в ней по типу железобетона преобладают сборные конструкции пролетного строения (69 %), получившие широкое распространение с середины 50-х годов XX века во время интенсивного формирования дорожной сети Украины (рис. 1). Было выполнено статистическое исследование вариационных рядов сроков службы, которое заключалось в распределении элементов выборки по группам (табл. 2), соответствующим определённому эксплуатационному состоянию и определении следующих статистических оценок (табл. 3): математическое ожидание; медиана; среднее квадратичное отклонение; дисперсия.

**Рисунок 1** – Распределение мостов выборки по типу железобетона.**Таблица 2** – Распределение мостов по эксплуатационным состояниям в зависимости от типа пролетного строения по технологии строительства

Тип конструкции	Эксплуатационное состояние			
	Состояние 2	Состояние 3	Состояние 4	Состояние 5
Монолитные, ед.	85	463	233	80
Сборные, ед.	308	859	557	198
Всего	393	1 322	790	278

Таблица 3 – Статистические оценки сроков службы железобетонных автодорожных мостов в зависимости от типа пролетного строения по технологии строительства

	Медиана, лет	Математическое ожидание, μ , лет	Среднее квадратичное отклонение, σ , лет	Дисперсия, D , лет ²	Объем выборки n , ед.
Состояние 2					
Монолитные	46	41	18	342	85
Сборные	35	35	15	229	308
Состояние 3					
Монолитные	51	52	16	249	463
Сборные	41	41	16	252	859
Состояние 4					
Монолитные	52	52	13	166	233
Сборные	44	43	14	188	557
Состояние 5					
Монолитные	50	50	7	53	80
Сборные	46	45	12	142	198

Анализ результатов исследования свидетельствует о том, что мосты, построенные из монолитного железобетона, имеют долговечность на 6–10 лет больше, чем мосты, построенные из сборного железобетона. Однако средний срок службы как монолитных мостов (52 года), так и сборных (43 года) значительно меньше нормативного (70–10 лет).

ВЫВОДЫ

Опыт эксплуатации свидетельствует о том, что мосты из монолитного железобетона обычно имеют достаточные резервы несущей способности и отличаются большей долговечностью. В свою очередь, типовые сборные элементы пролетных строений, изготовленные в заводских условиях, отличаются лучшим качеством исполнения. Однако наличие большого количества недолговечных стыков в сборных и сборно-монолитных конструкциях, а также недолговечная конструкция проезжей части определяют худшее техническое состояние по сравнению с мостами из монолитного железобетона. Результаты исследования подтверждают большую долговечность пролетных строений из монолитного железобетона. Сроки службы таких конструкций на 6–10 лет дольше, чем сборных.

Таким образом, анализ фактического эксплуатационного состояния выборки железобетонных автодорожных мостов подтверждает предположение о влиянии параметра типа железобетона по технологии строительства на долговечность транспортных сооружений. Полученные результаты исследования могут быть использованы при уточнении параметров моделей прогноза ресурса элементов мостов, например, путем введения соответствующих научно обоснованных коэффициентов, учитывающих влияние типа железобетона по технологии строительства на долговечность элемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Лантух-Лященко, А. І. До питання про створення національної системи експлуатації мостів [Текст] / А. І. Лантух-Лященко, П. М. Коваль // Діагностика, довговічність та регенерація мостів і будівельних конструкцій із застосуванням сучасних технологій та матеріалів : зб. наук. пр. – Львів : Каменярь, 1998. – Вип. 1. – С. 70–76.
3. 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 : Каменярь, 2005. – 989 с.
4. Управление состоянием мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России [Текст] : Обзор. информ. / Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам». – М., 2007. – 96 с. – (Автомобильные дороги и мосты / ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР»; Вып. 2).
5. Васильев, А. И. Вероятностная оценка остаточного ресурса физического срока службы железобетонных мостов [Текст] / А. И. Васильев // Труды ЦНИИС. Проблемы нормирования и исследования потребительских свойств мостов / Под ред. канд. техн. наук А. И. Васильева. – М. : ЦНИИС, 2002. – Вып. 208. – С. 101–120.

6. Бусел, А. В. Управление зимним содержанием мостов и их защита от солевой коррозии [Текст] / А. В. Бусел, Е. В. Вольский, С. Е. Исаков // Дороги і мости : зб. наук. пр. / Держ. Служба авт. доріг України (Укравтодор), Держ. дор. НДІ ім. М. П. Шульгіна. – К. : ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 10. – С. 51–53.
7. Daly, A. F. BRIME Deliverable D11: Modelling of deterioration in bridges. 1st draft [Текст] / A. F. Daly. – [S. l. : s. n.], 1999. – 72 p.
8. 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. : Мінірегіонбуд України, 2009. – 49 с. – (Національний стандарт України).

Получено 05.01.2016

Д. І. БОРОДАЙ, І. В. КАНДАЄВА, С. С. АЛЮК, Д. С. НАУМЕНКО, А. С. ЧМИР
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПУ ПРОГОНОВИХ БУДОВ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ НА ЇХНЮ
ДОВГОВІЧНІСТЬ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано аналіз технічного стану та довговічності залізобетонних автодорожніх мостів України за критерієм технології будівництва на підставі даних Аналітичної експертної системи управління мостами Укравтодору. Показано вплив типу прогонової будови мостів за технологією будівництва на їхню довговічність. Встановлено недостатню фактичну довговічність прогонових будов. Проаналізовано результати дослідження.

автодорожній міст, прогонова будова, монолітний залізобетон, збірний залізобетон, довговічність, термін служби

DENIS BORODAY, IRYNA KANDAIEVA, SERGEY ALUK, DENIS NAUMENKO,
ALINA CHMYR
INVESTIGATION OF THE EFFECT THE TYPE OF SPANS OF CONCRETE
HIGHWAY BRIDGES ON DURABILITY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The analysis of the technical condition and durability of concrete highway bridges in Ukraine according to the criterion of construction technology on the basis of analytical expert bridge management system Ukravtodor has been carried out. The effect of the type of bridge spans on the building technology on durability has been shown. Insufficient actual durability superstructures has been found out. The research results have been analyzed.

highway bridge, superstructure, reinforced concrete, precast concrete, durability, service life

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

Кандаєва Ірина Василівна – магістрант, майстер виробничого навчання кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інноваційні технології ремонту та реконструкції мостів.

Алюк Сергій Сергійович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інноваційні технології ремонту та реконструкції мостів.

Науменко Денис Сергійович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інноваційні технології ремонту та реконструкції мостів.

Чмир Аліна Сергіївна – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: інноваційні технології ремонту та реконструкції мостів.

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

Кандаева Ирина Васильевна – магистрант, мастер производственного обучения кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: инновационные технологии ремонта и реконструкции мостов.

Алюк Сергей Сергеевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: инновационные технологии ремонта и реконструкции мостов.

Наumenко Денис Сергеевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: инновационные технологии ремонта и реконструкции мостов.

Чмырь Алина Сергеевна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: инновационные технологии ремонта и реконструкции мостов.

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

Kandaieva Iryna – master student, master of industrial training, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: innovative technology of bridge repair and reconstruction.

Aluk Sergey – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: innovative technology of bridge repair and reconstruction.

Naumenko Denis – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: innovative technology of bridge repair and reconstruction.

Chmyr Alina – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: innovative technology of bridge repair and reconstruction.

УДК 666.972

Е. К. НИКОЛАЕВА ^а, В. Н. ГУБАРЬ ^б^а Донбасский государственный технический университет, ^б Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ, ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ СТАЛЬНОЙ ФИБРОЙ

Приведены данные по влиянию содержания и геометрических параметров стальных волокон на прочностные свойства бетона. Показано, что содержание стальной фибры в бетонной матрице не менее 0,5 % по объему обеспечивает высокие физико-механические характеристики сталефибробетонов. Установлено, что бетонные смеси с короткими стальными фибрами характеризуются более высокой удобоукладываемостью (подвижностью) и меньшей склонностью к образованию «ежей» в сравнении с бетонными смесями на основе длинных волокон. С увеличением объемного содержания в диапазоне 0,2...0,8 % как короткой, так и длинной фибры наблюдается повышение предела прочности при сжатии и предела прочности на растяжение при изгибе.

фибробетон, фибра, удобоукладываемость (подвижность), предел прочности при сжатии, предел прочности на растяжение при изгибе

ВВЕДЕНИЕ

Фибробетон – композиционный материал, состоящий из цементной матрицы, с заполнителем или без него, с равномерным или заданным распределением по ее объему ориентированных или хаотично расположенных дискретных волокон (фибр) различного происхождения. В последние годы как в зарубежной, так и отечественной промышленности широкое распространение получило дисперсное армирование бетона, путем введения армирующих элементов длиной 1...5 см и диаметром 0,1...0,8 мм. Для этого применяются стальные, минеральные, углеродные и др. виды волокон [1, 2]. Применение дисперсного армирования позволяет снижать концентрацию напряжений, предотвращать развитие встречных трещин и затруднять процесс трещинообразования [3, 4].

Несмотря на многообразие применяемых в строительстве дисперсно-армированных бетонов, в вопросе предотвращения образования и снижения темпов развития трещин ведущая роль отводится смешанным видам волокон. Существует два научных подхода к данной проблеме. Первый заключается в применении фиброволокон одного вида, но разных размеров. Например, сочетание макро- и микрометаллической фибры различной длины и объемного содержания. Второе направление научных исследований – использование двух и более видов фибры, в частности, смесь стальных и синтетических волокон [5].

Одновременное использование волокон разной длины способствует сокращению количества как микро-, так и макротрещин. Короткие волокна уменьшают количество микротрещин, позволяя избежать значительных дислокаций напряжений. Длинные же волокна, значительно понижающие удобоукладываемость бетонной смеси, необходимы для снижения числа дискретных микротрещин при высоких нагрузках.

Кроме того, направление и однородность распределения волокон в материале дополнительно повышают его эксплуатационную надежность. Бетон, в котором фибра распределена равномерно и выровнена в направлении основных воспринимаемых усилий, наилучшим образом сопротивляется воздействующей нагрузке [5, 6].

Регулирование свойств композиционных материалов совмещением различных волокон является перспективным направлением разработки сталефибробетона с заданными свойствами и элементов конструкций на его основе.

Эффективность полиармирования обоснована следующими факторами:

- получение материала, прочность которого будет больше, чем в случае моноармирования;
- возможность существенно улучшить поровую структуру композита и его эксплуатационные характеристики;
- посредством комбинированного армирования может быть обеспечено целенаправленное, и в более широких пределах, чем при моноармировании, регулирование свойств материала и рациональное использование дисперсной арматуры;
- торможение развития макротрещин длинными волокнами и микротрещин короткими волокнами (рис. 1).

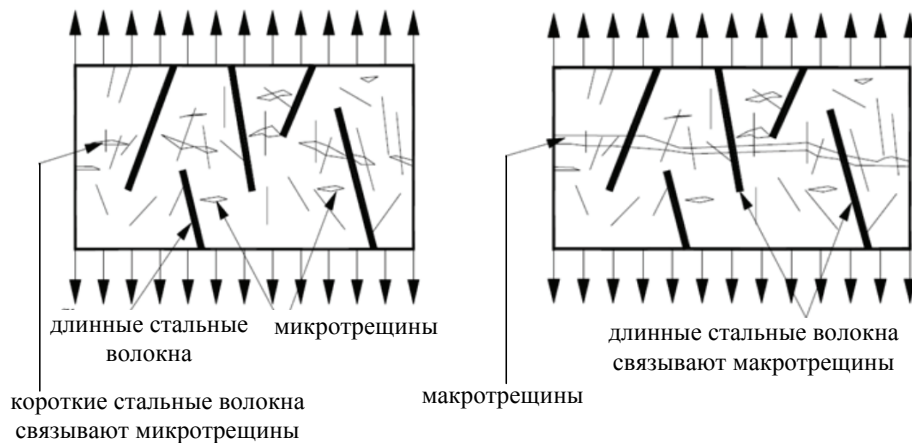


Рисунок 1 – Преимущества смешанных стальных волокон для торможения трещинообразования.

Целью работы является оценка влияния содержания и геометрических параметров стальных волокон на прочностные свойства бетона.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментов использованы следующие материалы:

- портландцемент Балаклевского цементного комбината (БЦК) марки ПЦ I-500-Н;
- зола-унос Угледорской ТЭС;
- песок кварцевый Краснополянского месторождения ($M_k = 2,1$);
- щебень гранитный фракции 5...20 мм ($D = 20$ мм);
- суперпластификатор (акрилатный полимер Дупапон SR-3).

Геометрические параметры стальных волокон, применяемых в экспериментальных исследованиях, представлены в табл. 1. Составы бетонных смесей приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Геометрические параметры стальных волокон

Геометрические параметры волокон [мм]					Расход волокон при значении F_f [кг]		
№	Форма волокон	L_f	d_f	L_f / d_f	0,15	0,3	0,45
1	Прямая	6	0,16	37,5	31,40	62,80	94,20
2	Анкерная	50	0,45	111,1	10,60	21,20	35,33

Исследовано пять составов бетонных смесей с общим объемным содержанием фибры в пределах 0,2...0,8 %. При армировании смешанными волокнами на первом этапе принято соотношение между содержанием длинной и короткой фиброй 50:50.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что бетонные смеси с короткими стальными фибрами характеризуются более высокой удобоукладываемостью (подвижностью) и меньшей склонностью к образованию «ежей» в сравнении с бетонными смесями на основе длинных волокон.

Таблица 2 – Составы бетонных смесей

Номер состава	Состав бетонной смеси, кг/м ³											
	ПЦ	В	СП	ЗУ	П	Щ	V _в %	V _в %		Ф*, кг		В/Ц
								КФ	ДФ	КФ	ДФ	
1-К	400	160	6	120	433	1 312	0	0	0	0	0	0,415
2-1	400	160	6	120	432	1 308	0,2	0	100	0	15,5	0,415
2-2	400	160	6	120	432	1 308	0,2	50	50	7,75	7,75	0,415
2-3	400	160	6	120	432	1 308	0,2	100	0	15,5	0	0,415
3-1	400	160	6	120	430	1 304	0,4	0	100	0	31,0	0,415
3-2	400	160	6	120	430	1 304	0,4	50	50	15,5	15,5	0,415
3-3	400	160	6	120	430	1 304	0,4	100	0	31,0	0	0,415
4-1	400	160	6	120	429	1 299	0,6	0	100	0	46,5	0,415
4-2	400	160	6	120	429	1 299	0,6	50	50	23,25	23,25	0,415
4-3	400	160	6	120	429	1 299	0,6	100	0	46,5	0	0,415
5-1	400	160	6	120	428	1 296	0,8	0	100	0	62,0	0,415
5-2	400	160	6	120	428	1 296	0,8	50	50	31,0	31,0	0,415
5-3	400	160	6	120	428	1 296	0,8	100	0	62,0	0	0,415

С увеличением объемного содержания в диапазоне 0,2...0,8 % как короткой, так и длинной фибры наблюдается повышение предела прочности при сжатии и предела прочности на растяжение при изгибе. При этом короткая фибра с геометрическими параметрами $L / d = 16 / 0,6$ мм в большей мере проявляет эффект повышения прочности бетона при сжатии (рис. 2), а длинная фибра с геометрическими параметрами $L / d = 50 / 0,45$ мм – прочности бетона на растяжение при изгибе (рис. 3). Величина предела прочности при сжатии контрольного состава бетона (0 % КФ, 0 % ДФ) – 31,3 МПа, при изгибе – 4,8 МПа.

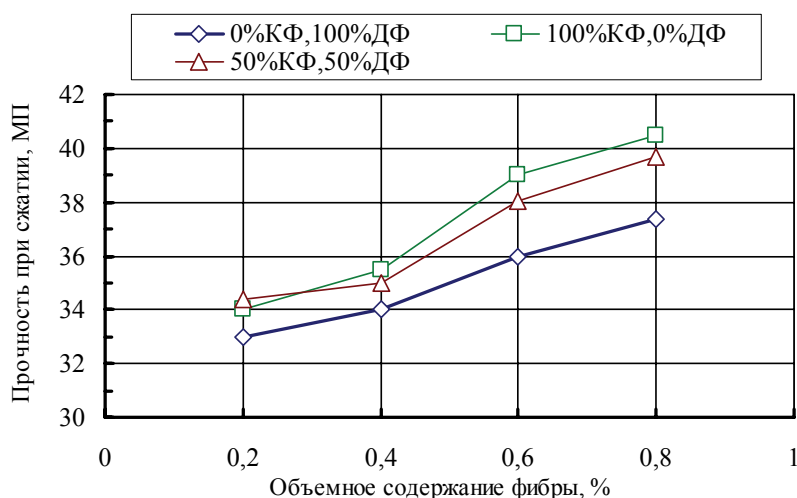


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности при сжатии бетона от содержания и геометрических параметров стальных волокон.

В последнем случае наиболее высокие показатели предела прочности на растяжение при изгибе достигаются при использовании смешанных волокон в соотношении 50:50.

ВЫВОДЫ

Показано, что применение дисперсно-армированных бетонов в строительстве создает предпосылки для значительного сокращения объемов традиционных арматурных работ, расширяет технологические возможности получения конструкций различного профиля с более высоким уровнем трещиностойкости, сопротивления к различным видам силовых воздействий, в том числе динамическим.

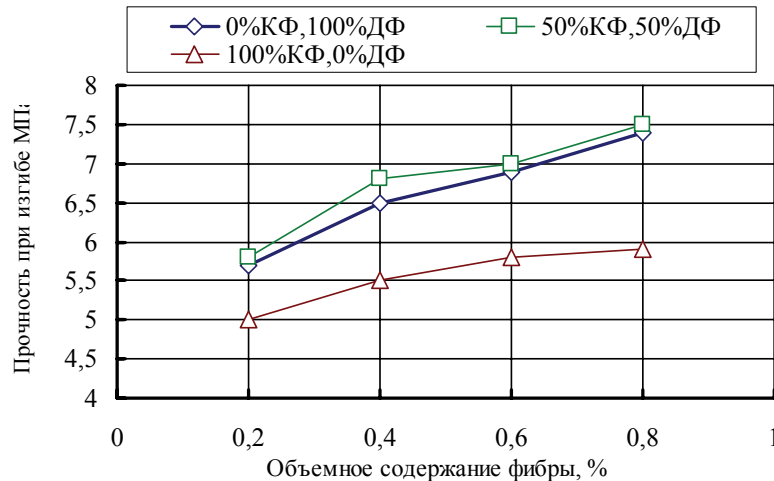


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе бетона от содержания и геометрических параметров стальных волокон.

При содержании стальной фибры в бетонной матрице не менее 0,5 % по объему обеспечивает высокие физико-механические характеристики сталефибробетонов. Установлено, что бетонные смеси с короткими стальными фибрами характеризуются более высокой удобоукладываемостью (подвижностью) и меньшей склонностью к образованию «ежей» в сравнении с бетонными смесями на основе длинных волокон. С увеличением объемного содержания в диапазоне 0,2...0,8 % как короткой, так и длинной фибры наблюдается повышение предела прочности при сжатии и предела прочности на растяжение при изгибе. При этом короткая фибра с геометрическими параметрами $L/d = 16 / 0,6$ мм в большей мере проявляет эффект повышения прочности бетона при сжатии, а длинная фибра с геометрическими параметрами $L/d = 50 / 0,45$ мм – прочности бетона на растяжение при изгибе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов, Б. А. Фибробетон и фиброцемент за рубежом [Текст] : обзорная информация. Вып. 5 / Б. А. Крылов ; ЦИНИС Госстроя СССР. – М. : ЦИНИС, 1979. – 53 с.
2. Крылов, Б. А. Фибробетон и его свойства. Зарубежный опыт [Текст] : обзорная информация. Вып. 4 / Б. А. Крылов ; ЦИНИС Госстроя СССР. – М. : ЦИНИС, 1979. – 44 с.
3. Пухаренко, Ю. В. Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов [Текст] : дис. ... д-ра технич. наук : 05.23.05 / Ю. В. Пухаренко. – Санкт-Петербург, 2004. – 315 с.
4. Талантова, К. В. Строительные конструкции с заданными свойствами на основе сталефибробетона [Текст] : автореф. дис. ... д-ра технич. наук : 05.23.01 / К. В. Талантова. – Барнаул, 2009. – 32 с.
5. Френкель, И. М. Некоторые положения технологии высокопрочного бетона [Текст] / И. М. Френкель // Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона / под ред. С. А. Миронова. – М. : Стройиздат, 1970. – С. 4–23.
6. Цейлон, Д. И. Высокопрочные бетоны [Текст]. Вып. 15 / Д. И. Цейлон ; Под ред. И. Ф. Френкеля. – М. : ГСИ, 1963. – 67 с.

Получено 28.12.2015

О. К. НИКОЛАЄВА ^a, В. М. ГУБАРЬ ^b

МІЦНІСТЬ БЕТОНІВ, ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ СТАЛЕВОЮ ФІБРОЮ

^a Донбаський державний технічний університет, ^b Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Наведено дані щодо впливу вмісту та геометричних параметрів сталевих волокон на міцнісні властивості бетону. Показано, що вміст сталеві фібри в бетонній матриці не менше 0,5 % за обсягом забезпечує високі фізико-механічні характеристики сталефібробетону. Встановлено, що бетонні суміші з короткими сталевими фібрами характеризуються більш високою легкоукладальністю (рухливістю) і меншою схильністю до утворення «їжаків» в порівнянні з бетонними сумішами на основі довгих

волокон. Зі збільшенням об'ємного вмісту в діапазоні 0,2...0,8 % як короткої, так і довгої фібри спостерігається підвищення межі міцності при стиску і межі міцності на розтяг при згині.
фібробетон, фібра, легкоукладальність (рухливість), межа міцності при стиску, межа міцності на розтяг при згині

ELENA NIKOLAYEVA ^a, VICTOR GUBAR ^b
THE STRENGTH PROPERTIES OF CONCRETE, DISPERSION REINFORCED
WITH STEEL FIBER

^a Donbas State Technical University, ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Facts of the effect of content and geometric parameters of steel fibers on the strength properties of concrete have been given. It has been shown that the content of steel fibers in the concrete matrix at least 0.5 % by volume ensures high physical-mechanical characteristics steel-fiber-concrete. It has been found out that the concrete mix short steel fibers are characterized by a high workability (mobility) and lesser tendency to form «hedgehog» compared to concrete mixes based on long fibers. With the increasing of the volume of content in the range of 0.2...0.8% in both the short and long fiber there is an increase in compressive strength and tensile strength in bending.

fiber concrete, fiber, workability (mobility), compressive strength, tensile strength in bending

Николаева Елена Климовна – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурного проектирования та инженерной графики Донбасского государственного технического университета. Научные интересы: высококачественные бетоны нового поколения.

Губар Виктор Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: цементные бетоны с заполнителями из отходов промышленности.

Николаева Елена Климовна – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурного проектирования и инженерной графики Донбасского государственного технического университета. Научные интересы: высококачественные бетоны нового поколения.

Губарь Виктор Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: цементные бетоны с заполнителями из отходов промышленности.

Nikolayeva Elena – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Architectural Design and Engineering Graphics Department, Donbas State Technical University. Scientific interests: high-performance concrete of new generation.

Gubar Victor – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: portland cement concretes with aggregates of industrial waste products.

ЗМІСТ

АЛЕКСАНДРОВ В. Д., СОБОЛЬ О. В., АЛЕКСАНДРОВА О. В., СОБОЛЄВ А. Ю., ПОКИНТЕЛИЦА О. А., ЛОЙКО Д. П., АМЕРХАНОВА Ш. К. Застосування фазоперехідних теплоакумулювальних матеріалів у будівництві	5
ПАКТЕР М. К., КАРАТ Л. Д., БРАТЧУН В. І., СТУКАЛОВ О. А., ПАРАЩЕВІН Р. В., ГОНЧАРОВ Д. Н. Синтетичні в'язучі як реакційноздатні полімер-олігомерні системи	14
ПАКТЕР М. К., КАНДАЄВА І. В., ЖУКОВ І. П., МИРОНЕНКО А. Ю., ВОВК Т. С., МИРОШНИЧЕНКО А. В. Про розрахункове визначення температури крихкості бітумів і бітумо-подібних матеріалів	20
РОМАСЮК Є. О., БЕСПАЛОВ В. Л., ГУЛЯК Д. В., ДОЛЯ А. Г., ДЕМЕШКІН В. П., БЕЛОУС Ю. В., КУРКЧИ Л. О. Вплив агресивних середовищ на довговічність асфальтобетонів під дією динамічних навантажень	26
ПЕТРИК І. Ю., ЗАЙЧЕНКО М. М., СЕРДЮК О. І. Високофункціональні бетони зі збагаченою електричною сепарацією золою-винесення ТЕС	32
КІЦЕНКО Т. П., МАРТИНОВА В. Б., КАБАНЦОВА А. Р. Дослідження вогнетривкості та показників температури деформації під навантаженням алюмосилікатних і кремнеземистих бетонів на основі рідкого скла	40
БЕСПАЛОВ В. Л. Теоретичні принципи отримання дорожніх бетонів з підвищеною довговічністю	45
КОНОПАЦЬКИЙ Є. В., БУМАГА А. І., БОЧОРШВІЛІ В. О. Геометрична модель залежності границі міцності при стиску модифікованого дрібнозернистого дьогтебетону від чотирьох параметрів	55
ЗОЛОТАРЬОВА В. В., КОЧЕРГІН Ю. С. Вплив нанопорошків на механічні та адгезійні властивості епоксидних полімерів	62
ПОПОВА О. С., КОЧЕРГІН Ю. С. Вплив наповнювача марки Normsal на деформаційно-міцнісні властивості епоксидних клейових матеріалів	68
КІБЗУН В. М., НАГОРНА Н. П. Про обґрунтування факторів, що визначають якість готової продукції	73
ЄФРЕМОВ О. М., КОНЄВ О. Б. Безцементні шлакобетони на основі відвальних сталеплави- льних шлаків	79
БОРОДАЙ Д. І., КАНДАЄВА І. В., АЛЮК С. С., НАУМЕНКО Д. С., ЧМИР А. С. Дослідження впливу типу прогонових будов залізобетонних автодорожніх мостів на їхню довговічність	84
НІКОЛАЄВА О. К., ГУБАР В. М. Міцність бетонів, дисперсно-армованих сталевую фіброю	89

СОДЕРЖАНИЕ

АЛЕКСАНДРОВ В. Д., СОБОЛЬ О. В., АЛЕКСАНДРОВА О. В., СОБОЛЕВ А. Ю., ПОКИНТЕЛИЦА Е. А., ЛОЙКО Д. П., АМЕРХАНОВА Ш. К. Применение фазопереходных теплоаккумулирующих материалов в строительстве	5
ПАКТЕР М. К., КАРАТ Л. Д., БРАТЧУН В. И., СТУКАЛОВ А. А., ПАРАЩЕВИН Р. В., ГОНЧАРОВ Д. Н. Синтетические вяжущие как реакционноспособные полимер-олигомерные системы	14
ПАКТЕР М. К., КАНДАЕВА И. В., ЖУКОВ И. П., МИРОНЕНКО А. Ю., ВОВК Т. С., МИРОШНИЧЕНКО А. В. О расчетном определении температуры хрупкости битумов и битумо- подобных материалов	20
РОМАСЮК Е. А., БЕСПАЛОВ В. Л., ГУЛЯК Д. В., ДОЛЯ А. Г., ДЕМЕШКИН В. П., БЕЛОУС Ю. В., КУРКЧИ Л. А. Влияние агрессивных сред на долговечность асфальтобетонов под действием динамических нагрузок	26
ПЕТРИК И. Ю., ЗАЙЧЕНКО Н. М., СЕРДЮК А. И. Высокофункциональные бетоны с обогащен- ной электрической сепарацией золой-уносом ТЭС	32
КИЦЕНКО Т. П., МАРТЫНОВА В. Б., КАБАНЦОВА А. Р. Исследование огнеупорности и показателей температуры деформации под нагрузкой алюмосиликатных и кремнеземистых бетонов на основе жидкого стекла	40
БЕСПАЛОВ В. Л. Теоретические принципы получения дорожных бетонов повышенной долговеч- ности	45
КОНОПАЦКИЙ Е. В., БУМАГА А. И., БОЧОРИШВИЛИ В. А. Геометрическая модель зависи- мости предела прочности при сжатии модифицированного мелкозернистого дегтебетона от четы- рёх параметров	55
ЗОЛОТАРЕВА В. В., КОЧЕРГИН Ю. С. Влияние нанопорошков на механические и адгезионные свойства эпоксидных полимеров	62
ПОПОВА О. С., КОЧЕРГИН Ю. С. Влияние наполнителя марки Normcal на деформационно- прочностные свойства эпоксидных клеевых материалов	68
КИБЗУН В. Н., НАГОРНАЯ Н. П. Об обосновании факторов, определяющих качество готовой продукции	73
ЕФРЕМОВ А. Н., КОНЕВ О. Б. Бесцементные шлакобетоны на основе отвалных стале- плавильных шлаков	79
БОРОДАЙ Д. И., КАНДАЕВА И. В., АЛЮК С. С., НАУМЕНКО Д. С., ЧМЫРЬ А. С. Исследо- вание влияния типа пролетных строений железобетонных автодорожных мостов на их долговечность	84
НИКОЛАЕВА Е. К., ГУБАРЬ В. Н. Прочностные свойства бетонов, дисперсно-армированных стальной фиброй	89

CONTENTS

ALEKSANDROV VALERY, SOBOL OKSANA, ALEKSANDROVA OLGA, SOBOLEV ALEXANDR, POKYNTELYTSIA OLENA, LOYKO DMITRY, AMERKHAMOVA SHAMSHIYA. Application the of Heat-Retaining Materials in of Civil Engineering and Architecture	5
PAKTER MIXAIL, KARAT LEONID, BRATCHUN VALERY, STUKALOV ALEKSANDR, PARASCHEVIN ROMAN, GONCHAROV DMITRIY. Synthetic Knitting as a Reactive Polymer-Oligomeric System	14
PAKTER MIXAIL, KANDAIEVA IRYNA, ZHUKOV ILYA, MIRONENKO ANASTASIA, VOVK TATYANA, MIROSHNICHENKO ALENA. Estimated Determining the Temperature Brittleness of Bitumen and Bitumen Materials	20
ROMASYUK EVGENY, BESPALOV VITALY, GULYAK DENIS, DOLYA ANATOLIY, DEMESCHKIN VALENTIN, BELOUS YULIA, KURKCHI LIDIA. The Impact of Aggressive Media on the Durability of Asphalt Concrete under Dynamic Loads	26
PETRIK IRINA, ZAICHENKO NIKOLAI, SERDIUK ALEXANDER. Highly Functional Concrete with Enriched Electrical Separation of Fy ash Thermal Power Plants	32
KITSENKO TATYANA, MARTINOVA VITA, KABANSOVA ALINA. The Study of Fire Resistance and Temperature Deformation under Load of Alumina-Silicate and Siliceous Concretes on the Basis of Liquid Glass	40
BESPALOV VITALY. Theoretical Principles of Production of Road Concrete with Enhanced Durability	45
KONOPATSKIY EVGENIY, BUMAGA ALLA, BOCHORISHVILI VIKTORIYA. The Geometric Model of Dependence Compressive Strength of Grained Tarmacadam from Four Parameters	55
ZOLOTAREVA VIKTORIYA, KOCHERGIN YURIY. Effect of Nanopowders to Mechanical and Adhesive Properties of Epoxy Polymers	62
POPOVA OXANA, KOCHERGIN YURIY. Effect of Filling Material of Brand Normcal on Deformation Strength Properties Paste Epoxy Materials	68
KIBZUN VALENTINA, NAGORNA NINA. About Grounding Factors, which are Determined the Quality of Manufactured Goods	73
YEFREMOV ALEXANDER, KONEV OLEG. The Cementless Slag Concrete on the Basis of Dump Steel-Smelting Slags	79
BORODAY DENIS, KANDAIEVA IRYNA, ALUK SERGEY, NAUMENKO DENIS, CHMYR ALINA. Investigation of the Effect the Type of Spans of Concrete Highway Bridges on Durability	84
NIKOLAYEVA ELENA, GUBAR VICTOR. The Strength Properties of Concrete, Dispersion Reinforced with Steel Fiber	89