

ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



ВЫПУСК 2023-1(159)

**СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры”

ВЕСТНИК

**Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры**

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

Выпуск 2023-1(159)

**СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

Макеевка 2023

ДООУ ВПО “Донбаська національна академія
будівництва і архітектури”

ВІСНИК

**Донбаської національної академії
будівництва і архітектури**

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

Випуск 2023-1(159)

**СУЧАСНІ
БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Макіївка 2023

Основатель и издатель

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации серия ААА № 000094

выдано 17.01.2017 г. Министерством информации ДНР

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

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

Выпускается по решению ученого совета

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Протокол № 7 от 30.01.2023 г.

Редакционный совет:

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

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

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

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

Редакционная коллегия:

Беспалов В. Л., д. т. н., доцент;

Братчун В. И., д. т. н., профессор;

Горохов Е. В., д. т. н., профессор;

Зайченко Н. М., д. т. н., профессор;

Левченко В. Н., к. т. н., профессор;

Лобов М. И., д. т. н., профессор;

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

Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор;

Петраков А. А., д. т. н., профессор;

Фролова С. А., к. х. н., доцент;

Югов А. М., д. т. н., профессор;

Ядыкина В. В., д. т. н., профессор.

Корректоры Л. М. Лещенко, А. Р. Грунистая

Программное обеспечение С. В. Гавенко

Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано к выпуску 20.02.2023

Адрес редакции и издателя

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

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

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

E-mail: vestnik@donnasa.ru, <http://vestnik.donnasa.ru>

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

Выпущено в полиграфическом центре

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

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

Засновник і видавець

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

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

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

Випускається за рішенням Вченої ради
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
Протокол № 7 від 30.01.2023 р.

Редакційна рада:

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

Редакційна колегія:

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

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

Підписано до випуску 20.02.2023

Адреса редакції і видавця

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

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

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

EDN: EUYINF

УДК 625.752, 665.5

В. И. БРАТЧУН, О. А. ПШЕНИЧНЫХ, В. П. ПОПОВА, А. А. ЯКИМОВ, Е. В. МОРОЗ, Ю. П. ШЕВЧЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ДОРОЖНЫЕ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Аннотация. Установлено, что рациональная массовая концентрация бутадиенмethylстирольного каучука СКМС-30 в битуме третьего структурно-реологического типа должна составлять 2...3 % мас., технической серы 30...40 % мас., а оптимальная массовая концентрация на поверхности минерального порошка синтетического каучука СКМС-30 0,5...1,0 % мас. Термограммы ДТА и ИК-спектроскопии свидетельствуют о том, что химическое взаимодействие на поверхности раздела фаз «битумополимерное вяжущее – активированный СКМС-30 минеральный порошок отсутствует». Адсорбционно-сольватный слой бутадиенмethylстирольного каучука обеспечивает эффективное смачивание и сорбцию активированного минерального порошка битумополимерсерным вяжущим. Асфальтополимер-серобетонные смеси характеризуются широким интервалом уплотнения 60...130 °С, а асфальтополимерсеробетоны имеют следующие показатели качества: пределы прочности при сжатии, МПа, при 0 °С $R_0 = 8..10$; при 20 °С $R_{20} = 5,0..6,5$; при 75 °С $R_{75} = 1,2..1,4$; набухание, % от объема – 0; водонасыщение, % от объема 1,5–2,0; коэффициент теплового старения при 75 °С в течение 1 200 часов, $K_{ст} = 1,25$. Коэффициент водостойкости при водонасыщении в течение 90 суток равен $K_{вд} = 0,87$.

Ключевые слова: дорожный асфальтополимерсеробетон, технологические и эксплуатационные свойства, рациональные области применения.

ФОРМУЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Свойства дорожного асфальтобетона – коагуляционного дорожно-строительного материала с коагуляционным типом контактов – определяются прежде всего деформационно-реологическими свойствами органического вяжущего и процессами взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал» [1–3]. Применяемые окисленные дорожные нефтяные битумы в Донецкой Народной Республике и в Российской Федерации марок БНД 40/60 и БНД 60/90 характеризуются невысокими температурами размягчения, отсутствием эластичности, а также неудовлетворительными адгезионно-когезионными свойствами и деформативностью в области низких эксплуатационных температур [4, 5]. Следовательно, необходимо разрабатывать такие способы направленного регулирования состава и структуры нефтяных дорожных битумов, а также интенсивности процессов взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал», которые бы позволили максимально реализовать деформационно-прочностные характеристики асфальтобетона в дорожном покрытии.

Целью работы является теоретическое и экспериментальное обоснование получения технологичных и долговечных дорожных асфальтобетонов в условиях дорожно-климатических условий четвертой дорожно-климатической зоны и транспортных воздействий характерных для автомобильных дорог I и II технических категорий.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ. НАУЧНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения сдвигоустойчивого асфальтобетона необходимо проектировать II тип макроструктуры дорожного асфальтобетона, который позволит эффективно использовать как свойства пленочного битума, так и пространственного каркаса, образованного зернами щебня, способствующего повышению сдвигоустойчивости [6, 7].

© В. И. Братчун, О. А. Пшеничных, В. П. Попова, А. А. Якимов, Е. В. Мороз, Ю. П. Шевченко, 2023



Модификацию нефтяного дорожного битума бутадиенметилстирольным каучуком СКМС-30 необходимо вести из раствора полимера в углеводородных фракциях. Можно предположить, что в этом случае при массовой концентрации СКМС-30 2...3 % в органическом вяжущем в мальгеновой фазе сформируется термофлуктуационная пространственная полимерная сетка (исследования Л. М. Гохмана [8]). Узлами цепей из макромолекул и надмолекулярных образований СКМС-30 является α -метилстирольные блоки, которые объединяются между собой с понижением температуры до точки перехода полистирола в стеклообразное состояние. Прочность термофлуктуационной пространственной полимерной сетки должна определяться количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность кинетической гибкостью цепей между узлами сетки.

По мере увеличения концентрации технической серы (температура объединения битума и серы 150...155 °С) должно произойти увеличение общей структурированности системы в результате того, что незначительная часть серы должна принять участие в вулканизации бутадиенметилстирольного каучука. Образуются преимущественно моносulfидные

– $\text{C} - \text{S} - \text{C}$ – и поперечные полисуль-

фидные связи типа $\text{H} - \text{C} - \text{S}_n - \text{C} - \text{H}$.

До 10 % мас. серы вступит в химическое взаимодействие с углеводородами битума. Произойдет S-дегидрирование и образование асфальтеноподобных веществ. Часть серы растворится (20...26 % мас.). Остальная часть серы должна диспергироваться в битуме до коллоидного состояния. Это приведет к усилению коагуляционного структурообразования в битумополимерсерном вяжущем в результате взаимодействия частиц серы через прослойки структурированного полимера. В битумополимерсерном вяжущем возникнет трехмерная сопряженная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически связанная сера, кристаллы серы и коллоиднодиспергированная сера.

Активация поверхности минерального порошка термоэластопластом СКМС-30 должна привести к формированию на поверхности минерального порошка структурно-упрочненного слоя из бутадиенметилстирольного каучука, который повысит адгезию битумополимерсерного вяжущего к поверхности минерального порошка вследствие увеличения количества контактов сегментов надмолекулярных образований сополимера СКМС-30 с активными центрами олеофильной поверхности, аутогезии макромолекул СКМС-30. Это создаст прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсеробетона с высокой адгезией и когезией, что обеспечит повышенную долговечность комплексно-модифицированного дорожного асфальтополимерсеробетона в условиях эксплуатации в покрытии нежесткой дорожной одежды.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристика материалов и методов, принятых для исследований

Битум принят БНД 40/60 со следующими показателями качества: глубина проникания иглы пенетрометра при 25 °С, $\text{P}_{25} = 59$ град.; температура размягчения 51,5 °С, растяжимость при 25 °С, $\text{D}_{25} > 100$ см; температура хрупкости, $\text{T}_{\text{xp}} = -17$ °С. В качестве модификаторов компонентов асфальтовяжущего вещества использованы: каучук бутадиенметилстирольный СКМС-30 АРКМ-15 (ГОСТ 11138-2019); техническая сера (ГОСТ 127.1-93); минеральный порошок известняковый (ГОСТ 16557-2005). Для получения фракций минеральной части мелкозернистого асфальтобетона (тип Б, ГОСТ 9128-2013) использовался гранитный щебень марки 1200 Каранского карьера ДНР.

В настоящей работе, кроме стандартных, принят ряд специальных методов исследований. Процессы, происходящие в системе «битум – СКМС-30 – техническая сера – минеральный порошок, активированный бутадиенметилстирольным каучуком» изучали методами дериватографическим и ИК-спектроскопии. Определение оптимальных температур уплотнения асфальтополимерсеробетонных смесей осуществляли как методом, моделирующим уплотнение асфальтобетонных смесей катками с жесткобарабанными вальцами, так и энергетическим методом [8]. Устойчивость, условную пластичность и условную жесткость асфальтобетона при температуре 60 °С определяли на приборе Маршалла.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные, приведенные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что активация поверхности минерального порошка бутадиемтилстирольным каучуком СКМС-30 из раствора в бензине приводит к значительному упрочнению межфазного контакта «битумополимерсерное вяжущее – поверхность минерального порошка».

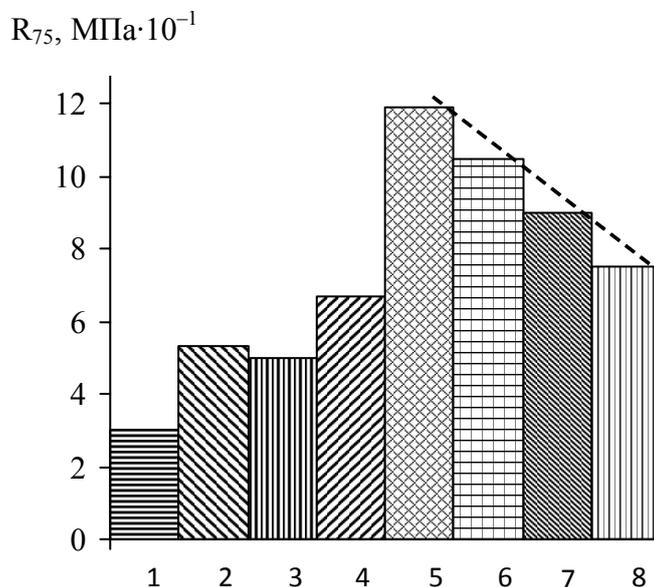


Рисунок 1 – Диаграмма предела прочности при сжатии при температуре 75 °С R_{75} мелкозернистого асфальтобетона (тип Б), отличающегося составом асфальтовяжущего вещества: 1 – вяжущее – битум (Б), $\Pi_{25} = 59\cdot 0,1$ мм, известняковый минеральный порошок (ИМП) неактивирован; 2 – вяжущее – Б, $\Pi_{25} = 59\cdot 0,1$ мм с 2 % мас. бутадиемтилстирольного каучука СКМС-30; ИМП неактивирован; 3 – вяжущее – Б, $\Pi_{25} = 59\cdot 0,1$ мм с 30 % мас. технической серы (S), ИМП неактивирован; 4 – вяжущее – Б, $\Pi_{25} = 59\cdot 0,1$ мм с 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. S, ИМП неактивирован; 5, 6, 7, 8 – вяжущее – Б, $\Pi_{25} = 59\cdot 0,1$ мм с 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. S, ИМП активирован 0,5 % мас., 1,0 % мас., 1,5 % мас. и 2,0 % мас. СКМС-30 соответственно.

При концентрации термоэластопласта 0,5 % (диаграмма 5) экстремум прочности на поверхности минерального порошка характеризует формирование олеофильного структурированного слоя СКМС-30, который способствует усилению коагуляционного структурообразования в асфальтовяжущем веществе.

Составы асфальтовяжущего вещества оптимизированы. Факторы варьирования массовая концентрация в битуме СКМС-30 $x_1 = 1\text{...}5$ % мас. и технической серы $x_2 = 20\text{...}60$ % мас. Параметры оптимизации асфальто-полимерсеробетона, приготовленного на известняковом минеральном порошке, который активирован 0,5 % мас. СКМС-30: предел прочности при сжатии при 0 °С R_0 (y_1) – не более 12 МПа, при 75 °С R_{75} (y_2) – не менее 1,2 МПа, а также коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении $K_{вд}$ (y_3) – не менее 0,8. Регрессионный анализ выполнен с помощью ЭВМ по программе, написанной на языке MathCAD. y_1 (7) и y_2 (8) аппроксимированы полиномами второй степени, а y_3 (9) первой:

$$y_1 = (x_1, x_2) = 9,033 + 0,633 \cdot x_1 + 0,825 \cdot x_2 - 0,658 \cdot x_2^2. \quad (7)$$

$$y_2 = (x_1, x_2) = 1,367 + 0,177 \cdot x_1 + 0,242 \cdot x_2 - 0,225 \cdot x_2^2. \quad (8)$$

$$y_3 = (x_1, x_2) = 0,912 - 0,09 \cdot x_2. \quad (9)$$

Коэффициент корреляции 0,97, 0,98 и 0,94, коэффициент вариации 0,034, 0,028 и 0,043 соответственно. Информационная способность моделей 7, 8, 9 проверена с помощью критерия Фишера. Определены доверительные интервалы значений для функций отклика. Выделена область оптимальных значений факторов системы «битум – бутадиемтилстирольный каучук – техническая сера», обеспечивающих заданные параметры оптимизации модифицированного асфальтовяжущего вещества.

Термограммы ДТА, как и данные ИК – спектроскопии, свидетельствуют о том, что в системе «битумополимерсерное вяжущее – минеральный порошок, активированный 0,5 % мас. СКМС-30», более четко проявляются полосы поглощения битума (ароматика, метильные группы), чем в системе «битумополимер-серное вяжущее – неактивированный минеральный порошок». Следовательно, слой структурированного бутадиенметилстирольного каучука на поверхности минерального порошка улучшает смачивание его органическим вяжущим и обеспечивает более сильное межмолекулярное взаимодействие на поверхности раздела фаз.

Асфальтополимерсеробетонные смеси более технологичны, чем традиционные горячие асфальтобетонные. Оптимальный интервал температур уплотнения асфальтополимерсеробетонных смесей с комплексно-модифицированной микроструктурой 60...130 °С, а для горячих асфальтобетонных смесей, приготовленных на битуме БНД 40 60, 90...130 °С. Это позволит продлить строительный сезон, дальность транспортирования асфальтобетонных смесей, увеличить эффективное время уплотнения.

Асфальтополимерсеробетоны с комплексно-модифицированной микро-структурой оптимальных составов характеризуются следующими показателями качества: предел прочности при сжатии, МПа при 0 °С $R_0 = 8...10$, при 20 °С $R_{20} = 5,0...6,5$, при 75 °С $R_{75} = 1,2...1,4$; набухание, % от объема – 0; водонасыщение, % от объема 1,5...2,0.

Предел прочности при изгибе при температуре 60 °С для асфальтобетона с комплексно-модифицированным асфальтоважущим веществом в 4,2 раза больше, в сравнении с традиционным горячим асфальтобетоном. Это обеспечит более высокую несущую способность и сдвигоустойчивость асфальтобетонного покрытия в области высоких температур эксплуатации с применением модифицированных асфальтобетонов.

Асфальтополимерсеробетон характеризуется большими критическими напряжениями ($\sigma_{кр} = 0,095$ МПа), чем горячий асфальтобетон (0,045 МПа), а также более широким интервалом вязкоупругого поведения в покрытии дорожной одежды (рисунок 2).

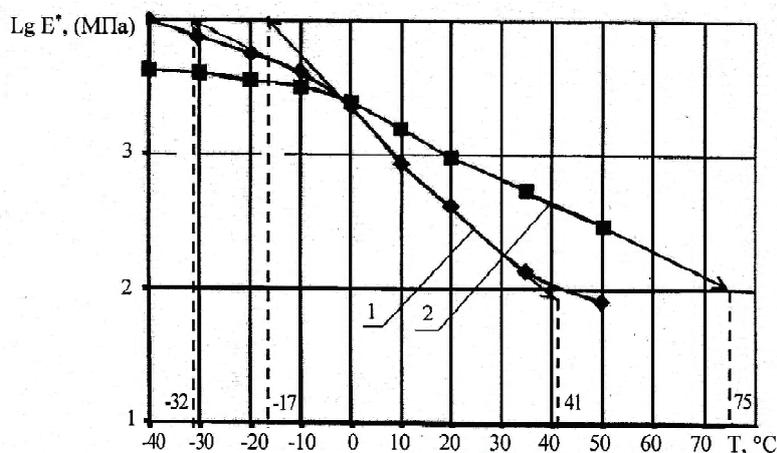


Рисунок 2 – Температурная зависимость комплексного модуля упругости E^* асфальтобетона при частоте деформирования 0,05 Гц: 1 – мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битуме БНД 40/60 ($P_{25} = 59\cdot0,1$ мм); 2 – мелкозернистый асфальтополимерсеробетон (битум $P_{25} = 59\cdot0,1$ мм модифицирован 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. технической серы, минеральный порошок поверхностно-активирован 0,5 % мас. СКМС-30).

Температура стеклования для асфальтополимерсеробетона равна минус 32,5 °С, для горячего асфальтобетона на битуме БНД 40/60 – минус 17,5 °С, а температура перехода в вязкотекучее состояние для асфальтополимерсеробетона равна 75 °С, для горячего асфальтобетона $T_{вп} = 41$ °С (рис. 2). Следовательно, температурный интервал вязкоупругого состояния модифицированного асфальтополимерсеробетона составляет 107,5 °С, что на 49 °С больше, чем у горячих асфальтобетонов по ДСТУ Б В.2.7-119:2011 (ГОСТ 9128-2013). Характерно, что модуль упругости асфальтополимерсеробетона при 50 °С значительно больше, чем асфальтобетона, приготовленного на битуме БНД 40 60 ($P_{25} = 59\cdot0,1$ мм) (рис. 2). Коэффициент пластичности асфальтополимерсеробетона в диапазоне изученных

температур $-20...50$ °С линеен. Это свидетельствует о малом температурно-временном влиянии на реологические свойства асфальтополимерсеробетона.

Асфальтополимерсеробетоны более долговечны. Так, коэффициент старения (тепловой прогрев выполнен при температуре 75 °С и ультрафиолетовом облучении в климатической камере ИП-1) после $2\ 000$ часов прогрева $K_{ст} = 1,25$, а для горячего асфальтобетона $K_{ст} = 1,6$. Коэффициент водостойкости при водонасыщении в течение 90 суток для асфальтополимерсеробетона составляет $K_{вд} = 0,87$, а для традиционного асфальтобетона $K_{вд} = 0,59$.

ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально доказано, что эффективным способом повышения долговечности асфальтобетонных покрытий является оптимальное сочетание гранулометрии минерального остова асфальтобетона (II структурный тип макроструктуры) и комплексно-модифицированной микроструктуры асфальтовязущего вещества модификацией нефтяного дорожного битума бутадииенметилстирольным каучуком СКМС-30 и технической серой с одновременной активацией поверхности минерального порошка термоэластопластом СКМС-30.

2. Экспериментально-статистическим моделированием установлено, что оптимальная массовая концентрация бутадииенметилстирольного каучука в битуме III структурно-реологического типа БНД 40/60 должна составлять $2...3$ % мас., а технической серы $20...40$ % мас.

3. Асфальтополимерсеробетонные смеси с комплексно-модифицированной микроструктурой отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в диапазоне температур $60...130$ °С по сравнению с традиционными горячими асфальтобетонными смесями. Асфальтополимерсеробетоны характеризуются широким интервалом вязкоупругого поведения в покрытии дорожной одежды, температура стеклования – минус $32,5$ °С, а температура перехода в вязкотягучее состояние 75 °С, повышенным сопротивлением сдвигу и динамическим модулем упругости в области положительных температур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорожный асфальтобетон / Л. Б. Гезенцевей, Н. В. Горельшев, А. М. Богуславский, И. В. Королев. – Москва : Транспорт, 1985. – 350 с. – Текст : непосредственный.
2. Руденский, А. В. Дорожные асфальтобетонные покрытия / А. В. Руденский. – Москва : Транспорт, 1992. – 254 с. – Текст : непосредственный.
3. Радовский, Б. С. Проблема долговечности дорожных одежд и методы ее решения в США / Б. С. Радовский. – Текст : непосредственный // Дорожная техника. – 2006. – Санкт-Петербург. – С. 68–81.
4. Полимерно-битумные вяжущие на основе СБС для дорожного строительства / [Л. М. Гохман, Е. И. Гурарий, А. Р. Давыдова, К. И. Давыдова]. – 2002. – Выпуск 4 ; Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. – Москва : Инфрмавтодор, 2002. – 112 с. – Текст : непосредственный.
5. Органические вяжущие для дорожного строительства / С. К. Илиополов, Н. В. Мордирасова, Е. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-на-Дону : Министерство образования и науки России, 2003. – 428 с. – Текст : непосредственный.
6. Золотарев, В. А. Долговечность асфальтобетона при совместном действии нагрузок и агрессивных сред / В. А. Золотарев. – Текст : непосредственный // Дорожная техника. – 2011. – № 11. – С. 30–39.
7. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности : монография / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк. – Донецк : Издательство ООО НПП «Фолиант», 2020. – 244 с. – Текст : непосредственный.
8. Гохман, Л. М. Обоснование нормативных требований к полимерасфальтобетону по ГОСТ 9128-2013 / Л. М. Гохман. – Текст : непосредственный // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2017. – Выпуск 73. – С. 22–27.

Получена 16.12.2022

Принята 27.01.2023

В. И. БРАТЧУН, О. О. ПШЕНИЧНЫХ, В. П. ПОПОВА, О. О. ЯКИМОВ,
К. В. МОРОЗ, Ю. П. ШЕВЧЕНКО
ДОРОЖНІ АСФАЛЬТОПОЛІМЕРСІРКОБЕТОНИ ПІДВИЩЕНОЇ
ДОВГОВІЧНОСТІ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Встановлено, що раціональна масова концентрація бутадієнметилстирольного каучуку СКМС-30 у бітумі третього структурно-реологічного типу повинна становити 2...3 % мас., технічної сірки 30...40 % мас., а оптимальна масова концентрація на поверхні мінерального порошку синтетичного каучуку 0,5...1,0 % мас. Термограми ДТА та ІЧ-спектроскопії свідчать про те, що хімічна взаємодія на поверхні поділу фаз «бітумополімерне в'язуче – активований СКМС-30 мінеральний порошок відсутня». Адсорбційно-сольватний шар бутадієнметилстирольного каучуку забезпечує ефективне змочування та сорбцію активованого мінерального порошку бітумополімерсірковим в'язучим. Асфальтополімерсіркобетонні суміші характеризуються широким інтервалом ущільнення 60...130 °С, а асфальтополімерсіркобетони мають такі показники якості: межа міцності при стисканні, МПа при 0 °С $R_0 = 8...10$; при 20 °С $R_{20} = 5,0...6,5$; при 75 °С $R_{75} = 1,2...1,4$; набрякання, % від об'єму – 0; водонасичення, % від об'єму 15–20; коефіцієнт теплового старіння при 75 °С протягом 1 200 годин, $K_{st} = 1,25$. Коефіцієнт водостійкості при водонасиченні протягом 90 діб дорівнює $K_{vd} = 0,87$.

Ключові слова: дорожній асфальтополімерсіркобетон, технологічні та експлуатаційні властивості, раціональні галузі використання.

VALERY BRATCHUN, OLEG PSHENICHNYKH, VALENTINA POPOVA,
ALEXANDER YAKIMOV, EKATERINA MOROZ, YULIA SHEVCHENKO
ROAD ASPHALT POLYMER SULFUR CONCRETE OF INCREASED
DURABILITY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. It has been established that the rational mass concentration of butadiene-methylstyrene rubber SKMS-30 in bitumen of the third structure rheological type should be 2...3 % wt., industrial sulfur 30...40 % wt., and the optimal mass concentration on the surface of the mineral powder of synthetic rubber SKMS-30 is 0.5...1.0 % wt. DTA and IR spectroscopy thermograms indicate that there is no chemical interaction at the interface between the bitumen-polymer binder and activated SKMS-30 mineral powder. The adsorption-solvation layer of butadiene-methylstyrene rubber provides effective wetting and sorption of the activated mineral powder by the bitumen polymer binder. Asphalt polymer sulfur concrete mixtures are characterized by a wide compaction range of 60...130 °C, and asphalt polymer sulfur concretes have the following quality indicators: compressive strength, MPa, at 0 °C $R_0 = 8...10$; at 20 °C $R_{20} = 5.0...6.5$; at 75 °C $R_{75} = 1.2...1.4$; swelling, % of volume – 0; water saturation, % of volume 1.5...2.0; coefficient of thermal aging at 75 °C for 1 200 hours, $K_{st} = 1.25$. The coefficient of water resistance at water saturation for 90 days is $K_{vd} = 0.87$.

Keywords: road asphalt polymer sulfur concrete, technological and operational properties, rational areas of application.

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев жестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Пшеничных Олег Александрович – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны армированные полимерными волокнами.

Попова Валентина Петровна – старший преподаватель кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологических и долговечных дорожных материалов, инженерные изыскания, геотехника.

Якимов Александр Александрович – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны, армированные полимерными волокнами.

Мороз Екатерина Владимировна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны, армированные полимерными волокнами.

Шевченко Юлия Павловна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны, армированные полимерными волокнами.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних 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.

Пшеничний Олег Олександрович – аспірант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони армовані полімерними волокнами.

Попова Валентина Петрівна – старший викладач кафедри основи, фундаментів та підземних споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх матеріалів, інженерні вишукування, геотехніка.

Якимов Олександр Олександрович – магистрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, армовані полімерними волокнами.

Мороз Катерина Володимирівна – магистрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, армовані полімерними волокнами.

Шевченко Юлія Павлівна – магистрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, армовані полімерними волокнами.

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

Pshenichnykh Oleg – post-graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex-modified asphalt polymer concrete reinforced with polymer fibers.

Popova Valentina – senior lecturer, Fundamentals, Foundations and Underground Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and durable road materials, engineering surveys, geotechnics.

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

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

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

EDN: [CMLPCQ](#)

УДК 625.855.3

В. И. БРАТЧУН, В. Л. БЕСПАЛОВ, Э. Л. РАДЮКОВА, Д. И. БОРОДАЙ, Н. С. ЛЕОНОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Аннотация. Выполнен аналитический обзор эффективных дорожно-строительных материалов с повышенной экологической безопасностью для аварийного ремонта покрытий нежестких дорожных одежд. Изучены отходы металлоперерабатывающей промышленности – шламы станций нейтрализации (ШН) сталепроволочно-канатных заводов, на примере Харцызского сталепроволочно-канатного завода и полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол (опытный завод Донецкого УкрНИИПластмасс). Экспериментально обоснована целесообразность утилизации ШСН, поверхностно-активированных ПОЭС как активированного минерального порошка комплексно-модифицированных асфальтополимербетонных смесей для устройства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд повышенной долговечности. Изучены закономерности выделения и концентраций загрязняющих веществ, прежде всего органических углеводородов при производстве литых асфальтополимербетонных смесей. Расчетным методом выполнена количественная оценка выбросов в атмосферу загрязняющих веществ на асфальтобетонном заводе. Установлено, что запроектированные мероприятия по экологической безопасности приводят к тому, что технологический процесс производства литых смесей не причиняет существенного вреда состоянию растительности и атмосфере на промышленной площадке асфальтобетонного завода. Разработаны мероприятия по охране труда и безопасности сотрудников, работающих на асфальтобетонном заводе. Годовая плановая прибыль от внедрения 50 000 тонн литых асфальтополимербетонных смесей составит – 69 500 000 рублей.

Ключевые слова: технология производства литых асфальтополимербетонных смесей, экологическая безопасность, технологические показатели применения литых асфальтополимербетонных смесей.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с ростом интенсивности и грузонапряженности движения транспортных средств особенно важную роль приобретает своевременность и качество работ по текущему и капитальному ремонту покрытий асфальтобетонных дорог.

В настоящее время расходы, связанные с текущим ремонтом автомобильных дорог (ликвидация выбоин, просадок, наплывов и других пластических деформаций, обновление шероховатости покрытий и заливка трещин на покрытиях и др.) составляют 60 % от стоимости строительства [1, 2].

Анализ мирового опыта текущего ремонта покрытий автомобильных дорог свидетельствует о том, что для повышения долговечности отремонтированных конструктивных слоев покрытий нежестких дорожных одежд наиболее эффективным дорожно-строительным материалом являются горячие литые асфальтобетонные смеси. Недостатком горячих литых асфальтобетонных смесей является высокая энергоемкость производства (температура производства 215...240 °С), технологическое старение, низкие значения деформационно-прочностных характеристик, высокая интенсивность выброса загрязняющих и вредных веществ [3, 4]. В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры разработаны составы и инновационная технология производства литых асфальтобетонных смесей. В тоже время не изученными являются экологические последствия производства и применения таких смесей. В настоящее время природоохранные меры ориентированы на непрерывное развитие, обеспечивающие потребности нынешнего поколения без опасности нанесения вреда будущим поколениям.



При производстве асфальтобетонных смесей происходит выделение твердой пыли при высушивании и нагреве минеральных материалов во вращающихся сушильных барабанах [5].

В большинстве своем пыль состоит из минеральных частиц инертного типа. В то же время частицы размером меньше в диаметре 10 микрон попадают в дыхательные пути и могут инициировать и оказывать вредное действие на дыхательные органы людей. Для ряда стран граничные пределы пылевыведений колеблются от 20 мг/м³ (Австрия) до 200...500 мг/м³ (Япония).

Образующиеся газы могут быть разделены на неорганические (двуокись серы SO₂, окись углерода CO, двуокись углерода CO₂ и органические (ТОС – суммарные органические компоненты)). Основным источником образования SO₂ является сера в топливе, сжигаемом в топке. В частности двуокись серы оказывает вредное влияние на здоровье, на растительность и является составляющей «кислотных дождей».

Выделение органических соединений обусловлены, главным образом, нагревом каменных материалов и органических вяжущих. Суммарное количество образованных углеводородов (ТНС), то есть сумма органических соединений (ТОС) и летучих органических соединений (VOC), влияет на формирование озона в атмосфере и усиливает действие солнечных лучей. Голубой дым является визуальным индикатором выделения органических веществ при нагреве битума или фрезеровании асфальтобетонного покрытия. Обычно голубой дым является индикатором перегрева. Особое внимание следует обратить на выделение полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Допускаемые пределы газовых выделений в ряде стран, например, SO₂: Дания – 180 мг/м³; Франция – 3 400 мг/м³; Португалия – 5 300 мг/м³.

При укладке в конструктивные слои нежесткой дорожной одежды возникают дымные испарения, которые состоят из неорганической части (пыль от минеральных материалов) и органической части, которая образуется из битума (полициклические ароматические вещества), которые содержат четыре и более бензольных колец. Например, концентрация в битуме пирена 0,2...4,9 мг/кг, бензопирена 0,2...5,1 мг/кг, перилена 0,4...9,7 мг/кг, антантрена 0,35...5,3 мг/кг, коронена 0,1...4,0 мг/кг.

К тому же целесообразно в составе модифицированных асфальтополимербетонных смесей использовать техногенное сырье Донбасса в качестве активированных минеральных порошков; шлам станций нейтрализации Харцызского сталепроволочно-канатного завода, поверхностно-активированный полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол опытного завода Донецкого УкрНИИПластмасс, что также снизит экологическую нагрузку на промышленно развитый регион – Донбасс.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Целью работы является разработка и установление оптимальных параметров режимов производства литых асфальтополимербетонных смесей, содержащих в своем составе техногенное сырье и обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате аналитического обзора выявлено, что традиционные горячие литые асфальтобетонные смеси (ГОСТ Р54401-2011) характеризуются повышенной энергоемкостью производства (температура производства составляет 215...240 °С) и экологической опасностью как при производстве, так и при использовании для ямочного ремонта и устройства слоев износа (концентрация выделения загрязняющих веществ в процессе производства составляет 0,4...0,5 ПДК, а сероводорода и сернистого ангидрида 0,6...0,7 ПДК) [1–3].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Установлено, что эффективным дорожно-строительным материалом для аварийного ремонта нежестких дорожных одежд (ликвидация ямочности, заливка трещин, устройство слоев износа) является инновационный дорожно-строительный материал, разработанный в ГОУ ВПО ДОННАСА – «Комплексно-модифицированные литые асфальтобетонные смеси с пониженной энергоемкостью и экологической безопасностью», которые представляют собой композиционный материал из рационально подобранной смеси: из дорожного нефтяного битума П₂₅ = (40...60)·0,1 мм, модифицированного комплексной добавкой (бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 – 2,0...2,5 % мас. и технической серы 25...30 % мас.) – 6,7...10,5 %, поверхностно-активированного СКМС-30 0,5 % мас., минерального порошка – 12,6...20,0 % мас., щебня и искусственного песка – 80...87 % мас. [4]. Приведены физико-механические характеристики литых асфальтополимерсеробетонов. Показано, что они

характеризуются следующими свойствами: подвижность смеси при $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ $h > 30$ мм; условная жесткость по Маршаллу при $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 23,1 кН; коэффициент длительной водостойкости (90 суток), $K_{\text{вд}} = 0,89$, коэффициент морозостойкости после 100 циклов попеременного замораживания-оттаивания, $F = 0,85$; коэффициент теплового старения после 2 000 часов прогрева в климатической камере ИП-1 при температуре $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ультрафиолетовом облучении, $K_{\text{ст}} = 1,27$, что обеспечивает долговечность отремонтированных покрытий нежестких дорожных одежд в 2–3 раза выше в сравнении с традиционными горячими асфальтобетонами. В тоже время не изученными являются экологические аспекты производства и применения модифицированных асфальтополимер- и дегтеполимербетонных смесей и бетонов.

Разработана технологическая схема и описание технологии производства литых асфальтополимерсеробетонных и комплексно-модифицированных асфальтобетонных смесей: приведены сведения о механизмах и оборудовании; требования к составляющим; сформулированы требования к литым асфальтополимерсеробетонным смесям и асфальтополимерсеробетонам (рис. 1).

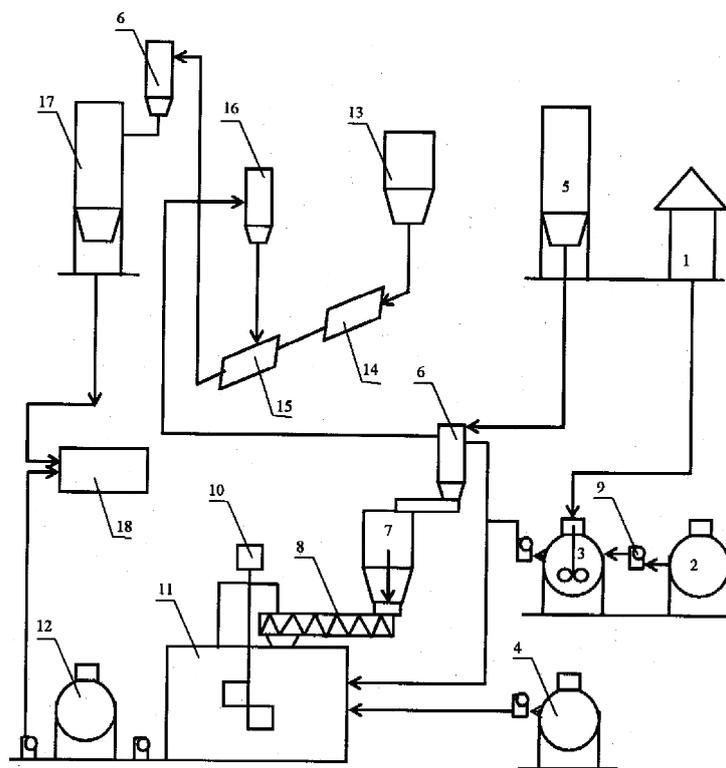


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема производства асфальтополимерсеробетонной смеси: 1 – склад СКМС-30; 2 – ёмкость растворителя СКМС-30; 3 – ёмкость для приготовления раствора СКМС-30; 4 – битумоварочный котёл; 5 – силосный склад технической серы; 6 – циклон; 7 – бункер для межоперационного складирования технической серы; 8 – шнековый питатель; 9 – битумонасос; 10 – мешалка; 11 – битумоварочный котёл приготовления битумополимерсерного вяжущего; 12 – расходный битумоварочный котёл битумополимерсерного вяжущего; 13 – бункер для межоперационного складирования известнякового щебня; 14 – сушильный барабан; 15 – мельница; 16 – дозатор раствора СКМС-30; 17 – силосный склад активированного СКМС-30 минерального порошка; 18 – асфальтосмеситель.

Выполнен расчет концентрации и рассеивания выбросов вредных веществ, и выполнена экологическая оценка модифицированных асфальтобетонных и дегтебетонных смесей как при производстве при температурах $150...155$ и $105...115\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно, так и в условиях эксплуатации при температуре $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Установлено, что концентрация вредных веществ на границе санитарно-защитной зоны составляет $0,2...0,3$ ПДК, что свидетельствует о безопасности использования предложенных добавок для комплексной модификации органических вяжущих (бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30, техническая сера, поливинилхлорид, полистирол) (таблицы № 1, 2, 3). Приведены карты-схемы рассеивания стирола как при производстве, так и применении асфальтополимерсеробетонных смесей и бетонов.

Таблица 1 – Параметры выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при производстве асфальтополимерсеробетонных смесей

Наименование объекта	Источники выделений	Максимальная высота, м	Параметры газовой воздушной смеси			Вредные вещества	Количество выбросов		
			Скорость, м/с	Объем, м ³ /с	Температура, °С		г/м ³	г/с	т/год
Производство асфальтополимерсеробетонных смесей	Технологическое оборудование	4	2	0,39	155	бензол	0,105	0,041	0,001
						толуол	0,449	0,175	0,0044
						ксилол	0,25	0,975	0,00245
						нафталин	0,410	0,16	0,0042
						стирол	1,26	0,49	0,012
						фенол	0,0193	0,0075	0,00021
						сероводород	0	0	0
сернистый ангидрид	0	0	0						
Σ								0,03326	

Таблица 2 – Выделение вредных веществ из материалов, предназначенных для строительства автомобильных дорог, при температуре производства дегтеполимербетонных смесей (110...115 °С), асфальтополимерсеробетонных смесей (150...155 °С) (масса образца – 220 г, диаметр образца – 5 см, объем воздуха – 10 л, время выделения веществ – 30 минут, P – 0,95, n = 3)

Исследуемый материал	Выделение вредных веществ в воздух, $x \pm 8x$ (числитель - мкг, знаменатель - мг/м ³)									
	бензол	толуол	ксилол	нафталин	стирол	фенол	CS	H ₂ S	SO ₂	Эпи-хлор-гидрин
Новые материалы										
1.1 Дегтеполимербетонная смесь (1)	3 120 ± 78	19 800 ± 2 200	8 600 ± 1 200	7 540 ± 520	19 800 ± 690	170 ± 29	0	0	0	0
	312,0 ± 7,8	1 980 ± 220	860 ± 120	754 ± 52	1 980 ± 69	17,0 ± 2,9				
1.2 Литая асфальтополимерсеробетонная смесь	414 ± 30	3 300 ± 370	2 200 ± 250	1 510 ± 76	9 680 ± 520	131 ± 15	0	0	0	0
	41,4 ± 3,0	330 ± 37	220 ± 25	151 ± 7,6	968 ± 52	13,1 ± 1,5				
1.3 Дегтеполимербетонная смесь (2)	82,5 ± 9,4	4 200 ± 620	2 100 ± 840	970 ± 130	14 600 ± 5 80	276 ± 14	0	0	0	0
	82,5 ± 9,4	420 ± 62	210 ± 84	97 ± 13	1 460 ± 58	27,6 ± 1,4				
1.4 Дегтеполимербетонная смесь (4)	337 ± 49	1 179 ± 334	1 207 ± 251	799 ± 61	7 966 ± 137	58 ± 4	0	0	0	0
	33,7 ± 4,9	117,9 ± 33,4	120,7 ± 25,1	79,9 ± 6,1	796,6 ± 13,7	5,8 ± 0,4				
Используемые в строительстве и разрешенные к применению органами санитарного надзора										
Дегтеполимербетонная смесь (1)	2 330 ± 100	17 100 ± 4 100	6 500 ± 100	6 800 ± 100	37 500 ± 600	506 ± 81	0	0	0	0
	233 ± 10	1 710 ± 410	650 ± 10	680 ± 10	3 750 ± 60	50,6 ± 8,1				
Асфальтополимерсеробетонная смесь	1 050 ± 90	4 490 ± 800	2 500 ± 100	4 100 ± 100	12 600 ± 1 500	193 ± 7	0	0	0	0

Для определения опасности загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха выбросами вредных веществ при производстве смесей на асфальтобетонном заводе рассчитываем наибольшую концентрацию этих веществ в расчетной точке – на границе санитарно-защитной зоны, соответствующей наиболее неблагоприятным метеорологическим условиям (когда скорость ветра достигает опасного значения, наблюдается интенсивный вертикальный турбулентный обмен). Размер санитарно-защитной зоны для асфальтобетонного завода – 500 метров.

Наибольшая допустимая концентрация каждого вредного вещества в расчетной точке приземного слоя атмосферы определяется по формуле: $C \leq ГДК$.

Расчет рассеивания вредных веществ, которые находятся в выбросах, выполнен с помощью ЭВМ по программе, рекомендованной к применению Министерством охраны окружающей природной среды, на основе следующих данных:

- 1) метеорологические характеристики района расположения объекта;
- 2) характеристики параметров выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;
- 3) расположение точек источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на карте-схеме объекта.

Таблица 3 – Характеристика качественного и количественного состава выбросов вредных веществ в процессе производства и эксплуатации асфальто- (дегте-) полимербетонных смесей с модифицированной микроструктурой

Наименование вредного вещества	Концентрация вредного вещества, мг/м ³	
	При температуре эксплуатации, 50 °С	При температуре производства, °С
Бензол	10,1	233 (105...110 °С)
Толуол	26,9	1 710 (105...110 °С)
Ксилол	19,6	650 (105...110 °С)
Нафталин	10,8	680 (105...110 °С)
Стирол	254	3 750 (105...110 °С)
Фенол	0,29	50,6 (105...110 °С)
Хлористый водород	0	0 (105...110 °С)
Формальдегид	0	0 (105...110 °С)
Метанол	0	0 (105...110 °С)
Эпихлоргидрин	0	0 (105...110 °С)
Сернистый ангидрид	0	0 (150...155 °С)
Сероводород	0	0 (150...1 550 °С)

Расположение источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу определено в системе координат в координатной сетке «X – Y», ось «Y» направлена на север, ось «X» на восток.

В результате выполненного расчета рассеивания концентрации вредных веществ на границе санитарно-защитной зоны составляют 0,2–0,3 ПДК, что свидетельствует о безопасности использования предложенных добавок бутадиенметилстирольный каучук, техническая сера, (поливинилхлорид, полистирол и карбамидоформальдегидная смола в асфальтополимерсеробетонных и дегтеполимербетонных смесях с комбинированной микроструктурой в дорожном строительстве при данных технологических режимах производства. В качестве примера приведены расчеты рассеивания стирола при производстве дегтеполимербетонной смеси и на стадии эксплуатации (рис. 2).

Установлено, что запроектированные мероприятия по экологической безопасности на асфальтобетонном заводе по производству литых асфальтополимерсеробетонных смесей обеспечивают нормативные условия состояния растительности и атмосферы на промышленной площадке асфальтобетонного завода.

Разработаны мероприятия по охране труда, безопасности и охране окружающей природной среды при производстве литых асфальтополимерсеробетонных смесей: это герметизация технологических установок; обеспечение обслуживающего персонала асфальтобетонного завода спецодеждой, индивидуальными средствами защиты; обеспечение класса защиты от поражения электротоком – первый; оборудование емкостей для хранения серы предохранительными взрывными мембранами, рассчитанными на максимально допустимое избыточное давление; мероприятия по противопожарной безопасности; установка вентиляционного оборудования для отсоса пыли, образующейся при работе сушильного барабана и асфальтобетонной установки.

Выполнен расчет экономической эффективности производства и применения экологически безопасных литых асфальтополимерсеробетонных смесей. Установлено, что при производственной мощности 50 тыс. тонн в год асфальтополимерсеробетонных смесей экономический эффект составит 69 600 000 рублей. Рентабельность реконструированного завода составит – 126 %. Срок окупаемости предприятия 2,6 года.

ВЫВОДЫ

1. Выполнен аналитический обзор эффективных дорожно-строительных материалов с повышенной экологической безопасностью для аварийного ремонта покрытий нежестких дорожных одежд.

2. Установлено, что наиболее эффективным дорожно-строительным материалом для ямочного ремонта и устройства слоев износа нежестких дорожных одежд в неблагоприятных погодных условиях (относительная влажность более 80 % и отрицательной температуры до минус 10 °С) являются литые асфальтополимерсеробетонные смеси, разработанные в ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Обоснованы температурно-временные режимы производства битумополимерсерных вяжущих, обеспечивающих однородность модифицированного органического

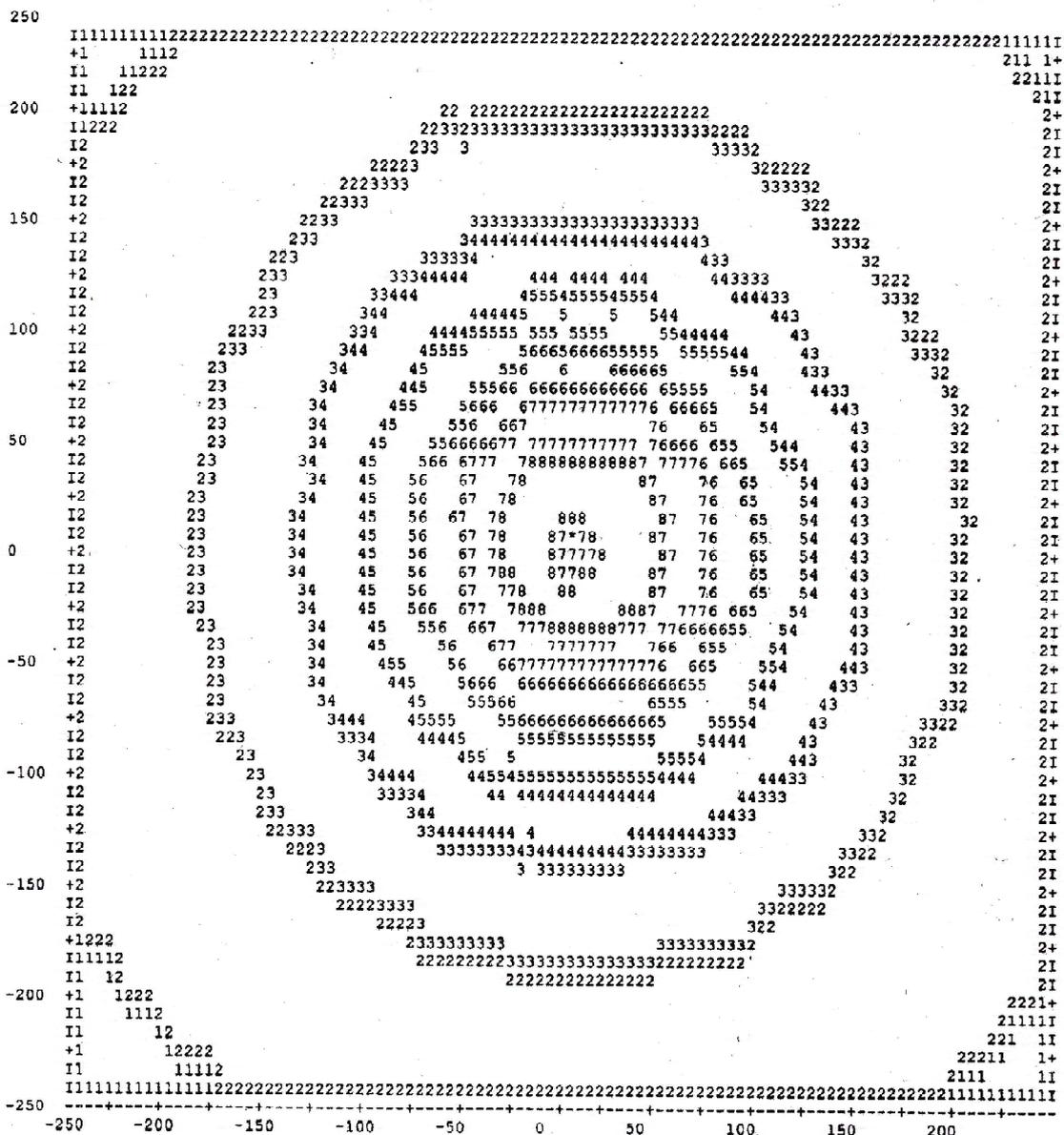


Рисунок 2 – Карта-схема рассеивания стирола при производстве дегтеполимербетонной смеси.

вяжущего, максимальную эластичность и адгезию, и исключают эмиссию в атмосферу сероводорода (H₂S) и сернистого ангидрида (SO₂).

3. Изучены отходы металлоперерабатывающей промышленности – шламы станций нейтрализации (ШН) сталепроволочно-канатных заводов на примере Харцызского сталепроволочно-канатного завода и полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол (опытный завод Донецкого УкрНИИПластмасс). Экспериментально обоснована целесообразность утилизации ШСН, поверхностно-активированных ПОЭС как активированного минерального порошка комплексномодифицированных асфальтополимербетонных смесей для устройства конструктивных слоев жестких дорожных одежд повышенной долговечности.

4. Изучены закономерности выделения и выбросов загрязняющих веществ, прежде всего органических углеводородов, при производстве литых асфальтополимерсеробетонных смесей. Расчетным методом выполнена количественная оценка выбросов в атмосферу загрязняющих веществ на асфальтобетонном заводе.

5. Установлено, что спроектированные мероприятия по экологической безопасности приводят к тому, что технологический процесс производства литых смесей не причиняет существенного вреда

состоянию растительности и атмосфере на промышленной площадке асфальтобетонного завода. Разработаны мероприятия по охране труда, безопасности и гражданской обороне работающих на асфальтобетонном заводе.

6. Годовая плановая прибыль от внедрения 50 000 тонн литых асфальтополимерсеробетонных смесей составит – 69 500 000 рублей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогрессивные технологии капитального ремонта дорожных одежд [В. В. Мозговой, А. Е. Мерзликин, Л. А. Мозговая и др.]. – Текст : непосредственный // Дорожная техника. – 2007. – Санкт-Петербург. – С. 126–139.
2. Бахрах, Г. С. Модель оценки срока службы дорожной одежды нежесткого типа / Г. С. Бахрах. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 3. – С. 35–41.
3. Калгин, Ю. И. Дорожные битумоминеральные материалы на основе модифицированных битумов : монография / Ю. В. Калгин. – Воронеж : издательство Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2006. – 272 с. – Текст : непосредственный.
4. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных асфальтополимербетонов повышенной долговечности : монография / [В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк]. – Донецк : Издательство ООО «НПП Фолиант», 2020. – 244 с. – Текст : непосредственный.
5. Экологические и санитарные аспекты применения асфальтобетонных смесей / под редакцией В. А. Золотарева. Технический комитет AIPCR – PIARC по жестким дорогам. Всемирная дорожная ассоциация. – Харьков : ХНАДУ, 1995. – 28 с. – Текст : непосредственный.
6. Модифицированные горячие литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта жестких дорожных одежд / В. И. Братчун, А. А. Столярова, В. Л. Беспалов, С. М. Толчин. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2005. – Випуск 2005-1(49). – С. 39–42.
7. Патент № 82922 Україна, МПК С04В 26/26 С08, 95/00, E01С 7/00. Литя асфальтополімерсіркобетонна суміш : № 20607364 : заявл. 30.07.2006 : опублік. 10.01.2008 / Братчун В. І., Столярова Н. О., Беспалов В. Л. ; заявник і власник патенту Донбаська національна академія будівництва і архітектури – 4 с. – Текст : непосредственный.
8. Литые асфальтополимерсеробетонные смеси для ямочного ремонта внутригородских асфальтобетонных автомобильных дорог / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, А. Г. Доля. – Текст : непосредственный // Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля. – Луганск. – 2016. – С. 20–22.

Получена 10.01.2023

Принята 27.01.2023

В. І. БРАТЧУН, В. Л. БЕСПАЛОВ, Е. Л. РАДЮКОВА, Д. І. БОРОДАЙ,
М. С. ЛЕОНОВ
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА ЛИТИХ АСФАЛЬГОПОЛІМЕР-
СІРКОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Виконано аналітичний огляд ефективних дорожно-будівельних матеріалів з підвищеною екологічною безпекою для аварійного ремонту покриттів нежорсткого дорожнього одягу. Вивчено відходи металопереробної промисловості – шлами станцій нейтралізації (ШН) сталедротоканатних заводів, на прикладі Харцизького сталедротоканатного заводу, та полімеровмісні відходи виробництва епоксидних смол (дослідний завод Донецького УкрНДІпластмас Експериментально обґрунтована доцільність утилізації ШСН, поверхнево-активованих ПОЕС як активованого мінерального порошку комплексно-модифікованих асфальтополімербетонних сумішей для влаштування конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу підвищеної довговічності. Вивчені закономірності виділення і концентрацій забруднюючих речовин, насамперед органічних вуглеводнів при виробництві литих асфальтополімерсіркобетонних сумішей. Розрахунковим методом виконана кількісна оцінка викидів в атмосферу забруднюючих речовин на асфальтобетонному заводі. Встановлено, що запроєктовані заходи з екологічної безпеки приводять до того, що технологічний процес виробництва литих сумішей не завдає істотної шкоди стану рослинності та атмосфері на промисловому майданчику асфальтобетонного заводу. Розроблено заходи з охорони праці та безпеки співробітників, які працюють на асфальтобетонному заводі. Річний плановий прибуток від впровадження 50 000 тонн литих асфальтополімерсіркобетонних сумішей складе – 69 500 000 рублів.

Ключові слова: технологія виробництва литих асфальтополімерсіркобетонних сумішей, екологічна безпека, технологічні показники застосування литих асфальтополімерсіркобетонних сумішей.

VALERY BRATCHUN, VITALY BESPALOV, ELINA RADYUKOVA, DENIS
BORODAI, NIKITA LEONOV
ENVIRONMENTAL SAFETY OF CAST ASPHALT POLYMER PRODUCTION OF
CONCRETE MIXTURES

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. An analytical review of effective road construction materials with increased environmental safety for emergency repair of coatings of non-rigid road pavements was carried out. We studied waste from the metal processing industry – sludge from neutralization stations (SN) of steel-wire-rope plants, on the example of the Khartsyzsk steel-wire-rope plant and polymer-containing waste from the production of epoxy resins (experimental plant of Donetsk UkrNIIPlastmass). The expediency of disposal of sludge from neutralization stations, surface-activated polymer-containing wastes from the production of epoxy resins as an activated mineral powder of complex-modified asphalt polymer concrete mixtures for the construction of structural layers of non-rigid pavements of increased durability. The regularities of the release and concentration of pollutants, primarily organic hydrocarbons, in the production of cast asphalt polymer concrete mixtures have been studied. The calculation method performed a quantitative assessment of pollutant emissions into the atmosphere at the asphalt concrete plant. It was established that the designed environmental safety measures lead to the fact that the production process of cast mixtures does not cause significant damage to the state of vegetation and the atmosphere at the industrial site of the asphalt concrete plant. Occupational health and safety measures have been developed for employees working at the asphalt concrete plant. The annual planned profit from the introduction of 50,000 tons of cast asphalt polymer-ceramic concrete mixtures will amount to 69,500,000 rubles.

Keywords: technology for the production of cast asphalt polymer sulfur concrete mixtures, environmental safety, technological indicators of application of cast asphalt polymer sulfur concrete mixtures.

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев жестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

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

Радюкова Элина Львовна – магистр; старший лаборант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Бородай Денис Игоревич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: надежность и долговечность транспортных сооружений.

Леонов Никита Сергеевич – аспирант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

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

Беспалов Віталій Леонідович – доктор технічних наук, доцент; професор кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: синтез органічних в'язучих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів жорстких дорожніх одягів автомобільних доріг підвищеної довговічності.

Радюкова Еліна Львівна – магістр; старший лаборант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДДУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Бородай Денис Ігорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: надійність і довговічність транспортних споруд.

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

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

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

Borodai 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 facilities.

Radyukova Elina – Master; senior laboratory Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

Leonov Nikita – post-graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of efficient technologies for processing of technogenic raw materials into components of composite materials.

EDN: DFOLOD

УДК 666.9.017

Е. В. ЕГОРОВА, И. Ю. ПЕТРИК, Т. П. КИЦЕНКО, М. Н. ВОДОЛАД, Д. И. ВАХЛАКОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА С КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКОЙ

Аннотация. В работе исследовано влияние комплексной добавки, состоящей из модификатора вязкости и суперпластификатора, на коррозионную стойкость самоуплотняющихся бетонов. В качестве минерального наполнителя применяли золошлаковую смесь Зуевской ТЭС. Установлено, что использование в качестве минерального наполнителя золошлаковой смеси и введение комплексной добавки в состав самоуплотняющихся бетонов увеличивает их прочностные характеристики как в ранние, так и в более поздние сроки твердения. Кроме этого, разработанные составы бетонов отвечают требованиям по изменению прочностных показателей после выдерживания образцов в агрессивной среде. Также не было отмечено несовместимости модификатора вязкости и суперпластификатора, применяемых в составе комплексной добавки, и ее отрицательного влияния на коррозионную стойкость самоуплотняющегося бетона. Следовательно, можно рекомендовать использовать разработанные составы бетонов при производстве изделий и конструкций, применяемых в дорожном строительстве, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхности и которые не требуют дополнительной обработки.

Ключевые слова: самоуплотняющийся бетон, прочность, модификатор вязкости, суперпластификатор, золошлаковая смесь, коррозионная стойкость, кислотная коррозия.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В современном строительстве при возведении бетонных и железобетонных конструкций применяются бетоны всё более высоких классов по прочности, повышаются требования к коррозионной стойкости бетона в агрессивных средах и его способности длительно защищать стальную арматуру от коррозии [1].

Коррозионная стойкость бетона определяется такими факторами, как проницаемость и химическая стойкость компонентов цементного камня к действию агрессивных сред. Так, активные минеральные добавки, в частности пуццолановые, повышают коррозионную стойкость бетона, так как снижают его проницаемость (физический фактор) и превращают значительную часть растворимого гидроксида кальция в гидросиликаты кальция (химический фактор) [2].

Дисперсность частиц пуццолановых добавок соизмерима с размерами зерен цемента и наблюдается пластифицирующий эффект, проявление которого повышается с увеличением (до оптимального) количества вводимой добавки. Образование гидросиликатов кальция обеспечивает повышение плотности и прочности цементного камня и соответственно бетона и раствора за счет вовлечения активной части добавки в формирующуюся структуру цементного камня. Вместе с этим уменьшение свободной гидроокиси кальция в структуре цементного камня способствует повышению коррозионной стойкости бетона, так как исключает образование легкорастворимых гидроксидов магния, натрия и других. Таким образом, введение активных минеральных добавок способствует не только сокращению расхода цемента, но и повышению коррозионной стойкости бетона, что свидетельствует о технической и экономической эффективности использования данных добавок в бетонах [1].

Известно, что высокий уровень эксплуатационных характеристик бетонов, подвергающихся коррозионным воздействиям, обеспечивается за счет оптимизации структуры конструктивного материала с целью устранения дефектов и неоднородностей в результате несовершенства технологического



процесса и достигается применением комплексных модификаторов [3]. Их применение приводит к образованию нерастворимых кристаллических комплексов, ликвидирующих дефектность структуры, повышая плотность, прочность, морозостойкость и коррозионную стойкость конструкций [4].

Эффективными модификаторами цементных систем являются добавки пластифицирующей группы на основе высокомолекулярных поверхностно-активных веществ, в частности поликарбоксилатные добавки, которые позволяют уменьшить количество воды затворения при сохранении заданной подвижности [3]. Поликарбоксилаты обладают разветвленной структурой и состоят из основной поликарбоксильной цепи, а также боковых полиэфирных ответвлений. Такое строение обеспечивает частицам цемента электростатическое и стерическое (пространственное) отталкивание [5].

Широкое применение в современной технологии бетона получили комплексные органоминеральные добавки. Применение комплексных органоминеральных добавок позволяет получить бетон с повышенной коррозионной стойкостью за счет формирования более плотной структуры цементного камня с низкой пористостью из-за снижения водовяжущего отношения и заполнения порового пространства активными минеральными наполнителями [6].

Самоуплотняющиеся бетоны обладают комплексом свойств, позволяющим отнести их к высокофункциональным бетонам и рассматривать как инновационный материал в современном строительстве. Модифицированные самоуплотняющиеся бетоны обладают достаточно высокой коррозионной стойкостью к действию различных агрессивных сред, в том числе кислот. Также был отмечен положительный опыт применения самоуплотняющихся бетонов в дорожном строительстве, которые обеспечивают улучшение качества дорожного полотна, повышение скорости строительства, снижение энергопотребления и трудоемкости процесса, а также соответствуют основным принципам «устойчивого строительства» [7].

Однако большое влияние на свойства самоуплотняющихся смесей и бетонов может оказывать проблема совместимости применяемых в составе самоуплотняющихся бетонов модификаторов между собой и с портландцементом. Это обуславливает необходимость поиска решений по разработке составов полифункциональных модификаторов, основу которых составляют различные отходы промышленности. Полифункциональные добавки обеспечивают получение бетонных смесей и бетонов с нормируемыми показателями качества и обеспечивают долговечность конструкций различного назначения.

Целью исследования является изучение коррозионной стойкости самоуплотняющихся бетонов, содержащих в своем составе в качестве активной минеральной добавквивзамен части портландцемента золошлаковую смесь ТЭС и комплекс химических добавок – модификатор вязкости SCC-10 и суперпластификатор Sika ViscoCrete 5-600 N PL.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ.

В качестве вяжущего вещества для приготовления бетонных смесей применяли портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 52,5 Н Амвросиевского цементного завода ООО «ПИК-Цемент» (активность $R_{ц} = 52,5$ МПа).

В качестве заполнителей применяли:

- песок кварцевый (П) Ясиноватского карьера с $M_k = 1,3$ (содержание ПИГ = 3 %, насыпная плотность $\rho_0 = 1\,207$ кг/м³);
- щебень гранитный (Щ) Тельмановского месторождения (фракции 5...10 мм, 10...20 мм; марка по дробимости Др1000);
- химические добавки – модификатор вязкости (МВ) Viscofluid SCC/10 и суперпластификатор (СП) Sika ViscoCrete 5-600 NP L.

В качестве минеральной составляющей использована молотая отвальная золошлаковая смесь (ЗШС) Зуевской ТЭС. Смесь предварительно высушивали и механоактивировали измельчением до тонкости помола, сравнимого с тонкостью помола цементного клинкера, при помощи лабораторной шаровой мельницы (тонкость помола (остаток на сите № 008) = 4,75 %; насыпная плотность $\rho_n = 881$ кг/м³).

Химико-минералогический состав представлен в таблице 1.

Коррозионная стойкость самоуплотняющегося бетона определялась по методике В. М. Москвина [8] на образцах-кубах размером $(7 \times 7 \times 7) \times 10^{-2}$ м. Было запроектировано четыре состава, которые приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Химико-минералогический состав золошлаковой смеси Зуевской ТЭС

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

Таблица 2 – Составы самоуплотняющихся бетонов

№ состава	Компоненты бетонных смесей, кг (на 1 м ³)						
	ПЦ	ЗШС	Щ	П	В	МВ	СП
1	442	–	885	796	287	–	1 % m _в
2	442	–	885	796	287	1 % m _в	1 % m _в
3	287	155	885	796	287	–	1 % m _в
4	287	155	885	796	287	1 % m _в	1 % m _в

Образцы бетона после твердения в течение суток в нормальных условиях набирали прочность в воде в течение 14 суток, и после этого их погружали в агрессивные растворы. Согласно методике [8], испытания образцов, находящихся в агрессивных растворах, проводят через 14, 70 и 126 суток.

Агрессивной средой служил 0,1н раствор HCl, т. е. моделировалась кислотная коррозия.

Прочность является основной характеристикой бетона, поэтому в качестве критерия оценки коррозионной стойкости бетона был принят коэффициент стойкости (КС):

$$КС = \frac{R_{сж}^{агр}}{R_{сж}^{конт}} \geq 0,8,$$

где $R_{сж}^{агр}$ – предел прочности на сжатие образцов, хранившихся в агрессивной среде, МПа;
 $R_{сж}^{конт}$ – предел прочности на сжатие образцов перед погружением в агрессивную среду, МПа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ВЫВОДЫ

Механические характеристики самоуплотняющихся бетонов в условиях нормального твердения и в агрессивной среде приведены в таблице 3. На рисунке представлены значения коэффициента стойкости разработанных составов бетонов.

Таблица 3 – Механические характеристики самоуплотняющихся бетонов

№ состава	Показатели предела прочности на сжатие, МПа, в возрасте					
	контрольные образцы			образцы в агрессивной среде		
	28 сут	84 сут	140 сут	28 сут	84 сут	140 сут
1	30,50	34,80	36,70	30,40	29,80	31,00
2	32,54	40,10	42,40	32,50	32,92	34,68
3	33,50	40,20	42,70	33,40	34,57	36,72
4	35,82	42,80	45,70	35,80	38,61	41,13

Анализ результатов эксперимента показал, что разработанные составы самоуплотняющегося бетона показали значение коэффициента стойкости выше, чем 0,8. Также отмечено, что образцы, в которых содержится золошлаковая смесь Зуевской ТЭС взамен части портландцемента, имеют коэффициент стойкости выше, чем образцы без использования минеральной добавки. Можно предположить, что минеральная добавка повышает коррозионную стойкость бетона при длительном контакте с агрессивной средой. Вероятно, она снижает проницаемость бетона и превращает значительную часть растворимого гидроксида кальция в гидросиликаты кальция.

Еще одним, дополнительным критерием стойкости бетона служит внешний вид образцов, подвергавшихся воздействию агрессивной среды. В результате визуальной оценки образцов, которые 126 суток находились в 0,1н растворе HCl, были отмечены такие внешние признаки коррозии, как слабое поверхностное разрушение бетона и шелушение поверхности, что, для разработанных составов бетонов, позволяет отнести данную среду к слабоагрессивной [8].

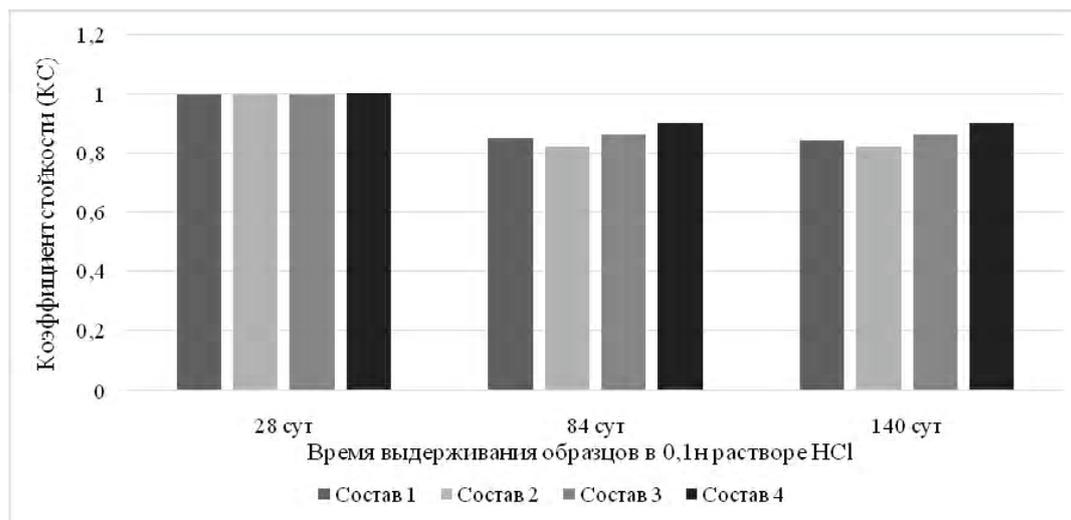


Рисунок – Коэффициент стойкости разработанных составов бетонов.

Самоуплотняющийся бетон составов № 3 и № 4 можно рекомендовать к использованию при производстве изделий и конструкций, применяемых в дорожном строительстве, к которым предъявляются высокие требования по качеству поверхности и которые не требуют дополнительной обработки.

Таким образом, по полученным данным можно сделать вывод о положительном влиянии совместной работы комплексной добавки, состоящей из модификатора вязкости, пластификатора и золошлаковой смеси, на коррозионную стойкость самоуплотняющихся бетонов. Для разработанных составов бетонов несовместимости данного модификатора вязкости и суперпластификатора не отмечено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябов, Р. Г. Экологически рациональная технология повышения коррозионной стойкости бетонов модифицирующей добавкой из отходов горных предприятий / Р. Г. Рябов, М. В. Хмелевский, Ю. А. Воронкова. – Текст : электронный // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2016. – № 3. – С. 210–216. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheski-ratsionalnaya-tehnologiya-povysheniya-korrozionnoy-stoykosti-betonov-modifitsiruyushey-dobavkoj-iz-othodov-gornyh> (дата обращения: 15.11.2022).
2. Петрик, И. Ю. Коррозионная стойкость бетона с высоким содержанием золы-уноса ТЭС / И. Ю. Петрик, В. Н. Губарь, С. В. Корниенко. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – Выпуск 2017-4(126) Научно-технические достижения студентов строительного-архитектурной отрасли. – С. 103–107. – URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_30480491_21084878.pdf (дата публикации: 17.07.2017).
3. Суворова, А. А. Модель формирования коррозионностойких веществ при применении уплотняющих присадок / А. А. Суворова. – Текст : электронный // Инновации и инвестиции. – 2020. – № 8. – С. 168–171. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/model-formirovaniya-korrozionnostoykih-veschestv-pri-primenenii-uplotnyayuschih-prisadok> (дата обращения: 15.11.2022).
4. Исследование коррозионной стойкости модифицированного бетона в среде сточных вод / Е. Л. Королева, Е. Г. Матвеева, О. В. Науменко, Т. Н. Нырикова. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2013. – № 2. – С. 101–107. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-korrozionnoy-stoykosti-modifitsirovannogo-betona-v-srede-stochnyh-vod-1> (дата обращения: 15.11.2022).
5. Оценка эффективности применения поликарбоксилатных суперпластификаторов для производства бетона / В. Н. Тарасов, Б. В. Гусев, С. Ю. Петрунин [и др.]. – Текст : электронный // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2018. – № 1. – С. 1–12. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-primeneniya-polikarboksilatnyh-superplastifikatorov-dlya-proizvodstva-betona> (дата обращения: 15.11.2022).
6. Влияние органоминеральных добавок на физико-механические свойства и коррозионную стойкость цементно-песчаных растворов / Суан Хунг Нго, Танг Ван Лам, Б. И. Булгаков [и др.]. – Текст : электронный // Строительство: наука и образование. – 2020. – № 1. – С. 1–23. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-organomineralnyh-dobavok-na-fiziko-mehanicheskie-svoystva-i-korrozionnuyu-stoykost-tsementno-peschanyh-rastvorov> (дата обращения: 15.11.2022).

7. Зайченко, Н. М. Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития : учебное пособие / Н. М. Зайченко. – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 559 с. – ISBN 978-5-4486-0132-3. – Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/70268.html> (дата обращения: 15.11.2022). – Режим доступа: для авторизир. пользователей. – DOI: <https://doi.org/10.23682/70268>.
8. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гусев. – Москва : Стройиздат, 1980. – 536 с. – Текст : непосредственный.

Получена 10.01.2023

Принята 27.01.2023

О. В. ЄГОРОВА, І. Ю. ПЕТРИК, Т. П. КІЩЕНКО, М. М. ВОДОЛАД,
Д. І. ВАХЛАКОВ
КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ БЕТОНУ, ЩО САМОУЩІЛЬНЮЄТЬСЯ, З
КОМПЛЕКСНОЮ ДОБАВКОЮ
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. У роботі досліджено вплив комплексної добавки, що складається з модифікатора в'язкості та суперпластифікатора, на корозійну стійкість бетонів, що самоущільнюються. Як мінеральний наповнювач застосовували золошлакову суміш Зуївської ТЕС. Встановлено, що використання як мінерального наповнювача золошлакової суміші і введення комплексної добавки до складу бетонів, що самоущільнюються, збільшує їх міцнісні характеристики як в ранні, так і в пізніші терміни твердіння. Крім цього, розроблені склади бетонів відповідають вимогам щодо зміни показників міцності після витримання зразків в агресивному середовищі. Також не було відзначено несумісності модифікатора в'язкості та суперпластифікатора, що застосовуються у складі комплексної добавки, та її негативного впливу на корозійну стійкість бетону, що самоущільнюється. Отже, можна рекомендувати застосовувати розроблені склади бетонів при виробництві виробів та конструкцій, що застосовуються у дорожньому будівництві, до яких пред'являються високі вимоги щодо якості поверхні та які не потребують додаткової обробки.

Ключові слова: самоущільнювальний бетон, міцність, модифікатор в'язкості, суперпластифікатор, золошлакова суміш, корозійна стійкість, кислотна корозія.

ELENA YEGOROVA, IRINA PETRIK, TATYANA KITSSENKO, MAXIM VODOLAD,
DMITRY VAKHLAKOV
CORROSION RESISTANCE OF SELF-COMPACTING CONCRETE WITH A
COMPLEX ADMIXTURE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. In the work, the influence of a complex admixture consisting of a viscosity modifier and a superplasticizer on the corrosion resistance of self-compacting concretes was studied. The ash and slag mixture of the Zuevskaya TPP was used as a mineral filler. It has been established that the use of an ash and slag mixture as a mineral filler and the introduction of a complex admixture into the composition of self-compacting concretes increases their strength characteristics both in the early and later periods of hardening. In addition, the developed concrete compositions meet the requirements for changing the strength characteristics after keeping the samples in an aggressive environment. Also, there was no incompatibility of the viscosity modifier and superplasticizer used in the composition of the complex admixture, and its negative effect on the corrosion resistance of self-compacting concrete. Therefore, it can be recommended to use the developed concrete compositions in the production of products and structures used in road construction, which are subject to high requirements for surface quality and do not require additional processing.

Keywords: self-compacting concrete, strength, viscosity modifier, superplasticizer, ash and slag mixture, corrosion resistance, acid corrosion.

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

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

Киценко Татьяна Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: цементные бетоны с заполнителями из отходов промышленности.

Водолад Максим Николаевич – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: самоуплотняющиеся бетоны.

Вахлаков Дмитрий Игоревич – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности Донбасса при производстве строительных материалов.

Егорова Елена Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони, що самоупільнюються, з поліфункціональними модифікаторами.

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

Киценко Тетяна Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: цементні бетони з заповнювачами з відходів промисловості.

Водолад Максим Миколайович – магистрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони, що самоупільнюються.

Вахлаков Дмитро Ігорович – магистрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів та матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості Донбасу при виробництві будівельних матеріалів.

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

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

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: portland cement concretes with aggregates of industrial waste products.

Vodolad Maxim – master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: self-compacting concretes.

Vakhlakov Dmitry – master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the use of Donbass industrial waste in the production of building materials.

EDN: RCIJHZ

УДК 685.3:001.8

В. Н. КИБЗУН, Н. П. НАГОРНАЯ

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

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ИМПОРТНОЙ ОБУВИ, ПОСТУПАЮЩЕЙ НА РЫНОК ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

Аннотация. В данной статье авторами приведена методика оценки качества отечественной и импортной обуви, а также выполнено определение физико-технических и эксплуатационных показателей качества обуви, обуславливающих ее безопасность. Рассмотрены факторы, обеспечивающие безопасность обуви для жизни и здоровья человека и, прежде всего, интегральный показатель, который включает механическую, химическую и санитарно-гигиеническую опасности. Предложена оценочная шкала для ранжирования интегрального показателя уровня безопасности обуви для жизни и здоровья населения. При определении шкалы ранжирования в качестве низкого уровня интегрального показателя безопасности задается граница интервала от 0 до 0,30. С учетом шага интервала, равного 0,30, определяются границы второго, третьего интервалов шкалы. При установлении границы четвертого интервала от 0,91 до 1 принята шкала деления, равная $\frac{1}{3}$ предыдущего интервала. Предложен методический подход к оценке качества обуви, поступающей на рынок Донецкой Народной Республики. Разработанная шкала ранжирования дает возможность оценить уровень безопасности обуви для жизни и здоровья населения.

Ключевые слова: потребительские свойства, обувь, качество, ранговая шкала безопасности обуви.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Многочисленные наблюдения врачей подтверждают, что неправильно сконструированная и подобранная обувь не только препятствует осуществлению нормальных опорно-двигательных функций стопы, но и вызывает серьезные физиологические изменения в организме. Поэтому на сегодняшний день в республике остро стоит вопрос оснащения рынка качественной и безопасной обувью.

ЦЕЛЬ

Целью статьи является определение физико-технических и эксплуатационных показателей качества обуви, обуславливающих ее безопасность.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Существенное место в поддержании здоровья человека в хорошем состоянии занимает обувь. По данным Союза участников потребительского рынка, качество импортной обуви на потребительском рынке резко снизилось по сравнению с качеством отечественной обуви: если в 2021 г. забраковано некачественной обуви 60,5 %, то в 2022 г. количество некачественной обуви увеличилось до 68,4 %, а отечественной обуви забраковано 23,6 %.

Обувь как товар выступает объектом коммерческой деятельности и обладает определенными потребительскими свойствами. Качество обуви определяется как совокупность свойств, обуславливающих ее потребительскую ценность, и характеризуется такими показателями, как безопасность (химическая, механическая и санитарно-гигиеническая), функциональная пригодность, надежность (долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость), эргономичность, психологические показатели, эстетичность [1].

© В. Н. Кибзун, Н. П. Нагорная, 2023



На основании изложенного следует, что одним из показателей качества является безопасность. Это аргументируется тем, что независимо от социального статуса потребитель стремится выбирать безопасную обувь для его здоровья и жизни.

Безопасность – состояние объекта, при котором риск вреда или ущерба для потребителя ограничен допустимым уровнем, т. е. безопасность товаров определяется вероятностью отсутствия недопустимого риска для здоровья и жизни человека при использовании товаров.

Оценка уровня безопасности обуви для жизни и здоровья населения страны осуществляется на основе определения совокупного показателя опасности обуви, производимой отечественными компаниями и ввозимой иностранными поставщиками на территорию ДНР [2].

В свою очередь, показатель опасности обуви может рассчитываться исходя из существующих видов опасности обуви для жизни и здоровья населения. Выделяют следующие виды опасности обуви:

1. Механическая опасность. Это риск для жизни, здоровья потребителя, который быть нанесен вследствие различных механических воздействий. Так, например, при ходьбе женщин в обуви с высоким каблуком центр тяжести смещается на элементы в суставах, не предназначенные природой для нагрузки. Накапливающиеся с годами повреждения ведут к артриту. Это находит подтверждение в большей подверженности женщин этой болезни по сравнению с мужчинами. Кроме того, ношение обуви на высоких каблуках деформирует икроножную мышцу и нарушает кровообращение нижних конечностей, что ведет к целлюлиту.

2. Химическая опасность. Представляет собой риск для жизни, здоровья потребителя, возникающий при использовании материалов для производства обуви, которые могут выделять вредные для организма вещества. Так, например, из крашенных подкладочных кож краска может переходить на стопу, которая способствует возникновению аллергических и экзематических заболеваний.

3. Санитарно-гигиеническая опасность. Это риск для жизни, здоровья потребителя, возникающий при различного рода биоповреждениях обуви. Например, из полиуретана мигрируют метилэтилкетон и диметилформамид. Особенно это относится к обуви с фунгицидным покрытием, откуда миграция диметилформамида значительная. При носке такой обуви у некоторых людей появляются кожно-раздражающие факторы (зуд, гиперемия). В данном случае дискомфорт обусловлен, по-видимому, ее недостаточной вентилирующей способностью. Синтетическая кожа с фунгицидными добавками по химическим, физическим и биологическим свойствам отвечает гигиеническим требованиям, предъявляемым к обувным материалам, и может быть использована в качестве верха в открытых моделях. В изделиях закрытого типа рациональным является сочетание этого материала с натуральным, особенно для внутренних деталей [3].

Показатель опасности может рассчитываться как по каждому виду опасности отдельно, так и определяться как совокупный показатель опасности.

При оценке уровня безопасности обуви предлагается рассчитать совокупный показатель опасности, включающий все рассмотренные выше виды опасности [4].

Показатель опасности каждого вида обуви определяется для отечественных производителей по формуле

$$K_i^{om} = \frac{R_{iD}^{om}}{R_i^{om}}, \quad (1)$$

где K_i^{om} – показатель опасности каждого i -го вида отечественной обуви;
 R_{iD}^{om} – суммарное количество отечественной обуви i -го вида, произведенной и реализованной на таможенной территории ДНР, по которой получены положительные экспертные заключения о выявлении опасности;
 R_i^{om} – количество i -го вида отечественной обуви, производимой и реализуемой на территории ДНР.

При этом $i = 1, 2 \dots 12$.

Аналогично показатель опасности для каждого вида импортной обуви может быть определен по следующей формуле:

$$K_i^u = \frac{R_{iD}^u}{R_i^u}, \quad (2)$$

где K_i^u – показатель опасности каждого i -го вида импортной обуви;

R_{iD}^u – суммарное количество импортной обуви i -го вида, реализуемой на таможенной территории ДНР, по которой получены положительные экспертные заключения о выявлении опасности;

R_i^u – количество импортной обуви i -го вида, реализуемой на таможенной территории ДНР.

При этом $i = 1, 2 \dots 12$.

Существует сложность расчета показателя опасности обуви. Она связана с достоверностью данных о количестве импортной и отечественной обуви, по которой получены положительные экспертные заключения о выявлении опасности. С учетом этого предлагается определять данное количество обуви с учетом обобщенных данных Инспекции по защите прав потребителей ДНР, Министерства здравоохранения, Министерства труда и социальной политики ДНР, Министерства промышленности и торговли, Государственной службы статистики ДНР [6].

С учетом формул (1) и (2) интегральный показатель безопасности обуви, учитывающий уровень опасности отечественной и импортной обуви, можно представить в следующем виде:

$$V_i = (1 - K_i^{om}) \cdot (1 - K_i^u), \quad (3)$$

где V_i – интегральный показатель безопасности обуви i -го вида.

При этом $i = 1, 2 \dots 12$.

В соответствии с методикой оценки уровня безопасности обуви для жизни и здоровья населения предлагается использовать оценочную шкалу для ранжирования интегрального показателя безопасности обуви, представленную в нижеприведенной таблице.

Таблица - Шкала ранжирования интегрального показателя безопасности обуви для жизни и здоровья населения

Порядковый номер	Интервал	Уровень безопасности обуви для жизни и здоровья населения
1	От 0 до 0,30	Низкий
2	От 0,31 до 0,60	Средний
3	От 0,61 до 0,90	Высокий
4	От 0,91 до 1	Предельно высокий

При определении шкалы ранжирования в качестве низкого уровня интегрального показателя безопасности задается граница интервала от 0 до 0,30. С учетом шага интервала, равного 0,30, определяются границы второго, третьего интервалов шкалы. При установлении границы четвертого интервала от 0,91 до 1 принята шкала деления, равная $\frac{1}{3}$ предыдущего интервала.

Данное решение объясняется тем, что достижение предельно высокого уровня безопасности считается маловероятным, но вместе с тем необходимым для стремления повышения интегрального показателя безопасности в будущем [7].

Таким образом, шкала ранжирования дает возможность оценить уровень безопасности обуви для жизни и здоровья населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ильина, М. Г. Товароведение непродовольственных товаров : Практикум : учебное пособие / М. Г. Ильина. – Москва : Академия, 2018. – 256 с. – Текст : непосредственный.
- Николаева, М. А. Теоретические основы товароведения и экспертизы товаров : учебник : в 2 частях. Часть 1. Теоретические основы товароведения / М. А. Николаева. – Москва : Норма : ИНФРА-М, 2022. – 448 с. – Текст : непосредственный.
- Славнова, Т. П. Товароведение и экспертиза одежно-обувных и пушно-меховых товаров : учебное пособие / Т. П. Славнова. – Москва : Дашков и К, 2015. – 168 с. – Текст : непосредственный.
- Барамзин, С. В. Управление качеством таможенной деятельности : учебник / С. В. Барамзин. – Москва : РИО РТА, 2004. – 356 с. – Текст : непосредственный.
- Николаева, М. А. Товароведение потребительских товаров. Теоретические основы : учеб. для вузов. – Москва : НОРМА, 2003. – 284 с. – Текст : непосредственный.
- Прищев, Е. Н. Методический подход к оценке существующих мер таможенного регулирования ввоза товаров легкой промышленности на территорию Российской Федерации (на примере обуви) / Е. Н. Прищев. – Текст : непосредственный // Вестник РТА. – 2009. – № 3. – С. 17–19.

7. Товароведение и экспертиза непродовольственных товаров. Словарь-справочник / [под общей редакцией С. А. Вилкова и др.]. – Москва : Дашков и Ко, 2021. – 264 с. – Текст : непосредственный.

Получена 11.01.2023

Принята 27.01.2023

В. М. КІБЗУН, Н. П. НАГОРНА
МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВІТЧИЗНЯНОГО ТА ІМПОРТНОГО ВЗУТТЯ,
ЩО НАДХОДИТЬ НА РИНОК ДОНЕЦЬКОЇ НАРОДНОЇ РЕСПУБЛІКИ
ДО ВПО «Донецький національний університет економіки та торгівлі імені Михайла
Туган-Барановського»

Анотація. У даній статті авторами наведена методика оцінки якості вітчизняного та імпортного взуття, а також виконано визначення фізико-технічних та експлуатаційних показників якості взуття, що обумовлюють його безпеку. Розглянуто фактори, що забезпечують безпеку взуття для життя і здоров'я людини, і насамперед інтегральний показник, який включає механічну, хімічну і санітарно-гігієнічну небезпеки. Запропонована оціночна шкала для ранжування інтегрального показника рівня безпеки взуття для життя і здоров'я населення. При визначенні шкали ранжування за низький рівень інтегрального показника безпеки задається межа інтервалу від 0 до 0,30. З урахуванням кроку інтервалу, рівного 0,30, визначаються межі другого, третього інтервалів шкали. При встановленні межі четвертого інтервалу від 0,91 до 1 прийнята шкала поділу, що дорівнює попередньому інтервалу. Запропоновано методичний підхід до оцінки якості взуття, що надходить на ринок Донецької Народної Республіки. Розроблена шкала ранжування дає можливість оцінити рівень безпеки взуття для життя і здоров'я населення.

Ключові слова: споживчі властивості, взуття, якість, рангова шкала безпеки взуття.

VALENTINA KIBZUN, NINA NAGORNAYA
METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF DOMESTIC AND
IMPORTED FOOTWEAR ENTERING THE MARKET OF THE DONETSK
PEOPLE'S REPUBLIC

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

Abstract. In this article, the authors provide a methodology for assessing the quality of domestic and imported footwear, as well as a determination of the physical, technical and operational indicators of the quality of footwear that determine its safety. Factors ensuring safety of footwear for human life and health and, above all, integral indicator which includes mechanical, chemical and sanitary-hygienic hazards are considered. An evaluation scale is proposed for ranking an integral indicator of the level of safety of footwear for life and health of the population. When determining the ranking scale, the range from 0 to 0.30 is set as the low level of the integral safety indicator. Taking into account the interval step of 0.30, the boundaries of the second and third scale intervals are determined. When establishing the boundary of the fourth interval from 0.91 to 1, a division scale equal to the previous interval is adopted. A methodological approach to assessing the quality of footwear entering the market of the Donetsk People's Republic is proposed. The developed ranking scale makes it possible to assess the level of safety of footwear for the life and health of the population.

Keywords: consumer properties, footwear, quality, rank scale of footwear safety.

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

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

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

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

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

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

EDN: SUNGRJ
УДК 645.1:001.8**Н. П. НАГОРНАЯ, В. Н. КИБЗУН**

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

**КВАЛИМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ
ПОКРЫТИЯ ПОЛА И ЗАТРАТ НА ИХ УСТРОЙСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЮ**

Аннотация. В статье приведена методика квалиметрической оценки качественных и стоимостных характеристик различных видов современных материалов для покрытия пола. В ходе исследования выполнена оценка качества материалов для покрытия пола по семи важнейшим параметрам, получены комплексный и интегральный показатели качества материалов для покрытия пола. Натуральный линолеум и пробковое покрытие являются импортными материалами, что обуславливает их высокую стоимость по сравнению с материалами отечественного производства. Древесина обладает бесспорными потребительскими достоинствами, такими как безвредность для здоровья, прочность, хорошие изоляционные качества, красивый неповторимый рисунок текстуры, а также традиционная привязанность человека к древесине, что ставит древесные материалы для полов в более выгодное положение по сравнению с искусственными материалами. Для производства паркетных изделий и доски пола широко используется отечественное сырье. Снижение первоначальных затрат обеспечивается применением новых материалов и конструкций, авторами разработан подход к сравнительной оценке видов материалов для покрытия пола. В результате исследований выявлено, что натуральные покрытия обладают лучшими качественными и стоимостными показателями.

Ключевые слова: материалы для покрытия пола, оценка качества, свойства напольных покрытий.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Многообразие существующих вариантов создания материалов для покрытия пола с использованием различных видов материалов обусловило необходимость их оценки с позиции потребительского выбора.

Такая оценка возможна исходя из обоснованных критериев (показателей) или системы критериев (показателей), позволяющих охватить совокупность главных свойств продукции, характеризующих ее качество и конкурентоспособность.

ЦЕЛЬ

Целью данного исследования является разработка подхода к сравнительной оценке видов материалов для покрытия пола на основе интегрального показателя, учитывающего качественные и количественные характеристики продукции.

Объект исследования – материалы для покрытия пола и их характеристики, экономические затраты на создание и использование конструкции пола.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

На отечественном рынке строительных изделий существуют различные виды современных напольных покрытий, такие как натуральный паркет, который выпускается в виде небольших планок (штучный паркет), паркетных досок; пробковое покрытие; ламинированное паркетное покрытие (искусственный материал); напольная керамическая плитка; линолеум; ковролин и др.

Все представленные на рынке напольные покрытия можно разделить на две обширные группы: покрытия на основе натуральных материалов и искусственные.



К натуральным напольным покрытиям относятся: паркетные изделия и доска пола, пробковое покрытие, натуральный линолеум и керамическая плитка.

В настоящее время для изготовления материалов для покрытия пола из древесины используется до двадцати пород дерева – от классического дуба до оливкового или черного дерева.

Характеристика и эстетические свойства материалов для покрытия пола из натуральной древесины определяются качеством и сортом древесины, из которой изготавливается лицевая поверхность пола. Основным показателем качественной характеристики является твердость (плотность) древесины, которая зависит от породы, условий роста и влажности дерева.

Напольное покрытие из пробки (кора пробкового дуба) – природный эластичный, упругий материал с высокими изоляционными свойствами и плотностью около 150...200 кг/м³.

Натуральный линолеум – это покрытие, изготовленное из экологически чистых материалов: пробкового дерева, древесной муки, растительных смол и джута. Отличается наличием бактерицидных свойств, антистатичностью, пожаробезопасностью и сильным сопротивлением химическим реактивам.

Керамическая плитка различных типов производства и назначения представляет собой изделия, изготовленные из смеси глины разных сортов с добавлением других натуральных компонентов, предварительно спрессованных под давлением около 500 кг/см² и затем обожженных в печах при температуре от 1 040 до 1 300 °С в зависимости от типа плитки.

К искусственным материалам для покрытиям пола относятся: ламинированный паркет, линолеум и ковролин.

Ламинированный паркет – панели напольного покрытия, полученные в процессе облицовывания пластин древесной плиты (HDF) бумажносмоляной пленкой с неполной поликонденсацией смолы (ламинирования).

Линолеум – полимерный рулонный материал. В зависимости от основного сырья линолеум бывает поливинилхлоридный, глифталевый, алкидный, резиновый, коллоксилиновый, на основе синтетических волокон.

Ковролин – ковровое покрытие, рулонный материал. В зависимости от основы может быть нейлоновый, акриловый и полиэстеровый. По способу производства ковролин подразделяется на три основных вида: тканый, тафтинговый, иглопробивной [1].

Представленный перечень материалов для покрытия пола характеризуется совокупностью разнородных свойств, определяющих их качество, условия и способы потребления. Качество продукции – совокупность характеристик, обуславливающая пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. Оценивание качества продукции предполагает количественное (качественное) определение меры (степени) соответствия характеристик и качества предъявляемым требованиям. Задачей оценивания продукции (материалов для покрытия пола) является проверка, насколько они способны выполнять требования, установленные нормативными документами или потребителем.

В этой связи возникает необходимость обосновать и выбрать систему наиболее важных качественных характеристик напольных покрытий, таких как экологичность, износостойкость, влагостойкость, химическая и механическая устойчивость, теплоотдача и срок службы [2].

Для оценки данных свойств использовался экспертный метод определения показателей качества. Экспертный метод оценки уровня качества продукции используется в тех случаях, когда невозможно или очень затруднительно применить методы объективного определения значений единичных или комплексных показателей качества такими методами, как инструментальный, эмпирический или расчетный. Он находит широкое применение в научно-техническом прогнозировании и планировании условий развития народного хозяйства и отдельных его отраслей, в разработке крупных научно-технических, экономических и социальных программ [3].

Оценка системы обоснованных качественных характеристик материалов для покрытия пола проводилась по 10-балльной шкале, для каждого из рассматриваемых свойств, где более высокий балл соответствует более высокому уровню качества продукции.

Итоговые результаты экспертной оценки совокупности покупательских свойств различных видов материалов для покрытия пола приведены в таблице 1.

Представленные в таблице 1 данные характеризуют единичные показатели качества продукции, обособленное использование которых не позволяет отдать однозначное предпочтение одному или другому виду покрытий.

В этой связи возникает необходимость определить комплексный (обобщающий) показатель качества продукции [4].

Таблица 1 – Результаты оценки качества покрытий

Вид покрытия	Параметры экспертной оценки							ПК _к
	Экологичность	Износостокость	Влагостойкость	Химическая устойчивость	Устойчивость к повреждениям	Теплоотдача	Срок службы	
Паркетные изделия	10	8	5	6	6	8	9	52
Доска пола	10	6	4	4	6	8	7	52
Ламинат	8	8	5	7	6	7	7	48
Керамическая плитка	10	9	10	10	8	3	9	59
Ковровое покрытие	5	3	0	4	4	10	3	29
Линолеум (ПВХ)	2	1	4	2	1	5	1	18
Натуральный линолеум	10	8	7	5	6	8	9	53
Пробковое покрытие	10	8	7	7	9	9	9	59

Комплексный показатель качества характеризуется совокупностью взаимосвязанных свойств (сложное свойство) из всего множества свойств, образующих качество продукции, и выражается одним числом, что позволяет на практике сравнивать большое число показателей качества продукции с таким же количеством базовых показателей. Он отражает такую совокупность свойств продукции, по которой принято решение оценивать качество продукции.

Значение комплексного показателя качества (ПК_к) предлагается рассчитывать по формуле:

$$ПК_k = \sum_{i=1}^n B_i, \quad (1)$$

где n – количество оцениваемых качественных свойств;
 B_i – количественная оценка (балл) i -го свойства.

Значения комплексного показателя качества также представлены в таблице 1.

Кроме качественных показателей, приоритетное значение при выборе напольного покрытия имеют совокупные затраты на его устройство (покупку, транспортировку и монтаж) и эксплуатацию. Напольные покрытия следует оценивать с учетом полных затрат на всех стадиях: производства, укладки и эксплуатации полов. Замена одного материала другим влечет за собой изменение части или всей конструкции пола, поэтому при оценке различных видов покрытий следует сравнивать не материал с материалом, а конструкции пола.

Эффективность производства и применения различных материалов для покрытия может быть получена за счет большей долговечности полов, так как с экономической точки зрения это равнозначно сокращению в перспективе объемов их производства за счет уменьшения затрат на демонтаж пришедшего в негодность покрытия пола, его производство, транспорт и монтаж.

Влияние этого фактора определяется с помощью коэффициента долговечности материалов для покрытия пола (μ), который учитывает различия в сроке службы материалов и одновременность затрат (фактор времени). С помощью данного коэффициента материалы с различными сроками службы приводятся к одному и тому же значению долговечности.

Эталонной считается бесконечная долговечность. Практически для покрытий полов она составляет 50 лет и более, в этом случае коэффициент $\mu = 1$.

Все материалы для покрытия полов, срок службы которых менее 50 лет, приводятся к эталону, т. е. к первоначальным затратам добавляются затраты на будущую реновацию с учетом одновременности затрат [5].

В состав эксплуатационных затрат входят расходы на содержание и уход за напольными покрытиями. К эксплуатационным затратам также следует отнести периодические ремонты. Напольные покрытия из древесины требуют периодического ремонта для обновления защитно-декоративного покрытия. В настоящее время широко распространены паркетные изделия с заводским покрытием лаком, которое является более износостойчивым, твердым, однородным. В исследовании были рассмотрены штучный паркет и паркетная доска с заводской отделкой. Защитно-декоративное покрытие на доску пола наносится после укладки. Также следует учесть ремонты, которые требуют частичной замены самого покрытия. Осуществить такой ремонт можно только для ламината, деревянных полов, плитки и пробкового покрытия. Рулонные материалы частичному ремонту не подлежат. В стоимость ремонта входят затраты на материалы и работу специалиста.

Эксплуатационные расходы рассчитывают для эталонной долговечности материала и приводят их к исходному уровню, учитывая суммой за каждый год, т. е. дискретно во времени. Для упрощения расчетов эксплуатационные расходы принимаются неизменными по годам на уровне среднегодовых [6].

Зная стоимость покрытия, коэффициент долговечности, затраты на его укладку, содержание, уход и ремонт, можно рассчитать совокупные затраты на создание и эксплуатацию конструкции 1 м² пола.

$$Z_C = Z_n \cdot \mu + \sum_{t=T_n}^{T_k} Z_o \cdot K_t, \quad (2)$$

где Z_n – затраты на покупку, транспортировку и монтаж покрытия, у. е.;
 μ – коэффициент долговечности;
 Z_o – затраты на эксплуатацию покрытия, у. е.;
 T_n и T_k – соответственно начальный и конечный год эксплуатации покрытия;
 K_t – коэффициент дисконтирования;
 t – год, затраты и результаты которого приводятся к расчетному году.

Разновременные затраты всех лет периода эксплуатации покрытий приводятся к расчетному году путем умножения их величины за каждый год на коэффициент приведения (дисконтирования) K_t :

$$k_t = (1 + E_n)^{t_p - t}, \quad (3)$$

где E_n – норматив приведения затрат и результатов к единому моменту времени, или норма дисконта (учетная ставка процента или иная ставка);
 t_p – расчетный год.

Норма дисконта принимается равной фактической ставке процента по долгосрочным кредитам банков.

Получив совокупные затраты на создание и эксплуатацию конструкции пола, рассчитываем их величину на 1 год эксплуатации покрытия.

Для результирующей оценки качественных и стоимостных показателей напольного покрытия, вводим интегральный показатель качества продукции, который является отношением комплексного показателя качества и приведенных совокупных затрат. Очевидно, что данный показатель качества характеризует численное выражение качества покрытия (выраженное в баллах), приходящееся на 1 у. е. совокупных затрат.

Результаты исследования приведены в табл. 2.

Анализируя полученные данные, мы можем разделить напольные покрытия на три группы в зависимости от значения интегрального показателя качества.

1. Покрытия с высоким интегральным показателем качества (26,1–56,9). К ним относятся такие натуральные покрытия, как керамическая плитка (56,9), натуральный линолеум (34,0) и пробковое покрытие (26,1). Высокий показатель качества данных покрытий обусловлен их натуральностью, экологичностью, высокой износостойкостью и долговечностью.

2. Покрытия со средним интегральным показателем качества (8,2–24,8). К ним относятся напольные покрытия из древесины: доска пола (24,8), паркетная доска (13,4), штучный паркет (8,2). Невысокий показатель покрытий из натуральной древесины вызван значительными затратами на устройство и эксплуатацию.

3. Покрытия с низким интегральным показателем качества (3,5–7,3). Это искусственные напольные покрытия: линолеум (7,3), ламинат (7,1), ковровин (3,5–5,2). Эти покрытия недолговечны, с низкой влагостойкостью и устойчивостью к повреждениям [7].

Таблица 2 – Оценка уровня качества различных видов напольных покрытий

Вид покрытия пола	Стоимость конструкции пола (Z_p), у. е. на 1 м ²	Срок службы пола, год	Коэффициент долговечности материала (μ)	Совокупные затраты производства и потребления (Z_c), у. е. на 1 м ²	Совокупные затраты за 1 год эксплуатации (Z_{cl}), у. е.	Интегральный показатель качества покрытия (PK_n)
Натуральный линолеум	35	30	1,06	46,8	1,6	34,0
Линолеум (на основе ПВХ)	22,5	15	1,51	37,2	2,5	7,3
Ламинат	28,8	10	1,63	67,8	6,8	7,1
Ковролин:						
– нейлон	54,3	15	1,31	88,7	5,9	4,9
– акрил	36,8	10	1,63	60	6,0	5,2
– полиэстер	18	5	2,63	47,3	9,5	3,5
Деревянные покрытия:						
– шт. паркет	122,3	30	1,06	190,2	6,3	8,2
– паркетная доска	109,8	30	1,06	116,4	3,9	13,4
– доска пола	31	20	1,17	36,3	1,8	24,8
Пробковые полы	53,8	30	1,06	67,9	2,3	26,1
Керамическая плитка	35	50	1	51,8	1	56,9

ВЫВОДЫ

Интегральный показатель качества позволяет сравнить разнородные виды продукции и сделать обоснованный выбор по его значению.

Натуральный линолеум и пробковое покрытие являются импортными материалами, что обуславливает их высокую стоимость по сравнению с материалами отечественного производства. Керамическая плитка ограничена в применении для всех видов помещений.

Древесина обладает бесспорными потребительскими достоинствами, такими как безвредность для здоровья, прочность, хорошие изоляционные качества, красивый неповторимый рисунок текстуры, а также традиционная привязанность человека к древесине, что ставит деревянные материалы для полов в более выгодное положение по сравнению с искусственными материалами. Для производства паркетных изделий и доски пола широко используется отечественное сырье. Для продления срока службы и снижения стоимости ремонта деревянных покрытий необходимо улучшить их эксплуатационные характеристики. Снижение первоначальных затрат обеспечивается применением новых материалов и конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Игнатович, Л. В. Конструктивные и технологические особенности напольных покрытий : монография / Л. В. Игнатович, С. В. Шетько. – Минск : БГТУ, 2011. – 273 с. – Текст : непосредственный.
- Ильина, М. Г. Товароведение непродовольственных товаров : Практикум : учебное пособие / М. Г. Ильина. – Москва : Академия, 2018. – 256 с. – Текст : непосредственный.
- Симонов, Е. В. Стелю пол сами: ламинат, линолеум, плитка / Е. Симонов. – Санкт-Петербург : Питер, 2009. – 192 с. – Текст : непосредственный
- Виноградова, Т. Г. Конкурентоспособность: методы и оценка / Т. Г. Виноградова. – Текст : непосредственный // Известия СПбГАУ. – 2019. – № 43. – С. 84-86.
- Крылова, Е. Г. Маркетинговые исследования товаров и потребителей : учебное пособие. – Минск : БГЭУ, 2016. – 52 с. – Текст : непосредственный.
- Николаева, М. А. Теоретические основы товароведения и экспертизы товаров : учебник : в 2 частях. Часть 1. Теоретические основы товароведения / М. А. Николаева. – Москва : Норма : ИНФРА-М, 2022. – 448 с. – Текст : непосредственный.
- Субетто, А. И. Квалиметрия / А. И. Субетто. – Санкт-Петербург : Изд-во «Астерион», 2012. – 288 с. – Текст : непосредственный.

Получена 12.01.2023

Принята 27.01.2023

Н. П. НАГОРНА, В. М. КІБЗУН
КВАЛІМЕТРИЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОКРИТТЯ
ПІДЛОГИ ТА ВИТРАТ НА ЇХ УЛАШТУВАННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЮ
ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла
Туган-Барановського»

Анотація. У статті наведено методику кваліметричної оцінки якісних і вартісних характеристик різних видів сучасних матеріалів для покриття підлоги. В ході дослідження виконана оцінка якості матеріалів для покриття підлоги за сімома найважливішими параметрами, отримані комплексний та інтегральний показники якості матеріалів для покриття підлоги. Натуральний лінолеум і пробкове покриття є імпортованими матеріалами, що обумовлює їх високу вартість порівняно з матеріалами вітчизняного виробництва. Деревина має безперечні споживчі достоїнства, такі як нешкідливість для здоров'я, міцність, хороші ізоляційні якості, красивий неповторний малюнок текстури, а також традиційна прихильність людини до деревини, що ставить деревні матеріали для підлог у більш вигідне становище порівняно зі штучними матеріалами. Для виробництва паркетних виробів і дошки підлоги широко використовується вітчизняна сировина. Зниження первинних витрат забезпечується застосуванням нових матеріалів і конструкцій, авторами розроблений підхід до порівняльної оцінки видів матеріалів для покриття підлоги. У результаті досліджень виявлено, що натуральні покриття мають кращі якісні та вартісні показники.

Ключові слова: матеріали для покриття підлоги, оцінка якості, властивості підлогових покриттів.

NINA NAGORNAYA, VALENTINA KIBZUN
QUALIMETRIC ASSESSMENT OF THE QUALITY OF MATERIALS FOR FLOOR
COVERING AND THE COST OF THEIR INSTALLATION AND USAGE
State Organization of Higher Professional Education «Donetsk National University of
Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky»

Abstract. The article provides the procedure for qualimetric assessment of qualitative and cost characteristics of various types of modern materials for floor covering. During the study, the quality of floor covering materials was assessed according to seven most important parameters, comprehensive and integral quality indicators of floor covering materials were obtained. Natural linoleum and cork coating are imported materials, which causes their high cost compared to materials of domestic production. Wood has indisputable consumer advantages, such as harmlessness for health, strength, good insulation qualities, beautiful unique texture pattern, as well as traditional human attachment to wood, which puts wood materials for floors in a more advantageous position compared to artificial materials. Domestic raw materials are widely used for the production of parquet products and floorboards. The reduction in initial costs is ensured by the use of new materials and structures, the authors have developed an approach to comparative assessment of the types of materials for floor covering. As a result of research, it was revealed that natural coatings have the best quality and cost indicators.

Keywords: materials for floor covering, quality assessment, properties of floor coverings.

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

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

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

Кібзун Валентина Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: дослідження споживацьких властивостей одягово-взуттєвих і пушно-хутрових товарів.

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

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

EDN: TAQLMC

УДК 678.686

Ю. С. КОЧЕРГИН^а, Л. Д. КАРАТ^б, В. В. ЗОЛОТАРЁВА^а^а ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», ^б ГП «УкрросНИИпластмасс»

РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТИИРАНА ИЗМЕНЕНИЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ОТВЕРДИТЕЛЕЙ

Аннотация. Исследована возможность регулирования скорости отверждения, величины адгезионных, деформационно-прочностных и динамических механических свойств композиционных материалов на основе тиоглицидилового эфира дифенилолпропана с помощью аминных отвердителей различной химической природы. В качестве последних использованы диэтилентриамин марки ДЭТА, диэтилентриаминометилфенол марки УП-583Д и аминополиамид марки ПО-300. Установлено, что по скорости набора адгезионной и когезионной прочности на начальном этапе (в течение первого часа) отверждения композиции, содержащие УП-583Д и ДЭТА, существенно превосходят композиции, отверждаемые ПО-300. Введение в состав композиции 2,4,6-тр ис (диметиламинометил)фенола (ускорителя марки УП-606/2) оказывает незначительное влияние как на скорость набора прочности, так и на само значение параметра адгезионной прочности. Показано, что деформация при разрыве независимо от типа отвердителя монотонно снижается с увеличением времени отверждения, причем особенно быстро в первые 1–2 часа отверждения. Изменение концентрации отвердителя и введение в композицию ускорителя УП-606/2 заметно влияют на величину деформации при разрыве только в первые 24 ч отверждения. Методом динамической механической спектроскопии установлено, что по мере увеличения времени отверждения максимальная величина тангенса угла механических потерь уменьшается, что может быть связано с образованием более плотной химической сшивки.

Ключевые слова: тиоглицидиловый эфир дифенилолпропана, тиран, аминный отвердитель, адгезионные, деформационно-прочностные и динамические механические свойства.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Ремонтные службы предприятий часто сталкиваются с проблемой механического, коррозионного, абразивного износа технологического оборудования, устранение возникших дефектов которого традиционными способами невозможно, а замена требует значительных финансовых вложений.

Альтернативная технология ремонта и восстановления оборудования композиционными материалами отличается значительной экономией энергоресурсов, свойственных технологиям сварки, пайки, наплавки, напыления и др., позволяет значительно снизить трудоемкость ремонта.

Перечень механизмов и деталей, подлежащих ремонту и восстановлению включает в себя, в частности:

- трещины, выбоины, сколы и отломы в корпусах и конструкциях двигателей, редукторов, компрессоров, насосов, теплообменников, коробок передач, раздаточных механизмов;
- выработку и потерю металла в изношенных деталях, узлах, механизмах: валы (шейки, седла подшипников), шпоночные пазы (канавки), посадочные места подшипников качения, резьбовые соединения и др.;
- выработку материала в зоне контакта трущихся поверхностей (направляющие скольжения, посадочные места подшипников скольжения, внутренние поверхности гидроцилиндров, поверхности штоков и пр.);
- дефекты металла, возникшие в результате коррозионных, эрозионных, абразивных и кавитационных разрушений, изношенные поверхности роторов и корпусов насосов, а также любые детали, узлы, агрегаты, подверженные воздействию агрессивных сред.

© Ю. С. Кочергин, Л. Д. Карат, В. В. Золотарёва, 2023



Предлагаемые в настоящее время эпоксидные композиционные материалы холодного отверждения открывают новые возможности при производстве ремонтно-восстановительных работ [1, 2]. Появляется возможность не только вернуть в строй большое количество оборудования, но также обеспечить увеличение ресурса его работы. Очень часто восстановленное оборудование приобретает новые качества, такие как коррозионная и химическая стойкость, увеличение абразивостойкости. Ремонтно-восстановительные работы выполняются на воздухе без нагревания и давления вне защитной среды, что позволяет проводить ремонты на месте поломки, без полного демонтажа оборудования, в непригодных помещениях, с высокой скоростью и необходимым качеством. Ремонтные эпоксидные композиционные материалы не содержат растворителей и не имеют усадки после отверждения.

Для осуществления восстановления размеров деталей наиболее перспективными являются способы, при которых деталь или не подвергается температурным воздействиям, или подвергается незначительному нагреву, не изменяющему ее структуру и механические свойства. Применение ремонтных эпоксидных композиционных материалов позволяет отказаться от термического и механического воздействия на ремонтируемую поверхность в процессе восстановления изношенных деталей оборудования.

Преимущества применения ремонтных эпоксидных композиционных материалов по сравнению с металлами:

- простота их применения;
- универсальность при восстановлении деталей из цветных и черных металлов, бетона, дерева, пластмасс, керамики, стекла и др.;
- высокая химическая стойкость к различным агрессивным средам, в том числе кислотам, щелочам, нефтепродуктам, морской воде и др.;
- возможность получения разнообразных физико-химических свойств полимерных композиционных материалов, часто превосходящих по своим эксплуатационным характеристикам металлы;
- малая удельная масса;
- шумо- и вибропоглощение при использовании в конструкциях машин и механизмов;
- антифрикционные и электроизоляционные свойства.

Предлагаемые на рынке композитные материалы производятся главным образом западными компаниями и характеризуются высокой стоимостью, а в настоящее время еще и трудностями их доставки. В связи с этим актуальной задачей является создание аналогичных композиционных материалов холодного отверждения для ремонта и восстановления оборудования на базе отечественного сырья.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Ранее [3–5] нами проведены исследования адгезионных и когезионных свойств полимеров на основе оксирана и его тиоглицидилового аналога (тиирана). Установлено, что полимеры на основе тиирана, несколько уступают по величине предельных деформационно-прочностных и адгезионных свойств своему оксирановому прототипу, однако они обеспечивают намного большую скорость набора прочности как в нативном образце, так и в клеевом соединении, что позволяет получать на их основе быстроотверждающиеся композиционные материалы для проведения ремонтных работ, в том числе и в полевых условиях.

В продолжение исследований **целью** данной работы является изучение адгезионных, деформационно-прочностных и свойств композиций на основе тиирана в зависимости от химической природы аминных отвердителей.

МЕТОДОЛОГИЯ

В качестве тиирана был использован тиоглицидиловый эфир, полученный на основе оксирана – эпоксидной смолы Epikote-828 по методике, описанной в [3]. В качестве отвердителей были выбраны диэтилентриамин (ДЭТА), диэтилентриаминометилфенол марки УП-583Д и аминополиамид марки ПО-300. Ускорителем служил 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол марки УП-606/2.

Предельные механические свойства при одноосном растяжении (разрушающее напряжение σ_p и деформация при разрыве ε_p) определяли на приборе типа Поляни с жестким динамометром [6] при скорости деформирования $3,83 \cdot 10^{-5}$ м/с. Модуль упругости (E) рассчитывали по наклону начального участка кривой σ – ε . Объекты исследования представляли пленки толщиной 100...150 мкм.

Адгезионную прочность при сдвиге (τ_v) определяли на стальных образцах (Ст. 3) в соответствии с ГОСТ 14759-69.

Время желатинизации ($\tau_{жел.}$) определяли по стандартной методике (ГОСТ 28593), сущность которой заключается в визуальном определении момента потери текучести отверждающейся композиции.

Динамические механические характеристики (динамический модуль упругости E' , модуль потерь E'' , тангенс угла механических потерь $\tan \delta$) измеряли на установке ДМА 983 термоаналитического комплекса DuPont 9900.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Рассмотрим прежде всего зависимость $\tau_{жел.}$ от химической природы вводимого отвердителя. Видно (рис. 1), что минимальное значение $\tau_{жел.}$ наблюдается при использовании в качестве отвердителя ДЭТА, максимальное – для УП-583Д, т. е. возрастает в ряду ДЭТА- ПО-300- УП-583Д. При этом увеличение содержания отвердителя или добавка ускорителя закономерно снижают время желатинизации. В то же время по скорости набора адгезионной и когезионной прочности в первый час отверждения композиции, содержащие УП-583Д и ДЭТА, существенно превосходят композиции, отверждаемые ПО-300. Как видно из рис. 2, уже за первые 0,5 ч отверждения ($\lg t = 1,48$ мин) для композиций, содержащих УП-583Д и ДЭТА, достигается более 70 % от адгезионной прочности τ_v , получаемой через 7 суток отверждения. Присутствие в композиции ускорителя УП-606/2 мало сказывается как на скорости набора прочности, так и на самой величине τ_v . В то же время для композиций, содержащих ПО-300, ощутимые значения τ_v (около 50 % от семисуточной прочности) достигаются только через 8–10 ч отверждения.

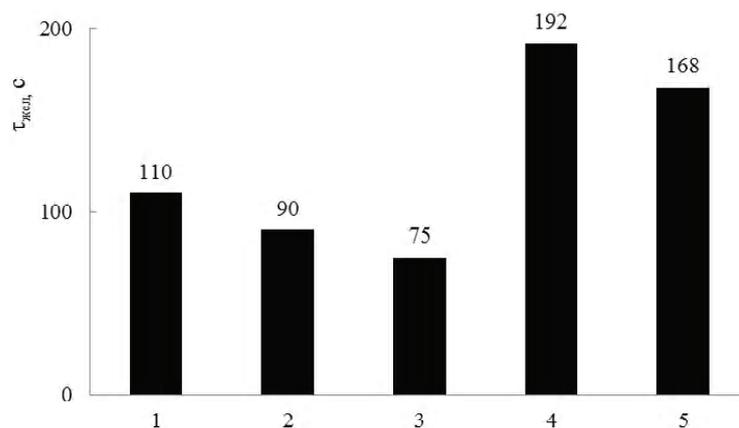


Рисунок 1 – Зависимость времени желатинизации от химической природы отвердителей для композиций на основе тирана, отверждаемых ДЭТА (1, 2), ДЭТА+УП-606/2 (3), УП-583Д (4) и ПО-300 (5). Содержание отвердителей составляет 20 (1, 3), 25 (2), 30 (4) и 50 (5) масс. ч. на 100 масс. ч. тирана. Концентрация ускорителя УП-606/2 равна 5 масс. ч. Температура испытания равна 20 °С.

Что касается когезионной прочности (рис. 3), то она также быстро возрастает для композиций, содержащих УП-583Д и ДЭТА (хотя и с меньшей скоростью, чем адгезионная прочность τ_v) при малых временах экспозиции (до ~3 ч), а затем рост σ_p резко замедляется, и при временах отверждения, больших 24 ч, когезионная прочность для этих отвердителей практически не изменяется. Вместе с тем для ПО-300 когезионная прочность монотонно возрастает во всем изученном диапазоне времен отверждения.

Деформация при разрыве (рис. 4) для пленок на основе тирана с разными отвердителями монотонно снижается с увеличением времени отверждения, причем особенно быстро ϵ_p убывает в первые 1–2 часа отверждения. В дальнейшем скорость уменьшения ϵ_p ощутимо снижается и при временах отверждения, больших 5ч, остается почти неизменной для отвердителей УП-583Д и ДЭТА, а для отвердителя ПО-300 снижение деформационной способности композитов продолжается во всем исследованном временном интервале. Из рис. 4 также следует, что изменение концентрации отвердителя и введение в композицию ускорителя УП-606/2 заметно влияют на величину ϵ_p только в первые 24 ч отверждения.

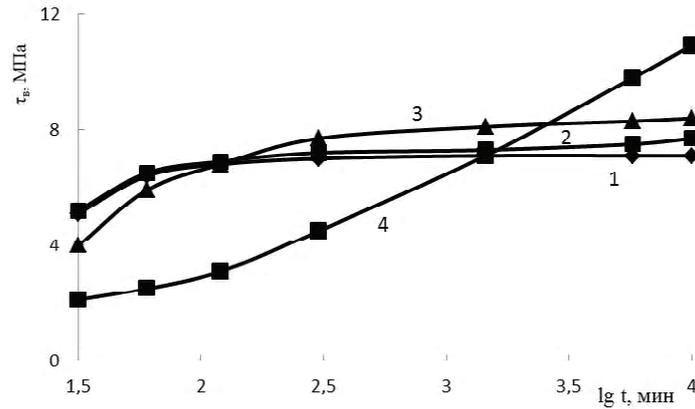


Рисунок 2 – Зависимость адгезионной прочности при сдвиге (τ_b) от времени отверждения для композиций на основе тирана, отвержденных ДЭТА (1), ДЭТА+УП-606/2 (2), УП-583Д (3) и ПО-300 (4). Содержание отвердителей составляет 20 (2), 25 (1), 30 (3) и 50 (4) масс. ч. на 100 масс. ч. тирана. Концентрация ускорителя УП-606/2 равна 5 масс. ч.

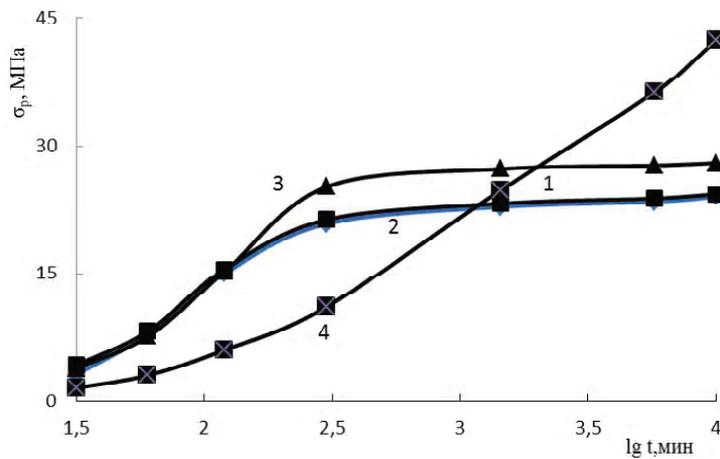


Рисунок 3 – Зависимость когезионной прочности при растяжении (σ_p) от времени отверждения для композиций, отвержденных ДЭТА (1), ДЭТА+УП-606/2 (2), УП-583Д (3) и ПО-300 (4). Содержание отвердителей составляет 25 (1), 20 (2), 30 (3) и 50 (4) масс. ч. на 100 масс. ч. тирана. Концентрация ускорителя УП-606/2 равна 5 масс. ч.

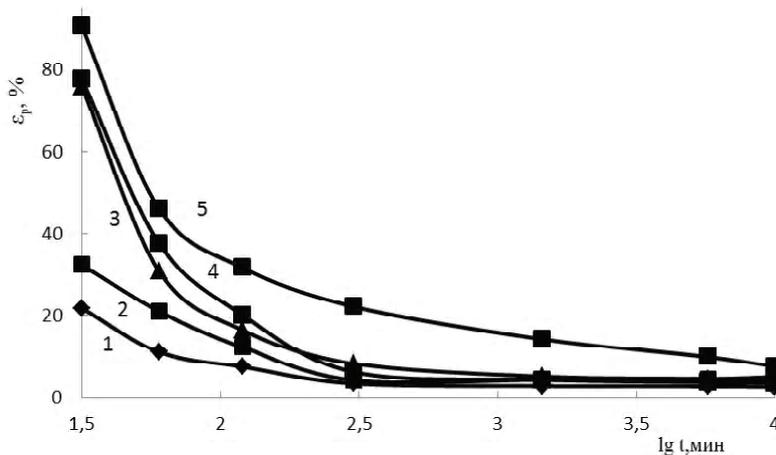


Рисунок 4 – Зависимость деформации при разрыве (ϵ_p) от времени отверждения для композиций, отвержденных ДЭТА (1,2), ДЭТА+УП-606/2(3), УП-583Д (4) и ПО-300 (5). Содержание ДЭТА составляет 20(1,3) и 25(3) масс. ч. на 100 масс. ч. тирана. Концентрация ускорителя УП-606/2 равна 5 масс. ч.

На рис. 5 приведены температурные зависимости тангенса угла механических потерь и динамического модуля упругости для образцов с разным временем отверждения. Видно, что по мере увеличения времени отверждения максимальная величина $\text{tg } \delta_m$ уменьшается, что связано с образованием более плотной химической шивки. Динамический модуль упругости с увеличением времени отверждения возрастает во всем исследованном температурном интервале, особенно отчетливо это проявляется в стеклообразном состоянии образцов.

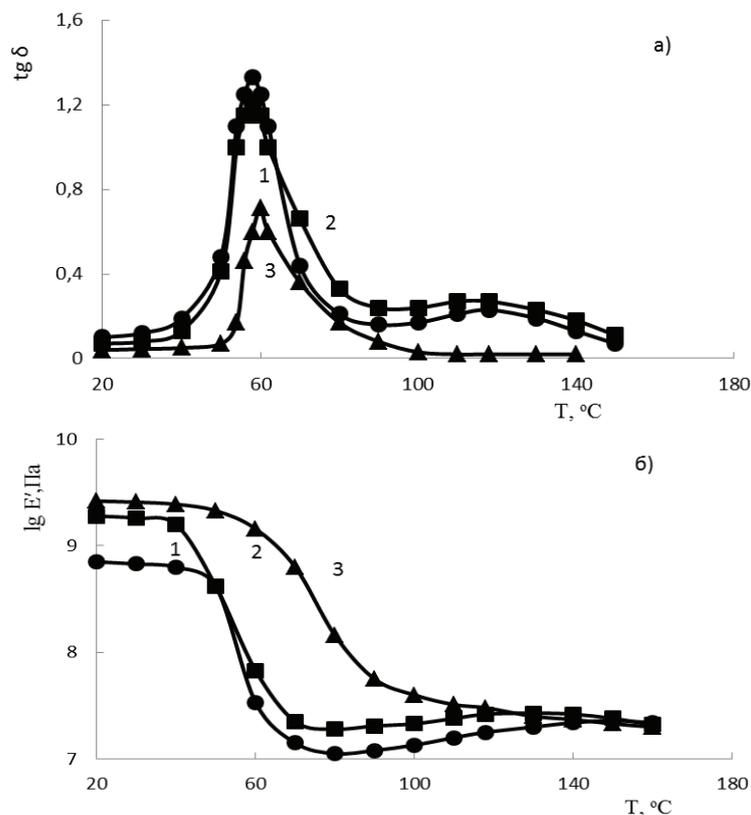


Рисунок 5 – Температурные зависимости тангенса угла механических потерь $\text{tg } \delta$ (а) и логарифма динамического модуля упругости E' (б) для композиций, отвержденных УП-583Д в течение 2(1), 24(2) и 168 (3) ч. Содержание УП-583Д составляет 30 масс. ч. на 100 масс. ч. тирана.

При анализе зависимостей $\text{tg } \delta - T$ обращает на себя внимание (рис. 5а) следующий экспериментальный факт. Для образцов, отвержденных в течение относительно небольших времен (2 и 24 ч), после прохождения основного максимума $\text{tg } \delta$ вначале достаточно быстро снижается. Затем при температуре выше 90 °С падение $\text{tg } \delta$ прекращается, и в диапазоне 100...150 °С наблюдается меньший по интенсивности второй более широкий максимум, после которого $\text{tg } \delta$ снова уменьшается. Такой характер поведения может быть объяснен тем, что после расстеклования полимера ускоряется молекулярная подвижность, которая способствует процессу доотверждения. На взаимодействие непрореагировавших при отверждении тиоглицидиловых групп тирана и аминных групп отвердителя расходуется часть подводимой тепловой энергии, что находит свое отражение в образовании вторичного максимума. Другим подтверждением реакции доотверждения является увеличение в температурном интервале 90...125 °С динамического модуля упругости (рис. 5б).

ВЫВОДЫ

Таким образом, изменением химической природы отвердителей можно достаточно эффективно регулировать скорость отверждения тиранов и комплекс адгезионных, деформационно-прочностных и динамических механических свойств композитных материалов, формируемых на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баурова, Н. И. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин : учебное пособие / Н. И. Баурова, В. А. Зорин. – Москва : МАДИ, 2016. – 264 с. – Текст : непосредственный.
2. Холодников, Ю. В. Комплекс ремонтных технологий полимерными композитами для технологического оборудования и строительных конструкций / Ю. В. Холодников. – Текст : непосредственный // Композитный мир. – 2022. – № 2 (99). – С. 46–56.
3. Кочергин, Ю. С. Свойства клеевых композиций на основе тирана / Ю. С. Кочергин, Л. Д. Карат, Т. И. Григоренко. – Текст : непосредственный // Клеи. Герметики. Технологии. – 2011. – № 12. – С. 2–7.
4. Kochergin, Yu. S. Properties of adhesive compositions based on thiirane / Yu. S. Kochergin, L. D. Karat, T. I. Grigorenko. – Текст : непосредственный // Polymer Sci., Ser. D. – 2012. – Volume 5. – No. 3. – P. 150–154.
5. Кочергин, Ю. С. Свойства клеевых композиций на основе смесей тиранов и оксиранов / Ю. С. Кочергин, Л. Д. Карат, Т. И. Григоренко. – Текст : непосредственный // Клеи. Герметики. Технологии. – 2013. – № 2. – С. 8–12.
6. Малкин, А. Я. Методы измерения механических свойств полимеров / А. Я. Малкин, А. А. Аскадский, В. В. Коврига. – Москва : Химия, 1978. – 336 с. – Текст : непосредственный.

Получена 13.01.2023

Принята 27.01.2023

Ю. С. КОЧЕРГИН ^a, Л. Д. КАРАТ ^b, В. В. ЗОЛОТАРЬОВА ^a РЕГУЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ТІРАНА ШЛЯХОМ ЗМІНИ ХІМІЧНОЇ ПРИРОДИ ЗАТВЕРДЖУВАЧІВ

^a ДО ВПО «Донецький національний університет економіки та торгівлі імені Михайла Туган-Барановського», ^b ДП «УкрдержНДІпластмас»

Анотація. Досліджено можливість регулювання швидкості затвердіння, величини адгезійних, деформаційно-міцнісних та динамічних механічних властивостей композиційних матеріалів на основі тіогліцидилового ефіру дифенілолпропану за допомогою аміних затверджувачів різної хімічної природи. Як останні використані діетилентріамін марки ДЕТА, діетилентріамінометилфенол марки УП-583Д і амінополіамід марки ПО-300. Встановлено, що за швидкістю набору адгезійної та когезійної міцності на початковому етапі (протягом першої години) затвердіння композиції, що містять УП-583Д і ДЕТА, істотно перевершують композиції, що затверджуються ПО-300. Введення до складу композиції 2,4,6-трис(диметиламінометил)фенолу (прискорювача марки УП-606/2) несуттєво впливає як на швидкість набору міцності, так і на значення параметра адгезійної міцності. Показано, що деформація при розриві незалежно від типу затверджувача монотонно знижується зі збільшенням часу затвердіння, причому особливо швидко в перші 1–2 години затвердіння. Зміна концентрації затверджувача та введення в композицію прискорювача УП-606/2 помітно впливають на величину деформації при розриві лише в перші 24 години затвердіння. Методом динамічної механічної спектроскопії встановлено, що зі збільшенням часу затвердіння максимальна величина тангенса кута механічних втрат зменшується, що може бути пов'язано з утворенням більш щільної хімічної звивки.

Ключові слова: тіогліцидиловий ефір дифенілолпропану, тіран, аміний затверджувач, адгезійні, деформаційно-міцнісні та динамічні механічні властивості.

YURIY KOCHERGIN ^a, LEONID KARAT ^b, VIKTORIYA ZOLOTAREVA ^a CONTROL OF PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON THIIRANE BY CHANGING THE CHEMICAL NATURE OF HARDENERS

^a State Organization of Higher Professional Education «Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky»,

^b SE «UkrghosNIIplastmass»

Abstract. The possibility of regulating the cure rate, the size of adhesive, deformation-strength and dynamic mechanical properties of adhesive composite materials based on thioglycidyl ether diphenylolpropane using amine hardeners of various chemical nature is investigated. As the latter, diethylenetriamine of the DETA brand, diethylenetriaminomethylphenol of the UP-583D brand and aminopolyamide of the PO-300 brand were used. It was found that the rate of adhesion and cohesive strength at the initial stage (during the first hour) of curing compositions containing UP-583D and DETA significantly exceed compositions cured by-300. The introduction of 2,4,6-tris(dimethylaminomethyl)phenol (accelerator of the UP-606/2 brand) into the composition has an insignificant effect on both the rate of strength gain and the value of the

adhesive strength parameter itself. It is shown that the deformation at break, regardless of the type of hardener, monotonically decreases with increasing curing time, and especially rapidly in the first 1–2 hours of curing. The change in the concentration of the hardener and the introduction of the UP-606/2 accelerator into the composition significantly affect the amount of deformation at break only in the first 24 hours of curing. By the method of dynamic mechanical spectroscopy, it was found that as the curing time increases, the maximum value of the tangent of the angle of mechanical losses decreases, which may be due to the formation of a denser chemical crosslinking.

Keywords: thioglycidyl ether of diphenylolpropane, thiirane, amine hardener, adhesive, deformation-strength and dynamic mechanical properties.

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

Карат Леонид Дмитриевич – кандидат химических наук; ведущий научный сотрудник ГП «УкрдосНДІІпластмас». Научные интересы: химия и технология олигомерных и высокомолекулярных соединений.

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

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

Карат Леонід Дмитрович – кандидат хімічних наук, провідний науковий співробітник ДП «УкрдержНДІІпластмас». Наукові інтереси: хімія та технологія олігомерних та високомолекулярних сполук.

Золотарьова Вікторія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства ДО ВПО «Донецький національний університет економіки та торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: товарознавство полімерних та композиційних матеріалів.

Kochergin Yuriy – D. Sc. (Eng.), Associate Professor, Commodity Science Department, State Organization of Higher Professional Education «Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky». Scientific interests: chemistry, technology, physico-mechanics of polymer and composite materials.

Karat Leonid – Ph. D. (Chemical), Leading Researcher SE «UkrdosNIIplastmass». Scientific interests: chemistry, technology, physico-mechanics of polymer and composite materials.

Zolotarova Viktoriya – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Commodity Science Department, State Organization of Higher Professional Education «Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky». Scientific interests: merchandising of polymeric and composite materials.

EDN: SNCHSS

УДК 625.068.2 : 625.731.03

И. В. ШИЛИН^а, А. В. ХИМЧЕНКО^б^а Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», Горловка;^б ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра 1», Воронеж

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТА ВОДНОЙ СМЕСЬЮ КОНЦЕНТРАТА PERMA-ZYME ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Аннотация. Определен оптимальный состав грунтовой смеси водным раствором фермента Perma-Zyme с обеспечением нормативных требований для выполнения ремонтно-восстановительных работ на автомобильных дорогах в региональных условиях Донецкой Народной Республики. Установлено, что в течение 72 часов происходит стабилизация модифицированного грунта в плотный композиционный материал, который эффективно противостоит износу и водопроницаемости. Рассмотрены основные сведения о стабилизации (укреплению) грунтов в дорожном строительстве. Приведены основные преимущества технологии стабилизации грунта водным раствором фермента Perma-Zyme. Приведены основные требования к решению поставленной задачи. Приведены результаты лабораторных исследований образцов грунта и выполнен анализ. Приведен расчет состава и выбрана технология обработки грунта водным раствором фермента Perma-Zyme. Приведены лабораторные исследования сформованных образцов грунта, обработанных водным раствором фермента Perma-Zyme. Выполнен анализ результатов и сформулированы выводы по проведенному исследованию.

Ключевые слова: грунт, фермент Perma-Zyme, дорожное покрытие, стабилизатор, автомобильные дороги с низкой интенсивностью движения.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Разработкой и совершенствованием технологии глубинной стабилизации (укрепления) грунта в дорожном строительстве занимаются достаточно давно. На сегодняшний момент на рынке СНГ представлено большое разнообразие материалов для стабилизации грунтов в различных условиях эксплуатации. Данные технологии нашли широкое применение при строительстве (реконструкции) дорог общего пользования с низкой интенсивностью движения. Некоторые такие технологии нашли свое применение и в области строительства промышленных (технологических) дорог. Различие в климатических условиях расположения дорог и особенности грунтово-геологического строения толщ пород обуславливает различия в технологии строительства, а значит актуальность проблемы не теряет своей значимости.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Основной целью является определение оптимального состава грунтовой смеси со стабилизатором с обеспечением нормативных требований для выполнения ремонтно-восстановительных работ на автомобильных дорогах в региональных условиях.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В соответствии с нормативной классификацией грунты, которые обрабатываются стабилизаторами или пластифицирующими добавками, подразделяют на следующие типы [3]:

- стабилизированные;
- комплексно стабилизированные;
- комплексно укрепленные.

© И. В. Шилин, А. В. Химченко, 2023



К стабилизированным грунтам относят грунты, которые получают по технологии перемешивания при оптимальной влажности с малыми дозами стабилизаторов – активных добавок не относящиеся к вяжущим материалам. К комплексно стабилизированным относят грунты, обработанные стабилизаторами с использованием до 2 % вяжущих (органических или минеральных) материалов. К комплексно укрепленным грунтам относят комплексно стабилизированные грунты с содержанием вяжущих более 2 % [1, 3].

В качестве основных критериев для исследования были приняты:

- использование местных (региональных) грунтов;
- минимальная трудоемкость процесса строительства;
- отсутствие потребности в специализированных дорожно-строительных машинах;
- минимальная стоимость строительства дорог.

С учетом применения акцент фокусировался на строительство покрытий на автомобильных дорогах общего пользования с низкой интенсивностью движения или на строительство конструктивных слоев дорожной одежды на дорогах высоких технических категорий.

При содействии ООО «НСТ-Юг» г. Краснодар нами был получен концентрат фермента Перма-Зуме производства США [3]. Данный фермент производителем позиционируется как стабилизатор грунта, который имеет ряд значительных преимуществ:

- относительная простота разработки технологии – проектирование состава грунтовой смеси с водным раствором фермента Перма-Зуме заключается в расчете оптимального соотношения компонентов, в результате которого показатели основных характеристик смеси грунта с водным раствором Перма-Зуме будут отвечать техническим нормам и требованиям;

- относительно высокая скорость структурообразования слоя – когда фермент смешивают с водой и вносят в грунт до уплотнения, он воздействует на мелкодисперсные неорганические примеси, содержащиеся в грунте, в итоге происходит каталитический связующий процесс, вызывая сильное цементирующее действие в процессе последующего уплотнения. В отличие от материалов на неорганической или нефтяной основе, которые временно связывают компоненты грунта вместе, фермент Перма-Зуме заставляет грунт «спекаться» в процессе сжатия (уплотнения) в плотную долговременную основу устойчивую к проникновению воды и износу. При нормальных летних условиях этот процесс продолжается 72 часа;

- широкий спектр области применения – помимо того, что фермент создает новые и лучшие условия для строительства дорог и поддержания их в рабочем состоянии, он успешно используется в сооружении основы дна озер, водоёмов, креплений шахтных стволов, а именно везде, где требуется увеличение «несущей» способности грунта и уменьшение пластичности и проницаемости;

- экономия в материальных ресурсах – за счет снижения поверхностного натяжения воды способствует быстрому и равномерному проникновению и впитыванию влаги грунтом. Благодаря этому свойству насыщенные влагой частицы глины вдавливаются в пустоты грунта и полностью заполняют их, при этом формируют плотную и прочную основу. Благодаря повышенной смазывающей способности частиц грунта необходимая плотность грунта достигается меньшим усилием сжатия. При этом уменьшается на 25 % количество воды, требуемое для достижения оптимального уровня влажности грунта, поскольку он способствует быстрому насыщению и препятствует поверхностному испарению;

- увеличение несущей способности материала – цементирующее действие фермента Перма-Зуме повышает «несущие» характеристики грунта, способствуя более тесному связыванию частиц грунта. Из-за этого свойства снижается тенденция грунта к расширению после сжатия и в результате возникает плотный, стабильный земляной слой. При достижении большей связующей плотности компоненты грунта сопротивляются проникновению воды;

- полная механизация процесса – высокий уровень механизации для проведения всех операций, гарантия упрочнения грунта до заданных параметров согласно проектам, небольшая трудоемкость, сокращение ручного труда, минимальная стоимость работ и простота использования;

- отсутствие специальных требований к хранению и подготовке к использованию – Фермент Перма-Зуме поставляется в виде жидкого концентрата. Это делает ненужным его хранения в больших объемах, предварительное смешивание и обработку больших объемов материалов. Он не приводит к коррозии оборудования, также он не токсичен и не требует специальных процедур по хранению, как это требуется для токсичных или коррозионных агентов.

Особенно следует отметить уже довольно длительный период использования данного фермента в мировой практике дорожного строительства. Разработчик обращает внимание на то, что технология стабилизации грунтов с использованием фермента Перма-Зуме рекомендуется к применению

для грунтов, укладываемых в рабочем слое земляного полотна, так как наиболее интенсивно процессы водно-теплового режима (ВТР) и влагопереноса затрагивают верхнюю часть земляного полотна дорожной конструкции. При этом стабилизация грунтов рабочего слоя не только благоприятно влияет на ВТР, но и дает возможность использовать местные глинистые грунты, которые были не пригодны для этих целей. Это становится возможным за счет улучшения их воднофизических характеристик по водопроницаемости, пучинистости, набухаемости и размокаемости до требуемых величин. Основная функция этой технологии – гидрофобизация грунтов (несмачиваемость грунта, а именно метод улучшения физико-механических свойств грунта введением веществ, делающих грунт устойчивым к воздействию воды) в рабочем слое или нижних слоях оснований дорожных одежд [1]. Есть данные по применению данного фермента в России, Белорусии и Украине. Но данное применение фермента позиционировалось как экспериментальное. Особо следует отметить, что, кроме положительных отзывов об эксплуатации построенных участков, никаких технических параметров, а тем более результатов лабораторных испытаний в свободном доступе нами не обнаружено.

Таким образом был составлен план исследования, который включал следующие этапы:

- выбор грунта;
- определение физико-механических свойств грунта в соответствии с требованиями производителя;
- определение соответствия полученных материалов требованиям действующих в Российской Федерации нормативных документов.

В качестве грунта были приняты местный грунт из карьера в г. Горловка и грунт с карьера в районе шахты Булавинка г. Енакиево. Для этих образцов были выполнены лабораторные исследования [2]. Полученные физико-механические свойства грунтов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунтов

Материал	Содержание глинистых частиц, %	Средняя влажность грунта при стандартном уплотнении грунта, %	Максимальная плотность, г/см ³	Число пластичности	Вид грунта
Грунт 1 (г. Горловка)	16,8	18,68	1,71	19,01	суглинок легкий
Грунт 2 (г. Енакиево)	49,3	21,14	1,79	28,4	глина тяжелая

В связи с тем, что значения числа пластичности обоих грунтов были завышены, было принято решение привести его в соответствие с требованиями разработчика путем добавления в него отходов дробления гранитного каменного материала. Критерием добавления гранитного отсева является необходимость доведения числа пластичности менее 18 (по требованию разработчика). Физико-механические свойства полученных грунтовых смесей приведены в таблице 2 [2].

Таблица 2 – Физико-механические свойства смеси грунтов

Материал	Содержание глинистых частиц, %	Средняя влажность грунта при стандартном уплотнении грунта, %	Максимальная плотность, г/см ³	Число пластичности
Грунт 1 с отсевом (г. Горловка)	15,12	16,11	1,64	17,41
Грунт 2 с отсевом (г. Енакиево)	33,22	17,93	1,73	17,96

Из этих четырех видов грунта (грунтовой смеси) были изготовлены образцы для испытаний. При изготовлении образцов использовалась вода дистиллированная, в которой предварительно разбавлялся фермент в дозировке 1:500 (нижняя граница количества фермента в воде по рекомендации разработчика).

Испытания образцов проводилось при достижении 72-часового возраста. В результате проведенных испытаний установлено:

- снижение потребности в воде – на 7,6 % для глинистой смеси и 8,3 % для суглинистой смеси (разработчик заявил не менее 25 %), значения для чистой глины и суглинка были ниже [6];
- увеличение коэффициента уплотнения – для глины с 0,95 до 0,98, для суглинка – с 0,96 до 0,98, для глинистой смеси – с 0,97 до 1,02, для суглинистой смеси – с 0,97 до 1,01;
- увеличение предела прочности на сжатие – для глины на 15 %, для суглинка на 13 %, для глинистой смеси на 22 % для суглинистой смеси на 19 % [5].

Требования к стабилизированным грунтам по водонасыщению и водостойкости разработчик не обозначил [5].

Таким образом, полученные результаты практически подтверждают рекомендации и результаты разработчика.

Анализ действующих нормативов [3, 4] в Российской Федерации показывает необходимость соответствия значений параметров набухания образцов, степени гидрофобности, водонасыщения и прочности в водонасыщенном состоянии. Ни один из испытываемых образцов не удалось проверить. Все образцы при затворении (и даже при соприкосновении со свободной водой при определении капиллярного водонасыщения) потеряли форму за сравнительно короткий промежуток времени (от 25 до 47 минут). На поверхности свободной воды наблюдалась характерная для органических жидкостей пленка. Увеличение количества раствора фермента (по верхней границе допустимого количества по рекомендации разработчика – 1:1000) незначительно изменила ситуацию.

ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов исследования четырех составов грунта, стабилизированных водным раствором фермента Perma-Zyme, показывает соответствие заявленным разработчиком характеристикам. Фермент показывает хорошие показатели в области пластификаторов или соответствующих им поверхностно-активных веществ. Но результаты лабораторных исследований показывают невозможность его использования в качестве стабилизатора с местными грунтами из-за активного взаимодействия с водой. В настоящее время ведутся работы по оценке использования фермента Perma-Zyme в качестве комплексного стабилизатора и в качестве материала для комплексного укрепления местных грунтов. Также ведутся работы по составлению имитационной модели в среде Matlab для автоматизированного расчета и подбора составов и технологии стабилизации грунтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rose, W. Soil Stabilization for Road Construction and Natural Liners / W. Rose, G. James. – Anaheim : FNRA, 2002. – 37 p. – Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик : издание официальное : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 ноября 2015 г. № 1694-ст : взамен ГОСТ 5180-84 : дата введения 2016-04-01 / разработан ОАО «ПНИИИС». – Москва : Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2015. – 23 с. – Текст : непосредственный.
3. ОДМ 218.3.076-2016. Методические рекомендации по подбору стабилизаторов грунтов и грунтовых смесей для дорожного строительства : дата введения 2017-04-04. – Москва : Росавтодор, 2017. – 37 с. – Текст : непосредственный.
4. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги = Automobile roads : актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85* : утвержден Приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 30 июня 2012 г. N 272 : дата введения 2013-07-01 / ЗАО «СоюздорНИИ». – Москва : Изд-во стандартов, – 2013. – 111 с. – Текст : непосредственный.
5. Шилин, И. В. Изучение возможности применения стабилизации супесчаного грунта ферментом Perma-Zyme в Донецкой области / И. В. Шилин, В. В. Абраимов. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса : межвуз. сб. науч. статей (с междунар. участием) / ответственный редактор О. М. Батищева. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2021. – С. 83–90.
6. Шилин, И. В. Совершенствование технологии устройства покрытия дорог с низкой интенсивностью движения путем стабилизации супесчаного грунта с водной смесью концентрата PERMA-ZYME / И. В. Шилин, В. В. Абраимов, И. В. Толстиков. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – Выпуск 2021-4(150) Научно-технические достижения студентов строительной-архитектурной отрасли. – С. 83–90. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-4\(150\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-4(150).pdf) (дата публикации: 28.06.2021).

Получена 26.12.2022

Принята 27.01.2023

І. В. ШИЛІН ^a, А. В. ХІМЧЕНКО ^b
ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ
ГРУНТУ ВОДНОЮ СУМІШШО КОНЦЕНТРАТУ PERMA-ZYME ДЛЯ
ДОРОЖНЬОГО БУДІВНИЦТВА

^a Автомобільно-дорожній інститут ДООУ ВПО «Донецький національний технічний університет», Горлівка; ^b ФДБОУ ВО «Воронезький державний аграрний університет ім. імператора Петра 1», Воронеж

Анотація. Визначено оптимальний склад ґрунтової суміші водним розчином ферменту Perma-Zyme із забезпеченням нормативних вимог для виконання ремонтно-відновлювальних робіт на автомобільних дорогах у регіональних умовах Донецької Народної Республіки. Встановлено, що протягом 72 годин відбувається стабілізація модифікованого ґрунту в щільний композиційний матеріал, який ефективно протистоїть зносу та водопроникності. Розглянуто основні відомості про стабілізацію (зміцнення) ґрунтів у дорожньому будівництві. Наведено основні переваги технології стабілізації ґрунту водним розчином ферменту Perma-Zyme. Наведено основні вимоги до вирішення поставленого завдання. Наведено результати лабораторних досліджень зразків ґрунту та виконано аналіз. Наведено розрахунок складу та обрано технологію обробки ґрунту водним розчином ферменту Perma-Zyme. Наведено лабораторні дослідження сформованих зразків ґрунту, оброблених водним розчином ферменту Perma-Zyme. Виконано аналіз результатів та сформульовано висновки щодо проведеного дослідження.

Ключові слова: ґрунт, фермент Perma-Zyme, дорожнє покриття, стабілізатор, автомобільні дороги з низькою інтенсивністю руху.

IGOR SHILIN ^a, ARKADII KHMICHENKO ^b
ON THE POSSIBILITY OF USING THE TECHNOLOGY OF SOIL
STABILIZATION WITH AN AQUEOUS MIXTURE OF PERMA-ZYME
CONCENTRATE FOR ROAD CONSTRUCTION

^a Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka; ^b Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Voronezh

Abstract. The optimal composition of the soil mixture with an aqueous solution of the Perma-Zyme enzyme was determined with the provision of regulatory requirements for performing repair and restoration work on roads in the regional conditions of the Donetsk People's Republic. It has been established that within 72 hours the modified soil stabilizes into a dense composite material that effectively resists wear and water permeability. The basic information about the stabilization (strengthening) of soils in road construction is considered. The main advantages of soil stabilization technology with an aqueous solution of the Perma-Zyme enzyme are given. The main requirements for solving the problem are given. The results of laboratory studies of soil samples are given and the analysis is carried out. The calculation of the composition is given and the technology of soil treatment with an aqueous solution of the Perma-Zyme enzyme is selected. Laboratory studies of molded soil samples treated with an aqueous solution of the Perma-Zyme enzyme are presented. The analysis of the results was carried out and conclusions on the study were formulated.

Keywords: soil, Perma-Zyme enzyme, pavement, stabilizer, low traffic roads.

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

Химченко Аркадий Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра 1», Воронеж. Научные интересы: автомобильный транспорт, автомобили, двигатели внутреннего сгорания, эксплуатация и диагностика технических средств автомобильного транспорта, имитационное моделирование сложных технических систем, применение искусственных нейронных сетей.

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

Хімченко Аркадій Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри сільськогосподарських машин, тракторів та автомобілів ФДБОУ ВО «Воронезький державний аграрний університет ім. імператора Петра 1», Вороніж. Наукові інтереси: автомобільний транспорт, автомобілі, двигуни внутрішнього згоряння, експлуатація та діагностика технічних засобів автомобільного транспорту, імітаційне моделювання складних технічних систем, застосування штучних нейронних мереж.

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

Khimchenko Arkadii – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Agricultural Machines, Tractors and Automobiles Department, Federal State Budgetary Educational Institutional of Higher Education «Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great», Voronezh. Scientific interests: road transport, cars, internal combustion engines, operation and diagnostics of technical means of road transport, simulation of complex technical systems, the use of artificial neural networks.

EDN: STFNFNW

УДК 691.16: 662

В. Л. БЕСПАЛОВ, О. Н. НАРИЖНАЯ, А. А. ОЛЕЙНИК, М. Г. БОРИСОВ, В. Г. НАЗАРЕНКО, Т. В. РОДЗИНА
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АТМОСФЕРОСТОЙКОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНОВ

Аннотация. Установлено, что наиболее рациональным способом повышения долговечности асфальтобетонов является комплексное регулирование микроструктуры модификацией битума этиленглицидилметакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой. На примере системы «горячий асфальтополимербетон, модифицированный этиленглицидил-метакрилатом», выполнено теоретико-экспериментальное исследование получения долговечных композиционных материалов. 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 микроструктуры асфальтобетона введением в органические вяжущие полимера, совмещающегося с ним, или комплексной добавки (полимер в комбинации с активным дисперсным наполнителем) и механоактивация поверхности минерального порошка (МП) раствором полимера или олигомера, содержащим и функциональные группы (карбамидоформальдегидная смола, эпоксидные смолы, полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол, кубовые остатки ректификации стирола и др.).

Ключевые слова: нефтяной дорожный битум, асфальтополимербетон, минеральный порошок, атмосферостойкость, модификатор, комплексная модификация.

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 обеспечиваются: максимально плотной упаковкой частиц минерального остова (II тип макроструктуры, поровая; позволяет эффективно использовать как свойства пленок органического вяжущего вещества, разделяющих минеральные частицы, так и пространственного каркаса, образованного частицами щебня, способствующего повышению прежде всего сдвигоустойчивости за счет увеличения протяженности плоскостей скольжения и их шероховатости; достигаются максимальные значения модуля деформации, предела прочности при изгибе, внутреннего трения и зацепления); непрерывной пространственной сеткой асфальтовяжущего вещества (II тип микроструктуры, базальная); 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), а также интенсификацией процесса взаимодействия на поверхности раздела фаз [1–11].

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

Нами 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

© В. Л. Беспалов, О. Н. Нарижная, А. А. Олейник, М. Г. Борисов, В. Г. Назаренко, Т. В. Родзина, 2023



регулирование микроструктуры асфальтобетона введением в органические вяжущие полимера совмещающимся с ним или комплексной добавки (полимер в комбинации с активным дисперсным наполнителем) и механоактивация поверхности минерального порошка (МП) раствором полимера или олигомера, содержащим и функциональные группы (карбамидоформальдегидная смола, эпоксидные смолы, полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол, кубовые остатки ректификации стирола и др.) [4, 12–19].

Рассмотрение свойств битумополимерных вяжущих и сравнение их со свойствами исходного битума БНД 130/200 показывает, что битумополимерные вяжущие характеризуются повышенными температурами перехода в вязко-текучее состояние без снижения деформативной способности вяжущего. Это приводит к значительному расширению интервала пластичности, например битумополимерное вяжущее, которое содержит в своем составе 2 % Элвалоя АМ и 0,2 % ПФК-105, имеет на 21 °С шире интервал пластичности в сравнении с модифицируемой системой. Это значительно повышает сдвигоустойчивость асфальтополимербетона без снижения трещиностойкости асфальтополимербетонного покрытия. Введение в нефтяной дорожный битум как Элвалоя АМ, так и Элвалоя АМ в комбинации с полифосфорной кислотой значительно повышает адгезию к поверхности минеральных материалов от 18 до 76...84 %. В связи с ростом когезии модифицированных битумов (когезия системы 3 в 2,68 раз выше) асфальтополимербетоны (табл. 1) характеризуются повышенными значениями водостойкости и морозостойкости. Битумополимерные вяжущие характеризуются эластичностью, что является свидетельством формирования пространственной полимерной сетки, образованной как в результате химической сшивки фрагментов надмолекулярных образований Элвалоя АМ (система 3, табл. 1), так и в результате реализации диполь-дипольных взаимодействий и водородных связей, и частично – химической сшивки (система 3). Характерно, что в вяжущем индекса 3, которое в своем составе содержит этиленглицидилметакрилат и полифосфорную кислоту в оптимальных стехиометрических соотношениях эпоксигрупп и активных протонов ПФК-105, формируется более структурированная система.

Об этом свидетельствуют прежде всего более высокая твердость вяжущего ($\Pi_0 = 11$ град и $\Pi_{25} = 61$ град), более высокие значения когезии и температуры размягчения, повышение температуры хрупкости (табл. 1).

Таблица 1 – Свойства органических вяжущих

№ п/п	Вид и состав органического вяжущего	Пенетрация (0,1 мм) при температуре, °С		Температура размягчения, °С	Температура хрупкости, °С	Дуктильность (см) при температуре, °С		Эластичность, %		Адгезия, % (ДСТУ Б.В.2.7-81-98)	Когезия, МПа	Интервал пластичности, °С
		0	25			0	25	при 0 °С	при 25 °С			
1	Битум БНД 130/200	53	151	37	-20	13	78	0	0	18	0,022	57
2	Битум БНД 130/200 модифицирован 2 % Элвалоя АМ (один час перемешивания при 200 °С + 7 часов термостатирования при 200 °С)	29	87	44	-20	38	> 100	38	45	76	0,038	64
3	Битум БНД 130/200 модифицирован 2 % Элвалоя АМ (два часа перемешивания при 170 °С и ПФК-105 – 0,2 % от массы битума), (30 минут перемешивания с битумополимерным вяжущим при 170 °С)	11	67	61	-17	12	43	62	77	84	0,059	78

Рассмотрение комплексной модификации микроструктуры асфальтобетонов на их свойства в сравнении с традиционными (ДСТУ Б В. 2.7-119-2003) показывает, что модификация битума Элвалоем АМ совместно с катализатором ПФК-105 приводит к повышению плотности и длительной водостойкости асфальтобетона, снижению температурной чувствительности механических свойств модифицированных систем по сравнению с горячими асфальтобетонами (табл. 2).

Таблица 2 – Физико-механические свойства асфальтополимербетона

Показатели	Состав асфальтовяжущего вещества в мелкозернистом асфальтобетоне (тип Б)				
	Битум 40/60, МП известняковый не активирован	Битум 130/200 + МПШН с 2 % ПОЭС	Битум 130/200 + 2,5 % Элвалоя АМ; МПШН с 2% ПОЭС	Битум 130/200 + 2,5 % Элвалоя АМ; 0,2 % ПФК; МПШН с 2 % ПОЭС	
Средняя плотность, ρ_0^a , кг/м ³	2 338	2 329	2 332	2 339	
Набухание, Н, % от объема	0,6	1,0	0,81	0,42	
Водонасыщение, W%, от объема	2,94	3,8	3,28	3,12	
Предел прочности при сжатии, МПа, при					
	0 °С	6,8	7,4	7,8	8,1
	20 °С	3,12	2,41	3,1	3,6
50 °С	1,09	1,12	1,4	1,7	
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, $K_{вд}$	0,78	0,916	0,95	0,96	
Коэффициент теплоустойчивости, $K_T = \frac{R_0}{R_{50}}$	6,23	6,6	5,57	4,76	

Данные, приведенные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что на начальном этапе прогрева (до 400 часов) происходит интенсивный рост коэффициента старения асфальтобетона как на нефтяном дорожном битуме, так и асфальтобетона с комплексно-модифицированной микроструктурой.

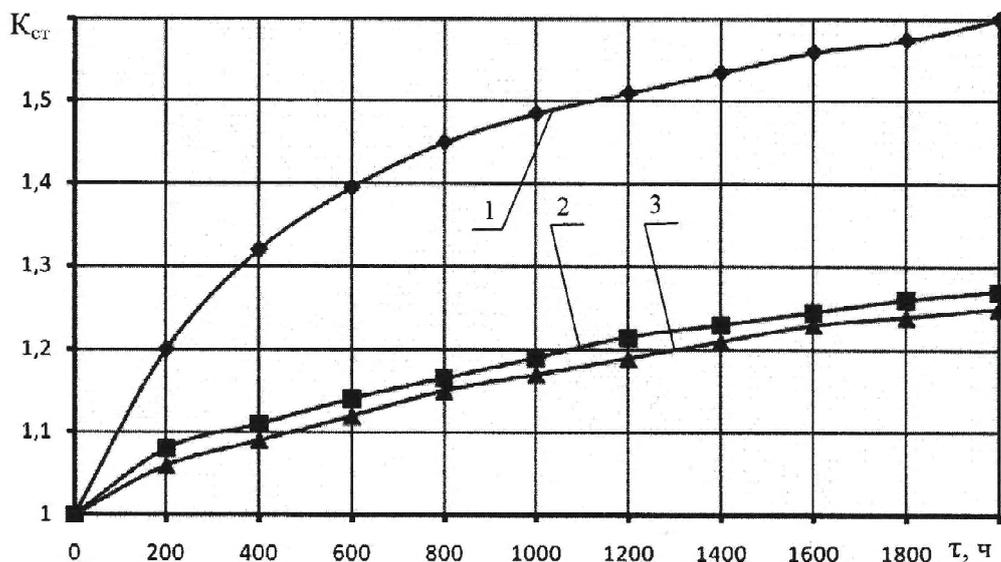


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента теплового старения $K_{ст}$ от времени прогрева τ в климатической камере

ИП при температуре 75 °С мелкозернистых асфальтобетонов: 1 – вяжущее нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59-0,1$ мм; минеральный порошок известняковый неактивирован; 2 – вяжущее нефтяной дорожный битум $P_{25} = 151-0,1$ мм, модифицированный 2,5 % мас. Элвалоя АМ; минеральный порошок – шлам станций нейтрализации поверхностно-активирован 2,5 % мас. ПОЭС; 3 – вяжущее нефтяной дорожный битум $P_{25} = 151-0,1$ мм, модифицированный 2,5 % мас. Элвалоя АМ и 0,2 % мас. ПФК-105; минеральный порошок – шлам станций нейтрализации поверхностно-активирован 2,5 % мас. ПОЭС.

Менее интенсивны необратимые изменения прежде всего асфальто- полимербетона с комплексно-модифицированной микроструктурой (на примере состава 3 асфальтовяжущего вещества).

Это обусловлено тем, что макромолекулы и надмолекулярные образования Элвалоа АМ, а также макромолекулы эпоксидных олигомеров на поверхности частиц шлама станции нейтрализации сорбируют большую часть низко-молекулярных углеводородов нефтяного дорожного битума, тем самым замедляя интенсивность испарения алкановых углеводородов с температурой кипения до 300 °С, согласно закону Рауля и за счет избирательной диффузии их внутрь минеральных зерен. Другой процесс, это снижение интенсивности окисления кислородом воздуха ненасыщенных соединений битума вследствие меньшей диффузии воздуха сквозь пленку органического вяжущего; плотность и когезионная прочность которой значительно выше битумной.

Определенную роль играет увеличение энергии активации реакций поли- конденсации компонентов битума в направлении масла → смолы → асфальтены.

Как следует из данных таблицы 2, асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой характеризуются иной поровой структурой по сравнению с асфальтобетоном. Разность между остаточной пористостью и водонасыщением, которая показывает объем замкнутых пор в бетонах с использованием битума, модифицированного как Элвалоом АМ, так и Элвалоом АМ совместно с ПФК-105 (минеральный порошок ШН механоактивированный ПОЭС), на 20...30 % больше, чем стандартного асфальтобетона. Это должно способствовать не только более высокой устойчивости к тепловому старению, но и способствовать более высокой водоустойчивости и морозостойкости.

Поровое пространство асфальтобетона является местом процессов взаимодействия воды с материалом. Интенсивность проникновения воды в капилляры пропорциональна квадрату радиуса капилляра и обратно пропорциональна вязкости воды. Вода, характеризующаяся более высокой диэлектрической постоянной по сравнению с малополярными соединениями битума, более интенсивно взаимодействует с гидрофильными центрами поверхности минеральных материалов. Длительное воздействие воды приводит к адсорбционному вытеснению связей «компонентов битума – гидрофильных центров поверхности минеральных материалов».

В водонасыщенном асфальтобетонном покрытии вследствие колебания температуры и попеременного водонасыщения-высушивания возникают напряжения, вызванные изменением объема воды в порах, а также из-за различных коэффициентов термического расширения воды, битума и минеральных материалов. Значения напряжения могут достигать критических, что приводит к ослаблению структурных связей в бетоне и снижению разрушения его под действием транспортных средств.

Данные по изменению коэффициента длительной водостойкости (рисунок 2) показывают, что асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой значительно превосходят традиционные асфальтобетоны по данному показателю.

Аналогичные закономерности получены при изучении морозостойкости бетонов на органических вяжущих (рисунок 3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гезенцев, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов / Л. Б. Гезенцев. – Москва : Изд-во литературы по строительству, 1971. – 256 с. – Текст : непосредственный.
2. Прочность и долговечность асфальтобетона / под ред. Б. И. Ладыгина и И. К. Яцевича. – Минск : Наука и техника, 1972. – 288 с. – Текст : непосредственный.
3. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В. А. Золотарев. – Харьков : Вища школа, 1977. – 116 с. – Текст : непосредственный.
4. Братчун, В. И. Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. А. Золотарев. – Макеевка : МОН Украины, ДонНАГА, 1998. – 226 с. – Текст : непосредственный.
5. Бонченко, Г. А. Асфальтобетон: сдвигуостойчивость и технология модифицирования полимером / Г. А. Бонченко. – Москва : Машиностроение, 1994. – 176 с. – Текст : непосредственный.
6. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве : монография / под общей редакцией В. А. Золотарёва, В. И. Братчуна ; Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (С8) ; [перевод с французского В. А. Золотарёва, Л. А. Беспаловой] ; под общей редакцией д. т. н. В. А. Золотарева, д. т. н. В. И. Братчуна. – Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2003. – 299 с. – Текст : непосредственный.
7. Радовский, Б. С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв // Б. С. Радовский. – Текст : непосредственный // Дорожная техника. – 2007. – Санкт-Петербург. – С. 86–99.
8. Гохман, Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон / Л. М. Гохман. – Москва : ЗАО «ЭконИнформ», 2008. – 117 с. – Текст : непосредственный.

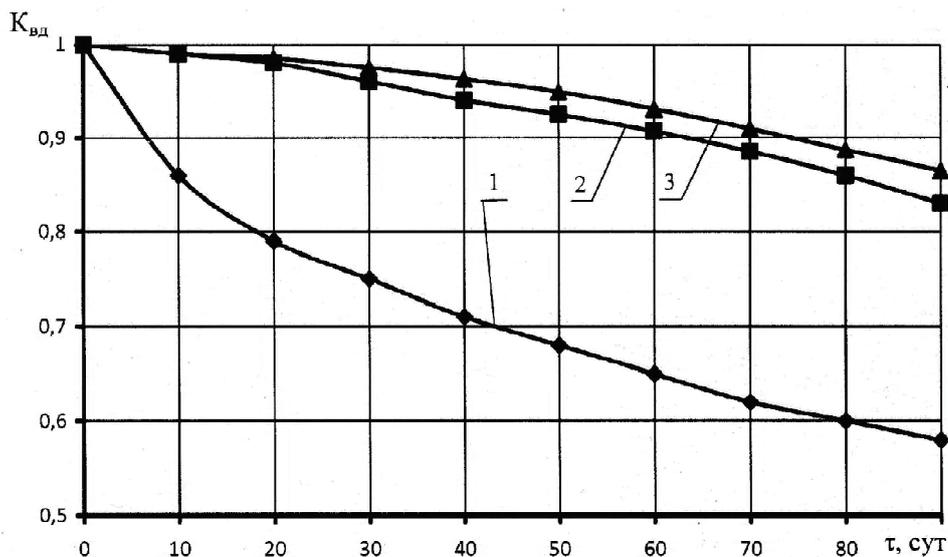


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента водостойкости при длительном водонасыщении $K_{вд}$ от времени водонасыщения τ мелкозернистых асфальтобетонов, отличающихся видом асфальтовяжущего вещества: 1 – вяжущее нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм; минеральный порошок известняковый неактивирован; 2 – вяжущее нефтяной дорожный битум $P_{25} = 151 \cdot 0,1$ мм, модифицирован 2,5 % мас. Элвалоя АМ; минеральный порошок – шлам станций нейтрализации поверхностно-активирован 2,5 % мас. ПОЭС; 3 – вяжущее нефтяной дорожный битум $P_{25} = 151 \cdot 0,1$ мм, модифицированный 2,5 % мас. Элвалоя АМ и 0,2 % мас. ПФК-105; минеральный порошок – шлам станций нейтрализации поверхностно-активирован 2,5 % мас. ПОЭС

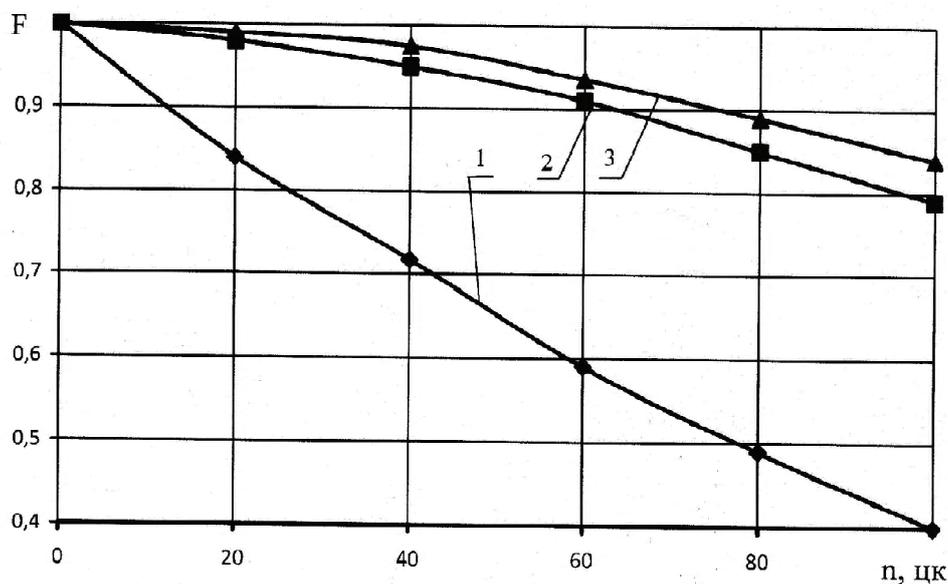


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента морозостойкости F от количества циклов попеременного замораживания-оттаивания n мелкозернистых асфальтобетонов, отличающихся видом асфальтовяжущего вещества: 1 – вяжущее нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм; минеральный порошок известняковый неактивирован; 2 – вяжущее нефтяной дорожный битум $P_{25} = 151 \cdot 0,1$ мм, модифицирован 2,5 % мас. Элвалоя АМ; минеральный порошок – шлам станций нейтрализации поверхностно-активирован 2,5 % мас. ПОЭС; 3 – вяжущее нефтяной дорожный битум $P_{25} = 151 \cdot 0,1$ мм, модифицированный 2,5 % мас. Элвалоя АМ и 0,2 % мас. ПФК-105; минеральный порошок – шлам станций нейтрализации поверхностно-активирован 2,5 % мас. ПОЭС

9. Anderson, D. Programme SHRP. Methodes d'essai et specification des liants / D. Anderson. – Текст : непосредственный // Revue General des Routes et des aerodromes. – 1994. – № 714. – P. 49–52.
10. Dony, A. Betimes-polymers. Adaptors nos test au techniques d'aujourd'hui / A. Dony, C. Turmel. – Текст : непосредственный // 5th Eurobitumes Congress, Stockholm. – 1993. – V. 1A. – P. 67–70.
11. Chaber, D. Rheologie des liants elactomes et resistance a ornierage des enrobes / D. Chaber, Ji-P. Trignigneaux, J.-C. Vaniscote. – Текст : непосредственный // Eurobitume Workshop 99. – Luxembourg, 1999. – № 28. – P. 28–30.
12. Братчун, В. И. Дегтебетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой / В. И. Братчун, В. Н. Ходун, А. Г. Доля. – Текст : непосредственный // Автошляховик України. 1997. – № 4. – С. 27–29.
13. Братчун, В. И. Модифицированные асфальтобетоны повышенной сдвига-устойчивости и долговечности / В. И. Братчун, Эль-Хаг Адиль Ибрагим. – Текст : непосредственный // Автошляховик України. – 1998. – № 2. – С. 33–36.
14. Братчун В. І. Мінеральні порошки з шламів станцій нейтралізації сталедрото-канатних заводів / В. І. Братчун, І. Ф. Рибалко, О. І. Повзун. – Текст : непосредственный // Автошляховик України. 1998. – № 4. – С. 45–46.
15. Структуроутворення у системі дьогтеполівінілхлоридне в'язуче-активованій шлам нейтралізації травлених розчинів / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, В. О. Псюрник [и др.]. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2000. – Випуск 2 (22). – С. 54–57.
16. Об особенностях формирования граничных слоев на поверхности раздела фаз «минеральный порошок-модифицированное органическое вяжущее» / В. И. Братчун, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов, Е. Э. Самойлова. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – 2003. – Випуск 1 (38). – С. 3–8.
17. Бітумополімерні в'язучі і асфальтополімербетони, модифіковані Елвалоем АМ у комбінації з поліфосфорною кислотою / В. І. Братчун, О. Е. Самойлова, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер. – Текст : непосредственный // Сучасне промислове та цивільне будівництво. – 2007. – Том 3, № 1. – С. 17–27.
18. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов. – Макіївка : ДонНАБА, 2006. – 303 с. – Текст : непосредственный.
19. Оптимизация состава литой асфальтополимерсеробетонной смеси для строительства и ремонта асфальтополимербетонных покрытий автомобильных дорог / В. И. Братчун, Н. А. Столярова, В. Л. Беспалов [и др.]. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2008. – Випуск 2008-1(69) Сучасні будівельні матеріали. Композиційні матеріали для будівництва. – С. 132–135.

Получена 19.12.2022

Принята 27.01.2023

В. Л. БЕСПАЛОВ, О. М. НАРИЖНА, О. О. ОЛІЙНИК, М. Г. БОРИСОВ,
 В. Г. НАЗАРЕНКО, Т. В. РОДЗИНА
 АТМОСФЕРОСТІЙКІСТЬ МОДИФІКОВАНИХ АСФАЛЬТОПОЛІМЕР-
 БЕТОНІВ
 ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація: Встановлено, що найбільш раціональним способом підвищення довговічності асфальтобетонів є комплексне регулювання микроструктури шляхом модифікації бітуму етиленгліцидилметакрилатом у комбінації з поліфосфорною кислотою. На прикладі системи «гарячий асфальтополімербетон, модифікований етиленгліцидил-метакрилатом», виконано теоретико-експериментальне дослідження щодо отримання довговічних композиційних матеріалів. Встановлено, що одним з найбільш ефективних способів модифікації асфальтобетонних сумішей, що забезпечують еластичність матриці та міцний зв'язок на поверхні розділу фаз «органічне в'язуче (ОВ) – мінеральний матеріал», а також стабільність властивостей бетонів на органічних в'язучих в процесі технологічної переробки та експлуатації, є комплексне регулювання микроструктури асфальтобетону введенням в органічні в'язучі полімера, що поєднується з ним, або комплексної добавки (полімер в комбінації з активним дисперсним наповнювачем) і механоактивація поверхні мінерального порошку (МП) розчином полімеру або олігомера, що містить і функціональні групи (карбамідоформальдегідна смола, епоксидні смоли, полімервмісні відходи виробництва епоксидних смол, кубові залишки ректифікації стиролу тощо).

Ключові слова: нафтовий дорожній бітум, асфальтополімербетон, мінеральний порошок, атмосферостійкість, модифікатор, комплексна модифікація.

VITALY BESPALOV, OLGA NARIZHNAYA, ARTEM OLEINIK, MIKHAIL BORISOV,
VLADISLAV NAZARENKO, TATIANA RODZINA
ATMOSPHERIC RESISTANCE OF MODIFIED ASPHALT POLYMERS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. It has been found that the most rational way to increase the durability of asphalt concrete is the complex control of the microstructure by modifying bitumen with ethylene glycidyl methacrylate in combination with polyphosphoric acid. On the example of the system: «hot asphalt polymer concrete modified with ethylene glycidyl-methacrylate» a theoretical and experimental method has been performed to obtain durable composite materials. It has been found that one of the most effective methods of modifying asphalt concrete mixtures providing matrix elasticity and strong bonding on the interface of phases «organic binding (OB) is mineral material» as well as the stability of the properties of concretes on organic binders in the process of technological processing and operation, is the complex regulation of the asphalt concrete microstructure by the introduction of an organic binder polymer combined with it or a complex admixture (polymer in combination with active dispersed filler) and mechanoactivation of mineral powder surface (MP) with a solution of a polymer or oligomer containing functional groups (carbamide formaldehyde resin, epoxy resins, polymer-containing epoxy resin production wastes, cubic styrene distillation residues, etc.).

Keywords: oil road bitumen, asphalt polymer concrete, mineral powder, weather resistance, modifier, complex modification.

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

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

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

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

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

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

Беспалов Віталій Леонідович – доктор технічних наук, доцент; професор кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: синтез органічних в'язучих для виробництва композиційних дорожно-будівельних матеріалів, які використовуються при будівництві конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів автомобільних доріг підвищеної довговічності.

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

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

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

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

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

Bespalov Vitaly – D. Sc. (Eng.), Associate Professor; 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.

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

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

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

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

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

EDN: **WMBYHV**

УДК 625.752, 665.775

**К. Р. ГУБА^а, Д. В. ГУЛЯК^б, А. А. СТУКАЛОВ^б, В. В. ЖЕВАНОВ^б, М. Г. ПРУДНИКОВ^б, Ю. Г. ЛИТВИНОВ^б,
Т. В. КОЗЛОВА^б**^а Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», Горловка,^б ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ПОЛИМЕРНАЯ ДОБАВКА ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ БИТУМА

Аннотация. Постоянно возрастающие требования к долговечности и работоспособности дорожных покрытий автомобильных дорог заставляют искать новые подходы к качеству, составу, технологиям производства, хранения и укладки асфальтобетонных смесей. Рост интенсивности движения и возрастание нагрузок негативно влияют на дорожное покрытие. Следовательно, необходим поиск новых способов повышения долговечности. Повысить качество возможно различными способами. Особое значение имеют материалы, входящие в состав асфальтобетонной смеси. Одним из сложных составляющих смеси является битум, который благодаря своим пластическим свойствам позволяет поддерживать способность не разрушаться покрытию при воздействии как низких, так и высоких температур, прежде всего циклических, а также различных деформационных нагрузок. Способ, которым можно эффективно повысить качество битума – модифицирование полимерными добавками. Введение полимерных добавок позволит значительно улучшить качество и эксплуатационные характеристики битума, обеспечить эластичность, когезию, температуры размягчения и хрупкости, обеспечить проектируемые деформационно-прочностные характеристики дорожного асфальтобетона и покрытий жестких дорожных одежд.

Ключевые слова: битум, модификация, модифицирующие добавки, асфальтобетон, полимерная добавка

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Наиболее широко в дорожной отрасли используют нефтяные битумы, которые известны необходимыми эксплуатационными свойствами: широкий интервал пластичности, удовлетворительная адгезия, деформативность. Данные свойства важны при ремонте дорожной одежды и покрытий, строительстве дорожных и аэродромных покрытий, стабилизации грунтов, устройстве гидро-, тепло- и пароизоляционных покрытий, а также в других отраслях гражданского строительства. В настоящее время дорожное строительство использует до 90 % всего производимого объема битума. С каждым годом спрос на битум возрастает, особенно остро в битуме нуждается дорожная отрасль.

Применяемые в асфальтобетонных смесях битумы марок БНД 40/60 и БНД 60/90 характеризуются невысокими температурами размягчения, низкой эластичностью, а также неудовлетворительными адгезией и когезией. Поэтому улучшение физико-механических свойств битумов является актуальной задачей. С повышением физико-механических свойств битума можно добиться увеличения срока службы асфальтобетона в дорожном покрытии автомобильных дорог. Для этого необходимо создать структуру материала с оптимальным сочетанием макроструктуры и микроструктуры асфальтобетона.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ периодической литературы показал, что эксплуатационные характеристики дорожных асфальтобетонных покрытий при эксплуатации не являются постоянными, а непрерывно изменяются. Структурные изменения в асфальтобетоне, которые происходят при старении, прежде всего, определяются структурными изменениями битума входящего в состав асфальтобетона [1–4].

В работах Г. С. Бахраха, Н. В. Горельшева, А. С. Колбановской, А. В. Руденского, И. М. Руденской и других битум рассматривается как вещество, состоящее из высокомолекулярных соединений нефтяного происхождения, из асфальтенов и твердых смол, составляющих дисперсную фазу, а также

© К. Р. Губа, Д. В. Гуляк, А. А. Стукалов, В. В. Жеванов, М. Г. Прудников, Ю. Г. Литвинов, Т. В. Козлова, 2023



из нефтяных масел и близких к ним смол, которые образуют дисперсионную среду [1, 3, 5–9]. В. А. Золотарев [10] в своих научных трудах по исследованию битума указывает, что необходимо уделять особое внимание повышению технологических свойств битума и прежде всего модификации битума различными полимерами и добавками, которые позволяют улучшить когезионные, адгезионные и реологические свойства (упругость, температуру стеклования, вязкость). Рассматриваемые полимеры и добавки, кроме повышения качества битума, позволят обеспечить качество асфальтобетонной смеси в целом и продлить срок службы асфальтобетона в дорожном покрытии автомобильных дорог.

Целью работы является улучшение свойств битума, входящего в состав асфальтобетонной смеси, модификацией полимерами.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Асфальтобетон является композиционным материалов, в котором особое внимание необходимо уделять органическому вяжущему. Для получения долговечного и работоспособного асфальтобетона необходимо сформировать его структуру с оптимальными характеристиками макроструктуры и микроструктуры. В асфальтобетоне должен быть использован битум с максимально высокими адгезионными и когезионными свойствами [11].

Самыми распространенными в дорожном строительстве являются битумы нефтяные дорожные (БНД) разных марок. На рисунке приведены данные о возрастании объемов потребления битума в мире.

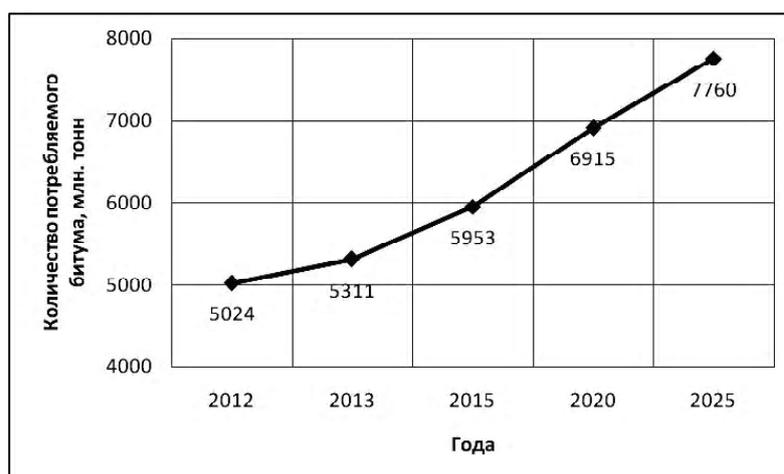


Рисунок – Мировой объем потребления битума.

В начале 60-х годов на кафедре «Технологии дорожно-строительных материалов» в ХАДИ, М. И. Волков и И. М. Борщ исследовали процессы формирования битумной пленки на минеральных материалах и пришли к выводу, что на поверхности минеральных частиц образуются адсорбционно-сольватные слои структурированного битума. Дальнейшие исследования слоя битума позволили сделать выводы о структуре и физико-механических свойствах структурированного органического вяжущего.

По фазовому состоянию битумы близки к типичным аморфным веществам [3, 5, 8, 10]. При этом представляют собой сложную дисперсную систему, состоящую из смеси разнообразных по свойствам соединений нефти, способных растворяться в селективных растворителях в группы различной степени поликонденсации углеводородов, смол и асфальтенов [5, 6, 8, 9]. Битум является связующим материалом, склеивает отдельные минеральные зерна (щебень, песок, минеральный порошок) в единый монолит.

Образующиеся на границе раздела «битум – минеральный материал» когезионные и адгезионные связи зависят от интенсивности процессов взаимодействия. Данные процессы могут быть охарактеризованы работой адгезии битума к поверхности минерального материала (щебня, песка, минерального порошка) [11, 12]. Адгезия битума с минеральным материалом проходит две стадии. На первой стадии (транспортная) происходит перемещение молекул битума к поверхности минерального материала и

их ориентирование в межфазном слое. Для выполнения этого условия битум переводят в жидкое состояние нагреванием. На второй стадии происходит непосредственное взаимодействие битума и минерального материала в результате химических, Ван-дер-Ваальсовых и межмолекулярных взаимодействий.

Опыт отечественных и зарубежных исследований показывает, что введение в битум различных модифицирующих добавок позволит не только добиться соответствия органическому вяжущему требованиям нормативных документов, но и модифицирование битума добавками приводит к получению битумных композиций с улучшенными физико-механическими и химико-технологическими свойствами [1, 2, 5, 7, 9, 10]. Свойства битума зависят от компонентов, входящих в их состав, на основании которого делают заключение о физико-химических и эксплуатационных свойствах. В основе данных свойств лежит соотношение асфальтенов, смол, масел и ароматических углеводородов. Применяемые модифицирующие добавки могут работать в различных направлениях (активирующие, модифицирующие, пластифицирующие).

Применение полимерных добавок в составе асфальтобетона позволит улучшить весь комплекс его физико-механических свойств (повысить прочность, деформационную устойчивость, водо-, морозостойкость, коррозионную устойчивость и т. д.).

Поиск наиболее эффективных модификаторов и поверхностно-активных добавок, отработка оптимальных составов модифицированного битума является актуальной задачей. Для создания на основе битумов композиционных материалов с заданным комплексом физико-механических свойств необходимо применять модификаторы, которые:

- доступные и недорогие;
- устойчивые к температурным воздействиям;
- совместимые с битумами при смешении на обычном оборудовании при производстве асфальтобетонных смесей;
- в летнее время повышающие сопротивление битумов в составе дорожного покрытия к воздействию сдвиговых напряжений без увеличения их вязкости при температурах смешения и укладки, а также не придающие битумам жесткости или хрупкости при низких температурах в покрытии;
- при хранении и переработке, а также в реальных условиях работы в составе дорожного покрытия сохраняют их свойства, химически и физически стабильны.

В настоящее время наиболее распространенными являются полимеры-термоэластопласты: стирол-бутадиен-стирол (СБС), стирол-изопрен-стирол (СИС), стирол-этилен/бутилен-стирол (СЭ/БС) [10]. Термоэластопластические полимеры обладают возможностью варьирования составами одним и тем же способом смешивания, что позволяет регулировать свойства получаемых вяжущих. Благодаря составу и структуре данные полимеры отличаются высокой эластичностью. Содержание полимера в битуме такого вида должно находиться в пределах от 3 до 10 %.

Стирол-бутадиен-стирол (СБС) хорошо совмещается с битумом, так как он имеет свойства хорошо набухать и растворяться в парафино-нафтеновых и нафтено-ароматических углеводородах битума при температуре не превышающей 150 °С. Для достижения более качественного растворения полимера в битуме необходимо использовать пластификаторы, например промышленное масло разных марок (И-20А, И-30А, И-40А, И-50А) или нефтяные гудроны [2, 12].

При исследовании модификации дорожных битумов полимерами типа СБС хорошо себя зарекомендовали: KRATON D фирмы «Shell», Финопрен фирмы «Petrofina», Европерен Сол Т фирмы «Epichem», Калпрен фирмы «Repsoil», отечественные ДСТ Воронежского завода СК. В этой группе полимеров сочетается высокая прочность как у пластмасс, так и эластичность как у эластомеров. В таблице приведены данные, которые позволяют сделать сравнение двух видов битума, а также битума содержащего 3 % полимера типа СБС по массе.

Из анализа данных таблицы можно сделать вывод о том, что у композиции «битум-полимер» пенетрация при 25 °С снижается почти в 1,5 раза. Снижение пенетрации приводит к изменению когезионной прочности композиции «битум-полимер», которая в свою очередь возрастает почти в 1,3 раза. Также необходимо отметить возрастание температуры размягчения почти в 1,25 раза. Композиция «битум-полимер-пластификатор (промышленное масло)» приводит к снижению температуры хрупкости, что позволит вяжущему обеспечить деформативность асфальтобетона при низких температурах окружающей среды.

Таблица – Характеристика битумов разных марок и полимера типа СБС

Наименование показателей	Значение показателей			
	БНД 40/60	БНД 40/60 + 3 % полимера	БНД 60/90	БНД 60/90 + 3 % полимера
Пенетрация, 0,1 мм 25 °С	53	36	75	47
0 °С	26	20	25	26
Температура размягчения, °С	53	66	49	63
Температура хрупкости, °С	-17	-18	-19	-20
Растяжимость при 25 °С, см	20	21	42	38
Эластичность при 25 °С, %	–	79	–	82
Когезия при 25 °С, МПа	0,120	0,154	0,079	0,132

ВЫВОД

Накопленный научный и производственный опыт свидетельствует о том, что эффективность модифицирующего действия полимера, введенного в битум, зависит от образующейся композиции «битум-полимер». Наибольшее применение нашли полимеры типа СБС. Это связано с их способностью не только повышать прочность битума, но и придавать композиции «битум-полимер» эластичность и деформативность в области низких эксплуатационных температур.

Таким образом, при модификации битума происходит повышение эластичной деформации, прочности, снижение температуры стеклования, что обеспечивает температуру хрупкости и трещиностойкости битума, находящегося в асфальтобетонной смеси. Использование в качестве пластификатора индустриального масла позволит улучшить растворимость полимера в битуме.

Наличие в асфальтобетонной смеси модифицированного битума обеспечит дорожному покрытию автомобильных дорог способность релаксации напряжений, которые возникают от движущегося транспорта и низкотемпературных воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руденский, А. В. Модифицированные асфальтовые вяжущие / А. В. Руденский, О. Н. Никонова. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2008. – № 7. – С. 54.
2. Lesueur, D. The colloidal structure of bitumen: consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification / D. Lesueur. – Текст : непосредственный // Advances in Colloid and Interface Science. – 2009. – № 145(1-2). – Р. 42–82.
3. Причины старения битумоминеральных смесей / С. В. Сукоцев, П. Б. Рапопорт, Н. А. Хухрянская [и др.]. – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2010. – № 3. – С. 31–32.
4. Бахрах, Г. С. Усталостное разрушение асфальтобетонных покрытий и пути замедления этого процесса / Г. С. Бахрах. – Текст : непосредственный // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог: Экспресс-информация ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. – 1980. – Выпуск 9. – С. 40.
5. Колбановская, А. С. Дорожные битумы / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – Москва : Транспорт, 1973. – 261 с. – Текст : непосредственный.
6. Горельшев, Н. В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы / Н. В. Горельшев. – Москва : Можайск-Терра, 1995. – 176 с. – Текст : непосредственный.
7. Бахрах, Г. С. Старение асфальтобетонных покрытий и пути его замедления / Г. С. Бахрах. – Текст : непосредственный // Труды ГипроДорНИИ. – 1974. – Выпуск 9. – С. 84–96.
8. Руденская, И. М. К вопросу о структуре и свойствах органических вяжущих материалов / И. М. Руденская. – Текст : непосредственный // Труды Гипродорнии. – 1982. – Выпуск 36. – С. 32–39.
9. Руденская, И. М. Органические вяжущие для дорожного строительства / И. М. Руденская, А. В. Руденский. – Москва : ИНФРА-М. – 2010. – 256 с. – Текст : непосредственный.
10. Золотарев, В. А. Битумы, модифицированные полимерами и добавками. Избранные труды. Том 2 / В. А. Золотарев. – Санкт-Петербург : Славутич, 2013. – 149 с. – Текст : непосредственный.
11. Гезенцев, Л. Б. Дорожный асфальтобетон / Под редакцией Л. Б. Гезенцева. – Москва : Транспорт, 1985. – 350 с. – Текст : непосредственный.
12. Золотарев, В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В. А. Золотарев. – Харьков : Вища шк., 1977. – 115 с. – Текст : непосредственный.
13. Руденский, А. В. Битумное вяжущее улучшенного качества, модифицированные, комплексные, композиционные / А. В. Руденский. – Текст : непосредственный // Научно-технический информационный сборник ; Информационный центр по автомобильным дорогам. – Москва. – 2008. – № 5. – С. 47–51.

Получена 13.01.2023

Принята 27.01.2023

К. Р. ГУБА ^a, Д. В. ГУЛЯК ^b, О. А. СТУКАЛОВ ^b, В. В. ЖЕВАНОВ ^b,
М. Г. ПРУДНИКОВ ^b, Ю. Г. ЛИТВИНОВ ^b, Т. В. КОЗЛОВА ^b
ПОЛИМЕРНА ДОБАВКА ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ БІТУМУ

^a Автомобільно-дорожній інститут «Донецький національний технічний університет»,
Горлівка; ^b ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Постійно зростаючі вимоги до довговічності та працездатності дорожніх покриттів та автомобільних доріг загалом змушують шукати нові підходи до якості, складу, технології виробництва, зберігання та укладання асфальтобетонних сумішей. Зріст інтенсивності руху та зростання навантажень негативно впливають на дорожнє покриття, отже необхідний пошук нових способів підвищення їх якості. Підвищити якість можливо різними методами та способами. Особливу увагу необхідно приділити матеріалам, які знаходяться у складі асфальтобетонної суміші. Одним із складних складових суміші є бітум, який завдяки своїм пластичним властивостям дозволяє підтримувати здатність не руйнуватися покриттю під впливом як низьких, так і високих температур, а також різних деформаційних навантажень. Спосіб, яким можна підвищити якість бітуму, – модифікування різними полімерними добавками. Введення полімерних добавок дозволить значно покращити властивості та характеристики бітуму, дозволить забезпечити еластичність, когезію, температуру розм'якшення та крихкості.

Ключові слова: бітум, модифікація, модифікуючі добавки, асфальтобетон, полімерна добавка.

KONSTANTIN GUBA ^a, DENIS GULYAK ^b, ALEKSANDR STUKALOV ^b,
VYACHESLAV ZHEVANOV ^b, MARK PRUDNIKOV ^b, YULIAN LITVINOV ^b,
TATIANA KOZLOVA ^b

POLYMER ADDITIVE FOR BITUMEN MODIFICATION

^a Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University»,
Gorlovka, ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The ever-increasing requirements for the durability and performance of road surfaces of automobile roads in general make it necessary to look for new approaches to the quality, composition, production technology, storage and laying of asphalt mixtures. The growth of traffic intensity and the increase in loads negatively affect the road surface, therefore, it is necessary to find new ways to improve its quality. It is possible to improve the quality in various ways and methods. Particular attention should be paid to the materials that are part of the asphalt mix. One of the complex components of the mixture is bitumen, which, due to its plastic properties, makes it possible to maintain the ability not to collapse the coating when exposed to both low and high temperatures, as well as various deformation loads. The way to improve the quality of bitumen is to modify it with various polymeric admixtures. The introduction of polymer admixtures will significantly improve the properties and characteristics of bitumen, will provide elasticity, cohesion, softening point and brittleness

Keywords: bitumen, modification, modifying admixtures, asphalt concrete, polymer admixture.

Губа Константин Романович – старший преподаватель кафедры общинженерных дисциплин Автомобильно-дорожного института ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», Горловка. Научные интересы: использование старого асфальтобетона для приготовления новых смесей; возможность модифицирования вяжущего.

Гуляк Денис Вячеславович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Стукалов Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Жеванов Вячеслав Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.

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

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

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

Губа Костянтин Романович – старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін Автомобільно-дорожного інституту ДООУ ВПО «Донецький національний технічний університет», Горлівка. Наукові інтереси: використання старого асфальтобетону для приготування нових сумішей; можливість модифікування в'язучого.

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

Стукалов Олександр Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих.

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

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

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

Козлова Тетяна В'ячеславівна – магистрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних та довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Guba Konstantin – senior lecturer, General Engineering Disciplines Department, Automobile and Road Institute SEI HPE «Donetsk National Technical University», Gorlovka. Scientific interests: the use of old asphalt concrete for the preparation of new mixtures; the possibility of modifying the binder

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.

Stukalov Aleksandr – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: receiving of technological and lasting road concretes for building of constructive layers of non-rigid road covers on the basis of modification of organic astringents.

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

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

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

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

EDN: VSTOPF

УДК 330.43

В. А. ПЕНЧУК, В. А. СИДОРОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Аннотация. В работе на основании анализа использования внешней энергии и материалов, применяемых в строительной индустрии, определена закономерность, связанная с усложнением технологии производства и увеличением удельной энергии для стройиндустрии. Показана последовательность возникновения и развития технологий, составляющих основу современной цивилизации. Выполнена историческая классификация применения различных видов энергии и материалов в строительстве. Установлено неполное соответствие концепции технологических укладов в таких аспектах влияния на процесс развития общества, как энергия и материалы. Анализ используемых материалов позволил отследить закономерность, связанную с усложнением технологии их получения и использования в строительстве. Управление качеством выпускаемых материалов и изделий строительной индустрии и построение прогнозных моделей её развития требует знаний о свойствах современных строительных материалов и изделий, базирующихся на эффективных технологических решениях прошлого.

Ключевые слова: строительная индустрия, энергия, строительные материалы, историческое развитие.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Человек выжил в сложных климатических условиях Земли благодаря тому, что по складу своего ума он может думать и решать задачи, которые ставит перед ним конкретная и виртуальная действительность.

Выдающийся физик Дж. Дж. Томсон (1856–1940 гг.) отмечал, что в техническом прогрессе участвуют три основных элемента, которые определяют ход развития общества: знания, энергия и материал [1].

В своей работе «Эскиз исторической картины прогресса человеческого разума» французский философ, математик Ж. А. Кондорсе (1794–1794 гг.) [2] пишет, что «прогресс наук обеспечивает прогресс промышленности, который сам затем ускоряет научные успехи...».

Необходимо отметить, что в XX веке русский ученый Н. Д. Кондратьев [3] сделал допущение, что прогресс промышленности имеет циклический характер с фазами затухания и нарастания длинных волн (таблица).

Таблица – Циклы Н. Д. Кондратьева

Цикл	Годы
I повышающая волна	с 1785–1790 гг. по 1810–1817 гг.
I понижающая волна	с 1810–1817 гг. по 1844–1851 гг.
II повышающая волна	с 1844–1851 гг. по 1870–1875 гг.
II понижающая волна	с 1870–1875 гг. по 1890–1896 гг.
III повышающая волна	с 1890–1896 гг. по 1914–1920 гг.
III понижающая волна	с 1914–1920 гг. по 1925–19.... гг.

В дальнейшем теория волнового развития Н. Д. Кондратьева получила развитие в работах С. Ю. Глазьева и Д. С. Львова, которые показали доминирующее влияние на развитие общества технологических укладов [4, 5]. Понятие «технологический уклад» (в современном понимании) – это набор технологий, соответствующих данному этапу исторического развития [6, 7, 8].

© В. А. Пенчук, В. А. Сидоров, 2023



Принципы пространственно-временного детерминизма, положенные в основу классификации развития общества по технологическим укладам, имеет ряд неточностей и недостатков [9]:

- они не объясняют закономерности развития общества до 1795 года;
- использование обобщенного фактора развития общества (технологических укладов) не показывает влияние на него инновационных процессов в создании новых материалов и новых видов энергии.

ФОРМУЛИРОВКА ЦЕЛИ СТАТЬИ

В работе предполагается рассмотреть технологические уклады относительно источника энергии и используемых материалов в строительстве.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Строительная индустрия относится к числу наиболее консервативных отраслей экономики, темпы внедрения в которую различных технологических инноваций существенно отстают от средних темпов в машиностроении, сельском хозяйстве и других отраслях промышленности. Тем не менее практически все главные компоненты строительного процесса (строительные материалы и изделия, производственные процессы и технологии) претерпели за долгие годы наблюдений весьма значительную трансформацию.

Реализация любого технического решения, в строительстве в том числе, требует использование внешней энергии.

1. *Сила гравитации* – первая сила, с которой познакомилось человечество, на планете Земля более известная как сила тяжести. Выполняет работу при опускании грузов, работе маятниковых часов, перемещении материалов и предметов по наклонным поверхностям, не требуя при этом дополнительной энергии. Применяется при создании механических аккумуляторов энергии.

2. *Сила ветра* стала основой Великих географических открытий человечества и приводом ветряных мельниц, разнообразных по конструкции и назначению (рис. 1). В настоящее время ветровые генераторы стали одним из элементов «зелёной энергетики», однако проблемы, связанные со шквалами, штормами, ураганами, полным штилем делают этот источник энергии непредсказуемым.

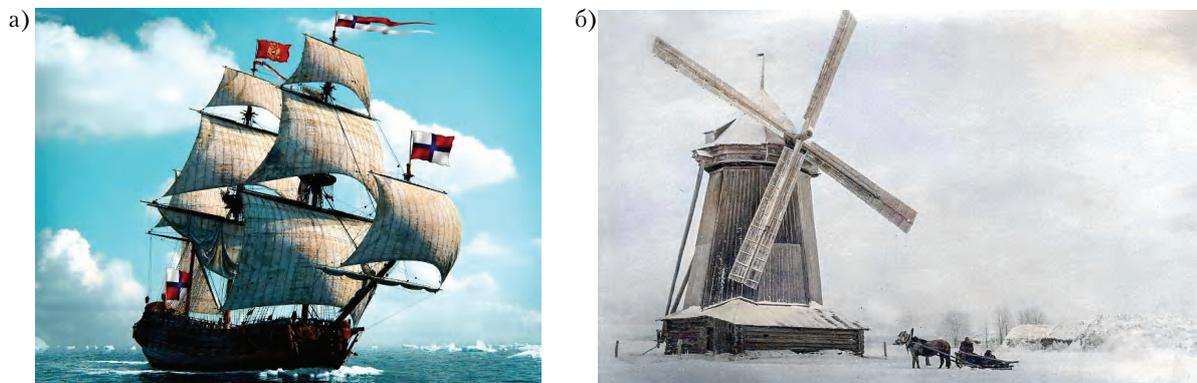


Рисунок 1 – Использование силы ветра: а) 64-пушечный линейный корабль Балтийского флота «Ингерманланд»; б) ветряная мельница в селе Алешково.

3. *Сила упругости* – одно из внутренних свойств материала. Наблюдение за наклоном деревьев при порывах ветра стало подсказкой при изобретении луков, арбалетов, пружин и др. Сейчас используется в пружинах часовых механизмов и железнодорожных вагонов, шинах автомобилей, джамперах, при банджи-джампинге, в спортивных снарядах и др.

4. *Мышечная сила* человека или животных была единственным источником энергии для реализации многих строительных проектов (рис. 2). Например, египетские пирамиды, храмы Древней Греции, римские акведуки, средневековые соборы, Александровская колонна и др.

Для преобразования энергии использовались механизмы, построенные на основе простых механизмов Архимеда: рычаг, ворот, блок, клин, винт. Например, для установки Александровской колонны

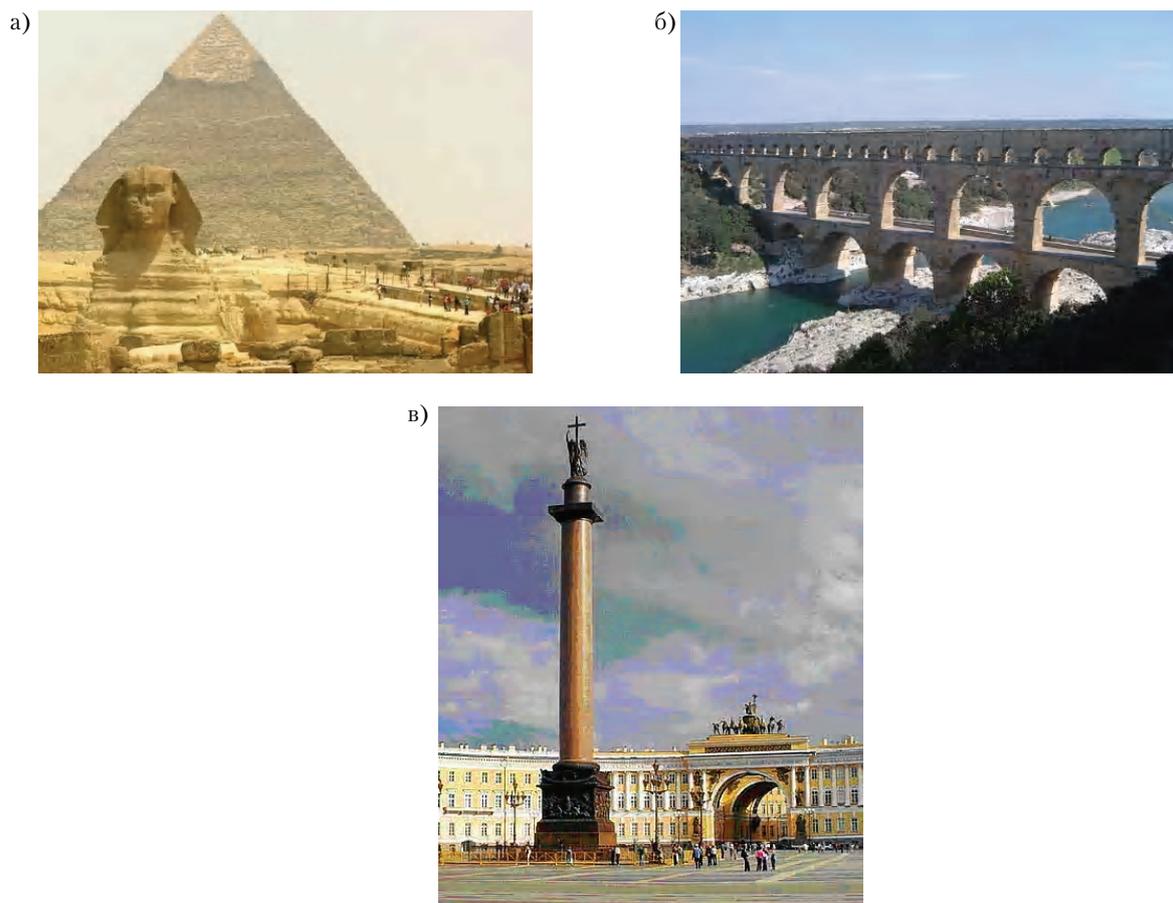


Рисунок 2 – Строительные объекты, построенные с использованием мускульной силы: а) пирамиды; б) акведук Пон-дю-Гар; в) Александровская колонна.

массой 600 т были использованы леса, полиспасты и кабестаны (рис. 2в и рис. 3). Многие из этих технологий забыты, поэтому кажутся невозможными к повторению в современных условиях.

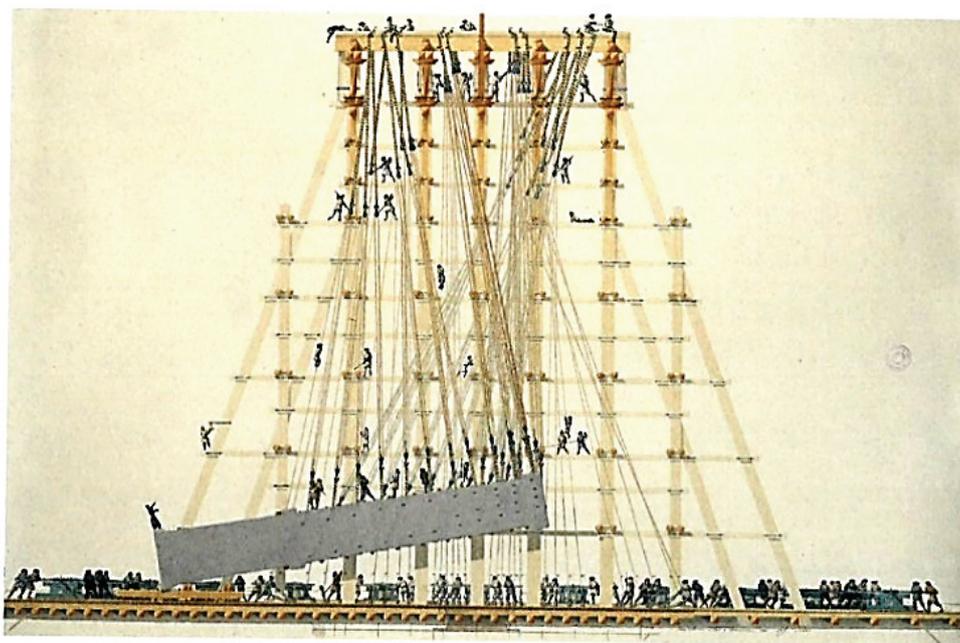


Рисунок 3 – Подъём Александровской колонны 30 июня 1832 года, (рисунок Адамини, помощника Монферрана).

Вряд ли будет повторён подвиг строителей египетских пирамид, но ручной труд является основным при строительстве, ремонте механического оборудования, роботов, автомобилей, самолётов и при сборке космических ракет. Изменились приспособления, появились инструменты с особыми свойствами, приборы-советчики (например, лазерные центровщики, но в основе – сила мускулов, умноженная на багаж знаний, накопленных человечеством за прошедшие века.

5. *Сила падающей воды* безусловно впервые была использована возле рек, ручьёв, водопадов. Водяное колесо позволило вращать жернова мельниц, приводить в движение станки, воздуходувки, кузнечные молоты и др. Эти механизмы работают и сегодня, поражая простотой и продуманностью конструкции (рис. 4).



Рисунок 4 – Водяное колесо.

Обычно, рассмотрение истории технологических укладов, начинают с создания Ричардом Аркрайтом в 1772 году прядильной машины «Waterframe» с приводом от конного или водяного двигателя. Это позволило механизировать труд и положить начало промышленному производству в текстильной промышленности.

Современные электростанции и сейчас весьма эффективно используют силу падающей воды. Достаточно вспомнить электростанции: «Три ущелья» в Китае, бразильско-парагвайская ГЭС «Итайпу», российская «Саяно-Шушенская». Передать силу воды, возможно без значительных потерь на относительно небольшие расстояния. После преобразования энергии в электрическую расстояния увеличиваются до нескольких тысяч километров.

6. *Сила пара* – это первый из видов энергии, создаваемый человеком и подвластный регулированию. Можно предположить следующую последовательность рассуждений создателей паровых машин – вода, испаряемая солнечной энергией, превращается в пар, в закрытой ёмкости необходимо преобразовать его в ветер. Солнечную энергию из-за суточного и сезонного непостоянства заменили тепловой энергией сжигаемого топлива. На различных стадиях развития в качестве топлива использовались: дрова, уголь, нефть, газ, атомная энергия. Но схема использования энергии пара оставалась неизменной – нагрев воды в замкнутом объёме, создание необходимого давления и применение для реализации поступательного или вращательного движения (рис. 5).

Начало эпохи пара связывают с созданием подвижных машин с независимым источником энергии – паровозов и железных дорог, водного транспорта, широким внедрением паровых двигателей в промышленное производство. Сегодня на тепловых и атомных электростанциях применяются паровые машины.

7. *Энергия химических реакций* известна давно – изобретение «греческого огня», пороха, динамита, нитроглицерина – примеры её применения. Изобретение бензинового двигателя внутреннего сгорания, дизельного и реактивных двигателей – открывших эпоху автомобилей, самолётов, теплоходов, тепловозов, космических кораблей (рис. 6) – изменило многое в истории человечества.

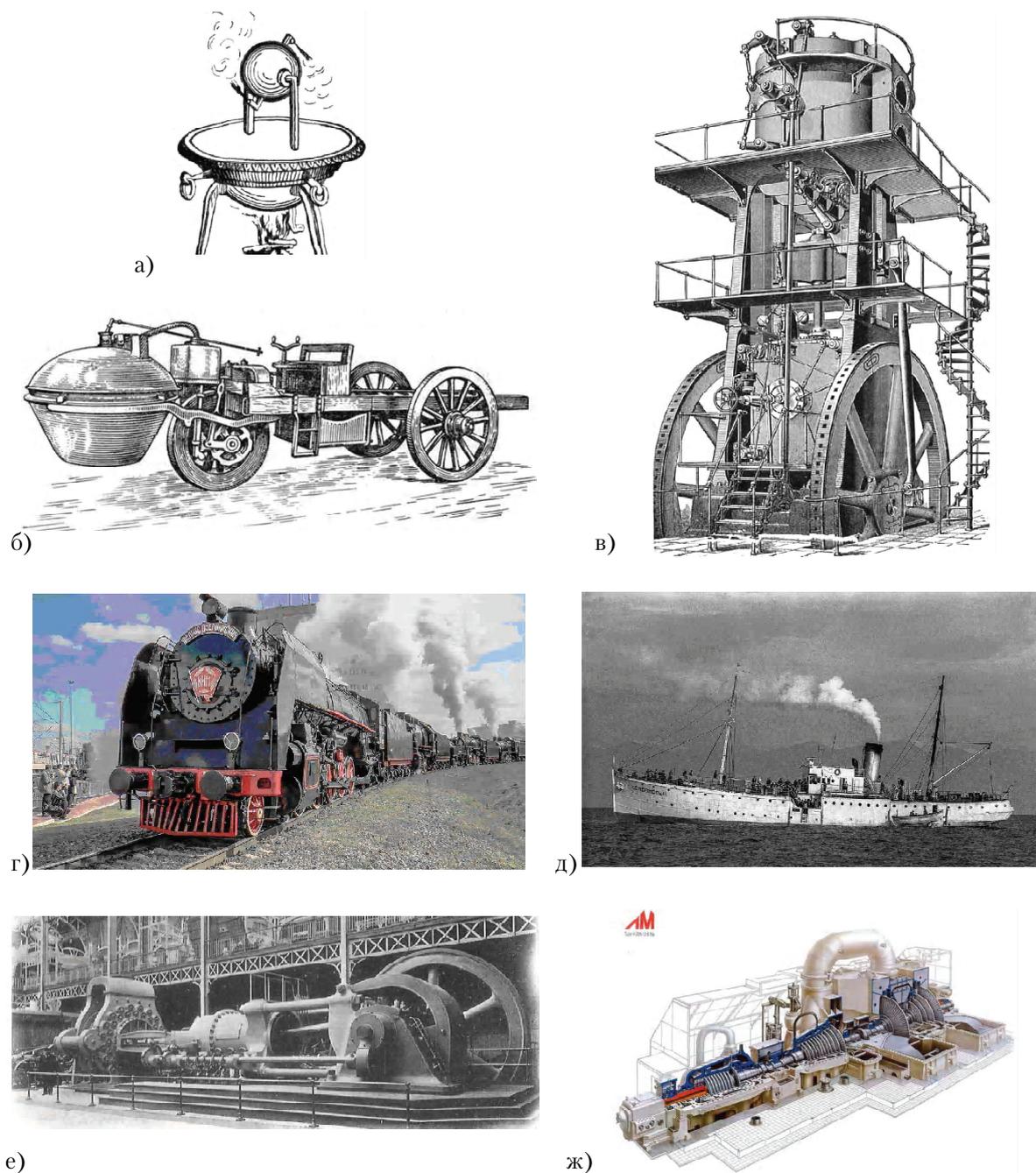


Рисунок 5 – Паровые машины: а) паровая турбина Герона Александрийского; б) паровая повозка Кюньо (1763 г.); в) двигатель вертикального наддува Allis; г) паровоз «Феликс Дзержинский»; д) пассажирский пароход «Комсомолец» на Байкале; е) двигатель Кокерилла образца 1900 г.; ж) паровая турбина.

Современный этап истории можно было бы назвать «эпохой автомобилей», учитывая их количество, вспомогательную инфраструктуру в виде дорог, заправок, станций технического обслуживания и др. Топливом служит: бензин, дизельное топливо, сжиженный газ (метан, пропан), сжиженный водород и др. Недостаток – низкий КПД. Для перемещения объекта массой 50...100 кг из пункта А в пункт Б требуется дополнительно переместить автомобиль массой 1 000...3 000 кг. По данному показателю лучший результат у БЕЛАЗ-75 710 – при общей массе 840 т он перевозит 450 т, но обратно идёт без полной загрузки.

8. *Солнечная энергия* – фактически, это энергия термоядерной реакции, происходящей за 150 млн км от Земли, использовалась всегда. В настоящее время более известны солнечные батареи, генерирующие электрический ток при безоблачной погоде в светлое время суток.

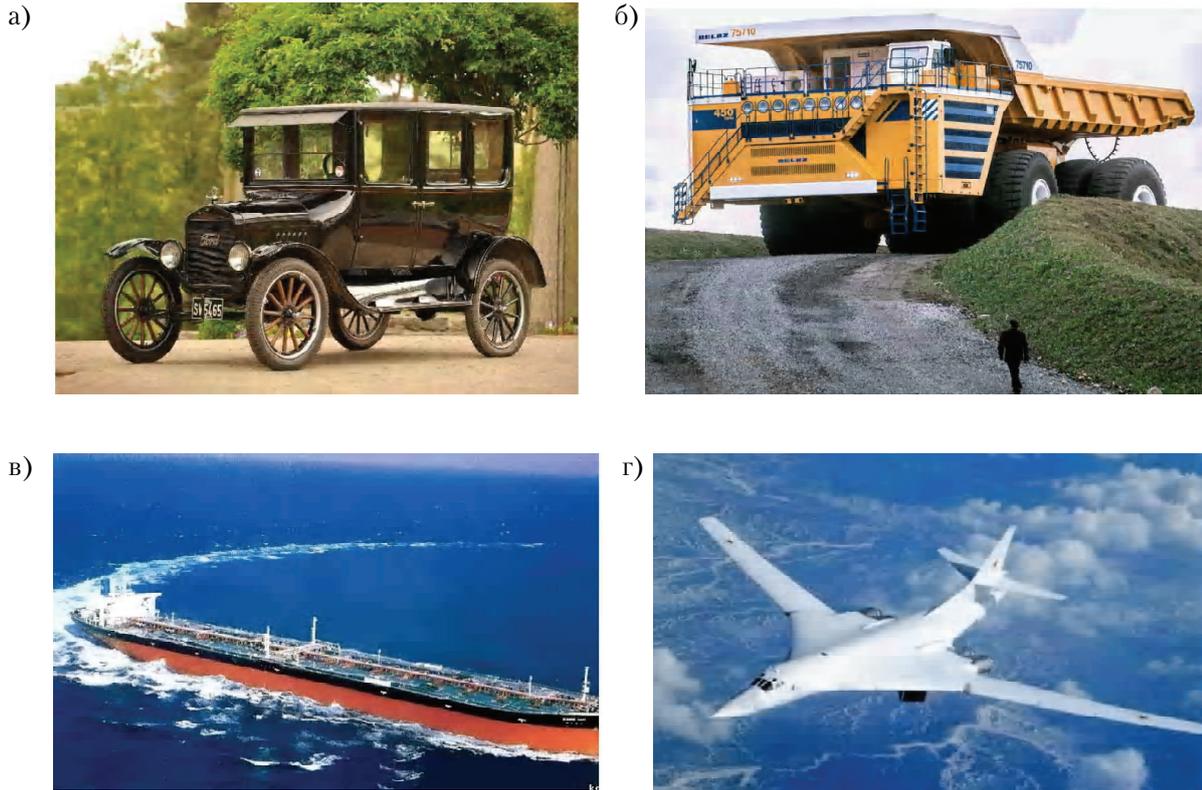


Рисунок 6 – Машины, использующие энергию химических реакций: а) Ford T модель 1908 года; б) БЕЛАЗ – 75710; в) нефтеналивной танкер, грузоподъёмностью 350 тыс. т; г) Ту-160 ракетноносец с крылом изменяемой стреловидности.

Наиболее часто в техногенной цивилизации используется механическая энергия для перемещения, измельчения строительных материалов, их перемешивания и в других случаях. Исходя из полученных данных, наиболее универсальным, перемещаемым на значительные расстояния, часто используемым источником энергии является электричество, которое является основой радиосвязи, телеграфа, телефона, телевидения, систем контроля и управления, компьютерных технологий и др.

Как указывалось выше, на различных исторических этапах для решения инженерных задач в строительстве использовались различные материалы, доступные для обработки на определенном историческом этапе.

1. *Древесина* – наиболее универсальный материал для строительства домов, кораблей, средств передвижения, самолётов (рис. 7). Это самый древний строительный, экологически чистый материал, хорошо сопротивляется статическим и динамическим нагрузкам, весьма лёгкий и в то же время прочный.

2. *Камень* – строительный материал, вследствие высокой стойкости, долговечности и прочности являющийся одним из самых популярных (рис. 8). Применяется давно, но требует обработки. Для обработки используют инструменты, выполненные из более твёрдого материала – металла. Твёрдость гранита не останавливала древних строителей храмов, статуй, обелисков ни в Египте, ни в Индии. Построенный из диабазы Воронцовский дворец – подтверждение сохранности древних ручных технологий наряду с набережными, домами и дворцами Санкт-Петербурга. Искусство скульпторов, при работе с камнем, превосходит все ожидаемые возможности.

3. *Металлы*. На планете Земля металлы выполняют особую роль – это основа современной цивилизации. Компьютерные системы, скоростные поезда, автомобили, суда и корабли в океане, самолёты и вертолеты в небе, космическая и строительная техника, энергетика, финансовая система и др. – их невозможно представить без металлов, которым придается определенная форма. Металлы можно обрабатывать, ковать, сжимать, обрабатывать, но первым этапом является получение литой заготовки из руды. Первым расплавленным металлом была медь, вернее её сплавы – бронзы.

Сначала использовались метеориты и самородки, а далее стало возможным получать металлы из руд. Искусство извлечения металлов из руд получило название «металлургия». Наиболее часто

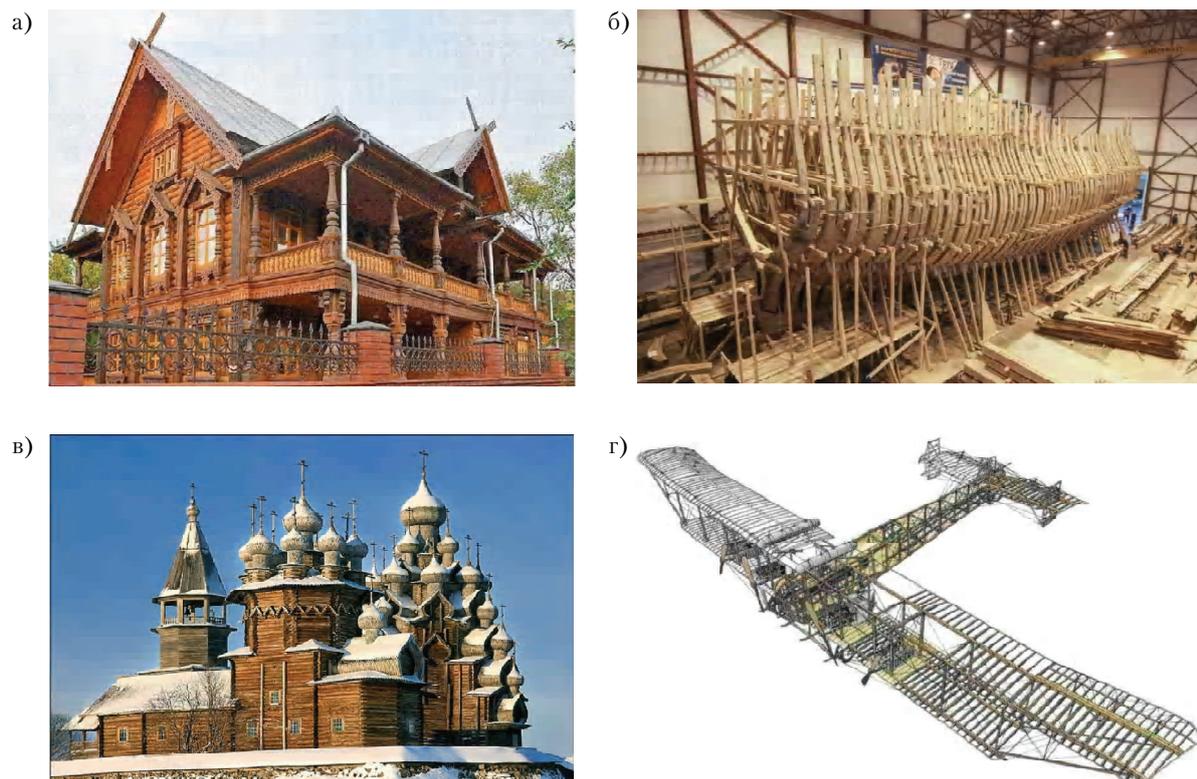


Рисунок 7 – Сооружения из древесины: а) дом купца Тетюшинова в Астрахани; б) верфь в Лахте корабля «Полтава»; в) музей-заповедник Кижи; г) «Илья Муромец» без полотняной обшивки.

понятие металл связывают с железом и его сплавами – сталью и чугуном. Возможности этих сплавов позволяют железу оставаться ему основой развития человечества несколько тысячелетий. Вернее – развитие человечества происходит благодаря развитию технологии получения и использования железа. Современная промышленность является результатом преобразования и использования железа. В ряду конструкционных материалов сплавы железа стоят на первом месте (90 % из всех металлов, применяемых в производстве) и не уступят его долгое время, несмотря на всё более широкое применение лёгких цветных металлов, полимерных и керамических материалов.

Некоторые сооружения, машины и агрегаты, изготовленные из железа и стали, приведены на рис. 9. Применение этого металла издавна было разнообразным, из него делали украшение, оружие, инструменты, сельскохозяйственный инвентарь, машины, средства передвижения, строили мосты, здания, использовали при добыче полезных ископаемых. К этому следует добавить возможность повторного использования стали – изношенный механизм можно переплавить и изготовить ещё один такой же или совсем другой. Технологии обработки стали универсальны, но имеют свои секреты, позволяя совершенствовать современную технику.

Основные отрасли, использующие сталь:

- строительство зданий, сооружений, мостов, тоннелей;
- металлургия – металлургические машины;
- горное дело – горные машины, буровая техника;
- сельское хозяйство – комбайны, культиваторы, сеялки;
- машиностроение – станки, роботы, технологические линии;
- автомобилестроение – от легковых до большегрузных автомобилей;
- железнодорожный транспорт – локомотивы, вагоны;
- авиастроение – самолёты, вертолёты, экранопланы;
- судостроение – сухогрузы, танкеры, паромы;
- тракторостроение и многое другое.

Если что-то невозможно изготовить из металла, то всё равно для этого используют машины и механизмы, изготовленные из стали.



Рисунок 8 – Объекты из камня: а) Петра, храм-мавзолей Эль-Хазне; б) Воронцовский дворец; в) памятник Петру I; г) трубка из нефрита – экспонат в мексиканском музее; д) Франческо Кейроло «Избавление от чар»; е) А. И. Тербенёв – атланты Эрмитажа.

Третий технологический уклад (1880–1930 гг.) получил название «Эпоха стали» (Вторая промышленная революция) и начался в 1875 году с изобретения бессемеровского процесса и строительства



Рисунок 9 – Изделия из железа и стали: а) железная колонна, Дели, Индия; б) башня Александра Гюстава Эйфеля; в) самые высокие здания; г) самый высокий мост Мило (Франция).

на базе конвертора Бессемера завода Edgar Thomson Steel Works в Питтсбурге. Эпоха продолжается по сей день.

4. Кирпич – первый искусственный строительный материал, позволяющий решать большое число строительных задач (рис. 10).

Разделение большого объекта на малые части – один из приёмов решения изобретательских задач. Решение этой задачи пять тысяч лет тому назад было настоящей революцией в строительстве и привело к развитию земледелия в Древнем Египте, в Месопотамии. Способ изготовления кирпичей и кирпичной кладки не менялся со времён Древнего Египта. Хотя на каждом историческом этапе технология изготовления совершенствовалась и развивалась. Существуют разные размеры кирпича, различные технологии его изготовления, но в целом процессы смешивания и подготовки материала, его формовки и обжига остались неизменными. Преимущества кирпича – прочность, плотность, износостойкость, морозостойкость, хорошая звукоизоляция, экологичность и др. подтверждается многолетним опытом применения в строительстве. Отдельно следует выделить огнеупорный кирпич, без которого невозможен целый ряд металлургических, энергетических, химических и др. технологий. Эта древняя и современная технология имеет применение на всех материках земного шара и развивается.

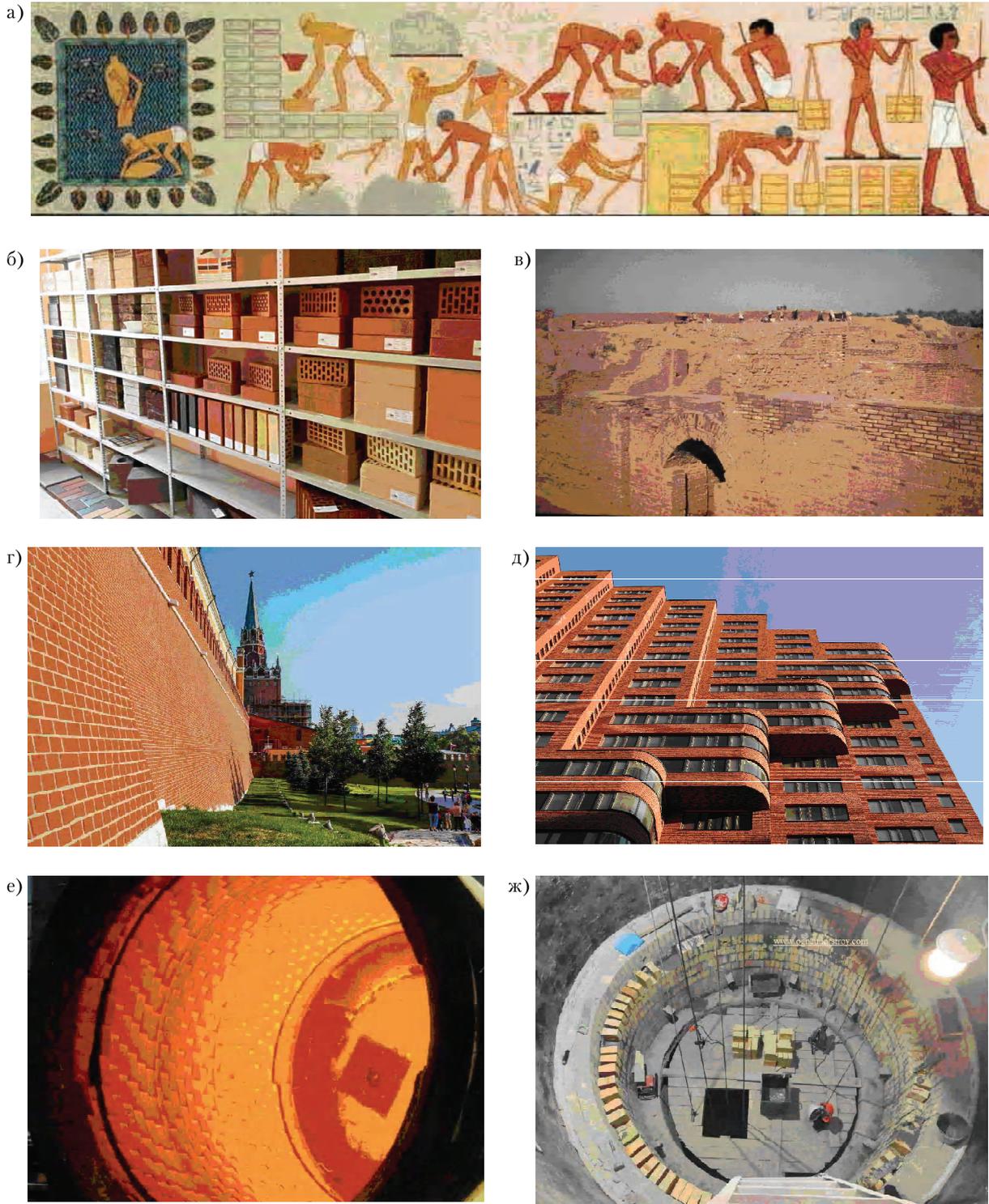


Рисунок 10 – Изделия из кирпича: а) изготовление кирпича в Древнем Египте; б) образцы современного кирпича; в) древний Вавилон; г) Кремлевская стена; д) кирпичная Москва; е) сталеразливочный ковш; ж) кирпичная футеровка доменной печи.

5. Технологии изготовления *керамических материалов и изделий из них* во многом соответствуют технологии производства кирпича. Наиболее ранняя керамика – это посуда. Современная керамика – это изделия машиностроения, приборостроения, авиационной промышленности, энергетики – изоляторы, полупроводниковые и сверхпроводящие материалы и др. Основные виды керамики – фарфор,

шамот, фаянс, майолика, карбиды вольфрама и кремния. Существует керамика карбидная, алюмооксидная, циркониевая, нитридная. Нанокерамика используется для производства изделий с особыми свойствами, заданными техническими условиями. Свойства пьезокерамики позволяют использовать её в акселерометрах – вибрационных датчиках. Армированная керамика – один из новых материалов.

6. *Бетон* – составная часть железобетона – основного композиционного материала мостов, небоскрёбов, монолитных каркасов и прочих сооружений. Уникальные свойства данного искусственного строительного материала позволяют его использовать в строительстве жилья, плотин, дорожного полотна, мостов, волнорезов и причалов, атомных и гидроэлектростанций и др.

Характеристики бетона, используемого для различных целей, существенно разнятся. Изготавливают его из вяжущего вещества (цемента, извести, гипса), воды, песка, наполнителей (гравий, щебень, керамзит, шлак), различных добавок (стальные опилки, пемза, туф), с помощью которых можно изменять свойства бетонной массы: морозостойкость, истираемость, вес, водонепроницаемость, жаростойкость, теплоизоляцию и др.

Бетон широко использовался в Древнем Риме. Патент на «римский цемент» получил в 1796 году Джеймс Паркер. Патент на портландцемент современного типа в 1824 году получил Джозеф Аспдин. В 1817 году Вика изобрёл цементный клинкер. Параллельно росту производства портландцемента происходило расширение использования цементных растворов и бетонных смесей в строительстве (рис. 11).

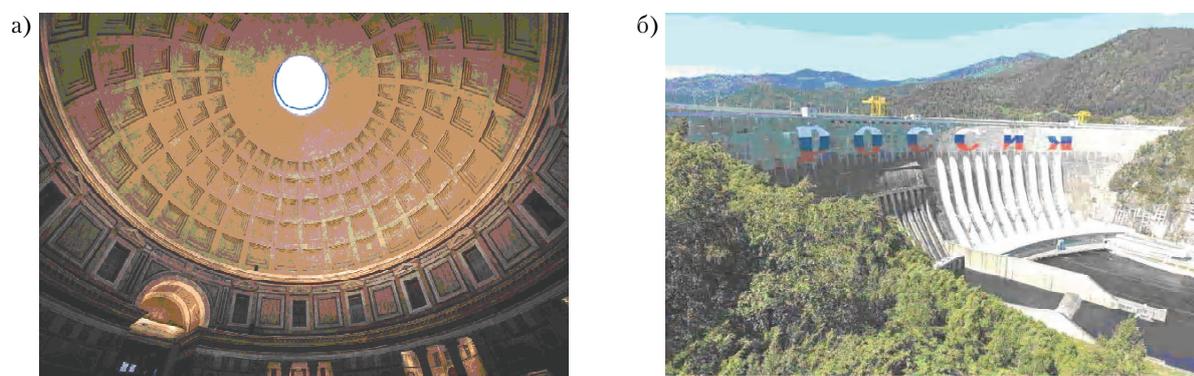
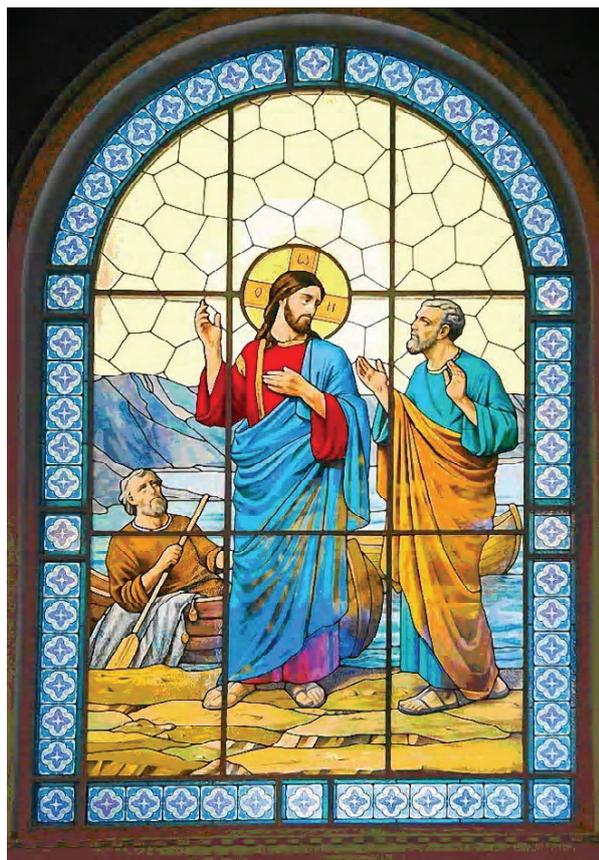


Рисунок 11 – Объекты, построенные из бетона: а) купол Пантеона выполнен из неармированного бетона; б) Саяно-Шушенская гидроэлектростанция.

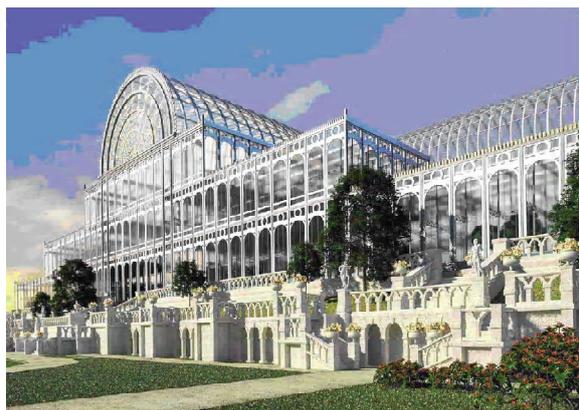
7. *Стекло* – прозрачный материал, имеющий аморфное строение, сочетающий свойства твёрдого тела и сверхвязкой жидкости. У стекла нет температуры плавления – есть температура размягчения. Существует природное стекло, но разглядеть в речном песке прозрачный материал – это не просто открытие, это то, что полностью изменило технологию строительства. Современные стеклянные фасады небоскрёбов уже никого не удивляют. Освоение технологии стекла требовало решения многих инженерных задач, из которых получение жидкого стекла не самая трудная. Долго стекло производилось ремесленным способом. Только в начале XX века появился способ механического производства оконного стекла.

Свойства стекла позволяют ему выдерживать давления морских глубин и холод космического пространства. В зависимости от основного компонента стекло бывает: оксидным, фторидным, сульфидным. Известно стекло: фосфатное, силикатное (содово-известковое; калийно-известковое; калийно-свинцовое), германатное, боросиликатное, фторидное, сульфидное, промышленное (строительное, техническое, электровакуумное, тарное, лабораторное, безопасное, оптическое, сортовое). Из стекла изготавливают посуду, оптику, лабораторные сосуды, лампы накаливания, витражи и др. Существует стекло: оконное плоское (листовое), автомобильное, стеклопакет, стеклоблоки, бронированное, кварцевое, стеклокерамика, свето- и фоточувствительное, стекловолокно, жидкое, свинцовое (хрусталь). Некоторые примеры применения стекла приведены на рис. 12.

8. *Пластик (пластмасса)* – получил самое широкое распространение в последнее время – это группа материалов синтетического происхождения из угля, природного газа, тяжёлых фракций нефти и др. Изменяя условия полимеризации, химики получают пластики с необходимыми свойствами: мягкие или твёрдые, прозрачные или непрозрачные и т. д. Лёгкий, относительно прочный, химически



а)



б)



в)

Рисунок 12 – Примеры применения стекла: а) витраж в Морском соборе святителя Николая Чудотворца в Кронштадте; б) хрустальный дворец, Лондон, 1851 год; в) рубиновые звёзды Кремля.

нейтральный, этот технологичный материал используется во всех сферах жизни, представляя основной компонент мусорных свалок из-за длительного времени распада. Современная цивилизация – это цивилизация пластика.

Изделия из пластмасс подразделяются на: листовые, слоистые, волокниты, литьевые массы, пресс-порошки. По типу полимерного связующего пластики подразделяются на: фенопласты, аминопласты, эпоксипласты. По внутренней структуре и свойствам пластики делятся на: термопласты и реактопласты.

Изделия из капрона, нейлона, силикона, синтетических тканей и эластомеров (каучук) во многом заменили естественные материалы и часто превосходят их по функциональным свойствам. В начале XXI века мировой объём годового выпуска полимерных материалов превысил объём выпуска всех металлов: железный век сменился веком полимеров.

9. *Композитные материалы* получают соединением двух и более компонентов, при этом образуются новые материалы с уникальными свойствами, отличными от свойств исходных компонентов. Обычно выделяют: полимерные композитные материалы; стеклопластики; углепластики; боропластики; органопластики; полимеры, наполненные порошками; текстолиты; композитные материалы с металлической матрицей и на основе керамики. Фанерный лист тоже пример композитного материала.

В составе композита принято выделять матрицу и наполнитель, выполняющий функцию армирования. В качестве наполнителей композитов, как правило, выступают углеродные или стеклянные волокна, а роль матрицы играет полимер. Использование композитов обычно позволяет уменьшить массу конструкции при сохранении или улучшении её механических характеристик.

При создании композитов на основе металлов в качестве матрицы применяют алюминий, магний, никель, медь и так далее. Наполнителем служат высокопрочные или тугоплавкие волокна, не растворяющиеся в основном металле частицы различной дисперсности. Композитные материалы

широко применяются в строительстве, авиации и космической технике, ракетостроении, машиностроении, судостроении, радиоэлектронике, производстве бытовых предметов, медтехники и спортивного инвентаря и др.

10. *Графен* – это один слой кристаллической решетки углерода толщиной в 1 атом, предполагается, что это материал будущего. Графен самый тонкий проводник с хорошей теплопроводностью, гибкостью и упругостью, на 97 % прозрачный, прочнее стали и алмаза. Сейчас идёт поиск области применения графена: электроника, куртки, аккумуляторы, теннисные ракетки, добавки к маслам. Возможности будущего: солнечные батареи, опреснители, гибкие дисплеи, сверхчувствительные микропроцессоры, элементы для беспилотников и космических ракет, умная одежда и сверхпрочные конструкции, например, космический лифт.

Пока его стоимость чрезмерно высока, в зависимости от способа получения может иметь различные свойства, пока не совсем понятно, какими должны быть эти свойства, массовое производство графена не налажено – требуется сложная технология производства.

Предполагается, что переход на нанотехнологии позволит получить недоступные ранее результаты. С этими технологиями инженеры знакомы давно – базовые принципы используются при производстве керамики, порошковой металлургии, востребованы в аддитивных технологиях. Более чем десятилетний опыт работы с нанотехнологиями не привёл к появлению прорывных результатов.

Анализ используемых материалов позволяет отследить закономерность, связанную с усложнением технологии их получения и использования в строительстве. Для строительной индустрии важны как способы получения того или иного материала, изготовления изделий из него, так и принципы использования материалов и изделий при возведении зданий и сооружений, включая применяемые машины и технологические решения.

ВЫВОДЫ

1. Концепция технологических укладов, отражая в целом современный уровень развития технологий, не отражает аспекты влияния на процесс развития общества таких элементов, как энергия и материалы.
2. Управление качеством строительной индустрии требует не только знания о свойствах современных материалов, но и о примерах применения эффективных технологических решений прошлого.
3. Современная строительная индустрия базируется на уже достигнутых технологиях, а также на развитии и расширении применения новых композиционных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томсон, Д. П. Предвидимое будущее / Джордж Томсон ; пер. с англ. Н. М. Макаровой ; общая ред. В. А. Алексеева ; предисл. акад. А. И. Берга. – Москва : Изд-во иностр. лит., 1958. – 176 с. – Текст : непосредственный.
2. Кондорсэ, Ж. А. Эскиз исторической картины прогресса человеческого разума / Ж. А. Кондорсэ ; пер. И. А. Шапиро ; под ред. и со вступительной ст. Ю. И. Семенова. – 3-е русское изд. – Москва : Гос. публичная ист. б-ка России, 2010. – 230 с. – ISBN 5-85209-244-1. – Текст : непосредственный.
3. Кондратьев, Н. Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения : избранные труды / Н. Д. Кондратьев. – Москва : Альма Матер : Акад. проект, 2015. – 638 с. – ISBN 978-5-8291-1879-2. – Текст : непосредственный.
4. Глазьев, С. Ю. Экономическая теория технического развития / С. Ю. Глазьев ; отв. ред. Д. С. Львов ; АН СССР, Центр. экон.-мат. ин-т. – Москва : Наука, 1990. – 230 с. – ISBN 5-02-011964-4. – Текст : непосредственный.
5. Львов, Д. С. Экономика развития / Д. С. Львов. – Москва : Экзамен, 2002. – 511 с. – ISBN 5-8212-0396-1. – Текст : непосредственный.
6. Шваб, К. Четвёртая промышленная революция / К. Шваб. – Москва : «Эксмо», 2016. – 138 с. – ISBN 978-5-699-90556-0. – Текст : непосредственный.
7. Липкин, Е. ИНДУСТРИЯ 4.0: Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции / Е. Липкин. – Москва : ООО «Остек-СМТ», 2017. – 224 с. – ISBN 978-5-9907248-2-2. – Текст : непосредственный.
8. Диамандис, Питер. Будущее быстрее, чем вы думаете. Как технологии меняют бизнес, промышленность и нашу жизнь / Питер Диамандис, Стивен Котлер. – Москва : «Манн, Иванов и Фербер», 2021. – 472 с. – Текст : непосредственный.
9. Ивин, А. А. Искусство правильно мыслить / А. А. Ивин ; 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Просвещение, 1990. – 240 с. – Текст : непосредственный.

Получена 30.12.2022

Принята 27.01.2023

В. О. ПЕНЧУК, В. А. СИДОРОВ
ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ БУДІВЕЛЬНОЇ ІНДУСТРІЇ
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У роботі на підставі аналізу використання зовнішньої енергії та матеріалів, що застосовуються в будівельній індустрії, визначена закономірність, пов'язана з ускладненням технології виробництва і збільшенням питомої енергії для будівництва. Показано послідовність виникнення та розвитку технологій, що становлять основу сучасної цивілізації. Виконано історичну класифікацію застосування різних видів енергії та матеріалів у будівництві. Встановлено неповну відповідність концепції технологічних укладів у таких аспектах впливу на процес розвитку суспільства, як енергія та матеріали. Аналіз використовуваних матеріалів дозволив відстежити закономірність, пов'язану з ускладненням технології їх отримання і використання в будівництві. Управління якістю матеріалів і виробів будівельної індустрії та побудова прогнозних моделей її розвитку вимагає знань про властивості сучасних будівельних матеріалів і виробів, що базуються на ефективних технологічних рішеннях минулого.

Ключові слова: будівельна індустрія, енергія, будівельні матеріали, історичний розвиток.

VALENTIN PENCHUK, VLADIMIR SIDOROV
HISTORICAL ASPECTS OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY
DEVELOPMENT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Based on the analysis of the use of external energy and materials used in the construction industry, a pattern is determined associated with the complexity of production technology and the increase in specific energy for the construction industry. The sequence of the emergence and development of technologies that form the basis of modern civilization is shown. The historical classification of the use of various types of energy and materials in construction has been completed. The concept of technological structures in such aspects of influencing the development of society as energy and materials is not fully consistent. The analysis of the materials employed made it possible to track the pattern associated with the complication of the technology of their production and use in construction. Managing the quality of manufactured materials and products of the construction industry and building forecast models for its development requires knowledge about the properties of modern construction materials and products based on effective technological solutions of the past.

Keywords: construction industry, energy, building materials, historical development.

Пенчук Валентин Алексеевич – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: совершенствование и модернизация наземных транспортно-технологических машин.

Сидоров Владимир Анатольевич – доктор технических наук, доцент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: техническое диагностирование механического оборудования промышленных предприятий.

Пенчук Валентин Олексійович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів і засобів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: удосконалення та модернізація наземних транспортно-технологічних машин.

Сидоров Володимир Анатолійович – доктор технічних наук, доцент кафедри наземних транспортно-технологічних комплексів і засобів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: технічне діагностування механічного обладнання промислових підприємств.

Penchuk Valentin – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of Land Transport and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement and modernization of ground transport and technological machines.

Sidorov Vladimir – D. Sc. (Eng.), Associate Professor, Land Transport and Technological Complexes and Facilities Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technical diagnostics of mechanical equipment of industrial enterprises.

EDN: YFISMT
УДК 678.686**В. В. ЗОЛОТАРЁВА^а, Л. Д. КАРАТ^б, Ю. С. КОЧЕРГИН^а**^а ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени
Михаила Туган-Барановского», ^б ГП «УкрГосНИИпластмасс»

РЕГУЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ С ПОМОЩЬЮ МОНОГЛИЦИДИЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Аннотация. Кислотнокатализируемой конденсацией спиртов с эпихлоргидрином получены моноэпоксидные соединения, которые представляют собой 2,3-эпоксипропиловые эфиры циклогексанола, бензилового спирта и 2-этоксиэтанола. По разбавляющей способности они превосходят широко применяемые на практике фенилглицидиловый эфир (ЭФГ) и крезилглицидиловый эфир марки УП-616. Показано, что свойства композитных материалов зависят как от типа разбавителя, так и от режима отверждения (без подогрева и с термообработкой при 120 °С). Одни разбавители способствуют увеличению параметров прочности при растяжении и деформации при разрыве, а также адгезионной прочности клеевых соединений при сдвиге, другие – модуля упругости и адгезионной прочности при отрыве. При этом наилучшее сочетание свойств обеспечивают 2,3-эпоксипропиловые эфиры циклогексанола и 2-этоксиэтанола. Синтезированные эпоксидные разбавители целесообразно использовать для получения маловязких эпоксидных композиций, в частности для производства заливочных материалов, лаков, не содержащих растворителей, материалов для покрытий полов с улучшенным комплексом деформационно-прочностных и адгезионных свойств.

Ключевые слова: эпоксидные композиты, моноглицидиловые разбавители, эпоксипропиловые эфиры циклогексанола, бензилового спирта и 2-этоксиэтанола, режим отверждения, деформационно-прочностные и адгезионные свойства.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Несмотря на сравнительно малый объём производства (немногим более 3 млн тонн), композитные материалы на основе эпоксидных смол приобрели значение особого класса материалов с необычайно широкими возможностями применения, что обусловлено их специфическими и одновременно почти универсальными свойствами. В технологии эпоксидных смол разбавители применяются преимущественно для снижения вязкости систем. При этом определенные типы разбавителей, изменяя свойства отвержденных смол, являются модификаторами, которые могут повышать или снижать температуру стеклования, избирательно повышать химстойкость, изменять электрические свойства и ударную вязкость [1–6]. С помощью разбавителей могут быть снижены или увеличены время жизни композиции и температура экзотермической реакции [3, 4, 7, 8]. Чаще всего на практике для регулирования технологических свойств эпоксидных композиций без заметного ухудшения их физико-механических свойств применяются так называемые активные разбавители – низковязкие моно- и диглицидиловые соединения. Наибольшей разбавляющей способностью обладают моноэпоксидные разбавители, простейшими из которых являются моноэпоксиды – глицидиловые эфиры фенола (ЭФГ), крезол (УП-616), бутанола (УП-624), спиртов C₁₂–C₁₄, неодакановой кислоты (Sandura E-10). Кроме того, они, как правило, повышают жизнеспособность композиций, улучшают их смачивающую способность и дают возможность увеличить количество вводимого наполнителя. В то же время моноэпоксидные разбавители отличаются повышенными летучестью и токсичностью, что в значительной мере ухудшает санитарно-гигиенические и экологические условия работы с композициями, в которых они присутствуют. Поэтому поиск новых представителей этого класса соединений представляет несомненный интерес.



АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

По химическому строению и активности относительно эпоксидных смол и отвердителей разбавители можно разделить на три типа: нереакционноспособные, реакционноспособные, содержащие эпоксидные группы, и реакционноспособные, содержащие неэпоксидные функциональные группы.

Как правило, нереакционноспособные (например, дибутилфталат) разбавители при низких концентрациях оказывают незначительное влияние на физико-механические свойства. По мере повышения концентрации такого разбавителя обычно ухудшаются свойства отвержденной системы. При этом часть разбавителя может выделяться в процессе отверждения, что приводит к увеличению усадки и ухудшению адгезии. Физическая сущность действия таких разбавителей заключается в повышении подвижности макромолекул полимеров вследствие ослабления межмолекулярных физических связей, ограничивающих кинетическую гибкость цепей блокированием полярных групп молекулами разбавителя, выполняющего, по существу, функцию пластификатора, или вследствие разделения ими цепей или агрегатов макромолекул [9–11]. Поэтому такие разбавители (пластификаторы), как правило, снижают модуль упругости, механическую прочность и несколько увеличивают разрывное удлинение полимеров в стеклообразном состоянии. Обратный эффект изменения этих показателей при введении значительных доз (10...30 %) пластификаторов получил название «антипластификация» [12].

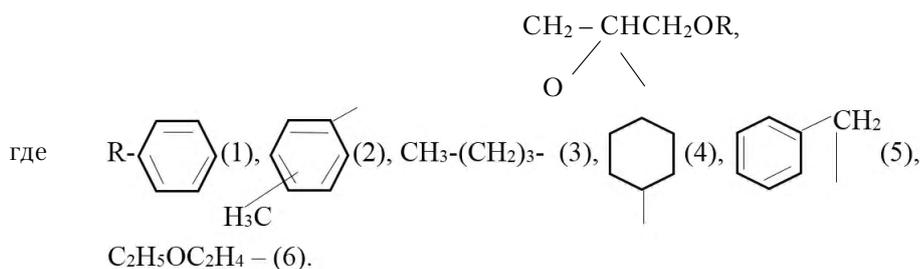
Реакционноспособные неэпоксидные разбавители представляют собой в частности низковязкие отвердители, а также соединения, которые могут реагировать с отвердителями, а не с эпоксидными смолами.

С целью регулирования вязкости и физических свойств полимеров могут быть использованы ди- или полиэпоксидные реакционноспособные разбавители. При этом такие разбавители обычно снижают температуру стеклования отвержденных систем [13–15].

Целью данной работы является синтез новых эпоксидных разбавителей и исследование их влияния на физико-механические и адгезионные свойства полимерных композиций.

Методология

Моноэпоксидные соединения были получены кислотнокатализируемой конденсацией спиртов с эпихлоргидрином (среда – избыток протонодонора) с последующим удалением избытка спирта и обработкой хлоргидриновых производных щелочью (в инертном растворителе). Они представляют собой 2,3-эпоксипропиловые эфиры циклогексанола, бензилового спирта и 2-этоксиэтанола (соответственно №№ 4, 5 и 6 в таблице). Для сравнения использовали также промышленные разбавители марок – ЭФГ (фенилглицидиловый эфир), УП-616 (крезилглицидиловый эфир) и УП-624 (бутил- глицидиловый эфир). Это соответственно соединения под номерами 1, 2 и 3.



В качестве эпоксидной смолы была использована промышленная диановая смола марки Epiko-te828 (массовая доля эпоксидных групп, 22,8 %, молекулярная масса 380). В качестве отвердителя эпоксидной смолы использовали диэтилентриамин ДЭТА. Отверждение проводили по режимам: 20 °С/168 ч (режим I) и 20 °С/24 ч + 120 °С/3 ч (режим II) (таблица).

Предел прочности при растяжении σ_p и деформацию при разрыве ϵ_p измеряли на динамометре типа Поляни при скорости растяжения $3,83 \cdot 10^{-5}$ м/с на пленочных образцах толщиной 100–150 мкм. Модуль упругости (E) рассчитывали по наклону начального участка кривой $\sigma - \epsilon$. Мерой работы разрушения (A_p) служила площадь под кривой растяжения $\sigma - \epsilon$. Плёнки толщиной 100...150 мкм получали при отверждении полимерных композиций между двумя полированными поверхностями металлических плит, покрытых тонким слоем антиадгезива. Адгезионную прочность при сдвиге (τ_b) и отрыве ($\sigma_{отр}$) определяли по ГОСТ 14759-69 и 14760-69, соответственно.

Таблица – Характеристики моноэпоксидных разбавителей

Показатели свойств	R					
	1	2	3	4	5	6
Плотность, г/см ³ , 25 °С	1,108	1,060	0,900	0,993	1,070	1,026
Массовая доля эпоксидных групп, %	26,7	23,0	26,0	27,4	24,0	25,6
Содержание органического хлора, %	2,50	1,00	1,50	1,10	0,23	0,28
Динамическая вязкость, Па·с(·10 ³), 25 °С	5,5	6,0	1,5	3,7	4,4	3,3

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Из данных таблицы видно, что по разбавляющей способности, определяемой величиной динамической вязкости, вновь синтезированные разбавители превосходят широко применяемые на практике фенилглицидиловый эфир (ЭФГ) и крезилглицидиловый эфир марки УП-616, однако несколько уступают бутилглицидиловому эфиру марки УП-624.

Как следует из данных рис. 1–6, свойства композитных материалов зависят как от типа разбавителя, так и от режима отверждения (без подогрева и с термообработкой при 120 °С). При отверждении по режиму I введение промышленных разбавителей УП-616 и УП-624 обуславливает (рис. 1) снижение σ_p , а при использовании ЭФГ прочность, наоборот, возрастает. Влияние вновь синтезированных разбавителей на параметр σ_p также различно. Для разбавителя № 5 прочность уменьшается, а для разбавителей № 4 и № 6 увеличивается. Особенно значителен эффект для 2,3-эпоксипропилового эфира 2-этоксиэтанола, введение которого способствует увеличению σ_p на 30 % относительно исходного образца (не содержащего разбавитель). В случае композитов, отвержденных с подогревом (режим II), для всех промышленных разбавителей и № 5 прочность уменьшается, а для разбавителей № 4 и № 6 наблюдается весьма ощутимый рост σ_p (соответственно на 38 и 27 %). Деформация при разрыве ϵ_p (рис. 2) возрастает для всех исследованных разбавителей в случае отверждения образцов по режиму I. В наибольшей мере это проявляется для композитных материалов, содержащих разбавитель № 6. В случае образцов, отвержденных по режиму II, величина ϵ_p для всех разбавителей ниже почти в 2 раза, чем у исходного полимера. Исключение составляет только образец, содержащий разбавитель № 6, для которого не наблюдается снижение ϵ_p .

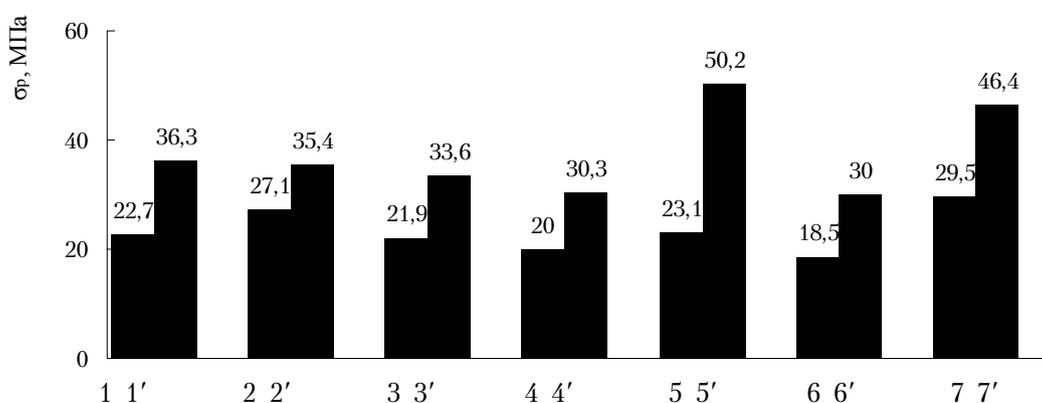


Рисунок 1 – Зависимость прочности при растяжении от химической природы моноэпоксидных разбавителей для композитов на основе исходной эпоксидной смолы (1, 1') и содержащей 20 масс. ч. разбавителя № 1 (2, 2'), № 2 (3, 3'), № 3 (4, 4'), № 4 (5, 5'), № 5 (6, 6') и № 6 (7, 7'). Образцы отверждены по режимам 20 °С/168 ч (1–7) и 20 °С/24 ч + 120 °С/3 ч (1'–7').

Работа разрушения материала A_p выше, чем у исходного образца, для всех композитов, содержащих разбавитель, в случае отверждения по режиму I. Для образцов, отвержденных по режиму II, введение промышленных разбавителей и соединения № 5 приводит к значительному снижению A_p (более чем в 2 раза). В то же время при использовании разбавителей № 4 и № 6 удается даже несколько повысить данный параметр.

Во многом аналогичная картина наблюдается для показателя адгезионной прочности при сдвиге клеевых соединений, выполненных с применением исследуемых композиций (рис. 4). Величина τ_b

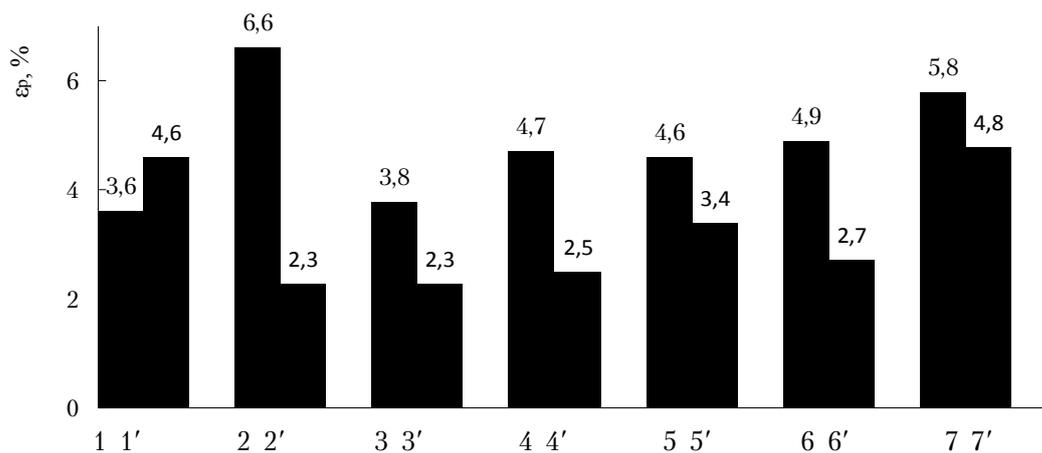


Рисунок 2 – Зависимость деформации при разрыве от химической природы моноэпоксидных разбавителей для композитов на основе исходной эпоксидной смолы (1, 1') и содержащей 20 масс. ч. разбавителя № 1 (2, 2'), № 2 (3, 3'), № 3 (4, 4'), № 4 (5, 5'), № 5 (6, 6') и № 6 (7, 7'). Образцы отверждены по режимам 20 °С/168 ч (1–7) и 20 °С/24 ч + 120 °С/3 ч (1'–7').

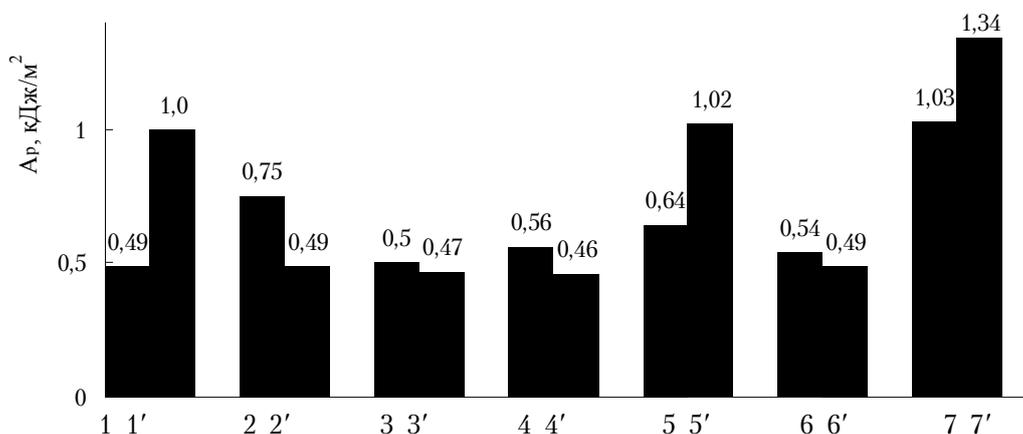


Рисунок 3 – Зависимость работы разрушения материала от химической природы моноэпоксидных разбавителей для композитов на основе исходной эпоксидной смолы (1, 1') и содержащей 20 масс. ч. разбавителя № 1 (2, 2'), № 2 (3, 3'), № 3 (4, 4'), № 4 (5, 5'), № 5 (6, 6') и № 6 (7, 7'). Образцы отверждены по режимам 20 °С/168 ч (1–7) и 20 °С/24 ч + 120 °С/3 ч (1'–7').

для всех композиций, содержащих разбавители, выше, чем у исходного образца (от 37,1 % при использовании крезилглицидилового эфира до 60,2 % при введении разбавителя № 4). В случае отверждения по режиму II у всех разбавленных композиций, кроме содержащих разбавители № 4 и № 6, адгезионная прочность заметно ниже, чем у исходного материала.

Как следует из рис. 5, модуль упругости для непрогретых образцов возрастает для разбавителей №№ 1, 2, 4, 6 и снижается для разбавителей №№ 3 и 5. Наибольшее увеличение E наблюдается для разбавителей № 6 и № 1 (на 23,1 и 19,2 %, соответственно), а снижение (на 19,2 %) – для разбавителя № 5. В случае термообработанных образцов повышение модуля имеет место при введении всех исследуемых разбавителей, кроме 2,3-эпоксипропилового эфира бензилового спирта (№ 5). В наибольшей степени увеличение E , как и в случае непрогретых образцов, происходит при добавлении ЭФГ и 2,3-эпоксипропилового эфира 2-этоксиэтанола (соответственно на 34,0 и 23,7 %). Уменьшение E наблюдается только при использовании разбавителя № 5 (на 13,4 %).

При добавлении разбавителей адгезионная прочность при отрыве клеевых соединений (рис. 6) для всех рецептур, отвержденных по режиму I, существенно ниже, чем у исходного образца, не содержащего разбавитель. При этом уровень $\sigma_{отр}$ для всех образцов, содержащих разбавители, примерно одинаков. Исключение составляет клеевое соединение, выполненное на композиции, содержащей

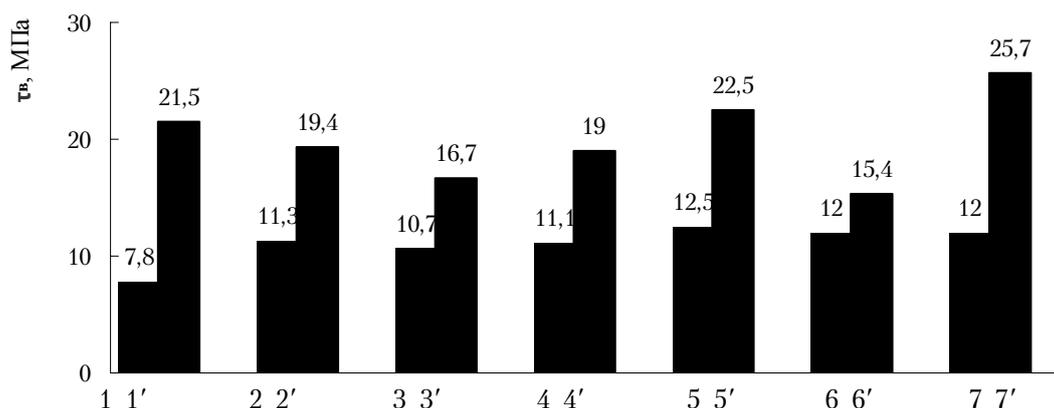


Рисунок 4 – Зависимость адгезионной прочности при сдвиге от химической природы моноэпоксидных разбавителей для композитов на основе исходной эпоксидной смолы (1, 1') и содержащей 20 масс. ч. разбавителя № 1 (2, 2'), № 2 (3, 3'), № 3 (4, 4'), № 4 (5, 5'), № 5 (6, 6') и № 6 (7, 7'). Образцы отверждены по режимам 20 °С/168 ч (1–7) и 20 °С/24 ч + 120 °С/3 ч (1'–7').

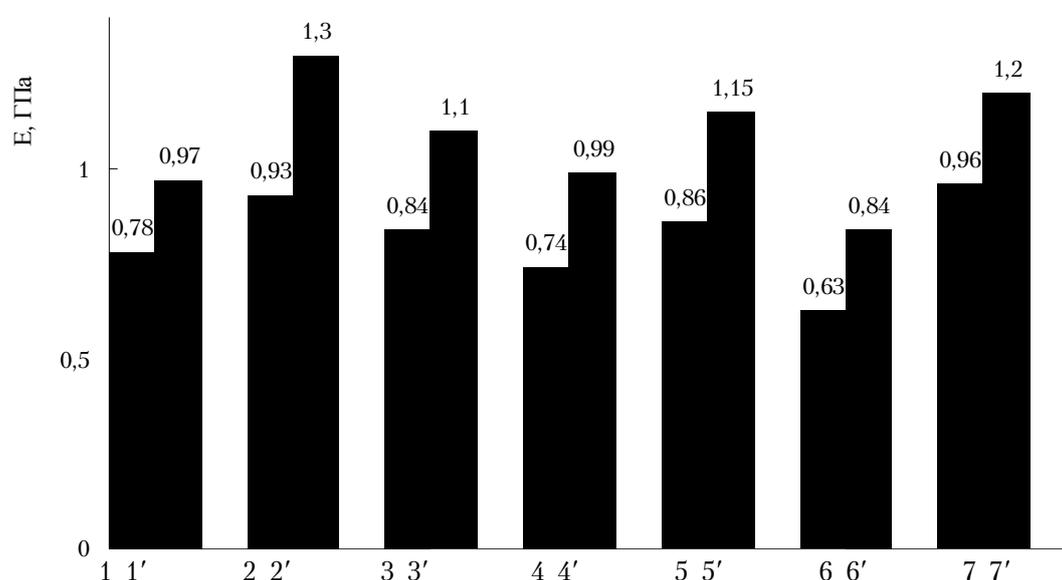


Рисунок 5 – Зависимость модуля упругости от химической природы моноэпоксидных разбавителей для композитов на основе исходной эпоксидной смолы (1, 1') и содержащей 20 масс. ч. разбавителя № 1 (2, 2'), № 2 (3, 3'), № 3 (4, 4'), № 4 (5, 5'), № 5 (6, 6') и № 6 (7, 7'). Образцы отверждены по режимам 20 °С/168 ч (1–7) и 20 °С/24 ч + 120 °С/3 ч (1'–7').

разбавитель № 2. При добавлении последнего $\sigma_{отр}$ уменьшается почти в 3 раза. Прогретые образцы, кроме содержащих ЭФГ, также характеризуются меньшими значениями адгезионной прочности $\sigma_{отр}$, чем у исходного образца, но разница существенно меньше по сравнению с непрогретыми. При этом вновь синтезированные разбавители обеспечивают значительно больший уровень по сравнению с традиционными разбавителями УП-616 и УП-624.

С учетом величин адгезионной прочности и деформационно-прочностных характеристик (в частности работы разрушения) наиболее перспективными для применения в технологии эпоксидных композитов являются разбавители № 4 и № 6, т. е. 2,3-эпоксипропиловые эфиры циклогексанола и 2-этоксиэтанола.

Представленные результаты позволяют рекомендовать синтезированные нами эпоксидные разбавители для получения низковязких эпоксидных композиций (что особенно важно при производстве заливочных материалов, лаков, не содержащих растворителей, покрытий для полов и др.) с улучшенным комплексом деформационно-прочностных и адгезионных свойств.

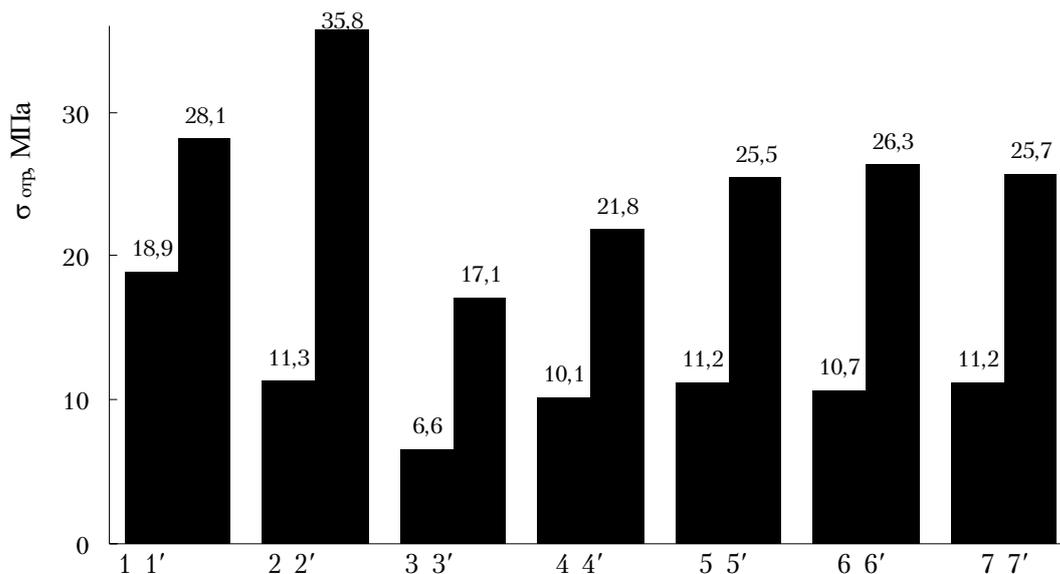


Рисунок 6 – Зависимость адгезионной прочности при равномерном отрыве от химической природы моноэпоксидных разбавителей для композитов на основе исходной эпоксидной смолы (1, 1') и содержащей 20 масс. ч. разбавителя № 1 (2, 2'), № 2 (3, 3'), № 3 (4, 4'), № 4 (5, 5'), № 5 (6, 6') и № 6 (7, 7'). Образцы отверждены по режимам 20 °С/168 ч (1–) и 20 °С/24 ч + 120 °С/3 ч (1'–7').

ВЫВОДЫ

Кислотнокатализируемой конденсацией спиртов с эпихлоргидрином (среда – избыток протоно-донора) с последующим удалением избытка спирта и обработкой хлоргидриновых производных щелочью (в инертном растворителе) получены моноэпоксидные соединения, которые представляют собой 2,3-эпоксипропиловые эфиры циклогексанола, бензилового спирта и 2-этоксиэтанола. Исследование их влияния в качестве активных разбавителей эпоксидных смол на деформационно-прочностные и адгезионные характеристики показало, что свойства композитных материалов зависят как от типа разбавителя, так и от режима отверждения (без подогрева и с термообработкой при 120 °С). Одни разбавители способствуют увеличению параметров прочности при растяжении и деформации при разрыве, а также адгезионной прочности при сдвиге, другие – адгезионной прочности при отрыве и модуля упругости. При этом наилучшее сочетание свойств обеспечивают 2,3-эпоксипропиловые эфиры циклогексанола и 2-этоксиэтанола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабин, А. Н. Связующие для полимерных композиционных материалов нового поколения / А. Н. Бабин. – Текст : непосредственный // Труды ВИАМ. – 2013. – № 4. – С. 1–24.
2. Давлетшина, И. Р. Перспективы рынка эпоксидных композиций / И. Р. Давлетшина, А. А. Шайдуллина. – Текст : непосредственный // Вектор экономики. – 2018. – № 4 (22). – С. 21–29.
3. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции / Ю. С. Зайцев, Ю. С. Кочергин, М. К. Пактер, Р. В. Кучер. – Киев : Наукова думка, 1990. – 200 с. – Текст : непосредственный.
4. Ли, Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Х. Ли, К. Невилл. – Москва : Энергия, 1973. – 416 с. – Текст : непосредственный.
5. Связующие для полимерных композиционных материалов, применяемых при строительстве быстровозводимых мостовых сооружений / А. И. Ткачук, А. Г. Загора, К. И. Донецкий, А. А. Евдокимов. – Текст : непосредственный // Труды ВИАМ. – 2020. – № 12. – С. 67–74.
6. Panda, Dr. H. Epoxy Resins Technology Handbook / Dr. H. Panda. – [S. l.] : Asia Pacific Business Press Inc., 2017. – 576 p. – ISBN 8178331748. – Текст : непосредственный.
7. Еселев, А. Д. Сырьевая база клеев и лакокрасочных материалов / А. Д. Еселев, В. А. Бобылев. – Текст : непосредственный // Клеи. Герметики. Технологии. – 2012. – № 4. – С. 25–31.
8. Исследование винилокса в качестве разбавителя эпоксидных композиций / Ю. С. Кочергин, Т. И. Григоренко, Н. А. Недоля, Е. Э. Самойлова. – Текст : непосредственный // Вопросы химии и химической технологии. – 2010. – № 4. – С. 80–84.

9. Мостовой, А. С. Рецептурная модификация эпоксидных смол с использованием новых высокоэффективных пластификаторов / А. С. Мостовой. – Текст : непосредственный // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 7. – С. 66–70.
10. Барштейн, Р. С. Пластификаторы для полимеров / Р. С. Барштейн, В. И. Кириллович, Ю. Е. Носовский. – Москва : Химия, 1982. 216 с. – Текст : непосредственный.
11. Хозин, В. Г. Усиление эпоксидных полимеров / В. Г. Хозин. – Казань : Изд-во ПИК «Дом печати», 2004. – 446 с. – Текст : непосредственный.
12. Козлов, В. П. Физико-химические основы пластификации полимеров / В. П. Козлов, С. П. Папков – Москва : Химия, 1981. – 224 с. – Текст : непосредственный.
13. Реологические свойства эпоксидных олигомеров с активными разбавителями – лапроксидами и лапролатом / А. Я. Нагорная, Д. А. Трофимов, С. И. Шалгунов [и др.]. – Текст : непосредственный // Клеи. Герметики. Технологии. – 2020. – № 7. – С. 21–27.
14. Петрова, А. П. Основные компоненты клеев и их вклад в свойства клеевых соединений / А. П. Петрова. – Текст : непосредственный // Клеи. Герметики. Технологии. – 2016. – № 8. – С. 34–43.
15. Петрова, А. П. Связующие для полимерных композиционных материалов на основе эпоксидных олигомеров / А. П. Петрова, Р. Р. Мухаметов. – Текст : непосредственный // Клеи. Герметики. Технологии. – 2018. – № 7. – С. 21–27.

Получена 29.12.2022

Принята 27.01.2023

В. В. ЗОЛОТАРЬОВА ^a, Л. Д. КАРАТ ^b, Ю. С. КОЧЕРГІН ^a
РЕГУЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ МОНОГЛІЦИДИЛОВИХ СПОЛУК

^a ДО ВПО «Донецький національний університет економіки та торгівлі імені
Михайла Туган-Барановського», ^b ДП «УкрдержНДІпластмас»

Анотація. Кислотнокаталізованою конденсацією спиртів з епіхлоргідринотримани моноепоксидні сполуки, які являють собою 2,3-епоксипропілові ефіри циклогексанолу, бензилового спирту та 2-етоксигетанолу. За здатністю розбавляти вони перевершують широко застосовувані на практиці фенілгліцидиловий ефір (ЕФГ) і крезилгліцидиловий ефір марки УП-616. Показано, що властивості композитних матеріалів залежать як від типу розріджувача, так і від режиму затвердіння (без підігріву і з термообробкою при 120 °С). Одні розріджувачі сприяють збільшенню параметрів міцності при розтягуванні та деформації при розриві, а також адгезійної міцності клейових сполук при зсуві, інші – модуля пружності та адгезійної міцності при відриві. При цьому найкраще поєднання властивостей забезпечують 2,3-епоксипропілові ефіри циклогексанолу та 2-етоксигетанолу. Синтезовані епоксидні розбавлювачі доцільно використовувати для отримання малов'язких епоксидних композицій, зокрема, для виробництва заливних матеріалів, лаків, що не містять розчинників, матеріалів для покриттів підлог з поліпшеним комплексом деформаційно-міцнісних та адгезійних властивостей.

Ключові слова: епоксидні композити, моногліцидилові розбавлювачі, епоксипропілові ефіри циклогексанолу, бензилового спирту та 2-етоксигетанолу, режим затвердіння, деформаційно-міцнісні та адгезійні властивості.

VIKTORIYA ZOLOTAREVA ^a, LEONID KARAT ^b, YURIY KOCHERGIN ^a
CONTROL OF THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES USING
MONOGLYCIDIL COMPOUNDS

^a State Organization of Higher Professional Education «Donetsk National University of
Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky»,

^b SE «UkrghosNIPlastmass»

Abstract. Acid-catalyzed condensation of alcohols with epichlorohydrin produced monoepoxide compounds, which are 2,3-epoxypropyl esters of cyclohexanol, benzyl alcohol and 2-ethoxyethanol. In terms of dilution ability, they surpass the widely used phenylglycidyl ether (EFG) and cresylglycidyl ether of the UP-616 brand. It is shown that the properties of composite materials depend both on the type of diluent and on the curing mode (without heating and with heat treatment at 120 °C). Some diluents contribute to an increase in the parameters of tensile strength and deformation at break, as well as the adhesive strength of adhesive joints during shear, others – the modulus of elasticity and adhesive strength at separation. At the same time, the best combination of properties is provided by 2,3-epoxypropyl ethers of cyclohexanol and 2-ethoxyethanol. The synthesized epoxy diluents are suitably used for the preparation of low viscosity epoxy

compositions, in particular for the production of filler materials, solvent-free varnishes, flooring materials with an improved complex of deformation-strength and adhesion properties.

Keywords: epoxy composites, monoglycidyl diluents, epoxypropyl ethers of cyclohexanol, benzyl alcohol and 2-ethoxyethanol curing mode, deformation-strength and adhesive properties.

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

Карат Леонид Дмитриевич – кандидат химических наук; ведущий научный сотрудник ГП «УкрГосНИИпласт-масс». Научные интересы: химия и технология олигомерных и высокомолекулярных соединений.

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

Золотарьова Вікторія Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства ДО ВПО «Донецький національний університет економіки та торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: товарознавство полімерних та композиційних матеріалів.

Карат Леонід Дмитрович – кандидат хімічних наук, провідний науковий співробітник ДП «УкрдержНДІпласт-мас». Наукові інтереси: хімія та технологія олигомерних та високомолекулярних сполук.

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

Zolotarova Viktoriya – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Commodity Science Department, State Organization of Higher Professional Education «Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky». Scientific interests: merchandising of polymeric and composite materials.

Karat Leonid – Ph. D. (Chemical), Leading Researcher SE «UkrGosNIPlastmass». Scientific interests: chemistry, technology, physico-mechanics of polymer and composite materials.

Kochergin Yuriy – D. Sc. (Eng.), Associate Professor, Commodity Science Department, State Organization of Higher Professional Education «Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky». Scientific interests: chemistry, technology, physico-mechanics of polymer and composite materials.

EDN: ALPSCA

УДК 691.335

Д. Ю. БУКИНА, Н. М. ЗАЙЧЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ЩЕЛОЧНЫЕ ВЯЖУЩИЕ И БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭС

Аннотация. Исследованы составы и свойства щелочных цементов и бетонов из золошлаковых отходов тепловых электростанций (ТЭС). Приведены результаты сравнительного исследования зависимости активности щелочных вяжущих от вида золошлакового отхода, концентрации раствора щелочи и длительности твердения в нормальных условиях, при пропаривании и автоклавировании. Установлено, что при твердении в нормальных условиях активность вяжущих незначительна и составляет 2,5...12,0 МПа. При тепловлажностной обработке, особенно автоклавной, она существенно возрастает. Активность щелочных вяжущих на основе шлаков ТЭС в 1,5–2,0 раза превышают активность аналогичных составов на основе золы-уноса. На основе разработанных вяжущих можно получать пропаренные и автоклавированные бетоны соответственно марок 100-200 и 300-400. Выполнено исследование гидрофизических свойств бетонов (усадка, набухание при водонасыщении, кинетика водопоглощения, капиллярный подсос и морозостойкость).

Ключевые слова: щелочные бетоны, пропаривание, автоклавирование, прочность, усадка, набухание при водонасыщении, водопоглощение, капиллярный подсос.

ФОРМУЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Одним из многотоннажных отходов промышленности Донбасса являются золошлаковые отходы тепловых электростанций (ТЭС). На шести ТЭС Донецкой области при работе на полную мощность ежегодно образуется около 6 млн тонн золошлаковых отходов. Максимальный уровень утилизации их в конце и начале XX века не превышает 4...5 %.

Отвалы золошлаковых материалов занимают большие площади, а их содержание требует значительных эксплуатационных затрат, которые влияют на повышение себестоимости производства энергоносителей. Они являются источником загрязнения окружающей среды, представляют опасность для здоровья населения и угрозу растительному и животному миру близлежащих районов.

Исследование направлено на разработку технологии изготовления бетонных мелкоштучных изделий (кирпич рядовой, плиты бетонные тротуарные, камни бетонные стеновые и т. п.), сборных бетонных и железобетонных конструкций с потенциальным использованием золошлаковых отходов до 98,0...98,5 % по массе, что существенно увеличит уровень их утилизации, снизит себестоимость продукции на 20...40 %.

Цель исследования – разработка технологии получения щелочных цементов и бетонов на основе золошлаковых отходов ТЭС путем установления закономерностей влияния их вида (зола, шлак) на процессы синтеза прочности при различных условиях твердения.

Задачи исследований:

- обосновать возможность получения двухкомпонентных вяжущих состава: «золошлаковый отход ТЭС и щелочной компонент»;
- исследовать зависимость активности вяжущих из дисперсных зол-уноса и молотого шлака ТЭС, затворенных растворами щелочного компонента различной концентрации и условий твердения;
- установить зависимость прочности бетонов от расхода щелочных золошлаковых цементов, способа формирования и условий твердения.



ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Теоретические предпосылки исследований

Новым направлением широкого применения зол и шлаков ТЭС может стать производство бетонов на основе щелочных цементов (аналоги шлакощелочных). Расход золошлаков в них может достигать 98,5 %. Теоретические основы таких цементов разработаны в 1960–1980 годы профессором В. Д. Глуховским. Щелочные цементы и бетоны подробно изучены в работах отечественных (П. В. Кривенко, Р. Ф. Рунова, Е. К. Пушкарева, А. Н. Ефремов, В. И. Гоц) и зарубежных ученых (J. Davidovits, A. Fernandez-Jimenez, A. Palomo). Одними из основных структурообразующих соединений этих цементов являются щелочные гидроалюмосиликаты – аналоги природных цеолитов. Их синтез происходит при взаимодействии раствора щелочного компонента (ЩК) с дисперсными аморфными алюмосиликатами. За рубежом щелочные цементы получили название – геополимерных [1–4].

Зола-уноса по структуре существенно отличается от шлака ТЭС. В золе-уноса до 50 % материала закристаллизовано, в то время как шлак жидкого удаления на 100 % остеклован (рис. 1). Это должно быть решающим фактором большей растворимости глинозема шлака в щелочных растворах, т. е. большей активности щелочных цементов.

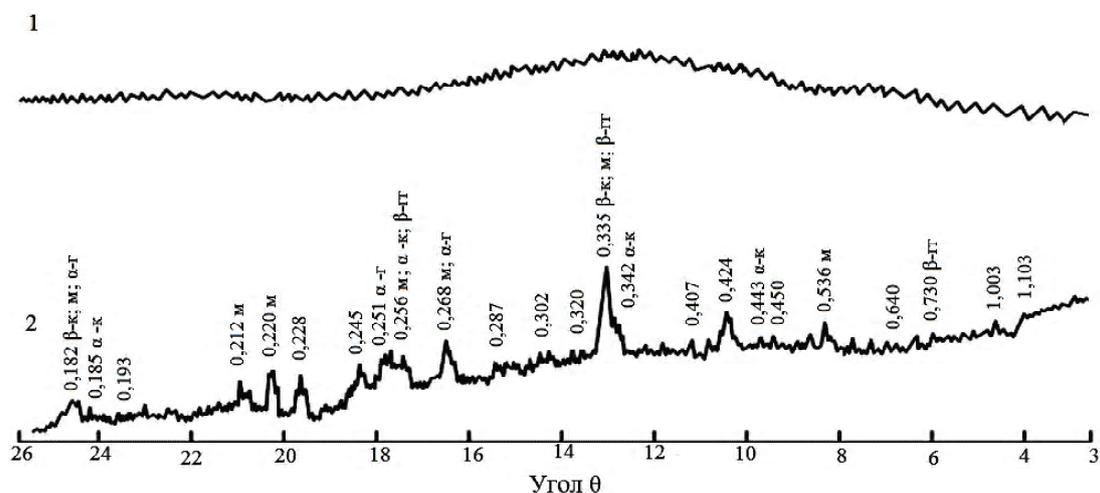


Рисунок 1 – Дифрактограммы шлака ТЭС – 1 и золы-уноса ТЭС – 2: α-K – высокотемпературный кварц ($\sigma\text{-SiO}_2$), β-K – низкотемпературный кварц ($\beta\text{-SiO}_2$), M – муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), α-G – гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), β-гидрогематит ($\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Ранее в исследованиях щелочных вяжущих на фактор различной степени аморфизации оксида алюминия в золе-уноса и шлаке ТЭС внимание не акцентировалось. Международным институтом ASTM, в июне 2012 года был организован симпозиум по геополимерным материалам [5], обсуждалась проблема стандартизации геополимеров. Компанией Geopolymer R&D было предложено создать стандарты по двум категориям геополимеров:

- геополимеры из смеси шлака и зол-уноса;
- геополимеры на основе ферросилатов; основу вяжущих составляет минеральное сырье с высоким содержанием железа.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристика материалов и методов, принятых для исследования

В исследованиях использовался портландцемент ПЦ I марки 500. Шлак ТЭС получали отсевом из золошлаковой смеси фракции крупнее 0,315 мм с последующим помолом в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите 0,08 мм 12 %. Зола-уноса отсеивалась из той же золошлаковой смеси через сито 0,08 с добавлением 12 % фракции 0,08...0,16 мм. Кроме особо оговоренных случаев, затворение смесей производилось раствором гидроксида натрия плотностью 1,25 г/см³. Рентгенограммы шлака и золы показали, что шлаковая составляющая практически полностью аморфизирована. В

золе присутствует значительное количество кристаллических фаз. Причем глинозем в ней находится в виде кристаллического муллита. Определение предела прочности при сжатии выполнено на образцах – кубах с ребром 0,02 м, изготовленных из теста нормальной густоты. Образцы твердели в нормальных условиях в камере с гидрозатвором, при пропаривании и автоклавировании по режиму 2,5 + 6 + 3 часа (температура изотермической выдержки соответственно 95 и 173 °С).

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты сравнительного исследования зависимости активности вяжущих от вида отхода, концентрации раствора щелочи и длительности нормального твердения, приведенные на рисунках 2, 3, свидетельствуют о низкой активности вяжущих. Однако они показывают:

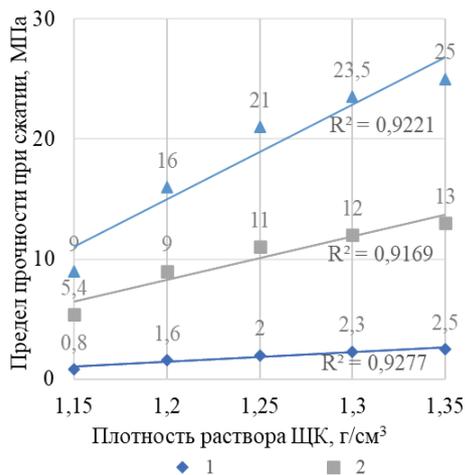


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности зольных вяжущих от плотности раствора щелочного компонента и условий твердения (1–28 суток твердения в нормальных условия, 2 – пропаривание при 95 °С, 3 – автоклавирование при 173 °С (0,8 МПа).

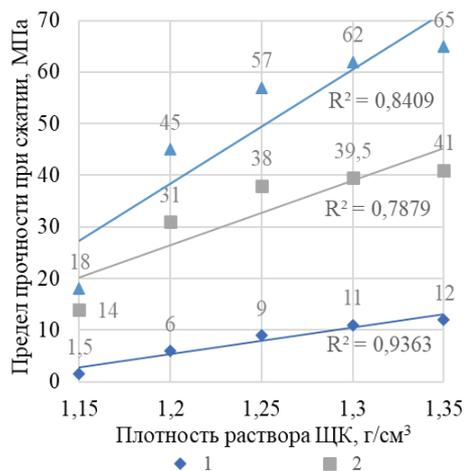


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности и шлаковых вяжущих от плотности раствора щелочного компонента и условий твердения (1 – 28 суток твердения в нормальных условия, 2 – пропаривание при 95 °С, 3 – автоклавирование при 173 °С (0,8 МПа).

- активность вяжущих на основе шлака существенно превышает активность соответствующих композиций на золе-уноса;
- с увеличением концентрации раствора щелочи прочность образцов, особенно шлаковых, заметно возрастает;
- с повышением плотности раствора щелочного компонента и длительном твердении прочность вяжущих непрерывно растет.

Результаты аналогичных исследований пропаренных вяжущих свидетельствуют о существенном росте активности вяжущих, особенно шлаковых, с увеличением плотности раствора щелочи с 1,15 до 1,25 г/см³.

Наибольшую активность оба вида вяжущих проявляют при автоклавной обработке. По сравнению с пропаренными образцами она возрастает в 1,5–2,0 раза, до 20...27 МПа на основе золы-уноса и до 45...60 МПа на основе шлака.

Исследование влияния длительности тепловлажностной обработки показывает (рис. 4, 5), что наиболее существенный рост прочности камня вяжущих наблюдается при увеличении длительности изотермического прогрева как при пропаривании, так и при автоклавировании до 6–8 часов. При оптимальной концентрации раствора щелочи – 1,25 г/см³ и оптимальной длительности изотермической выдержки активность вяжущих на шлаке в 2,5–3,5 раза превышает активность зольных композиций.

Исследования влияния давления пара при автоклавировании (рис. 6, 7) свидетельствуют о том, что наибольший рост прочности как зольных, так и шлаковых составов наблюдается при подъеме давления до 0,6...0,8 МПа. При этом прочность шлаковых вяжущих более чем в 2–3 раза превышает прочность аналогичных зольных составов. При этом при использовании шлаков Зуевской и Старобешевской ТЭС существенной разницы в активности вяжущих не наблюдается.

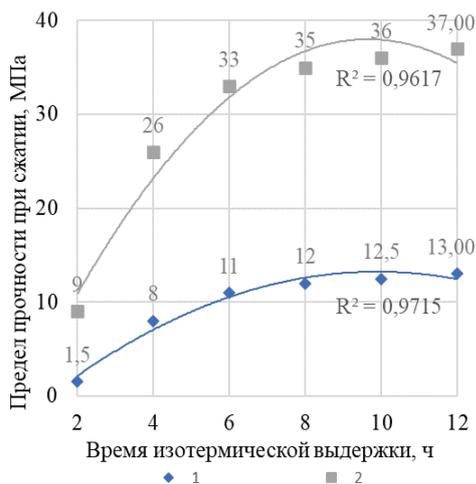


Рисунок 4 – Зависимость активности зольных (1) и шлаковых (2) вяжущих от длительности тепловлажностной обработки при пропаривании.

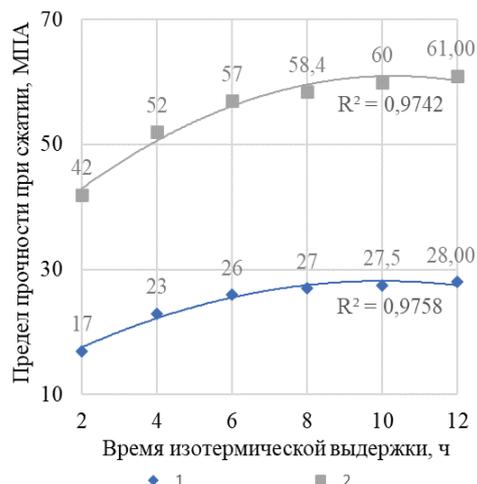


Рисунок 5 – Зависимость активности зольных (1) и шлаковых (2) вяжущих от длительности тепловлажностной обработки при автоклавировании.

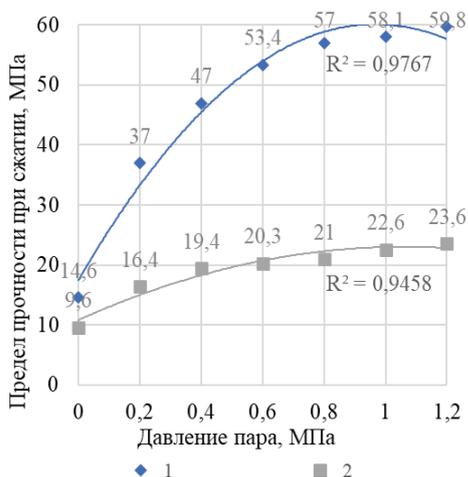


Рисунок 6 – Зависимость активности автоклавированных вяжущих на золе-уноса (1) и молотом шлаке (2) Зуевской ТЭС от давления пара.

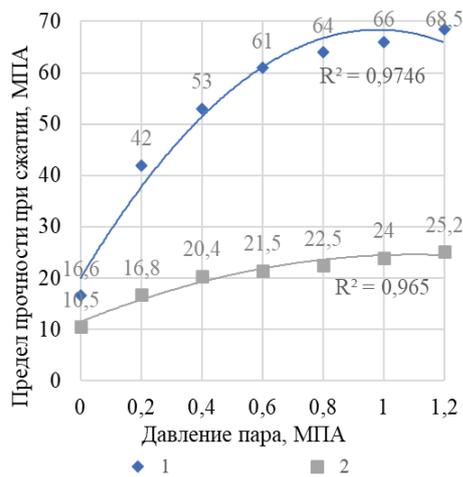


Рисунок 7 – Зависимость активности автоклавированных вяжущих на золе-уноса (1) и молотом шлаке (2) Старобешевской ТЭС от давления пара.

Номинальные составы, условия твердения и основные свойства исследованных бетонов приведены в таблице 1. Чтобы исключить влияние недостатков методик, параллельно выполнялись исследования указанных свойств для аналогичного по составу портландцементного бетона.

Долговечность бетонов во многом обусловлена параметрами порового пространства: разделением общего объема пор на поры в пределах некоторого диапазона размеров в зависимости от вида структуры.

Из известных технологических факторов наибольшее влияние на поровую структуру оказывает водоцементное отношение. Однако при соизмеримых величинах В/Ц поровая структура цементного камня определяется также составом продуктов гидратации, их размерами и морфологией.

Щелочные вяжущие отличаются от портландцемента химическим и минералогическим составом продуктов твердения, основными из них по данным В. Д. Глуховского, П. В. Кривенко и др. должны быть цеолитоподобные кристаллические вещества состава $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot (2-4) SiO_2 \cdot nH_2O$, которые по микроструктуре существенно отличаются от продуктов твердения портландцемента.

Структура пористости важна, потому что она определяет гидрофизические свойства цементного камня и бетона, с которыми практически на прямую связаны такие их эксплуатационные свойства как: морозостойкость, коррозионная стойкость, усадка и набухание.

Таблица 1 – Номинальные составы бетонов, свойства бетонных смесей и бетонов

№ п/п	Расчетный расход, кг/м ³ (л/м ³)						Щелочной компонент, NaOH, л/кг	Средняя плотность смеси, кг/м ³	Подвижность смеси, ОК, см	Условия твердения	Прочность при сжатии, R _{сж} , МПа	
	ПЦ I-500	Молодой шлак	Щебень 2,5...10 мм		Песок 0,16...2,5 мм							Вода
			гранит	шлак	гранит	шлак						
1	550	–	1 100	–	550	–	200	–	2 370	2	28 суток нормального твердения	43,5
2	–	550	1 100	–	550	–	–	200	2 360	4	пропаривание	22,5
3	–	550	1 100	–	550	–	–	200	2 360	4	автоклавирование	38,4
4	–	550	–	1 100	–	550	–	200	2 350	3	автоклавирование	33,4

Исследования гидрофизических свойств выполнены по стандартным методикам на образцах-балочках 4×4×16 см. Установлено, что при использовании гранитных заполнителей усадка щелочного бетона автоклавного твердения соизмерима с портландцементным бетоном. Щелочной пропаренный бетон имеет усадку на 49 % большую, которая составляет 1,76 мм/м. Характерным отличием щелочных бетонов является более высокая скорость усадки в первые 3–7 суток испытания (рис. 8, 9).

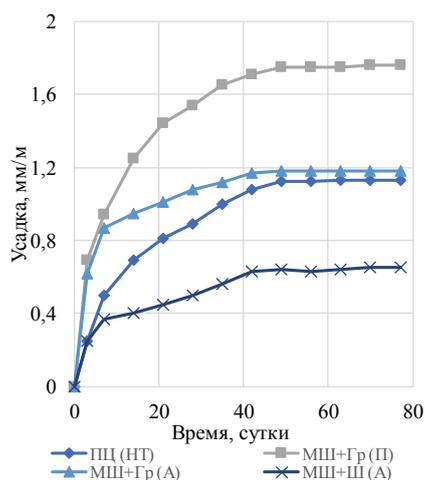


Рисунок 8 – Кинетика первой усадки бетонов при комнатной температуре 20 °C.

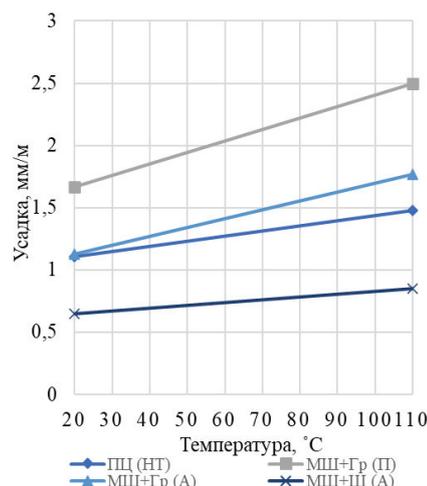


Рисунок 9 – Кинетика первой усадки бетонов при автоклавировании при 110 °C.

Замена гранитных заполнителей шлаковыми (состав 4) снижает усадку автоклавного щелочного бетона в 1,8 раза.

Повторная усадка всех бетонов (рисунки 10, 11) сокращается в 4,75–5,1 раза и примерно одинакова для всех бетонов.

Полная усадка после сушки при 110 °C составляет при первом испытании от 0,85 до 2,5 мм/м, при повторном испытании – от 0,15 до 0,81 мм/м.

Набухание бетонов при первом водонасыщении показано на рисунке 12, при втором – на рисунке 13. Набухание щелочного бетона автоклавного твердения максимально 1,05 мм/м при первом увлажнении и 0,86 мм/м – при втором. Оба эти показателя выше, чем у портландцементного бетона (0,65 и 0,46 мм/м соответственно). Характерным для этих результатов является то, что разница между величинами набухания при первом и втором увлажнении существенно меньше, чем для аналогичных показателей усадки.

Скорость водопоглощения – важное свойство бетонов, т. к. она позволяет судить о размерах и распределении различных групп пор по методу Г. И. Горчакова. По полученным данным (рис. 14 и 15)

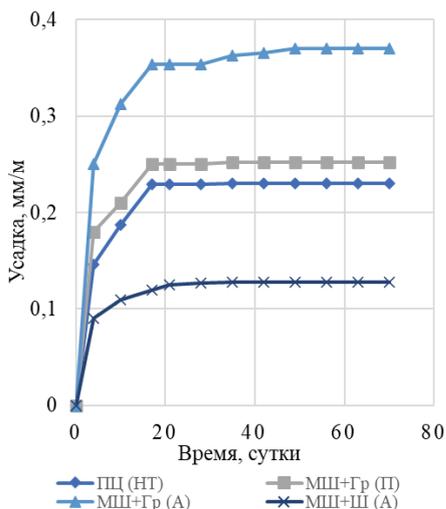


Рисунок 10 – Кинетика повторной усадки бетонов при комнатной температуре 20 °С.

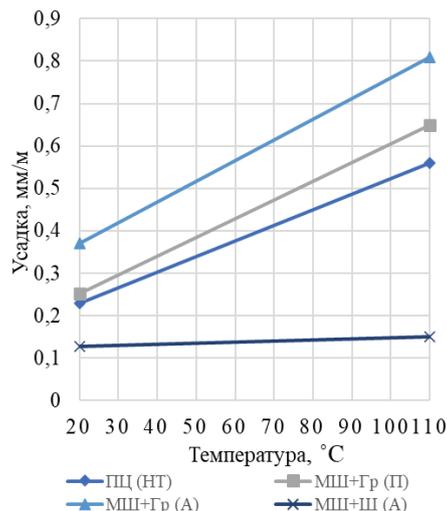


Рисунок 11 – Кинетика повторной усадки бетонов при автоклавировании при 110 °С.

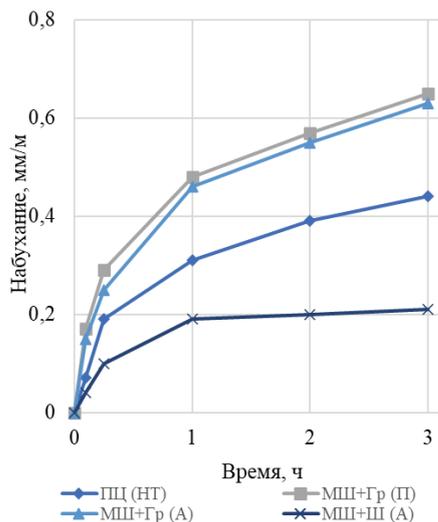


Рисунок 12 – Зависимость набухания бетонов от времени первого водонасыщения.

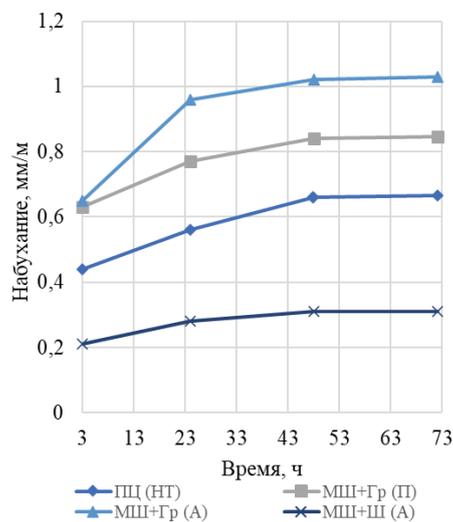


Рисунок 13 – Зависимость набухания бетонов от времени первого водонасыщения.

между исследованными бетонами наблюдается существенное отличие. Так, для портландцементного бетона и щелочного пропаренного бетона кинетика водопоглощения при первом и втором увлажнении близка по характеру и величине. Автоклавные щелочные бетоны характеризуются заметно более медленным ростом водопоглощения, особенно в первые 15–180 минут погружения в воду. Конечные величины прироста водопоглощения для всех бетонов соизмеримы. Характерно, что автоклавный щелочной бетон на шлаковых заполнителях по характеру роста и конечной величине водопоглощения приближается к аналогичному бетону на гранитных заполнителях.

По кинетике водопоглощения в дальнейшем планируется определить структуру и распределение пор по размерам согласно методике Г. И. Горчакова.

Результаты исследования капиллярного подсоса, приведенные на рисунке 16–17, свидетельствуют о том, что щелочные бетоны автоклавного и неавтоклавного твердения достигают практически максимального водонасыщения за первые трое суток контакта с водой. В дальнейшем в течение 70 суток прирост их водопоглощения небольшой и практически стабилизируется в течение трех недель испытания.

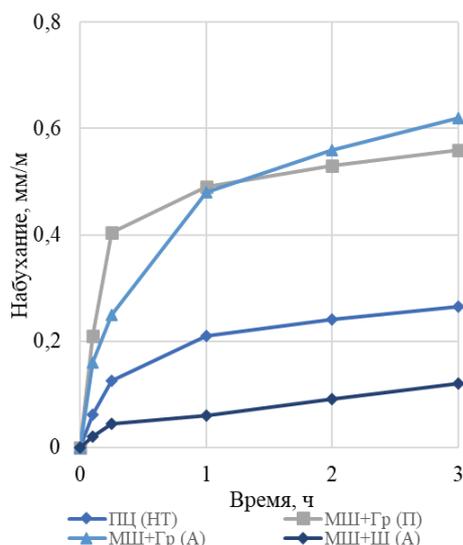


Рисунок 14 – Зависимость набухания бетонов от времени повторного водонасыщения.

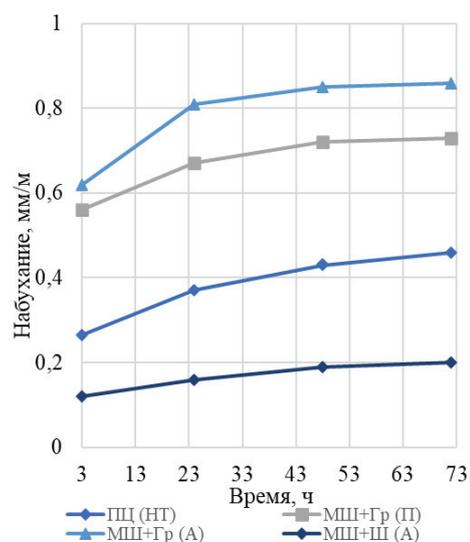


Рисунок 15 – Зависимость набухания бетонов от времени повторного водонасыщения.

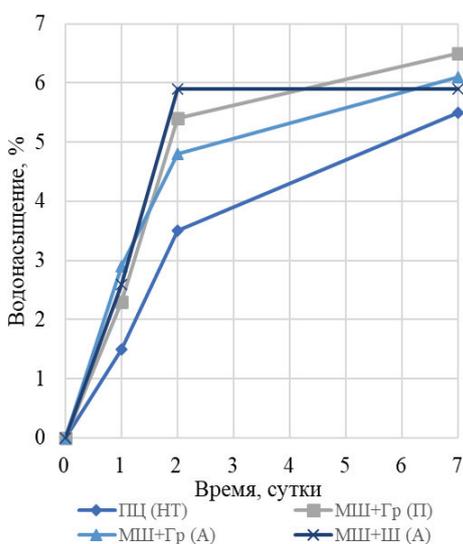


Рисунок 16 – Кинетика капиллярного подсоса.

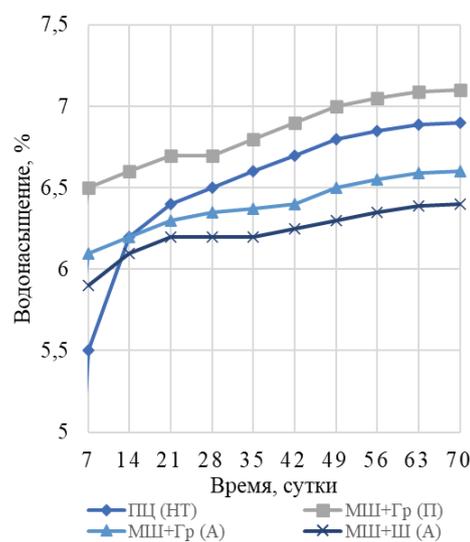


Рисунок 17 – Кинетика капиллярного подсоса.

Существенное отличие в капиллярном подсосе наблюдается для портландцементного бетона. В первые две недели для него характерна существенно меньшая скорость подсоса воды, и в дальнейшем капиллярный подсос тоже практически стабилизируется. Разница между конечными величинами подсоса воды у бетонов также не наблюдается.

Выполнены сравнительные исследования морозостойкости аналогичных составов портландцементного и щелочных бетонов (таблица 2). Установлено, что пропаренные, и особенно автоклавированные щелочные бетоны, выдерживают 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания. При этом автоклавные бетоны не теряют прочность при сжатии. Для сравнения, портландцементный бетон аналогичного состава выдерживает лишь 50 циклов.

ВЫВОДЫ

1. На основе установленных закономерностей влияния вида золошлаковых отходов (золы-уноса или молотого шлака) и условий твердения получены щелочные зольные и шлаковые вяжущие тепловлажностного твердения активностью 20...65 МПа, приемлемой для получения бетонов низких и средних марок.

Таблица 2 – Морозостойкость портландцементного и щелочных бетонов

№ состава	Коэффициент морозостойкости при количестве циклов замораживания – оттаивания		
	50	75	100
1	0,92	0,65	–
2	1,05	0,98	0,87
3	1,10	1,03	0,96
4	1,13	1,09	1,04

2. При твердении в нормальных условиях активность вяжущих низкая: на золе – 2,0...2,5 МПа, на шлаке – 15...25 МПа, после пропаривания она увеличивается соответственно до 10...12 МПа и 33...40 МПа, а после автоклавирования до 20...25 МПа и 50...65 МПа соответственно.

3. Основным определяющим фактором значительно большей активности шлаковых вяжущих является практически полная аморфизация шлаков, особенно их алюмосиликатной составляющей, которая в золах в существенной мере закристаллизована.

4. При всех условиях твердения с увеличением плотности раствора щелочного компонента с 1,15 до 1,25 г/см³ активность зольных и шлаковых вяжущих заметно возрастает, при дальнейшем повышении концентрации раствора щелочного компонента рост активности замедляется и при плотности 1,25...1,30 г/см³ она практически стабилизируется.

5. Золошлаковую смесь ТЭС при соответствующем подготовке и контроле зернового состава можно использовать в качестве мелкого и части крупного заполнителей для получения виброформованных и пресованных тяжелых бетонов. При ее использовании в композициях с разработанными вяжущими можно получать пропаренные и автоклавированные бетоны соответственно марок 50-100 и 50-300.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davidovits, J. Geopolymers – inorganic polymeric new materials / J. Davidovits. – Текст : непосредственный // Journal of Thermal Analysis. – 1991. – № 37(8). – P. 1633–1656.
2. Krivenko, P. Alkaline Cements, Concretes and Structures: 50 Years of Theory and Practice / P. Krivenko. – Текст : непосредственный // International Conference «Alkaline Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha : Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 313–347.
3. Ефремов, А. Н. Огнеупорные бетоны на щелочных вяжущих с повышенными термомеханическими свойствами / А. Н. Ефремов, П. В. Кривенко. – Макеевка : ДонНАСА, 2008. – 187 с. – Текст : непосредственный.
4. Рунова, Р. Ф. Исследование автоклавных щелочно-щелочноземельных алюмосиликатных материалов : специальность 05.00.00 «Техника» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Рунова Раиса Федоровна ; Киевский инженерно-строительный институт. – Киев, 1972. – 23 с. – Текст : непосредственный.
5. Davidovits, J. Geopolymer chemistry and applications / J. Davidovits ; 3rd edition. – France, Saint-Quentin : Institute Geopolymer, 2011. – 614 p. – Текст : непосредственный
6. Ерошкина, Н. А. Геополимерные строительные материалы на основе промышленных отходов : монография / Н. А. Ерошкина, М. О. Коровкин. – Пенза : ПГУАС, 2014. – 128 с. – Текст : непосредственный.
7. Ерошкина, Н. А. Усадка геополимерного вяжущего на различных этапах его структурообразования / Н. А. Ерошкина, М. О. Коровкин. – Текст : непосредственный // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2016. – № 1. – 1–7 с.
8. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков / П. В. Кривенко, Е. К. Пушкарева, В. И. Гоц [и др.] : монография. – Киев : издательство ООО «ИПК Экспресс-Полиграф», 2012. – 258 с. – Текст : непосредственный.
9. Вяжучі речовини / Р. Ф. Рунова, Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін [та ін.] : підручник. – Київ : Основа, 2013. – 448 с. – Текст : непосредственный.
10. Глуховский, В. Д. Грунтосиликаты / В. Д. Глуховский. – Киев : Госстройиздат, 1959. – 127 с. – Текст : непосредственный.

Получена 28.12.2022

Принята 27.01.2023

Д. Ю. БУКІНА, М. М. ЗАЙЧЕНКО
ЛУЖНІ В'ЯЖУЧІ ТА БЕТОНИ НА ОСНОВІ ЗОЛ І ШЛАКІВ ТЕС
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Досліджено склади та властивості лужних цементів та бетонів із золошлакових відходів теплових електростанцій (ТЕС). Отримані результати порівняного дослідження залежності активності лужних в'язучих від виду золошлакового відходу, концентрації розчину луку і тривалості твердіння в нормальних умовах, при пропарюванні та автоклавованні. Встановлено, що при твердінні в нормальних умовах активність в'язучих незначна і становить 2,5...12 МПа. При тепловолігній обробці, особливо автоклавної, вона істотно зростає. Активність лужних в'язучих на основі шлаків ТЕС в 1,5–2,0 рази перевищують активність аналогічних складів на основі золи-винесення. На основі розроблених в'язучих можна отримувати пропарені та автоклавні бетоны відповідно марок 100-200 і 300-400. Виконано дослідження гідрофізичних властивостей бетонів (усадка, набухання при водонасиченні, кінетика водопоглинання, капілярний підсос і морозостійкість).

Ключові слова: лужні бетоны, міцність, пропарювання, автоклавовання, усадка, набухання при водонасиченні, водопоглинання, капілярне всмоктування.

DARYA BUKINA, NIKOLAI ZAICHENKO
ALKALINE BINDERS AND CONCRETES BASED ON ASHES AND SLAGS OF TPP
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The compositions and properties of alkaline cements and concretes from ash and slag waste of thermal power plants (TPP) have been studied. The results of a comparative study of the dependence of the activity of alkaline binders on the type of ash and slag waste, the concentration of the alkali solution and the duration of hardening under normal conditions, during steaming and autoclaving are presented. It was found that during hardening under normal conditions, the activity of binders is insignificant and amounts to 2.5...12 MPa. With heat and moisture treatment, especially autoclave treatment, it increases significantly. The activity of alkaline binders based on TPP slags is 1.5–2.0 times higher than the activity of similar compounds based on fly ash. On the basis of the developed binders, steamed and autoclaved concretes of grades 100-200 and 300-400, respectively, can be obtained. The study of the hydrophysical properties of concrete (shrinkage, swelling during water saturation, kinetics of water absorption, capillary suction and frost resistance) was carried out.

Keywords: alkaline concretes, steaming, autoclaving, strength, shrinkage, swelling during water saturation, water absorption, capillary suction.

Букина Дарья Юрьевна – ассистент кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: щелочные вяжущие и бетоны на основе зол и шлаков ТЭС.

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе модифицированных дисперсных компонентов бетона.

Букина Дар'я Юрїївна – асистент кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: лужні в'язучі та бетоны на основі зол і шлаків ТЕС.

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор; завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: високоміцні і особливо високоміцні бетоны на основі модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Bukina Darya – assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: alkaline binders and concretes based on ashes and slags of thermal power plants..

Zaichenko Nikolai – D. Sc. (Eng.), Professor; Head of the Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-strength and high-performance concretes based on modified fillers.

EDN: AOHSAY

УДК 625.855.3

В. И. БРАТЧУН, О. А. ПШЕНИЧНЫХ, В. Л. БЕСПАЛОВ, А. И. СЕРДЮК, Т. В. РОДЗИНА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**КОМПЛЕКСНО-МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ДОРОЖНЫЕ
АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОНЫ, МИКРОАРМИРОВАННЫЕ
ХРИЗОТИЛАСБЕТОВЫМИ ВОЛОКНАМИ**

Аннотация. Для комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетона, микроармированного хризотиласбестовыми волокнами марки А-6К-30, установлены оптимальные температуры: укладки 140...155 °С; уплотнения 60...130 °С, что в свою очередь увеличивает строительный сезон и дальность транспортировки асфальтобетонной смеси. Модифицированные асфальтополимерсеробетонные смеси характеризуются более низкой удельной энергией уплотнения $0,95 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ против $1,27 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ для горячих асфальтобетонных смесей. Модифицированные асфальтополимерсеробетоны характеризуются более высокими эксплуатационными свойствами, чем горячие асфальтобетоны: устойчивость по Маршаллу 26,83 кН против 15,26 кН, коэффициент теплостойкости в диапазоне температур при сжатии 3,6 против 6,5; предел прочности при сжатии при 50 °С 2,2 МПа > 1,2 МПа; коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении 1,0 > 0,85. Жесткость по И. А. Рыбьеву в 12 раз выше, что свидетельствует о более высокой способности сопротивляться напряжениям, которые приводят к пластическим деформациям.

Ключевые слова: дорожный асфальтополимерсеробетон, микроармированный хризотиласбестовыми волокнами, технологические свойства, деформационно-прочностные характеристики, долговечность.

ВВЕДЕНИЕ

Свойства дорожного асфальтобетона композиционного материала с коагуляционным типом контактов определяется прежде всего качеством органического вяжущего, рациональным сочетанием типов макроструктуры, мезоструктуры и микроструктуры минерального остова, а также энергией взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее-минеральный материал» [1–5].

Применяемые битумы в Донецкой Народной Республике, Российской Федерации, Белоруссии марок БНД 40/60 и БНД 60/90 характеризуются невысокими температурами размягчения, отсутствием эластичности, а также неудовлетворительными адгезионно-когезионными свойствами [6, 7].

В эксплуатационных условиях нежесткие дорожные одежды на автомобильных дорог общего пользования в последнее десятилетие подвергаются значительному росту осевых нагрузок (нагрузка на ось автомобиля свыше 80 кН (до 110 кН)) и интенсивности воздействия автомобильного транспорта (более 15 тыс. автомобилей в сутки), вследствие чего верхние слои дорожной одежды подвергаются действию нормальных и касательных, а также ударных нагрузок в зонах контакта колеса автомобиля с покрытием в сочетании с действием солнечной радиации, дождя, снега и температуры. Это приводит к большому разнообразию разрушений и деформаций покрытия: колейность, волны, усталостные трещины [8, 9]. К тому же в процессе производства, термостатирования в термобункерах, транспортирования к месту укладки в слои покрытия дорожной одежды и в условиях эксплуатации в покрытии нежесткой дорожной одежды автомобильной дороги бетонные смеси и бетон на органических вяжущих подвергается старению [10, 11]. Это приводит к тому, что срок службы асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог в ДНР и Российской Федерации составляет 5–7 лет вместо 12 до капитального ремонта.



В ГОУ ВПО «ДОННАСА» разработаны составы и технологии производства технологичных комплексно-модифицированных дорожных асфальтополимерсеробетонных смесей для устройства не жестких дорожных одежд повышенной долговечности [12]. Анализ мирового опыта свидетельствует о том, что одним из эффективных способов повышения долговечности асфальтобетонных покрытий является дисперсное армирование асфальтобетонных смесей [13–16]. Это позволяет одновременно снизить вероятность возникновения трещин в покрытии и повысить их деформационно-прочностные характеристики. Равномерное распределение дисперсной арматуры (полимерные, базальтовые, асбестхризотилловые волокна) приводит к равномерному распределению прежде всего растягивающих напряжений вследствие хаотичного защемления и переплетения армирующих волокон с частицами минерального остова [17]. Благодаря высокой прочности микроволокон при растяжении рост трещин существенно замедляется. Каждая минеральная частица, прежде всего микро- и мезоструктуры дорожного асфальтобетона, будет структурирована волокнами, например хризотиласбеста, содержащим на своей поверхности адсорбционно-сольватные слои битумополимерсерного вяжущего. Это создаст прочный пространственный каркас, что позволит значительно повысить предел прочности дисперсно-армированного асфальтополимерсеробетона при растяжении, сдвигоустойчивость, трещиностойкость и усталостную долговечность не жестких дорожных одежд.

Цель исследования: экспериментальное обоснование получения технологичных асфальтополимерсеробетонных смесей и долговечных асфальтополимерсеробетонов, микроармированных хризотиласбетовыми волокнами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты и методы исследования

В качестве асфальтобетонных смесей использовали смесь типа Б, приготовленную на битуме марки БНД 40/60 ($P_{25} > 59$ град. шкалы пенетromетра), а также асфальтополимерсеробетонную смесь, приготовленную на битуме с $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетromетра, модифицированную 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. технической серы, минеральный порошок известняковый поверхностно-активированный 0,5 % мас. бутадииенметилстирольным каучуком СКМС-30 [12].

В качестве микроволокна использовали хризотил-асбест (ГОСТ 12871-93, производитель УРАЛ-АСБЕСТ) марки А-6К-30, фракционный состав, характеризуемый остатками на ситах с размером стороны ячейки в свету: $d = 1,35$ мм – 30 %; $d = 0,4$ мм – не > 20 %; массовая доля гали – 0,6 %; удельная эффективная активность естественных радионуклидов Бк/кг – менее 59,8.

Для исследования уплотняемости асфальтополимерсеробетонных смесей использовали приборы, изготовленные и поверенные на кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы» ГОУ ВПО «ДОННАСА» [12].

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Рассчитываем ориентировочно количество контактов, создаваемых линейно одним волокном хризотил-асбеста $l = 1,35$ мм с учетом того, что формируется структурированное асбестхризотилом асфальтовяжущее вещество, в котором частицы известнякового минерального порошка $d < 0,071$ мм. Тогда одно хризотиловое волокно будет связывать линейно 19 частиц порошка. Так как концентрация асбестовых волокон 30 % мас., то количество одновременно реализуемых линейных контактов ≈ 6 . Аналогично определяли количество связей, которое формируется в плоскости в результате армирования волокнами хризотиласбеста марки А-6К-30 $l > 1,4$ мм, $l_1 \times l_2 = 6 \times 6 = 36$ межмолекулярных связей, в пространстве образуется 216 контактов в объеме $2,74$ мм³, а в одном см³ таких связей образуется 78 838.

В таблице 1 приведены физико-механические свойства дорожных асфальтобетонов, отличающихся составом асфальтовяжущего вещества, из которых следует, что микроармирование хризотиласбетовыми волокнами приводит к существенному росту предела прочности при сжатии в области положительных температур и высокому значению коэффициента длительной водостойкости. Характерным также является более пологая зависимость предела прочности при сжатии от температуры $K_{та} < K_{те}$. Относительное значение температурно-прочностных характеристик в диапазоне 0...50 °С снижается в 1,8 раза.

Модифицированные асфальтобетонные смеси более технологичны (рис 1, 2), чем асфальтобетонные горячие. Оптимальный интервал температур уплотнения асфальтобетонных смесей с комплексно-

Таблица 1 – Физико-механические свойства дорожных асфальтобетонов, отличающихся составом асфальтовязующего вещества

№ п/п	Показатели	Состав асфальтовязующего вещества в мелкозернистом асфальтобетоне (тип Б)		
		Битум БНД 40/60 (P ₂₅ = 59,0,1 мм), МП известняковый не активирован (Б = 5 %)	Битум БНД 40/60 (P ₂₅ = 59,0,1 мм) модифицирован комплексной добавкой 2 % мас. термоэластопласта СКМС 30 и 30 % мас. технической серы; минеральный порошок известняковый поверхностно активирован 0,5 % мас СКМС-30 (Б = 5%)	Битум БНД 40/60 (P ₂₅ = 59,0,1 мм) модифицирован комплексной добавкой 2 % мас термоэластопласта СКМС-30 и 30 % технической серы; минеральный порошок известняковый поверхностно активирован 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтовязующее вещество микроармировано 1 % мас. хризотил-асбестовым волокном (Б = 5 %)
1	Средняя плотность, кг/м ³	2 400	2 410	2 415
2	Водонасыщение, w, % от объема	2,9	1,2	1,4
3	Предел прочности при сжатии, МПа, при 0 °С 20 °С 50 °С	7,8	7,2	8,0
		3,1	3,9	4,6
		1,2	1,7	2,2
4	Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, K _{вд}	0,85	1,0	1,0
5	Коэффициент теплостойкости, K _т = R ₀ / R ₅₀	6,5	4,2	3,6

модифицированной микроструктурой 53...130 °С, а для горячих асфальтобетонных, приготовленных на нефтяном дорожном битуме БНД 40/60 90...130 °С. Это позволит продлить строительный сезон и увеличить дальность транспортирования асфальтобетонной смеси, увеличить эффективное время уплотнения (рис. 1, таблица 2).

Следовательно, подготовленная для укладки асфальтополимерсеробетонная смесь микроармированная хризотиласбестовым волокном (рис. 1), должна иметь температуру 140...155 °С. Уплотнение микроармированных асфальтополимерсеробетонных смесей необходимо вести в интервале температур 60...130 °С.

Процесс уплотнения микроармированной комплексно-модифицированной смеси менее энергоемок, чем традиционных горячих смесей (рис. 2, таблица 2).

Данные, приведенные в таблице 3 и на рисунке 3, показывают, что угол наклона зависимости $R_{изг} = f(t)$ в интервале температур 0...60 °С для комплексно-модифицированных асфальтополимерсеробетонов более пологий (2,3), чем для горячего асфальтобетона (1). Предел прочности при изгибе в области положительных температур для микроармированного асфальтополимерсеробетона характеризуется более высоким значением (3), чем для немикроармированных (1 и 2) и прежде всего для стандартного горячего асфальтобетона (1). Это обеспечит более высокую несущую способность асфальтобетонного покрытия микроармированного хризотиласбестовым волокном (табл. 3, рис. 3).

Методом Маршалла определены устойчивость, условная пластичность и условная жесткость мелкозернистых асфальтобетонов типа Б, отличающихся составом асфальтовязующего вещества (рисунок 4, таблица 4).

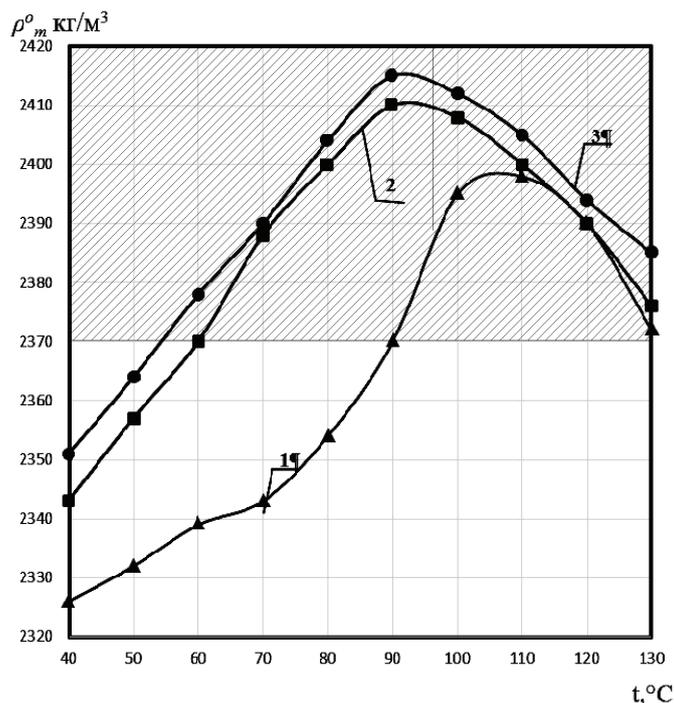


Рисунок 1 – Зависимость средней плотности ρ_m^0 мелкозернистого асфальтобетона (тип Б) от температуры t , отличающегося составом асфальтовяжущего вещества: 1 – органическое вяжущее – битум нефтяной дорожный $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра при 20°C , минеральный порошок известняковый поверхностно не активирован; 2 – органическое вяжущее – нефтяной дорожный битум $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра, модифицированный 2 % мас термоэластопласта СКМС-30 и 30 % технической серы, минеральный порошок поверхностно активированный 0,5 % мас. СКМС-30; 3 – органическое вяжущее – битум нефтяной дорожный $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра, модифицированный 2 % мас. термоэластопласта СКМС-30 и 30 % технической серы, минеральный порошок, поверхностно-активированный 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтополимерсерное асфальтовяжущее структурировано 1 % мас. хризотил-асбестовыми волокнами марки А-6К-30.

$F \cdot 10^4, \text{H}$

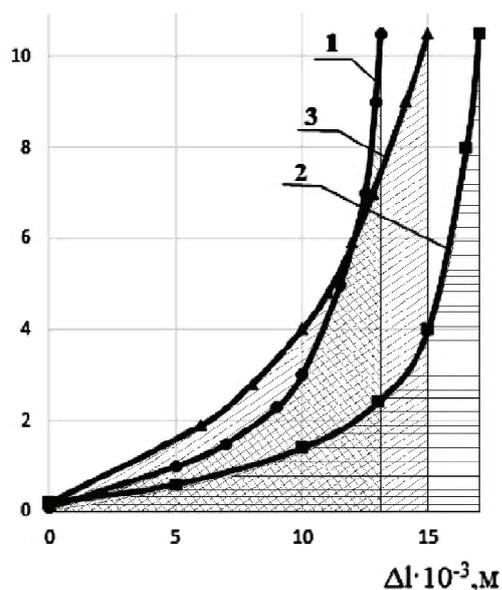


Рисунок 2 – Диаграмма уплотнения мелкозернистых асфальтобетонных смесей с использованием асфальтовяжущих веществ (АВВ): 1 – битум дорожный $P_{25} = 59-0,1$ мм, известняковый минеральный порошок неактивирован, содержание битума 5 % сверх 100 % минеральной части; 2 – битум дорожный ($P_{25} = 59-0,1$ мм) модифицированный 2 % мас. СКМС-30 и 30 % технической серы, известняковый минеральный порошок поверхностно-активирован 0,5 % мас. СКМС-30; 3 – битум дорожный ($P_{25} = 59-0,1$ мм) модифицирован 2 % мас. СКМС-30 и 30 % технической серы, известняковый минеральный порошок поверхностно активирован 0,5 % мас. СКМС-30, АВВ структурировано 1 % мас хризотиласбестом марки А-6К-30.

Характерно, что микроармированный хризотиласбестовым волокном асфальтополимерсеробетон (состав 3) характеризуется существенно более высокими значениями устойчивости и жесткости.

Таблица 2 – Свойства асфальтобетонных смесей при уплотнении

№ п/п	Состав асфальтобетонной смеси при уплотнении	Работа, затраченная на уплотнение, А, Дж	Коэффициент уплотнения, $\frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$	Средняя плотность бетона, $\Delta\rho_0^a$, кг/м ³
1	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип Б), приготовленная на битуме БНД 40/60 ($P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм); минеральный порошок известняковый не активирован	647	1,27	509
2	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип Б), приготовленная на битумополимерсерном вяжущем (битум $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм с 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный известняковый порошок активирован 0,5 мас. СКМС-30	505	0,81	620
3	Мелкозернистая асфальтобетонная смесь (тип Б), приготовленная на битуме БНД 40/60, $P_{25} = 59 \cdot 0,1$ мм с 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный известняковый порошок активирован 0,5 % мас СКМС-30; асфальтовяжущее вещество структурировано 1 % мас. хризотила марки А-6К-30	570	0,95	601

Таблица 3 – Значение предела прочности асфальтобетона при изгибе, $R_{изг}$, МПа

Индекс бетона	Состав асфальтовяжущего в мелкозернистом асфальтобетоне (тип Б)	Температура, °С			
		0	20	40	60
1	Асфальтовяжущее вещество: органическое вяжущее битум нефтяной дорожный $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра; минеральный порошок известняковый неактивированный, содержание битума 5 % мас. сверх 100 % минеральной части	7,5	1,5	0,5	0,2
2	Асфальтовяжущее вещество: $P_{25} = 59$ шкалы пенетromетра, модифицированного 2 % СКМС-30 и 30 % технической серы; известняковый минеральный порошок активирован 0,5 % мас. СКМС-30; содержание модифицированного битума 5 % мас сверх 100 % минеральной части	6	3,5	1,6	0,7
3	Органическое вяжущее битум нефтяной дорожный $P_{25} = 59$ градусов шкалы пенетromетра, модифицированный 2 % термоэластопластом СКМС-30 и 30 % технической серы, минеральный порошок поверхностно активирован 0,5 % мас. СКМС-30, *хризотиласбест марки А-6К-30	7,02	1,1	1,8	0,9

*асфальтополимерсерное вяжущее вещество структурировано хризотиласбестовыми волокнами 1 % мас. сверх 100 % минерального материала

Подтверждением этого являются экспериментальные данные, полученные определением коэффициентов пластичности и жесткости по методикам, разработанных профессорами Н. Н. Иванова (табл. 5) и И. А. Рыбьева (табл. 6).

Для немодифицированного и модифицированного асфальтобетона получены коэффициенты пластичности по Н. Н. Иванову K_1 и K_2 соответственно

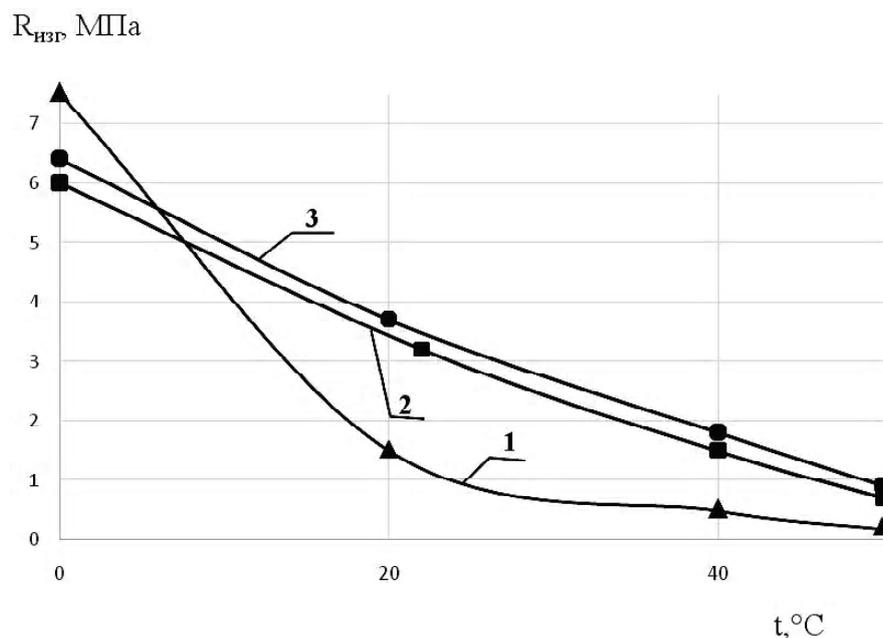


Рисунок 3 – Зависимость предела прочности при изгибе асфальтобетона $R_{изг}$ от температуры t . Нумерация кривых соответствует индексам таблицы 3.

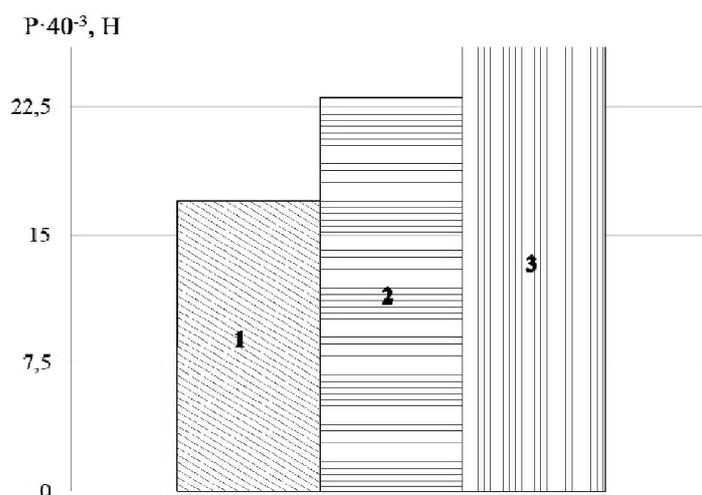


Рисунок 4 – Устойчивость по Маршаллу дорожных асфальтобетонов, отличающихся составом асфальтосвязывающего вещества.

$$K_1 = \frac{\lg\left(\frac{2,3}{1,8}\right)}{\lg\left(\frac{3}{0,06}\right)} = 0,065, \quad K_1 = \frac{\lg\left(\frac{4,6}{4,3}\right)}{\lg\left(\frac{3}{0,06}\right)} = 0,017.$$

По относительному значению коэффициента пластичности по Н. Н. Иванову модифицированный асфальтобетон в 3,8 раза жестче, чем немодифицированный:

$$K_{отн} = \frac{K_1}{K_2} = \frac{0,065}{0,017} = 3,82.$$

Для определения коэффициента подвижности по И. А. Рыбьеву получены данные, приведенные в таблице 6.

Таблица 4 – Значение показателей, характеризующих сдвигустойчивость асфальтобетонов (тип Б) по Маршаллу (температура испытаний 60 °С)

№ п/п	Состав асфальтобетонной смеси	Условная пластичность 1/10 мм	Устойчивость, Р, Н	Условная жесткость, А, Н/мм
1	Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битуме БНД 40/60 ($P_{25}=59,0,1$ мм); минеральный порошок известняковый не активирован, содержание битума 5 % мас. сверх 100 % минеральной части	46	15 256	3 317
2	Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б) приготовленный на битумополимерсеробетонном вяжущем (*битум 59-0,1 мм с 2 % мас. бутадиенметилстирольного каучука СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный порошок известняковый поверхностно-активирован 0,5 % мас. терпо-эластопластом СКМС-30, содержание модифицированного битума 5 % мас. сверх 100 % минеральной части	39	22 981	5 892
3	Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битумополимерсерном вяжущем (битум $P_{25} = 59-0,1$ мм с 2 % мас. бутадиендиметилстирольного каучука СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно-активированный 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтовяжущее содержит 1 % масс. хризотиласбеста марки А-6К-30; содержание модифицированного битума 5 % мас. сверх 100 % минеральной части	32	26 830	8 383

Таблица 5 – Расчет коэффициента пластичности по Н. Н. Иванову

Вид асфальтобетона	Скорость деформации хода поршня мм/мин	Среднее значение предела прочности при 20 °С, R_{20} , МПа
Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битуме БНД 40/60 ($P_{25} = 59$ град. шкалы пенетromетра); минеральный порошок известняковый не активированный	3	3,1
	0,06	2,6
Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битумополимерсерном вяжущем (битум $P_{25} = 59$ град. шкалы пенетromетра, модифицирован 2 % мас. СКМС-30 и 30 % мас. технической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно-активированный 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтовяжущее структурировано 1 % мас. хризотиласбестом марки А-6К-30.	3	4,6
	0,06	4,3

Коэффициент подвижности для немодифицированного асфальтобетона

$$\alpha_1 = \frac{0,0016}{3,1 \cdot 215} = 0,000024.$$

Коэффициент подвижности для комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетона структурированного хризотиласбестом марки А-6К-30

$$\alpha_2 = \frac{0,0017}{4,6 \cdot 184} = 0,000002.$$

Таблица 6 – Определение коэффициента подвижности по И. А. Рыбьеву

Вид асфальтобетона	Среднее значение предела прочности при сжатии при 20 °С, МПа	Время разрушения (от начала деформирования до разрушения образца, сек.)	Средняя относительная деформация (уменьшение высоты образца от начала деформирования до разрушения, мм)
Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битуме БНД 40/60 (P ₂₅ =59 град. шкалы пенетromетра); минеральный порошок известняковый не активированный	3,1	215	0,016
Мелкозернистый асфальтобетон (тип Б), приготовленный на битумополимерсерном вяжущем (битум P ₂₅ =59 град. шкалы пенетromетра, модифицирован 2 % мас. СКМС-30 и 30% мас. технической серы); минеральный порошок – известняковый поверхностно-активированный 0,5 % мас. СКМС-30; асфальтовяжущее структурировано 1 % масс. хризотил-асбестом марки А-6К-30.	4,6	184	0,0017

Соотношение коэффициента подвижности немодифицированного асфальтобетона и комплексно-модифицированного асфальтополимерсеробетона структурированного хризотиласбестом марки А-6К-30 составляет

$$\alpha_{\text{отн}} = \frac{0,000024}{0,000002} = 12.$$

Это свидетельствует о том, что при комплексной модификации асфальтовяжущего вещества в 12 раз возрастает его способность сопротивляться напряжениям, которые формируют пластические деформации в сравнении со стандартным мелкозернистым асфальтобетоном типа Б.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально доказано, что эффективным способом повышения долговечности асфальтобетонных покрытий в региональных условиях IV дорожно-климатической зоны является комплексная модификация микроструктуры асфальтобетона комплексной добавкой битума бутадиевметилстирольным термоэластопластом СКМС-30 (2 % мас.), аппретирование поверхности известнякового минерального порошка 0,5 % мас. СКМС-30 из углеводородного раствора, микроармирование матрицы асфальтополимерсеробетона хризотиласбестовыми волокнами (1 % мас.).

2. Асфальтополимерсеробетонные смеси, микроармированные хризотиласбестовыми волокнами, отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в более широком диапазоне температур (60...130 °С) по сравнению с традиционными горячими асфальтобетонными смесями. Этому способствуют тиксотропные свойства микроармированного комплексно-модифицированного асфальтовяжущего вещества и более развитые адсорбционно-сольватные слои битумополимерсерного вяжущего на поверхности минеральных материалов. Это позволяет увеличить дальность транспортирования асфальтополимерсеробетонных смесей, микроармированных хризотиласбестовыми волокнами и расширить строительный сезон.

3. Асфальтополимерсеробетоны микроармированные хризотиласбестовыми волокнами, характеризуются: повышенной жесткостью в 12 раз по И. А. Рыбьеву; устойчивостью по Маршаллу 26,83 кН против 15,26 кН, пределом прочности при сжатии при 50 °С 2,2 против 1,2 МПа; коэффициентом водостойкости при длительном водонасыщении 1,0 > 0,85.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорожный асфальтобетон / [Л. Б. Гезенцев, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королёв]. – Москва : Транспорт, 1989. – 237 с. – Текст : непосредственный.
2. Прочность и долговечность асфальтобетона / под редакцией Б. И. Ладыгина и И. К. Яцевича. – Минск : Наука и техника, 1972. – 288 с. – Текст : непосредственный.
3. Инновационные технологии в производстве асфальтобетонных смесей : монография / Ю. Э. Васильев, А. В. Илюхин, В. И. Марсов, Е. В. Марсова. – Москва : МАДИ, 2016. – 116 с. – Текст : непосредственный.
4. Дорожный асфальтобетон и полимерсероасфальтобетон / Г. И. Надыкто, В. Д. Галдина. – Омск : СибАДИ, 2018. – 212 с. – Текст : непосредственный.
5. Автомобильные дороги за рубежом : статистический сборник / Министерство транспорта РФ. – Москва : ФГУП «РОСДОРНИИ», 2009. – 134 с. – Текст : непосредственный.
6. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства / [Л. М. Гохман, Е. И. Гурарий, А. Р. Давыдова, К. И. Давыдова]. – Москва : Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации, Информавтодор, 2002. – Выпуск 4. – 112 с. – Текст : непосредственный.
7. Les liants modifiés, les liants avec additives et les bitumes speciaux – AIPCR/PIARC. – Comite technique C8 (08/05B) // ROUTES-ROALS. – 1999. – № 303. – P. 127. – Текст : непосредственный.
8. Смирнов, А. В. Теоретические и экспериментальные исследования работоспособности нежестких дорожных одежд : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Смирнов Александр Владимирович ; Московский автомобильно-дорожный институт. – Омск, 1989. – 376 с. – Текст : непосредственный.
9. Бабков, В. Ф. Автомобильные дороги : учебник / В. Ф. Бабков ; 4-е изд. пераб. и доп. – Подольск : Изд-во «АТП», 2009. – 280 с. – Текст : непосредственный.
10. Братчун, В. И. О некоторых закономерностях старения бетонных смесей и бетонов на органических вяжущих на примере дегтебетонов / В. И. Братчун, Д. В. Гуляк, В. Л. Беспалов. – Текст : непосредственный // Вісник Харківського автомобільно-дорожнього університету. – 2008. – Випуск 40. – С. 59–64.
11. Hagos, E. T. De invloed van Veroudering op de Eigenschappen van het Bindmiddel in Zeez Open Asphaltbeton : Proefschrift tez verkrijging van de grad van doctor aan de Technische Universiteit Delft / Hagos E. T. – Delft : [s. n.], 2008. – 343 p. – Текст : непосредственный.
12. Теоретико-экспериментальные принципы получения дорожных бетонов на органических вяжущих повышенной долговечности с комплексно-модифицированной микроструктурой / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер [и др.]. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2012. – Випуск 2012-1(93) Сучасні будівельні матеріали. – С. 25–40.
13. Дедюхин, А. Ю. Разработка технологии дисперсного армирования асфальтобетонных смесей несортовыми фракциями волокон хризотила : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дедюхин Александр Юрьевич ; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2009. – 143 с. – Текст : непосредственный.
14. Чернов, С. А. Влияние модифицирующих добавок и полимерно-битумных вяжущих на модуль упругости многощебенистых асфальтобетонов / С. А. Чернов, Е. А. Еременко, Ю. В. Хижняк. – Текст : непосредственный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 46–47.
15. Баранов, И. А. Оценка эффективности стабилизирующих добавок для улучшения структуры и свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона : 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Баранов Игорь Александрович ; Ивановский государственный политехнический университет. – Иваново, 2015. – 176 с. – Текст : непосредственный.
16. ОДМ 218.3.001-2006. Методические рекомендации по применению полимерно-дисперсного армирования асфальтобетонов с использованием резинового термоэластопласта (РТЭП) : утвержден Распоряжением Росавтодора от 15 августа 2006 г. № 378-р. : взамен «Временных рекомендаций по применению полимерно-дисперсного армирования асфальтобетонов с использованием резинового термоэластопласта» / разработан ДорТрансНИИ (Научно-исследовательский институт проблем дорожно-транспортного комплекса) Ростовского государственного строительного университета (РГСУ) по заказу Росавтодора ; издание второе, переработанное. – Москва : Федеральное дорожное агентство «РОСАВТОДОР», 2006. – 56 с. (Отраслевой дорожный методический документ). – Текст : непосредственный.
17. О формировании структуры адсорбционно-сольватных слоев асфальтохризотилового вяжущего вещества на поверхности минеральных материалов дорожного асфальтобетона / В. И. Братчун, О. А. Пшеничных, Е. А. Ромасюк [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – Выпуск 2022-1(153) Современные строительные материалы. – С. 114-121. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-1\(153\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022/vestnik_2022-1(153).pdf). (дата публикации: 21.02.2022).

Получена 15.01.2023

Принята 27.01.2023

В. І. БРАТЧУН, О. О. ПШЕНИЧНИХ, В. Л. БЕСПАЛОВ, О. І. СЕРДЮК,
Т. В. РОДЗИНА
КОМПЛЕКСНО-МОДИФІКОВАНІ ДОРОЖНІ АСФАЛЬТОПОЛІМЕРБЕ-
ТОНИ, МІКРОАРМОВАНІ ХРИЗОТИЛАЗБЕСТОВИМИ ВОЛОКНАМИ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Для комплексно-модифікованого асфальтополімерсеробетону мікроармованого хризотилазбестовими волокнами марки А-6К-30 встановлені оптимальні температури: укладання 140...155 °С; ущільнення 60...130 °С, що у свою чергу збільшує будівельний сезон та дальність транспортування асфальтобетонної суміші. Модифіковані асфальтополімерсеробетонні суміші

характеризуються нижчою питомою енергією ущільнення $0,95 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ проти $1,27 \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}$ для гарячих асфальтобетонних сумішей. Модифіковані асфальтополімерсеробетони характеризуються вищими експлуатаційними властивостями, ніж гарячі асфальтобетони: стійкість за Маршаллом 26,83 кН проти 15,26 кН, коефіцієнт теплостійкості в діапазоні температур при стиску 3,6 проти 6,5; межа міцності при стиску при 50 °С 2,2 МПа > 1,2 МПа; коефіцієнт водостійкості при тривалому водонасиченні 1,0 > 0,85. Жорсткість за І. А. Риб'євим в 12 разів зростає, що свідчить про здатність чинити опір напруженням, які призводять до пластичних деформацій.

Ключові слова: дорожній асфальтополімерсеробетон мікроармований хризотилазбестовими волокнами, технологічні властивості, деформаційно-міцнісні характеристики, довговічність.

VALERIY BRATCHUN, OLEG PSHENICHNYKH, VITALIY BESPALOV,
ALEXANDER SERDYUK, TATIANA RODZINA
COMPLEX-MODIFIED ROAD ASPHALT POLYMER SULFUR CONCRETE
MICRO-REINFORCED WITH CHRYSOTILASSBETH FIBER
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. For the complex-modified asphalt polymer sulphur concrete micro-reinforced with chrysotile-asbestos fibers of grade A-6K-30, the optimal temperatures were established: laying 140...155 °C; compaction 60...130 °C, which in turn increases the construction season and the transportation distance of the asphalt mix. Modified asphalt polymer sulphur concrete mixtures are characterized by lower specific compaction

energy $0,95 \frac{\text{J} \cdot \text{m}^3}{\text{kg}}$ vs $1,27 \frac{\text{J} \cdot \text{m}^3}{\text{kg}}$ for hot asphalt mixes. Modified asphalt polymer sulfur concretes are characterized by higher performance properties than hot asphalt concretes: Marshall resistance 26.83 kN versus 15.26 kN, coefficient of heat resistance in the temperatur range during compression 3.6 versus 6.5; compressive strength at 50 °C 2.2 MPa > 1.2 MPa; coefficient of water resistance at long-term water saturation 1.0 > 0.85. Rigidity according to I. A. Rybiev increases 12 times, which indicates the ability to resist stresses that lead to plastic deformations

Keywords: road asphalt polymer sulfur concrete micro-reinforced with chrysotile-asbestos fibers, technological properties, deformation-strength characteristics, durability.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор; завідує кафедрою автомобільних дорог і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежестких дорожніх одежд, на основі модифікованих органічних вяжущих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенного сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Пшеничних Олег Александрович – асистент кафедри автомобільних дорог і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: комплексно-модифіковані асфальтополімербетони, арміровані полімерними волокнами.

Беспалов Віталій Леонідович – доктор технічних наук, доцент; професор кафедри автомобільних дорог і аеродромів ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: синтез органічних вяжущих для виробництва композиційних дорожньо-будівельних матеріалів, використовуваних при будівництві конструктивних шарів нежестких дорожніх одежд автомобільних дорог підвищеної довговічності.

Сердюк Александр Иванович – доктор химических наук, профессор кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексная переработка промышленных отходов с получением нужных для коммунального хозяйства материалов.

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

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд, на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенной сировины в компоненты композиционных материалов.

Пшеничных Олег Александрович – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны, армированные полимерными волокнами.

Беспалов Виталий Леонидович – доктор технических наук, доцент; профессор кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: синтез органических вяжущих для производства композиционных дорожно-будивельных материалов, что используются при будивництві конструктивных слоев нежесткого дорожного одеяла автомобильных дорог підвищеної довговічності.

Сердюк Александр Иванович – доктор химических наук, профессор кафедры техносферной безопасности ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексная переработка промышленных отходов с получением нужных для коммунального хозяйства материалов.

Родзина Татьяна Викторовна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежесткого дорожного одеяла на основе модифицирования органических вяжущих.

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

Pshenichnykh Oleg – Assistant, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex-modified asphalt polymer concrete reinforced with polymer fibers.

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

Serdyuk Alexander – D. Sc. (Chemical), Professor; Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex processing of industrial waste to obtain materials necessary for public utilities.

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

EDN: EPSGRE

УДК 625.855.3

**О. А. ПШЕНИЧНЫХ^а, Е. А. РОМАСЮК^а, И. Е. ВОЛОЩУК^а, С. П. ДОРОХОВА^а, Д. А. САМСОНОВ^а,
Е. Н. ХОМУТОВ^а, Р. Р. ГАЙДАЙ^б**^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

Аннотация. Экспериментально доказано, что введение в асфальтобетонные смеси дисперсной арматуры в виде стекловолокна, полипропиленовых и хризотиласбестовых волокон позволяет значительно повысить усталостную долговечность дисперсно-армированных асфальтобетонов при действии кратковременных циклических и длительных статических нагрузок. Установлено, что оптимальное содержание полипропиленового волокна (0,7 % мас.) позволило в 1,6 раз повысить усталостную долговечность асфальтобетона типа «Гх» при транспортных циклических нагрузках. Оптимальное содержание стекловолокна и хризотил-асбестовых волокон (1,5 % мас.) позволило повысить усталостную долговечность дисперсно-армированных горячих асфальтобетонов при кратковременном циклическом нагружении на 32 и 22 % соответственно. Введение данных волокон в мелкозернистую асфальтобетонную смесь типа «Б» позволило повысить в среднем в 1,9–2,1 раз усталостную долговечность при действии длительных статических нагрузок.

Ключевые слова: асфальтобетон, дисперсное армирование, волокна, усталостная долговечность.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на автомобильных дорогах общего пользования наблюдается значительный рост осевых нагрузок, скоростей и интенсивности автомобильного транспорта, вследствие чего верхние слои дорожной одежды и слои основания подвергаются воздействию больших разрушающих напряжений. В условиях Донецкой Народной Республики и Российской Федерации, где на основной территории наблюдаются высокие летние температуры (около 60 °С на покрытии), низкие зимние (минус 30 – минус 60 °С) и частый переход через 0 °С, приводит к интенсивному накоплению пластических деформаций в виде волн, наплывов и колеи. К тому же в расчетный период наблюдается образование трещин, связанных с ослаблением (продавливанием) основания дорожной одежды, что приводит к развитию усталостного разрушения конструктивных слоев дорожной одежды. В конечном итоге это вызывает потерю работоспособности дорожного покрытия и соответственно требующую дорогостоящих ремонтов.

Поскольку быстрая потеря работоспособности верхних слоев нежестких дорожных одежд связана с ростом действия нагрузок от автотранспортных средств на покрытие автомобильных дорог, следует обратить особое внимание на улучшение реологических свойств асфальтобетона, определяющих работу материала в силовых полях и на стабильность этих свойств в процессе всего срока эксплуатации асфальтобетонного покрытия.

Наиболее распространенным и положительно зарекомендовавшим себя способом повышения долговечности асфальтобетона является направленное регулирование структуры и свойств нефтяных дорожных битумов и повышение энергетического взаимодействия на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал» введением в битум небольшого количества эффективных полимерных модификаторов. В частности, наиболее эффективным способом является комплексная модификация структуры асфальтобетона, заключающаяся в модификации органического вяжущего полимером и механоактивации минеральных компонентов раствором данного полимерного модификатора [1].

© О. А. Пшеничных, Е. А. Ромасюк, И. Е. Волощук, С. П. Дорохова, Д. А. Самсонов, Е. Н. Хомутов, Р. Р. Гайдай, 2023



Однако комплексная модификация структуры не позволила решить проблему, связанную с остаточной пористостью горячего асфальтобетона (как правило, 2...5 %), вследствие чего в материале остается большое число незамкнутых пор, пустот и, как следствие, очагов концентрации критических напряжений при действии на асфальтобетон динамических и длительных статических нагрузок больших величин. Также комплексная модификация состава и структуры не решает проблемы появления и быстрого роста магистральных трещин в асфальтобетонных слоях при воздействии интенсивной транспортной нагрузки из-за разрушения основания или подстилающего слоя [2, 3].

Наиболее эффективным и целесообразным для промышленного использования является способ дисперсного армирования асфальтобетонных смесей. Он позволяет одновременно снизить вероятность возникновения трещин в покрытии и улучшить показатели физико-механических и структурно-механических свойств асфальтобетонов. В связи с этим представляет интерес разработки составов долговечных асфальтобетонов, которые рационально содержат как модифицированные органические вяжущие, так и дисперсное армирование различными волокнами: полимерными, стеклянными, хризотиласбестовыми [1–3].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное изучение влияния дисперсной арматуры в виде волокон на усталостную долговечность дисперсно-армированных асфальтобетонов в условиях действия кратковременных циклических и длительных статических нагрузок.

НАУЧНАЯ ГИПОТЕЗА ИССЛЕДОВАНИЯ

Равномерное распределение дисперсной арматуры, в частности полимерных, базальтовых, хризотилых волокон, внутри структуры асфальтобетонной смеси позволит равномерно компенсировать растягивающие напряжения за счет хаотичного заземления и переплетения армирующих волокон с частичками минерального остова. Благодаря большому пределу прочности волокон при растяжении (более 300 Н/мм²) рост трещин от воздействия знакопеременных напряжений значительно замедляется. Поэтому в дисперсно-армированных материалах связь между частицами будет обеспечиваться благодаря двум видам связи: структурированными слоями битума и дисперсной арматурой. Каждая минеральная частица связана с окружающими ее частицами, структурированными слоями битума и волокнами дисперсной арматуры, заземленными в этих слоях, что создаст прочный пространственный каркас и позволит значительно повысить предел прочности дисперсно-армированного асфальтобетона на растяжение при изгибе, сдвигустойчивость при высоких положительных температурах, трещиностойкость при отрицательных температурах, усталостную долговечность при циклических и статических нагрузках [3–5].

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для выполнения исследования усталостной долговечности дисперсно-армированных асфальтобетонов приняты следующие типы смесей: холодная (тип «Гх») и горячая (тип «Б»).

Зерновой состав минеральной части холодной асфальтобетонной смеси (таблица 1) получен дроблением и рассевом щебня непрерывной гранулометрией согласно ГОСТ 9128-2009.

Таблица 1 – Зерновой состав минеральной части холодной асфальтобетонной смеси (тип «Гх»)

Тип асфальтобетона	Содержание по массе, % минеральных зерен, которые меньше данного размера, мм							Содержание орг. вяжущего (СГ 90/170)
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,017	
Асфальтобетон холодный песчаный тип «Гх»	100	72	55	42	32	23	16	6 %

В качестве дисперсной арматуры приняты пропиленовые волокна, которые соответствуют ТУ.24.732781078001:2006. На основании выполненных работ [3, 4] оптимальная концентрация пропиленового волокна в холодной асфальтобетонной смеси принята 0,7 %.

В качестве горячего мелкозернистого бетона выбран тип «Б» (состав проф. В. А. Золотарева (таблица 2)).

Таблица 2 – Зерновой состав минеральной части горячей асфальтобетонной смеси (тип «Б»)

Тип асфальтобетона	Содержание по массе, % минеральных зерен, которые меньше данного размера, мм									Содержание орг. вяжущего (БНД (60/90))
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,017	< 0,071	
Асфальтобетон горячий мелкозернистый, тип «Б»	100	77,2	60	42,8	30	21,7	15,2	10,4	7,2	5,5...6 %

В качестве дисперсной арматуры для горячей мелкозернистой асфальтобетонной смеси приняты стекловолокно (длина волокон – 10...30 мм) и хризотиласбестовые волокна по ГОСТ 12871-93 (длиной от 0,1 до 3 мм и диаметром 5...100 мкм, марка А-6К-30).

Оптимальная концентрация стекловолокна, согласно [5], составляет 1,5 % от массы минеральной части асфальтобетонной смеси.

В соответствии с исследованиями А. Ю. Дедюхина [3] оптимальная концентрация хризотиласбестовых волокон для мелкозернистых асфальтобетонных смесей составляет 1,5...1,8 % при содержании минерального порошка в смеси не менее 7 % и органического вяжущего не менее 6 %.

Исследования усталостной долговечности выполнены в соответствии с работами [1, 6] на специальной установке при температуре 20 °С и кратковременной нагрузке 1 МПа с частотой воздействия 1 Гц (нагрузка – 0,1 с, отдых – 0,9 с).

Сравнительная диаграмма полученных результатов исследования усталостной долговечности при воздействии циклического нагружения для холодного дисперсно-армированного асфальтобетона приведена на рис. 1.

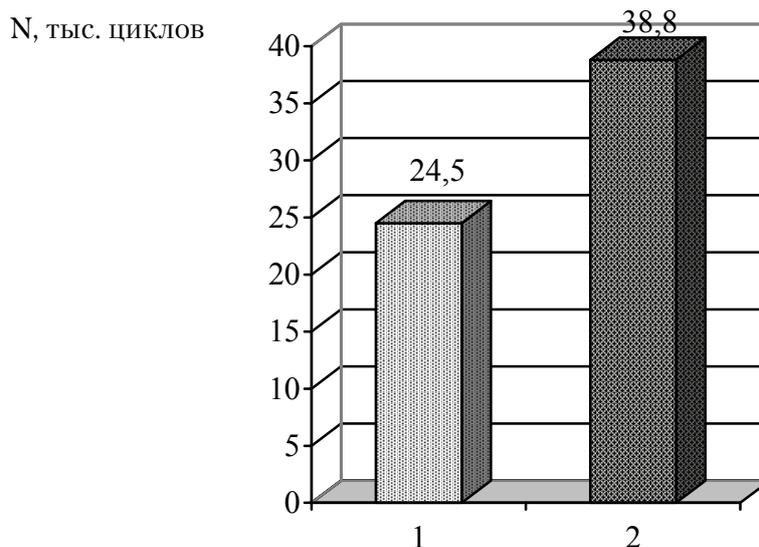


Рисунок 1 – Сравнительная диаграмма усталостной долговечности при циклическом нагружении традиционного холодного асфальтобетона типа Гх (1) и дисперсно-армированного асфальтобетона типа Гх (2) (содержание полипропиленового волокна – 0,7 %).

Оптимальное содержание полипропиленового волокна – 0,7 % от массы холодной асфальтобетонной смеси позволило в 1,6 раз повысить усталостную долговечность асфальтобетона типа «Гх», так как при встрече развивающейся трещины с полипропиленовыми волокнами они воспринимают растягивающие напряжения благодаря достаточно большой прочности волокон на разрыв (более 400 Н/мм²) и тем самым минимизируют развитие усталостного разрушения. Это согласуется с данными, приведенными в работе [4], в которой отмечено, что для дисперсно-армированной холодной органоминеральной смеси подобного состава в процессе испытаний по определению остаточной деформации при постоянной нагрузке характерен более длительный период работоспособности при высокой температуре.

Сравнительная диаграмма полученных результатов исследования усталостной долговечности для горячего дисперсно-армированного асфальтобетона приведена на рис. 2.

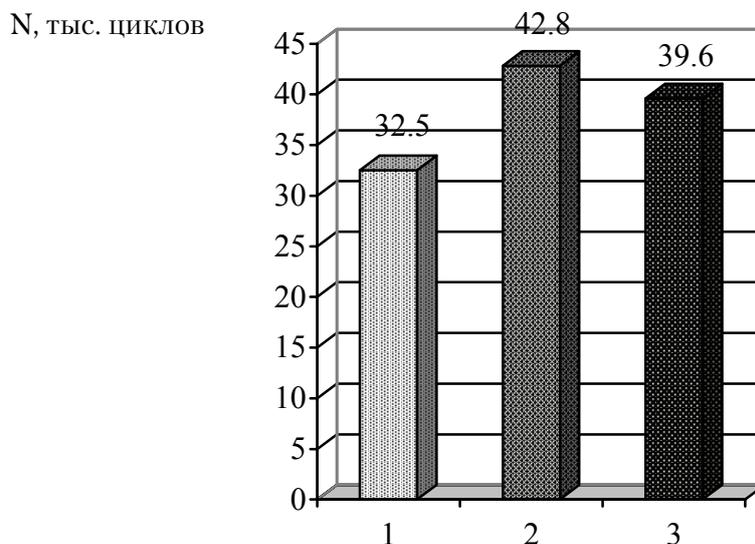


Рисунок 2 – Сравнительная диаграмма усталостной долговечности при воздействии циклического нагружения традиционного асфальтобетона типа «Б» (1), дисперсно-армированного стекловолокном (1,5 % мас.) (2), дисперсно-армированного хризотиласбестовым волокном (1,5 % мас.) (3).

Оптимальное содержание стекловолокна и хризотиласбестовых волокон позволило повысить усталостную долговечность дисперсно-армированных асфальтобетонов кратковременном циклическом нагружении на 32 и 22 % соответственно. Это свидетельствует об увеличении площади коагуляционных связей в дисперсно-армированной асфальтобетонной смеси вследствие переплетения волокон вокруг частиц минерального материала и объединения друг с другом, создавая достаточно прочную пространственную матрицу из перепутанных волокон, что значительно снижает рост магистральных усталостных трещин. Характерно, что большая длина волокон оказывает положительное влияние на усталостную долговечность дисперсно-армированного асфальтобетона. Длина волокна более 10 мм позволяет переплести и объединять большее количество минеральных частиц: не только мелкие фракции (1,25, 0,63, 0,315, < 0,14), но и более крупные фракции песка и щебня, что, в свою очередь, позволяет создать более жесткий пространственный каркас дисперсно-армированного асфальтобетона. Однако в процессе производства армированных смесей с длинными волокнами возникает проблема равномерного распределения волокон по всей структуре материала.

Введение волокон в мелкозернистую асфальтобетонную смесь типа «Б» позволило повысить в среднем в 1,9–2,1 раз усталостную долговечность при действии длительного статического нагружения (рис. 3). Таким образом, целесообразно использовать дисперсно-армированные асфальтобетоны на участках дорог с интенсивными статическими нагружениями: перекрестки, остановки общественного транспорта и т. д.

ВЫВОДЫ

Экспериментально доказано, что введение в асфальтобетонные смеси дисперсной арматуры в виде стекловолокна, полипропиленовых и хризотиласбестовых волокон позволяет значительно повысить усталостную долговечность дисперсно-армированных асфальтобетонов при действии кратковременных циклических и длительных статических нагрузок. Установлено, что оптимальное содержание полипропиленового волокна – 0,7 % от массы холодной асфальтобетонной смеси позволило в 1,6 раз повысить усталостную долговечность асфальтобетона типа «Гх». Оптимальное содержание стекловолокна и хризотиласбестовых волокон – 1,5 % от массы горячей асфальтобетонной смеси типа «Б» позволило повысить усталостную долговечность дисперсно-армированных асфальтобетонов при действии кратковременного циклического нагружения на 32 и 22 % соответственно. Введение данных волокон в мелкозернистую асфальтобетонную смесь типа «Б» позволило повысить в среднем в 1,9–2,1 раз усталостную долговечность при длительных статических нагрузках. Целесообразно использовать

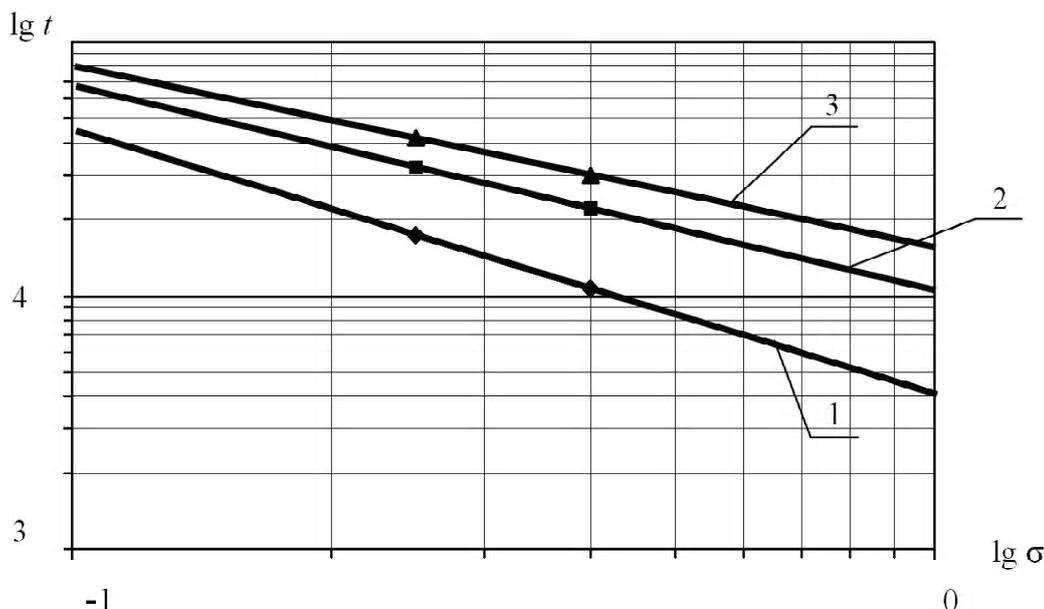


Рисунок 3 – Усталостная долговечность горячих дисперсно-армированных асфальтобетонов при статическом нагружении: 1 – асфальтобетон тип «Б»; 2 – дисперсно-армированный асфальтобетон (тип «Б») хризотил-асбестовым волокном (1,5 % мас.); 3 – дисперсно-армированный асфальтобетон (тип «Б») стекловолокном (1,5 % мас.).

разработанные составы дисперсно-армированных асфальтобетонов на участках дорог с интенсивными статическими нагружениями: перекрестки, остановки общественного транспорта и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теоретико-экспериментальные принципы получения модифицированных дорожных асфальтобетонов повышенной долговечности : монография / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. А. Ромасюк. – Донецк : Издательство ООО «НПП "Фолиант"», 2020. – 244 с. – Текст : непосредственный.
2. Гамеляк, И. П. Разработка методики конструирования дорожных одежд со слоями из дисперсно-армированных асфальтобетонов : специальность 05.23.11 «Строительство автомобильных дорог и аэродромов» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гамеляк Игорь Павлович. – Москва, 1992. – 23 с. – Текст : непосредственный.
3. Дедюхин, А. Ю. Разработка технологии дисперсного армирования асфальтобетонных смесей несортными фракциями волокон хризотила : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Дедюхин Александр Юрьевич. – Воронеж, 2009. – 143 с. – Текст : непосредственный.
4. Ромасюк, Е. А. Бетоны из дисперсно-армированных холодных органоминеральных смесей с повышенными деформационно-прочностными свойствами / Е. А. Ромасюк, А. А. Верещун, Д. С. Бойко. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – Выпуск 2017-2(124) Современные строительные материалы. – С. 34–40. – URL: [http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_20172\(124\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2017/vestnik_20172(124).pdf) (дата публикации: 30.05.2017).
5. Дисперсно-армированные стекловолокном дорожные асфальтобетоны / О. А. Пшеничных, Е. А. Ромасюк, Д. В. Гуляк [и др.]. – Текст : электронный // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса в рамках 7-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие» : материалы VII Международной научно-практической конференции, 25 мая 2021 г. – Горловка : АДИ ГОУВПО «ДОННТУ», 2021. – С. 140–144. – URL: <http://www.adidonntu.ru/node/2692> (дата публикации: 28.05.2021).
6. Ромасюк, Е. А. Дорожные асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой повышенной усталостной долговечности : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ромасюк Евгений Александрович. – Макеевка, 2016. – 175 с. – Текст : непосредственный.

Получена 18.01.2023

Принята 27.01.2023

О. А. ПШЕНИЧНЫХ^а, Е. О. РОМАСЮК^а, И. Е. ВОЛОЩУК^а, С. П. ДОРОХОВА^а,
Д. А. САМСОНОВ^а, Е. М. ХОМУТОВ^а, Р. Р. ГАЙДАЙ^б
ДОСЛІДЖЕННЯ ВТОМНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ
АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

^а ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^б ФДБОУ ВО
«Донський державний технічний університет»

Анотація. Експериментально доведено, що введення в асфальтобетонні суміші дисперсної арматури у вигляді скловолокна, поліпропіленових і хризотилазбестових волокон дозволяє значно підвищити утомну довговічність дисперсно-армованих асфальтобетонів при впливі короточасних циклічних і тривалих статичних навантажень. Встановлено, що оптимальний вміст поліпропіленового волокна (0,7 % мас.) дозволило в 1,6 разів підвищити утомну довговічність асфальтобетону типу «Гх». Оптимальний вміст скловолокна та хризотилазбестових волокон (1,5 % мас.) дозволило підвищити утомну довговічність дисперсно-армованих гарячих асфальтобетонів при впливі короточасного циклічного навантаження на 32 та 22 % відповідно. Введення даних волокон у дрібнозернисту асфальтобетонну суміш типу «Б» дозволило підвищити в середньому в 1,9–2,1 разів утомну довговічність при дії тривалих статичних навантажень.

Ключові слова: асфальтобетон, дисперсне армування, волокна, утомна довговічність.

OLEG PSHENICHNYKH^а, EVGENIY ROMASYUK^а, ILYA VOLOSHCHUK^а,
SVETLANA DOROKHOVA^а, DMITRIY SAMSONOV^а, EVGENIY KHOMUTOV^а,
RODION GAIDAI^б
INVESTIGATION OF FATIGUE LIFE OF DISPERSION-REINFORCED ASPHALT
CONCRETE

^а Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^б Don State Technical
University

Abstract. The article experimentally proves that the introduction of dispersed reinforcement in the form of glass fiber, polypropylene and chrysotile-asbestos fibers into asphalt concrete mixtures can significantly increase the fatigue life of dispersed-reinforced asphalt concrete under the influence of short-term cyclic and long-term static loads. It has been established that the optimal content of polypropylene fiber (0.7 % wt.) made it possible to increase the fatigue life of asphalt concrete type «Gx» by 1.6 times. The optimal content of glass fiber and chrysotile-asbestos fibers (1.5 % wt.) made it possible to increase the fatigue life of dispersion-reinforced hot asphalt concrete under short-term cyclic loading by 32 and 22 %, respectively. The introduction of these fibers into a fine-grained asphalt concrete mix of type «B» made it possible to increase, on average, 1.9-2.1 times the fatigue life under the influence of long-term static loads.

Keywords: asphalt concrete, dispersed reinforcement, fibers, fatigue life.

Пшеничных Олег Александрович – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны, армированные полимерными волокнами.

Ромасюк Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка составов технологичных и долговечных асфальтобетонов для устройства и ремонта конструктивных слоев жестких дорожных одежд.

Волощук Илья Евгеньевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

Дорохова Светлана Петровна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

Самсонов Дмитрий Андреевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

Хомутов Евгений Николаевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

Гайдай Родион Романович – студент факультета автоматизации, мехатроники и управления ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет». Научные интересы: мехатроника, машиностроение, организация производства в дорожно-строительной сфере.

Пшеничных Олег Александрович – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: комплексно-модифицированные асфальтополимербетоны, армированные полимерными волокнами.

Ромасюк Евгений Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка составов технологичных и долговечных асфальтобетонов для влаштування та ремонту конструктивных слоев нежесткого дорожного покрытия.

Волощук Илья Евгенович – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

Дорохова Светлана Петровна – магистрант автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

Самсонов Дмитрий Андрійович – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

Хомутов Евгений Николаевич – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДОНУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

Гайдай Родион Романович – студент факультета автоматизации, мехатроники та управління ФДБОУ ВО «Донський державний технічний університет». Научные интересы: мехатроника, машиностроение, организация производства в дорожно-строительной сфере.

Pshenichnykh Oleg – Assistant, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: complex-modified asphalt polymer concrete reinforced with polymer fibers.

Romasjuk Evgeniy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of compositions of technological and durable asphalt concrete for the installation and repair of structural layers of non-rigid pavement.

Voloshchuk Ilya – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concrete of increased durability.

Dorokhova Svetlana – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concrete of increased durability.

Samsonov Dmitry – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concrete of increased durability.

Khomutov Evgeniy – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modified asphalt concrete of increased durability.

Gaidai Rodion – a student of the Faculty of Automation, Mechatronics and Control of Don State Technical University. Scientific interests: mechatronics, mechanical engineering, organization of production in the road construction industry.

EDN: FILD MF

УДК 691.32

С. В. СОРОКАНИЧ, А. В. ПАРАМОНОВА

ГОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля»

ВЛИЯНИЕ ГЛИНОЗЕМСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКИ НА ПРОЦЕССЫ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Аннотация. В данной статье рассмотрено влияние глиноземсодержащего отхода, образующегося при производстве алюминиевых изделий - алюмошлака, на процессы гидратации цементного камня и его структурообразование. Приведены исходные характеристики глиноземсодержащей добавки алюмошлака, а именно: химический и гранулометрический состав, данные рентгенофазового анализа и рентгенограммы образцов цементного камня с различной концентрацией глиноземсодержащей добавки алюмошлака. По данным рентгенофазового анализа цементного камня с комплексной (АШ+СП-1) добавкой составов №№ 1, 2, 3, 4 и контрольного образца, твердеющих в течение 1, 2, 3 суток, отмечены изменения в интенсивности дифракционных отражений минерала алита, которые характеризуют степень гидратации портландцемента. В то же время для образцов цементного камня №№ 1, 2, 3, 4 наблюдается снижение/повышение интенсивности дифракционных отражений, характерных для минерала портландита в сравнении с образцом контрольного состава. Наблюдается увеличение интенсивности дифракционных отражений, характерных гидроалюминатам кальция в образцах составов №№ 1, 2, 3, 4 в сравнении с образцом контрольного. Вместе с тем наблюдается снижение интенсивности дифракционных отражений минерала этtringит. Эти данные подтверждают показатели прочности цементного камня в разные сроки твердения.

Ключевые слова: добавка - алюмошлак, техногенный отход, гидратация, структурообразование, твердение, прочность, цементный камень.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В современном строительстве наиболее распространённым материалом являются цементные бетоны. Требования к современным высокофункциональным цементным бетонам – это высокая прочность, ускоренное твердение, компенсация усадки, высокие физико-механические и эксплуатационные свойства.

Одним из наиболее эффективных способов достичь необходимых характеристик цементных бетонов – это необходимо модифицировать его состав различными минеральными и химическими добавками, в том числе техногенного происхождения.

На предприятиях металлургической и других отраслях промышленности образуются десятки тонн глиноземсодержащих отходов, которые в большинстве своем направляются в отвалы, значительно ухудшая экологическую обстановку. Существующие способы переработки этих отходов не позволяют в полной мере решить задачи использования и устранить экологические проблемы, связанные с их хранением. Поэтому актуальностью темы является возможность применения глиноземсодержащих отходов в строительной индустрии.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Повлиять на процессы гидратации и структурообразования цементного камня можно путем введения в его состав комплексных добавок, ускоряющих набор прочности.

Одним из способов ускорения набора прочности цементных композитов является применение различных химических добавок [1].



Наиболее распространёнными и эффективными являются хлориды и смеси на их основе, сульфаты и гидроксиды алюминия. Но некоторые из этих ускорителей твердения имеют и ряд существенных недостатков.

Так, при использовании хлоридов в качестве ускорителя твердения возникает коррозия стальной арматуры в железобетонных конструкциях, при использовании солей калия и натрия – щелочная коррозия [2–3].

Ускорители твердения на основе натрия углекислого вызывают чрезвычайно быстрое схватывание, что затрудняет процессы бетонирования и не всегда дает возможность уложить бетонную смесь до начала схватывания. Также стоит отметить, что эти добавки не повышают, а в некоторых случаях снижают прочность бетона.

Хлорид кальция CaCl_2 – кальциевая соль соляной кислоты, резко ускоряет кинетику набора прочности как в первые сутки, так и в 28-суточном возрасте. Однако при повышенных дозировках повышает усадку бетона, вызывает коррозию стальной арматуры [1, 2].

Также известны ускорители твердения на основе органических веществ – ди-, триэтаноламины, кальциевые соли муравьиной и уксусной кислот. Недостатками подобных ускорителей является их высокая стоимость и избирательное действие в зависимости от выбранных дозировок и типов цемента [3–4].

Строительная индустрия развивается стремительно и качество строительных материалов, в частности цементов, значительно повысилось: улучшение минералогического состава, совершенствование обжига клинкера, увеличение тонкости помола цемента.

Одно из направлений получения быстротвердеющих и особо быстротвердеющих цементов – это увеличение удельной поверхности рядовых цементов путем их домола на местах, в шаровых и вибромельницах.

Также применяют способ мокрого домола цементов совместно с введением ускоряющих добавок с целью ускорения схватывания и твердения [5–6].

Эти методы являются эффективными, но для их осуществления необходимы дополнительные энергозатраты, что ведёт за собой удорожание конечной продукции.

В связи с этим решения этих проблем можно достичь применением техногенного глиноземсодержащего отхода алюмошлака при производстве композиционных материалов на основе портландцемента.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить свойства техногенного глиноземсодержащего отхода алюмошлака; исследовать влияние минеральной добавки различной концентрации на гидратацию цементного камня.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для исследования процессов гидратации цементного камня использовались составы с суперпластификатором и различной концентрацией минеральной глиноземсодержащей добавки отсева алюмошлака (АШ).

В качестве исходных материалов использовались:

Вязущее: портландцемент ПЦ 500 Д0, ООО «ДОНЦЕМЕНТ», пгт. Новоамвросиевское, Амвросиевский район, $S_{уд.} = 357 \text{ м}^2/\text{кг}$, $R_{28} = 51,2 \text{ МПа}$;

Химическая добавка: относящаяся к пластифицирующему-водоредуцирующему виду, суперпластификатор «ПОЛИПЛАСТ СП-1»;

Минеральная добавка: техногенный глиноземсодержащий отход – алюмошлак, $\rho_n = 1\,150 \text{ кг/м}^3$;

Вода по ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия».

Минеральная добавка – отсев глиноземсодержащего отхода алюмошлака. В результате сушки и отсева алюмошлака был получен порошок серого цвета, насыпная плотность – $1\,150 \text{ кг/м}^3$. Глиноземсодержащий отход в исходном виде и в виде отсева приведен на рисунке 1.

Химический состав отсева алюмошлака приведен в таблице 1.

Гранулометрический состав отсева алюмошлака представлен в таблице 2.

Составы смесей для изготовления образцов цементного камня для рентгенофазового анализа приведены в таблице 3.

В таблице 4 приведены прочностные характеристики цементного камня контрольного состава и составов с глиноземсодержащей добавкой различной концентрации.

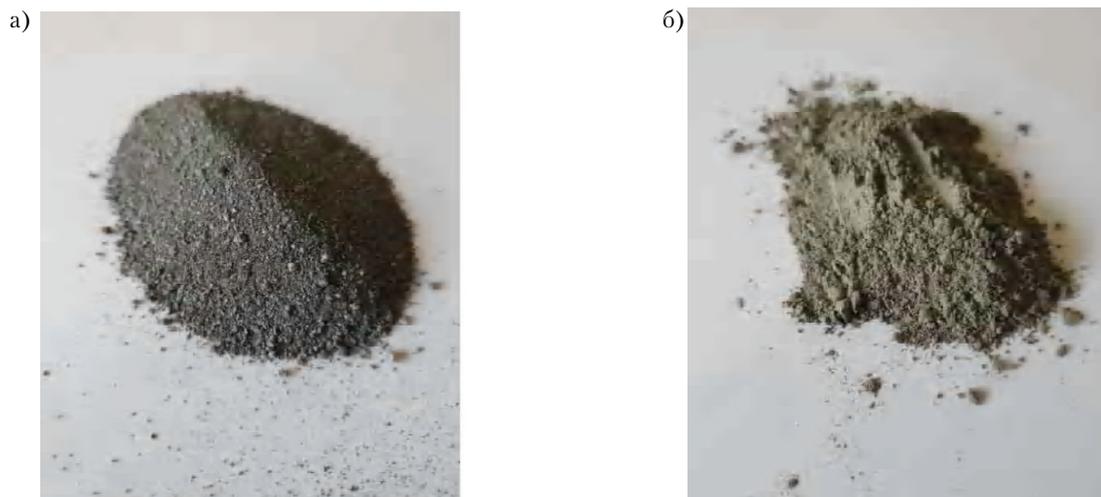


Рисунок 1 - Глиноземсодержащий отход – алюмошлак: а) в исходном состоянии; б) отсев алюмошлака.

Таблица 1 – Химический состав отсева алюмошлака, %

Оксиды	SiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	TiO ₂ , %	CaO, %	MgO, %	Na ₂ O, %	K ₂ O, %	P ₂ O ₅ , %	SO ₃ , %	Потеря массы при прокаливании, %
Содержание, %	7,48	57,14	3,52	0,384	4,7	2,56	2,92	0,39	0,009	0,08	17,97

Таблица 2 – Гранулометрический состав отсева алюмошлака

Содержание фракций, %	0,10 мм	0,08 мм	0,071мм	0,063 мм	0,050 мм	0,040 мм	Менее 0,040 мм
Отсев алюмошлака	0,70	1,40	44,15	3,60	43,35	0,80	6,00

Таблица 3 – Составы образцов цементного камня для рентгенофазового анализа

Состав №	Компоненты цементного теста, гр (%)					
	ПЦ	СП-1	АШ	В (мл.)	В/Т	В/Т
Контрольный	400	2,4 (0,6)	–	100	0,25	0,25
Состав 1	400	2,4 (0,6)	8 (2)	102	0,25	0,25
Состав 2	400	2,4 (0,6)	16 (4)	104	0,25	0,25
Состав 3	400	2,4 (0,6)	24 (6)	106	0,25	0,25
Состав 4	400	2,4 (0,6)	32 (8)	108	0,25	0,25

Таблица 4 – Прочностные характеристики цементного камня

Состав	Предел прочности R _{сж} , МПа				
	1 сутки	2 сутки	3 сутки	7 сутки	28 сутки
Контрольный (К)	43,8	44	47,5	50	56
Состав 1	52	52,5	54	56,5	60
Состав 2	54,7	55	56	57	66
Состав 3	70	71	78	82	90
Состав 4	25,3	25,5	30	36,5	62,5

По данным рентгенофазового анализа цементного камня с глиноземсодержащей добавкой составов №№ 1,2,3,4 и контрольного состава, твердеющих в течение 1, 2, 3 суток. Отмечены изменения в интенсивности дифракционных отражений минерала алита, внутри каждого состава – снижение интенсивности линий: $d = 0,278; 0,176; 0,155; 0,149$ нм (табл. 5), которые характеризуют степень гидратации портландцемента.

В то же время для образцов цементного камня №№ 1, 2, 3, 4 наблюдается снижение/повышение интенсивности дифракционных отражений, характерных для минерала портландита: $d = 0,493; 0,263; 0,193$ нм в сравнении с образцом контрольного состава. Снижение пиков портландита, вероятно, объясняется связыванием его с силикатными составляющими и переходом в гидросиликаты кальция, что подтверждает рост интенсивности дифракционных отражений линий гидросиликатов кальция С-С-Н: $d = 0,307, 0,212$ нм.

Наблюдается увеличение интенсивности дифракционных отражений, характерных гидроалюминатам кальция в образцах составов №№ 1, 2, 3, 4 в сравнении с образцом контрольного состава: $d = 0,281; 0,230$ нм, что связано с добавлением в эти составы добавки алюмошлака, в результате чего выделяются новые количества кристаллов гидроалюмината кальция и гель гидроокиси алюминия, что и дает раннюю прочность.

Вместе с тем наблюдается снижение интенсивности дифракционных отражений минерала этtringит: $d = 0,215; 0,162$ нм. Это связано с тем, что обладающий игольчатой формой этtringит участвует в формировании ранней прочности камня, как армирующий компонент.

Вышеприведенное описание рентгенограмм объясняет прирост прочности у составов №№ 1, 2, 3, 4 относительно контрольного в возрасте 1, 2, 3 суток.

В возрасте 7 суток твердения отмечены изменения в интенсивности дифракционных отражений минерала алита у составов №№ 1, 2, 3, 4 и контрольного состава – снижение интенсивности линий: $d = 0,278; 0,176; 0,155; 0,149$ нм.

В то же время наблюдается повышение дифракционных отражений гидросиликата кальция $d = 0,307$ нм у образцов составов №№ 1, 2, 3, 4 по сравнению с контрольным. Также отмечается повышение дифракционных отражений гидроалюминатов кальция: $d = 0,281; 0,230$ нм в составах №№ 1, 2, 3, 4, в частности, у образца с концентрацией добавки 6 % (состав № 3), по сравнению с образцом контрольного состава.

Вышесказанное объясняет прирост прочности в возрасте 7 суток в образцах составов №№ 1, 2, 3, 4 с введением минерального модификатора различной концентрации по сравнению с образцом контрольного состава.

В возрасте 28 суток отмечается снижение интенсивности дифракционных отражений основных линий минерала алита: $d = 0,278; 0,176; 0,155; 0,149$ нм в составах №№ 1, 2, 3, 4 и контрольного состава. Также наблюдается значительный рост интенсивности дифракционных отражений основных линий минерала гидросиликата кальция $d = 0,307$ нм в составах №№ 1, 2, 3, 4. Наибольшая интенсивность у образца состава № 3 и линий гидроалюмината кальция: $d = 0,281; 0,230$ нм в составах №№ 1, 2, 3, 4. При этом относительная интенсивность выше у состава № 3 в сравнении с образцом контрольного состава, (табл. 5, рис. 2, 3, 4, 5, 6).

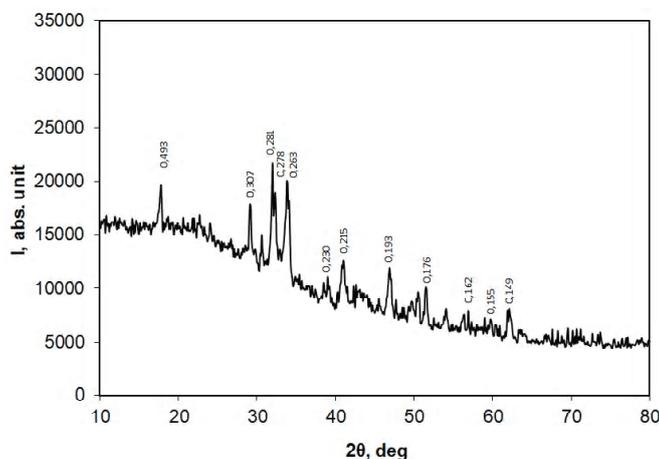


Рисунок 2 – Рентгенограмма контрольного образца цементного камня вяжущего в возрасте 28 суток

Таблица 5 – Интенсивность дифракционных отражений минералов по данным РФА

2θ	d, нм	Интенсивность для проб образцов (№ состава – сроки твердения)														
		К-1	К-2	К-3	К-7	К-28	1-1	1-2	1-3	1-7	1-28	2-1	2-2	2-3	2-7	2-28
Алит – 54CaO·16SiO ₂ ·Al ₂ O ₃ ·MgO																
32,2	0,278	155	144,4	133,3	127,8	116,6	183,3	166,6	144,4	111,1	94,44	172,2	150	150	138,8	83,3
51,5	0,176	88,9	88,9	77,8	72,22	66,7	116,6	105,56	100	94,44	88,88	111,1	111,1	94,4	94,4	72,2
59,66	0,155	44,4	44,4	38,89	33,3	27,8	38,8	38,8	33,3	33,3	33,3	27,8	27,8	27,8	–	–
62,2	0,149	66,7	61,1	44,4	38,89	38,89	66,7	61,2	61,2	55,5	55,5	72,2	66,6	66,6	55,5	44,4
Порландит																
17,8	0,493	50	72,2	50	77,7	83,3	55,5	55,5	61,1	61,1	–	44,4	83,3	83,3	61,1	–
34	0,263	205,5	205,5	150	177,7	188,8	200	200	166,6	144,4	122,2	177,7	216,6	177,7	177,7	77,7
46,9	0,193	77,7	88,8	88,8	88,8	88,8	66,6	77,7	77,7	94,4	44,4	83,3	83,3	83,3	88,8	88,8
Гидросиликат кальция																
29,1	0,307	94,4	94,4	100	100	88,8	94,4	100	100	105,5	355,5	83,3	105,5	138,8	138,8	277,7
42,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	83,3	–	–	–	–	–
Гидроалюминат кальция																
32	0,281	138,8	155,5	166,6	166,6	177,7	194,4	194,4	194,4	183,3	183,3	211,1	200	194,4	216,6	222,2
38,5	0,230	61,1	44,4	44,4	55,5	50	50	44,4	33,3	33,3	88,8	44,4	44,4	38,8	27,7	27,7
44,7	0,204	–	–	–	–	–	50	33,3	–	22,2	–	–	–	–	–	–
Эттрицит																
41	0,215	127,7	138,8	100	94,4	77,7	111,1	144,4	127,7	111,1	111,1	116,6	122,2	116,6	94,4	94,4
56,3	0,162	50	50	38,8	44,4	44,4	50	55,5	55,5	61,1	61,1	44,4	61,1	55,5	55,5	55,5
Алит – 54CaO·16SiO ₂ ·Al ₂ O ₃ ·MgO																
32,2	0,278	0,278	177,8	155,5	155,5	155,5	150	66,6	166,7	144,4	144,4	144,4	144,4	116,6	94,4	94,4
51,5	0,176	0,176	100	88,8	88,8	88,8	88,8	72,2	105,5	105,5	105,5	94,4	94,4	88,88	83,3	83,3
59,66	0,155	0,155	33,3	27,7	27,7	27,7	22,2	22,2	44,4	44,4	44,4	–	–	–	33,3	33,3
62,2	0,149	0,149	77,8	66,6	66,6	66,6	55,5	38,8	72,2	72,2	72,2	66,6	66,6	44,4	44,4	44,4
Порландит																
17,8	0,493	0,493	61,6	61,1	61,1	77,7	77,7	–	94,4	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	–	–
34	0,263	0,263	161,1	200	188,8	188,8	177,7	94,4	216,6	194,4	194,4	172,2	172,2	166,6	111,1	111,1
46,9	0,193	0,193	83,3	83,3	83,3	83,3	83,3	83,3	72,2	77,8	77,8	61,1	61,1	61,1	61,1	61,1
Гидросиликат кальция																
29,1	0,307	0,307	111,1	116,6	116,6	116,6	188,8	366,6	100	116,6	116,6	122,2	122,2	194,4	283,3	283,3
42,8	–	–	–	–	–	–	–	77,7	–	–	–	–	–	–	–	61,1
Гидроалюминат кальция																
32	0,281	0,281	250	238,8	227,7	227,7	233,3	238,8	211,1	211,1	211,1	216,6	216,6	211,1	211,1	211,1
38,5	0,230	0,230	33,3	38,8	38,8	38,8	33,3	88,8	33,3	50	50	38,8	38,8	–	–	–
44,7	0,204	0,204	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Эттрицит																
41	0,215	0,215	122,2	127,7	127,7	127,7	144,4	83,3	116,6	122,2	122,2	138,8	138,8	83,3	88,8	88,8
56,3	0,163	0,163	55,5	44,4	44,4	55,5	61,1	50	50	72,2	72,2	55,5	55,5	77,7	77,7	44,4

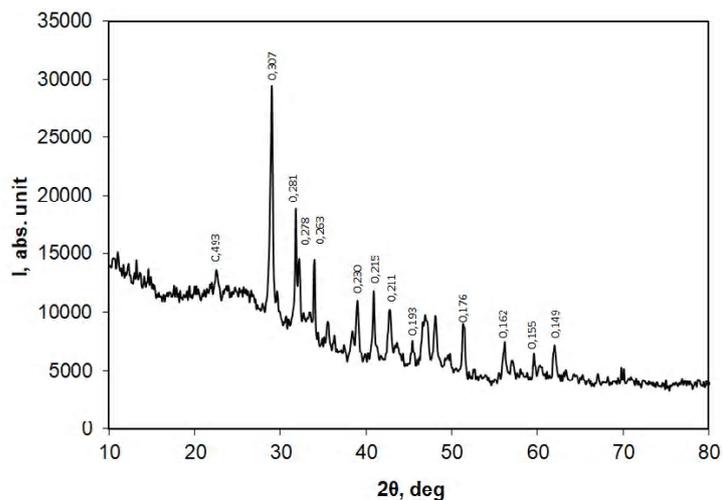


Рисунок 3 – Рентгенограмма образца цементного камня вяжущего № 1 в возрасте 28 суток.

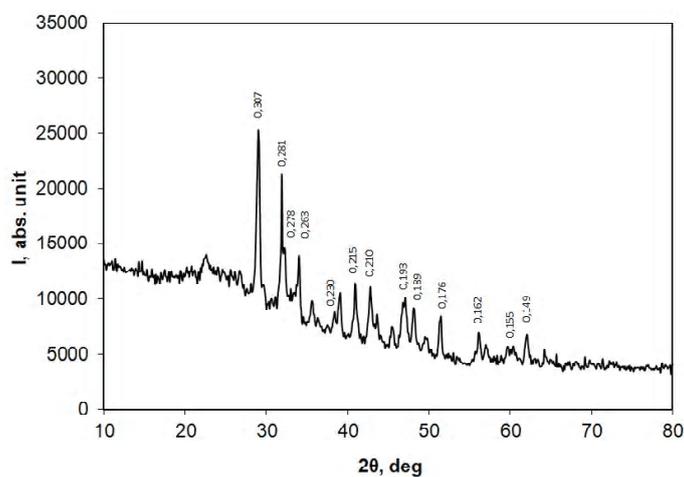


Рисунок 4 – Рентгенограмма образца цементного камня вяжущего № 2 в возрасте 28 суток.

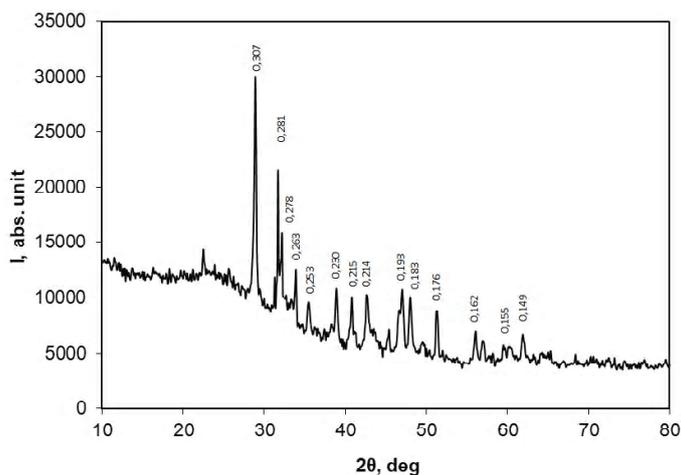


Рисунок 5 – Рентгенограмма образца цементного камня вяжущего № 3 в возрасте 28 суток.

ВЫВОДЫ

1. Повышение показателей прочности у составов с добавкой алюмошлака как в ранние строки твердения цементного камня, так и в проектном возрасте по сравнению с контрольным составом в возрасте

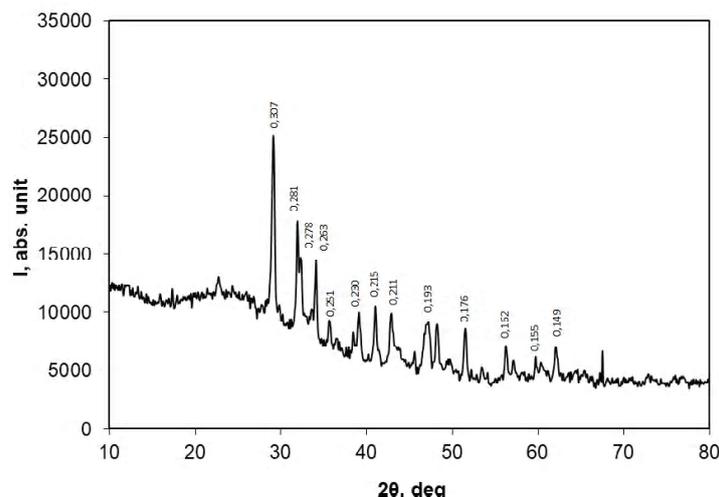


Рисунок 6 – Рентгенограмма образца цементного камня вяжущего № 4 в возрасте 28 суток.

2 суток у состава № 1, 2, 3, на 19,3; 25; 61; % и у составов № 1, 2, 3, 4 в возрасте 28 суток на 7; 17; 60; 11 % соответственно;

2. По данным рентгенофазового анализа цементного камня с комплексной (АШ+СП-1) добавкой составов №№ 1, 2, 3, 4 и контрольного образца, твердеющих в течение 1, 2, 3 суток, отмечены изменения в интенсивности дифракционных отражений минерала алита, которые характеризуют степень гидратации портландцемента. В то же время для образцов цементного камня №№ 1, 2, 3, 4 наблюдается снижение/повышение интенсивности дифракционных отражений, характерных для минерала портландита в сравнении с образцом контрольного состава. Наблюдается увеличение интенсивности дифракционных отражений, характерных гидроалюминатам кальция в образцах составов №№ 1, 2, 3, 4 в сравнении с образцом контрольного. Вместе с тем наблюдается снижение интенсивности дифракционных отражений минерала этtringит. Эти данные подтверждают показатели прочности цементного камня в разные сроки твердения

3. Из вышесказанного следует, что техногенный отход алюмошлак можно использовать при производстве композиционных материалов на основе портландцемента

4. Использование техногенного отхода – алюмошлака при производстве композиционных материалов на основе портландцемента позволит снизить нагрузку на природные ресурсы и улучшить экологическую обстановку в регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ружинский, С. И. Ускорители схватывания и твердения в технологии бетонов / И. С. Ружинский. – Текст : непосредственный // Популярное бетоноведение. – 2005. – № 1. – С. 75.
2. Степанов, С. В. Комплексный ускоритель твердения цементных бетонов на основе гальванического алюмошлама : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Степанов Сергей Викторович ; Казанский государственный архитектурно-строительный университет ; Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2012. – 20 с. – Текст : непосредственный.
3. Рамачандран, В. С. Наука о бетоне: физико-химическое бетоноведение / В. Рамачандран, Р. Фельдман, Дж. Бодуэн ; перевод с англ. Т. И. Розенберг, Ю. Б. Ратиновой. – Москва : Стройиздат, 1986. – 278 с. – Текст : непосредственный.
4. Rixom, R. Chemical Admixtures for Concrete / R. Rixom, N. Mailvaganam. – London : E&FN Spon, 1999. – 446 p. – Текст : непосредственный.
5. Мурог, В. Ю. Влияние домолы цемента на прочность бетонных изделий / В. Ю. Мурог, П. Е. Вайтехнович. – Текст : электронный // Строительные материалы. – 2004. – № 6. – С. 36–38. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9558772> (дата обращения: 13.01.2023).
6. Пименов, С. И. Повышение ранней прочности тяжелых бетонов механохимической активацией цементной суспензии с эффективными суперпластификаторами : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пименов Сергей

Иванович ; Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2017. – 20 с. – Текст : непосредственный.

Получена 17.01.2023

Принята 27.01.2023

С. В. СОРОКАНИЧ, А. В. ПАРАМОНОВА
ВПЛИВ ГЛИНОЗЕМНОЇ ДОБАВКИ НА ПРОЦЕСИ ГІДРАТАЦІЇ
ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ
ДОУ ВО «Луганський державний університет ім. В. Даля»

Анотація. У даній статті розглянуто вплив глиноземвмісного відходу, що утворюється при виробництві алюмінієвих виробів – алюмошлаку, на процеси гідратації цементного каменю та його структуроутворення. Наведено вихідні характеристики глиноземвмісної добавки алюмошлаку, а саме: хімічний і гранулометричний склад, дані рентгенофазового аналізу та рентгенограми зразків цементного каменю з різною концентрацією глиноземвмісної добавки алюмошлаку. За даними рентгенофазового аналізу цементного каменю з комплексною (АШ + СП-1) добавкою складів №№ 1, 2, 3, 4 і контрольного зразка, що твердіють протягом 1, 2, 3 діб, відзначені зміни в інтенсивності дифракційних відбитків мінералу аліту, які характеризують ступінь гідратації портландцементу. Водночас для зразків цементного каменю №№ 1, 2, 3, 4 спостерігається зниження/підвищення інтенсивності дифракційних відбитків, характерних для мінералу портландиту порівняно зі зразком контрольного складу. Спостерігається збільшення інтенсивності дифракційних відбитків, характерних гідроалюмінатам кальцію у зразках складів №№ 1, 2, 3, 4 порівняно зі зразком контрольного. Разом з тим спостерігається зниження інтенсивності дифракційних відбитків мінералу еттрингіт. Ці дані підтверджують показники міцності цементного каменю в різні терміни твердження.

Ключові слова: добавка – алюмошлак, техногенний відхід, гідратація, структуроутворення, твердіння, міцність, цементний камінь.

STANISLAV SOROKANICH, ANASTASIA PARAMONOVA
INFLUENCE OF ALUMINA-CONTAINING ADDITIVE ON CEMENT STONE
HYDRATION PROCESSES
SEI HE «Lugansk State University named after Volodymyr Dahl»

Abstract. This article discusses the influence of alumina-containing waste generated during the production of aluminum products – aluminum slag, on the processes of hydration of cement stone and its structure formation. Initial characteristics of alumina-containing additive of alumina slag are given, namely: chemical and particle size distribution, X-ray phase analysis data and X-ray images of cement stone samples with different concentration of alumina-containing additive of alumina slag. According to the X-ray phase analysis of cement stone with complex (AS + SP-1) additive of compositions No. 1, 2, 3, 4 and a control sample hardening for 1, 2, 3 days, changes in the intensity of diffraction reflections of the alite mineral were noted, which characterize the degree of hydration of Portland cement. At the same time, for samples of cement stone No. 1, 2, 3, 4, there is a decrease/increase in the intensity of diffraction reflections characteristic of the Portlandite mineral in comparison with the sample of the control composition. There is an increase in the intensity of diffraction reflections characteristic of calcium hydroaluminates in samples of compositions No. 1, 2, 3, 4 compared to the control sample. At the same time, there is a decrease in the intensity of diffraction reflections of the ettringite mineral. These data confirm the strength of the cement stone at different hardening times.

Keywords: additive – alumina slag, technogenic waste, hydration, structure formation, hardening, strength, cement stone.

Сороканич Станислав Васильевич – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства ГОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля». Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства. Научные интересы: тяжелые бетоны, коррозионная стойкость.

Парамонова Анастасия Владимировна – ассистент кафедры управления жилищно-коммунальным хозяйством ГОУ ВО «Луганский государственный университет им. В. Даля». Институт строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства. Научные интересы: тяжелые бетоны, ускорители твердения, техногенные отходы.

Сороканич Станіслав Васильович – кандидат технічних наук, доцент; завідувач кафедри міського будівництва та господарства ДООУ ВО «Луганський державний університет ім. В. Даля». Інститут будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства. Наукові інтереси: важкі бетони, корозійна стійкість.

Парамонова Анастасія Володимирівна – асистент кафедри управління житлово-комунальним господарством ДООУ ВО «Луганський державний університет ім. В. Даля». Інститут будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства. Наукові інтереси: важкі бетони, прискорювачі твердіння, техногенні відходи.

Sorokanich Stanislav – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Head of the Department Urban Construction and Economy, SEI HE «Lugansk State University named after Volodymyr Dahl». Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services. Scientific interests: heavy concrete, corrosion resistance.

Paramonova Anastasia – Assistant, Housing and Communal Services Management Department, SEI HE «Lugansk State University named after Volodymyr Dahl». Institute of Construction, Architecture and Housing and Communal Services. Scientific interests: heavy concrete, hardening accelerators, man-made waste..

EDN: DWKOJU
УДК 678.686**Е. Э. САМОЙЛОВА, В. М. ЛОШАКОВА**
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АСФАЛЬТО- И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ

Аннотация. В данной работе обобщены результаты исследований процессов, проходящих на границе раздела фаз минеральный порошок (МП) – органическое вяжущее (ОВ) и в тонких пленках ОВ, выполненных методами дифференциальной сканирующей и изотермической калориметрии. Асфальтовяжущие представляют собой композицию на основе органического вяжущего и мелкодисперсного минерального порошка [1]. В качестве ОВ был использован битум (в асфальтовяжущем) и битумполимерное вяжущее (в асфальтополимервяжущем). Модифицирующим полимером при получении битумполимерного вяжущего (БПВ) являлся реакционноспособный терполимер Элвалой АМ фирмы Du Pont, США (этиленглицидилакрилат). При приготовлении асфальтовяжущих происходит смачивание МП органическим вяжущим, растекание его по поверхности и формирование тонких поверхностных пленок ОВ. Хорошее смачивание – необходимое условие прочного адгезионного соединения в системе «минеральный материал – органическое вяжущее», следовательно, является обеспечиванием заданных механических свойств материала [1]. Безусловно, что свойства ОВ в поверхностных пленках отличались от свойств ОВ в массе. Процессы на поверхности раздела фаз сопровождались тепловыми эффектами, что позволило их исследовать калориметрическими методами.

Ключевые слова: битум, модификатор, терполимер, Элвалой АМ, битумполимерное вяжущее (БПВ), органическое вяжущее (ОВ), минеральный порошок (МП), смачивание, дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК).

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время особого внимания заслуживают исследования физико-химических процессов при получении асфальто- и асфальтополимерных вяжущих, а в качестве ОВ использование битумполимерного вяжущего (БПВ), в котором модификатором является реакционноспособный термопласт Элвалой АМ [2]. По данным производителя (американская фирма «DUPON») – это этиленглицидилакрилат (ЭГА), в котором этиленовая основа придаёт системе эластичность, а глицидилакрилатный фрагмент придает системе полярность и обеспечивает устойчивость БПВ во времени в результате взаимодействия глицидиловой группы с компонентами битума.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящее время недостаточно изучены физико-химические процессы при получении асфальто- и асфальтополимерных вяжущих, процессы на поверхности раздела фаз, которые сопровождаются тепловыми эффектами.

ЦЕЛЬ

Обобщить результаты исследований физико-химических процессов, проходящих на границе раздела фаз МП – ОВ и в тонких пленках ОВ, выполненных с помощью методов дифференциальной сканирующей и изотермической калориметрии.

Ранее в работе [2] были исследованы начальные стадии взаимодействия в системах битум – минеральный порошок (МП), а также модифицированный Элвалоем битум (BiE1) – МП, которыми определяется структурная организация асфальтополимербетона. Изучены температурные переходы

© Е. Э. Самойлова, В. М. Лошакова, 2023



и химические процессы в исходном дорожном битуме марки БНД 40/60 и при его модификации Элвалоем АМ (ЕI) в режиме сканирования в интервале температур от -40 до 140 °С. В ходе модификации наблюдалось наложение процессов плавления Элвалоа и его взаимодействия с асфальтогеновыми кислотами битума, при этом температурные переходы в модифицированном битуме были смещены по сравнению с переходами в исходном битуме в более высокотемпературную область.

На начальных стадиях взаимодействия в системах битум – минеральный порошок (Vi – МП) и «модифицированный битум – минеральный порошок» (ViEi – МП) отмечены температурные переходы, характерные для битума вследствие формирования поверхностного слоя на границе раздела фаз, и химическое взаимодействие карбоната кальция (МП) с асфальтогеновыми кислотами битума. Однако в случае использования модифицированного битума (ViEi) (5,9 % Элвалоа) не наблюдалось ярко выраженных экзоэффектов [2]. По-видимому, Ei связывает асфальтогеновые кислоты битума, CaCO_3 (МП) реагирует с их остатками или другими активными соединениями битума через сформировавшийся адсорбционный слой, что затрудняет этот процесс (и требует более высоких температур).

Сравнение систем «Vi – МП» и «ViEi – МП» свидетельствуют о гораздо быстром и выраженном протекании процессов структурирования в последней. При этом формируются структуры с более высокой температурой стеклования (T_g), чем в исходном битуме [3].

В работе [4] исследовали системы: «битум – МП» (99 % SiO_2); «битум – SiO_2 »; «модифицированный Элвалоем битум – МП» (100 % CaCO_3).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что термическое поведение БПВ, в отличие от исходного битума, приближается к таковому для гибкоцепных полимеров (эластомеров): наблюдаем кооперативный α – переход размягчения (стеклования) и переход «жидкость – жидкость» (T_{II} – переход, характерный для неупорядоченных полимерных структур [3]). В гибкоцепных линейных полимерах T_{II} – переход указывает на переход жидкости с фиксированной структурой в истинно жидкое состояние. В данном случае мы имеем дело, по-видимому, с началом этого процесса, который в связи с широким молекулярно-массовым распределением битума [2] (а возможно и Элвалоа), растягивается на ~ 100 °С, на что косвенно указывает волнистый характер кривой.

Сравнивая α – и T_{II} – переходы в асфальтовяжущих на различных вяжущих и МП мы видим, что для битума в асфальтовяжущем характерно то же термическое поведение, что и для БПВ, т. е. в тонких пленках на поверхности МП битум подобен БПВ, а улучшение механических и эксплуатационных характеристик асфальтобетонов на БПВ обусловлены, по-видимому, повышением вязкости, когезии и адгезии битума, модифицированного Элвалоем АМ.

Исследовано смачивание минеральных порошков, полученных из мрамора (кальцит) и кварцевого песка (кремнезем), битумом и БПВ.

Дополнительно для сравнения, как модель, использовали системы: аэросил А – 300 – битум; активированный уголь AP-A – битум; кремнезем – дизельное топливо (таблица).

Таблица – Системы сравнения смачивания

Дисперсная система	Величина удельной поверхности, $S_{уд.}, \text{м}^2/\text{г}$	Смачивающая система	Температура, °С	Теплота смачивания, – ΔH	
				Дж/г	Дж/м ²
Аэросил А-300	290	Битум	200	436,6	1,51
Актив. уголь AP-A	350	Битум	200	21	0,06
Известняк	0,3	Битум	200	8,3	27,65
Кремнезем	0,3	Битум	200	78	26,1
Кремнезем	0,3	Модиф.битум	200	14,7	48,9
Кремнезем	0,3	Диз. топливо	150	11,06	36,9

Как следует из данных таблицы, теплота смачивания ($Q_{см} = -\Delta H$, где ΔH – изменение энтальпии, Дж/м²) для МП, отличающихся химическим составом и видом смачивающей жидкости, мало различается и намного превосходит $Q_{см}$ таких адсорбентов, как аэросил и активный уголь. В то же время $Q_{см}$ для кремнезема диз.топливом (ДТ) при 150 °С лишь незначительно выше, чем для битума при 200 °С. Последнее мы связываем с тем, что ДТ моделирует мальтеновую углеводородную фракцию битума [1], а теплота смачивания уменьшается с повышением температуры [5].

Наблюдаются большие различия между значениями $Q_{см}$ аэросила и кремнезема битумом (таблица), что, скорее всего, обусловлено активацией поверхности МП (кремнезема) при измельчении и последующей сушке. А результатом такой активации являются химические превращения компонентов битума на активных центрах поверхности МП, сопровождающиеся гораздо более высокими тепловыми эффектами.

Более низкое значение $Q_{см}$ активного угля ($0,06 \text{ Дж/м}^2$) легко объясняется, если принять во внимание размер пор активного угля: для марки AP-A объем микропор составляет около 80% от предельного объема сорбционного пространства [5]. Учитывая, что эффективный диаметр микропор в активном угле не превышает 0,7 нм, можно констатировать, что они не доступны для большей части молекул дисперсионной среды битума. Положение усугубляется большими размерами мицелл, которые формируются в коллоидной структуре битума и связывают значительную часть смол и масел.

Результатом трудной доступности внутренней поверхности микропор активного угля является низкое значение теплоты его смачивания битумом. Это является доказательством предположения, что смачивается битумом не более 50 % сорбционной поверхности активного угля.

Термограмма процесса смачивания кремнезема модифицированным битумом имеет высокое тепловыделение и сложный характер, что свидетельствует о протекании (в дополнение к смачиванию) химического процесса. Чтобы разобраться в этих эффектах, исследовано поведение самого Элвало и модифицированного им битума при $200 \text{ }^\circ\text{C}$. В первом случае тепловыделение не наблюдается. Тепловой эффект для модифицированного битума составляет $5,14 \text{ Дж/г}$.

Теплота смачивания кремнезема, модифицированного битумом, приведенная в таблице, определена по разности удельных тепловых эффектов.

Полученные результаты позволяют сделать некоторые важные для технологии производства асфальтобетонных смесей выводы:

1. Элвалой является весьма эффективным полимерным модификатором битума, улучшающим процесс его структурирования минеральным порошком уже на начальных стадиях процесса. При этом формируется, предположительно, три типа структур с достаточно высоким значением T_g , меняющимся в широком интервале температур.

2. Процессы на поверхности раздела фаз «минеральный порошок – битумное вяжущее» можно активировать механообработкой при измельчении порошка.

3. Для интенсификации процесса смачивания порошка органическим вяжущим высокие температуры обязательны.

4. Для приготовления асфальтовяжущих могут использоваться высокопористые органические и минеральные порошки при условии, что они микропористы.

5. При смачивании минеральных порошков битумами, модифицированными реакционноспособными модификаторами, возможно протекание химических реакций как в объеме битума, так и на поверхности раздела фаз «МП – ОВ».

Таким образом, обобщенные результаты исследований процессов, проходящих на границе раздела фаз «МП – ОВ» и в тонких пленках ОВ, создают предпосылки для направленного регулирования и повышения эксплуатационных характеристик асфальтобетонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны : [учебное пособие для строительных и автомобильно-дорожных вузов] / И. А. Рыбьев. – Москва : Высшая школа, 1969. – 398 с. – Текст : непосредственный.
2. Братчун, В. И. Модификация дорожного битума реакционноспособным термополимером с использованием катализатора / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, М. К. Пактер. – Текст : непосредственный // Современные проблемы строительства. Донецкий ПромстройНИИпроект. – 2005. – С. 213–218.
3. Берштейн, В. А. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров / В. А. Берштейн, В. М. Егоров. – Ленинград : Химия : Ленинградское отд-ние, 1990. – 254 с. – Текст : непосредственный.
4. Самойлова, Е. Э. Анализ процесса смачивания в системе «минеральные материалы – органическое вяжущее» / Е. Э. Самойлова, Р. В. Фролов, К. В. Терехов. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – 2021. – 4 (17). – С. 11–16.
5. Сумм, Б. Д. Физико-химические основы смачивания и растекания / Б. Д. Сумм, Ю. В. Горюнов. – Москва : Химия, 1976. – 231 с. – Текст : непосредственный.

Получена 19.01.2023

Принята 27.01.2023

О. Е. САМОЙЛОВА, В. М. ЛОШАКОВА
ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ОТРИМАННІ АСФАЛЬТО- ТА
АСФАЛЬТОПОЛІМЕРНИХ В'ЯЖУЧИХ
ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У цій роботі узагальнено результати досліджень процесів, що проходять на межі розділу фаз мінеральний порошок (МП) – органічне в'язуче (ОВ) та в тонких плівках ОВ, виконаних методами диференціальної сканувальної та ізотермічної калориметрії. Асфальтов'язучі є композицією на основі органічного в'язучого і дрібнодисперсного мінерального порошку [1]. Як ВВ був використаний бітум (в асфальтов'язучому) і бітумполімерне в'язуче (в асфальтополімерв'язучому). Модифікуючим полімером при отриманні бітумполімерного в'язучого (БПВ) був реакційноздатний терполімер Елвалою АМ фірми Du Pont, США (етиленгліцидилакрилат). При приготуванні асфальтов'язучих відбувається змочування МП органічним в'язучим, розтікання його по поверхні та формування тонких поверхневих плівок ВВ. Хороше змочування – необхідна умова міцної адгезійної сполуки в системі «мінеральний матеріал – органічне в'язуче», і отже забезпечуємо задані механічні властивості матеріалу [1]. Безумовно, що властивості ВВ у поверхневих плівках відрізнялися від властивостей ВВ у масі. Процеси на поверхні розділу фаз супроводжувалися тепловими ефектами, що дозволило їх досліджувати калориметричними методами.

Ключові слова: бітум, модифікатор, терполімер, Елвалою АМ, бітумполімерне в'язуче (БПВ), органічне в'язуче (ОВ), мінеральний порошок (МП), змочування, диференціальна сканувальна калориметрія (ДСК).

HELEN SAMOJLOVA, VALENTINA LOSHAKOVA
PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESSES IN THE PRODUCTION OF ASPHALT
AND ASPHALT POLYMER BINDERS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. This paper summarizes the results of studies of the processes occurring at the interface between mineral powder (MP) and organic binder (OB) and in thin films of OB, carried out by the methods of differential scanning and isothermal calorimetry. Asphalt binders are a composition based on an organic binder and a fine mineral powder [1]. Bitumen (in asphalt binder) and bituminous polymer binder (in asphalt polymer binder) were used as OB. The modifying polymer in the production of polymer bitumen binder (PBB) was the reactive terpolymer Elvaloy AM from DuPont, USA (ethylene glycidyl acrylate). During the preparation of asphalt binders, the MP is wetted with an organic binder, it spreads over the surface, and thin surface films of organic matter are formed. Good wetting is a necessary condition for a strong adhesive bond in the «mineral material – organic binder» system and, therefore, is the prerequisite for the specified mechanical properties of the material [1]. Undoubtedly, the properties of OB in surface films differed from the properties of OB in bulk. The processes at the phase interface were accompanied by thermal effects, which made it possible to study them by calorimetric methods.

Keywords: bitumen, modifier, terpolymer, Elvaloy AM, polymer bitumen binder (PBB), organic binder (OB), mineral powder (MP), wetting, differential scanning calorimetry (DSC)..

Самойлова Елена Эдуардовна – кандидат технических наук, доцент кафедры физики и прикладной химии; кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов; управление техносферной безопасностью.

Лошакова Валентина Михайловна – ассистент кафедры физики и прикладной химии ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов.

Самойлова Елена Эдуардовна – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики та прикладної хімії; кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів.

Лошакова Валентина Михайлівна – ассистент кафедри фізики та прикладної хімії ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів.

Samojlova Helen – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Physics and Applied Chemistry Department, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physico-chemical studies of polymer composite materials; technosphere safety management.

Loshakova Valentina – Assistant, Physics and Applied Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical studies of polymer composite materials.

EDN: **DXQQQU**

УДК 692.42/.47:624.042.41

В. А. МАЗУР, М. А. ЧАЙКА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЗДАНИЙ СО СВОДЧАТЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ИЗ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ АРОЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Аннотация. Статья посвящена исследованиям аэродинамических коэффициентов зданий со сводчатыми покрытиями в развитие положений СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия». Численное моделирование ветровой аэродинамики в программном комплексе вычислительной гидрогазодинамики SolidWorks – Flow Simulation позволяет исследовать ветровое воздействие на сводчатое покрытие при разных углах атаки набегающего потока ветра на бескаркасное арочное покрытие с заданными геометрическими параметрами. На основании полученных экспериментальных данных, используя методы статистического моделирования, получены регрессионные зависимости для определения аэродинамических коэффициентов на поверхности сводчатого покрытия при заданных геометрических параметрах для бескаркасных арочных покрытий, таких как: отношение стрелы подъема арки к пролету (f/L) и отношение высоты здания к пролету (h/L) при разных углах атаки набегающего ветрового потока.

Ключевые слова: аэродинамический коэффициент, ветровая аэродинамика, численное моделирование, экспериментально-статистическое моделирование.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В последние десятилетия во многих странах мира отмечается значительный рост объемов капитального строительства и реконструкции с использованием стальных тонкостенных холодногнутох профилей в качестве конструктивных элементов зданий и сооружений. По оценкам экспертов [1], в РФ объем применения тонколистового проката с защитными покрытиями составляет порядка 2 млн тон в год и с каждым годом увеличивается на 10...12 % [2]. Использование стальных тонкостенных холодногнутох арочных профилей позволяет не только создавать эффективные конструктивные решения покрытий зданий и сооружений, но возводить объекты различного назначения пролетом до 36 метров.

Широкая область применения технологии бескаркасного арочного строительства предопределяет не только разные конструктивно-технологические решения по возведению покрытий и зданий из стальных тонкостенных холодногнутох арочных профилей, но и разные условия эксплуатации. Для поддержания установленного микроклимата объекта и снижения уровня теплопотерь необходимо устройство теплоизоляционного слоя.

Анализ нормативных требований и научных исследований показал, что рациональным конструктивным решением утепленных покрытий из стальных тонкостенных холодногнутох арочных профилей является вариант с устройством двойной арки с заполнением минеральной ватой и наличием воздушного пространства между ними, так как конденсированная влага выводится за счет свободной конвекции потока воздуха в вентилируемой прослойке [3, 4].

Учеными, занимающимися вопросами температурно-влажностного режима наружных ограждающих конструкций, в том числе и воздухообмена в вентилируемой прослойке, было установлено, что скорость воздушного потока зависит как от внутренних параметров прослойки, так и от внешних условий обтекания здания или сооружения ветровым потоком [5, 6].



Для определения ветрового давления на арочные покрытия используются графики для определения значений аэродинамических коэффициентов, приведенные в нормативных документах (рис. 1) [7].

В.1.3 Прямоугольные в плане здания со сводчатыми и близкими к ним по очертанию покрытиями

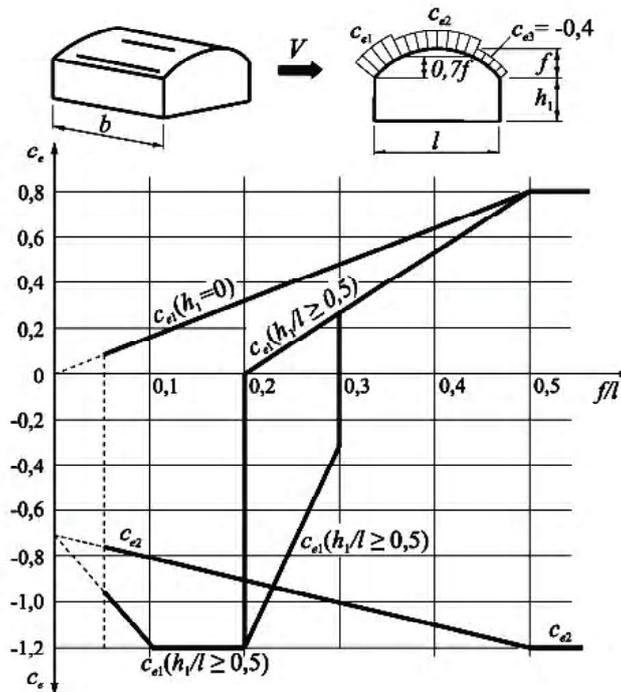


Рисунок 1 – График распределения аэродинамических коэффициентов представленный по СП 20.13330.2016, угол атаки $\beta = 0^\circ$.

В процессе исследований установлено, что существующие графики позволяют определить аэродинамические коэффициенты при высоте здания $h = 0$, характерной для бескаркасных арочных объектов, и при отношении высоты здания к пролету $\frac{h}{L} \geq 0,5$, характерном для высотных зданий при двух углах атаки $\beta = 0^\circ$ и $\beta = 90^\circ$. Данные для определения значений аэродинамических коэффициентов при отношении высоты здания к пролету в диапазоне $0 < \frac{h}{L} < 0,5$ отсутствуют. Анализ существующих и проектируемых объектов со сводчатыми покрытиями показал, что значительный объем зданий и сооружений возводится именно с подобными геометрическими параметрами.

Также необходимо отметить, что в отечественной нормативной базе отсутствуют данные для определения аэродинамических коэффициентов при угле атаки ветрового потока $\beta = 45^\circ$ несмотря на то, что последние научные исследования в этом направлении доказали необходимость уточнения нагрузок при подобном направлении ветрового давления.

Поэтому **целью работы** является уточнение аэродинамических коэффициентов для сводчатого покрытия из стальных тонкостенных холодногнутых арочных профилей и построение регрессионных зависимостей для прогнозирования аэродинамических коэффициентов на его поверхности при заданных основных параметрах, таких как отношение, стрела подъема арки к пролету ($\frac{f}{L}$) и отношение высоты здания к пролету ($\frac{h}{L}$) при разных углах атаки набегающего ветрового потока.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Моделирование ветровой аэродинамики на основе численных схем решения трехмерных уравнений движения жидкости и газа с современными моделями турбулентности в работе выполняется в программном комплексе SolidWork – Flow Simulation, основанном на конечно-объемном методе решения систем уравнений отражающих общие законы механики сплошной среды с применением двухслойной k- ω модели турбулентности Ментера (Shear-Stress Transport) [8].

Для этого в CAD-среде SolidWorks создаются расчетные модели здания со сводчатым покрытием со следующими геометрическими параметрами:

- стрела подъема арки f , м;
- пролет L , м;
- отношение высоты здания (от уровня поверхности земли до нижней отметки покрытия) к пролету h/L .

Затем исследуемая расчетная модель помещается в расчетную область (домен) представляющую собой виртуальную аэродинамическую трубу (рис. 2). Из опыта исследований в аэродинамических трубах принимается, что сооружение высотой H влияет на расстояние почти до $10H$. Размер расчетной области по вертикали и вдоль направления потока ветра для изолированной расчетной модели должны быть не менее $5H$, а за моделью как минимум $15H$ [9–11].

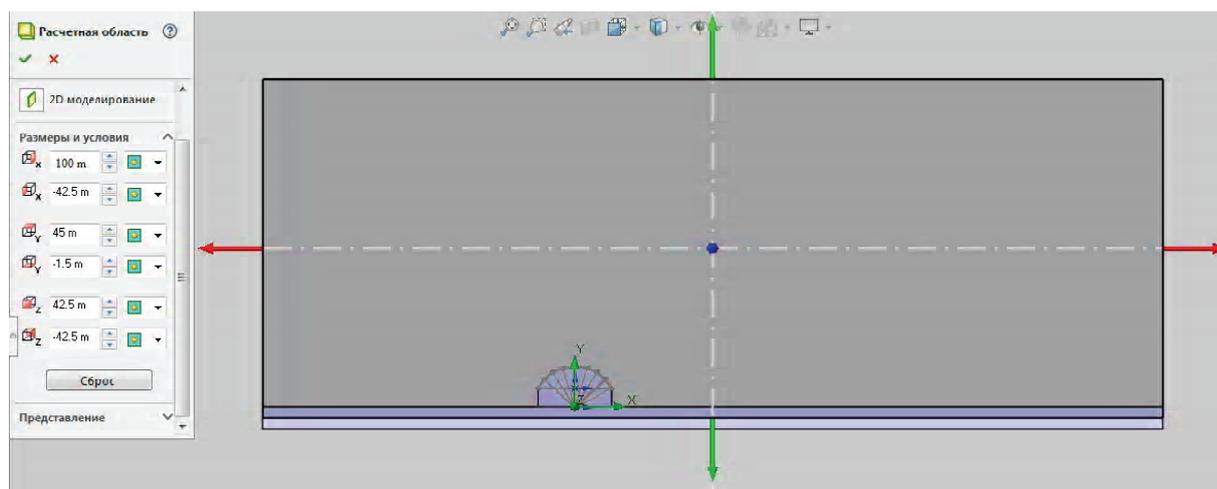


Рисунок 2 – Определение расчетной области для исследуемой модели.

В качестве характеристик набегающего ветрового потока принимают профиль скорости ветра, определяемый степенным законом и характеристики турбулентности (интенсивность и масштаб) [12], заданные параметры отвечают ветровым районам и типам местности по СП [7].

Проверка адекватности расчетов ветрового воздействия в программном комплексе SolidWorks проведена путем верификации расчетных моделей с использованием численного моделирования и физического исследования с дренажным масштабным экспериментом в аэродинамической трубе MAT-1 ДонНАСА. На рисунке 3 представлены физическая модель исследования и графики распределения коэффициента ветрового давления C_e для поверхности модели, полученные по экспериментальным данным в аэродинамической трубе и в результате численного моделирования в SolidWorks Flow Simulation.

Анализируя полученные значения аэродинамических коэффициентов численного исследования с данными эксперимента получена хорошая сопоставимость (в пределах 80 %), показывающая адекватность результатов расчета аэродинамических процессов в ПК SolidWorks Flow Simulations.

В работе рассматриваются сводчатые покрытия, ограниченные следующими геометрическими параметрами для бескаркасных арочных покрытий:

- стрела подъема арки $f = (0,3 \div 0,5)L$, м;
- пролет $10 \text{ м} \leq L \leq 36 \text{ м}$;
- отношение высоты здания (от уровня поверхности земли до нижней отметки покрытия) к пролету.

На рисунке 4 представлен пример расчетной области для одной из исследуемых моделей ($f = 0,3L$, $L = 10 \text{ м}$, $h/L = 0,25$).

В результате численного моделирования определяются контролируемые параметры расчета (относительное давление и скорость невозмущенного потока на характерной высоте) (рис. 4).

Анализ полученных параметров позволяет по аналитической формуле определить аэродинамические коэффициенты [13] при трех углах атаки ветра (табл. 1).

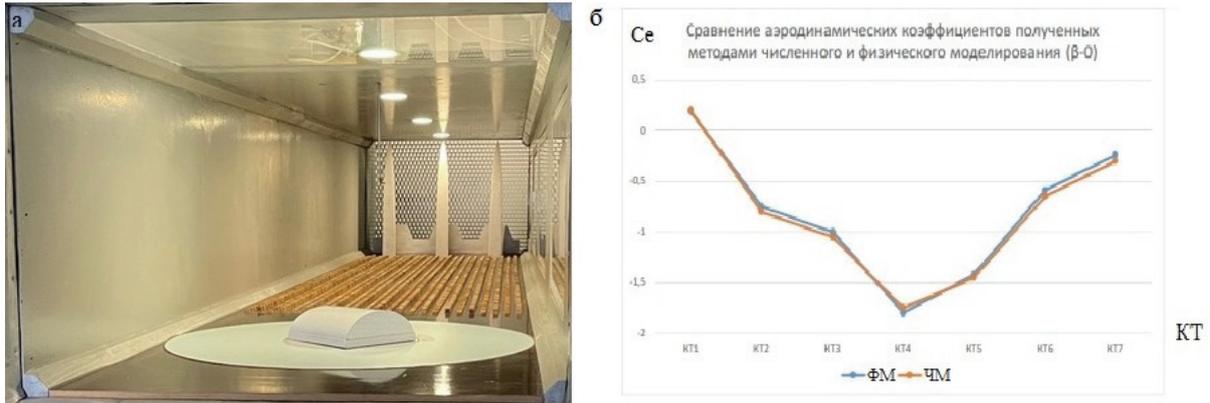


Рисунок 3 – Физическая модель покрытия (а) и график распределения аэродинамических коэффициентов для расчетной модели в контрольных точках КТ (б): где ФМ – физическое моделирование, ЧМ – численное моделирование.

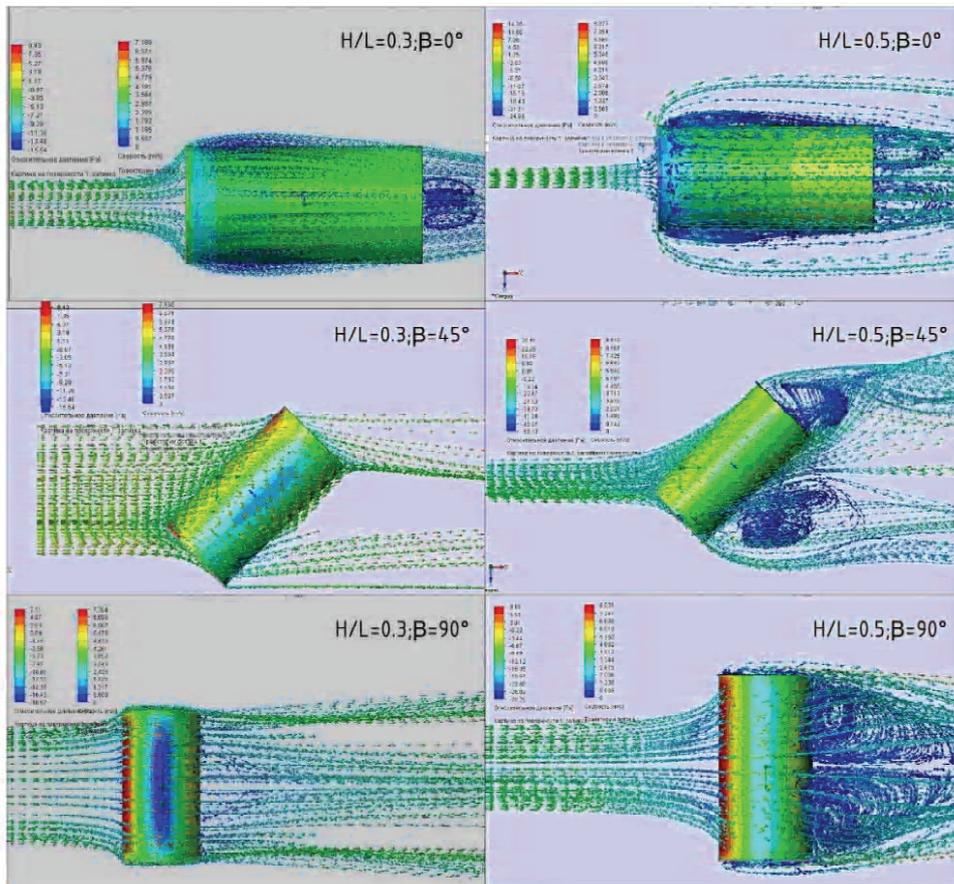


Рисунок 4 – Картины распределения относительного давления и скорости ветра на поверхности покрытия при разных углах атаки.

Для получения регрессионных моделей, позволяющих прогнозировать аэродинамические коэффициенты, применяется метод корреляционно-регрессионного анализа. Исследования проводятся по трехфакторному плану с восьмью экспериментальными строками при трех углах атаки ветра. Использование статистического моделирования позволяет получить адекватные модели при изменении факторов на двух уровнях: \min и \max при заданных параметрах (табл. 2):

- 1) отношении стрелы подъема арочного покрытия к пролету f/L ;

Таблица 1 – Аэродинамические коэффициенты сводчатых покрытий в зависимости от угла атаки и отношение высоты здания к пролету

Угол атаки $\beta, ^\circ$	$h/L/f$	C_{e1}		C_{e2}		C_{e3}	
		0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,5
0	0,1	0,82	0,93	-0,9	-1,00	-0,24	-0,40
	0,45	0,4	0,63	-0,35	-0,32	-0,31	-0,32
45	0,1	0,65	0,87	-0,58	-0,48	-0,5	-0,6
	0,45	0,38	0,48	-0,73	-0,61	-0,44	-0,46
90	0,1	-0,61	-0,49	-0,47	-0,32	-0,61	-0,49
	0,45	-0,43	-0,42	-0,42	-0,33	-0,43	-0,42

Таблица 2 – Факторы и уровни их варьирования

Уровни варьирования	Факторы		
	f/L	h/L	L
min	0,3	0,1	10
max	0,5	0,45	36

2) отношении высоты здания (от уровня поверхности земли до нижней отметки покрытия) к пролету, h/L ;

3) длине пролета, L , м.

По полученным результатам на основе матрицы показателей корреляции в программном комплексе Microsoft Office Excel получены уравнения линейной множественной регрессии для прогнозирования аэродинамических коэффициентов с учётом изменения высоты здания и геометрических параметров арочного покрытия при трех углах атаки ветрового потока (табл. 3).

Таблица 3 – Уравнение для прогнозирования аэродинамического коэффициента сводчатых покрытий с учетом угла атаки и отношения высоты здания к пролету

Угол атаки $\beta, ^\circ$	Уравнение для прогнозирования аэродинамического коэффициента C_{ei}
0	$C_{e1} = 0,61 - 0,85 \cdot \frac{f}{L} - 1,06 \cdot \frac{h}{L}$
	$C_{e2} = -1,02 + 0,263 \cdot \frac{f}{L} + 1,72 \cdot \frac{h}{L}$
	При $f = 0,3$ $C_{e3} = 0,3$; $f = 0$, $C_{e3} = 0,4$
45	$C_{e1} = 0,534 + 0,8 \cdot \frac{f}{L} - 0,934 \cdot \frac{h}{L}$
	$C_{e2} = -0,71 + 0,55 \cdot \frac{f}{L} - 0,4 \cdot \frac{h}{L}$
	При $f = 0,3$ $C_{e3} = -0,5$; $f = 0$, $C_{e3} = -0,6$
90	$C_{e1} = C_{e3} = -0,716 + 0,325 \cdot \frac{f}{L} + 0,357 \cdot \frac{h}{L}$
	$C_{e2} = -0,641 + 0,6 \cdot \frac{f}{L}$

Полученные данные позволяют уточнить нормативные графики для определения аэродинамических коэффициентов C_e сводчатых покрытий при отношении высоты здания к пролету в диапазоне $0 < \frac{h}{L} \geq 0,5$ и при углах атаки 45 и 0° (рис. 5–6).

В результате сравнения значений аэродинамического коэффициента C_e , полученных, в результате численного моделирования и с нормативными, приведенными в СП 20.13330, получены следующие выводы:

1. Наиболее опасным является ветровой поток, действующий на сводчатое покрытие с углом атаки $\beta = 0^\circ$.

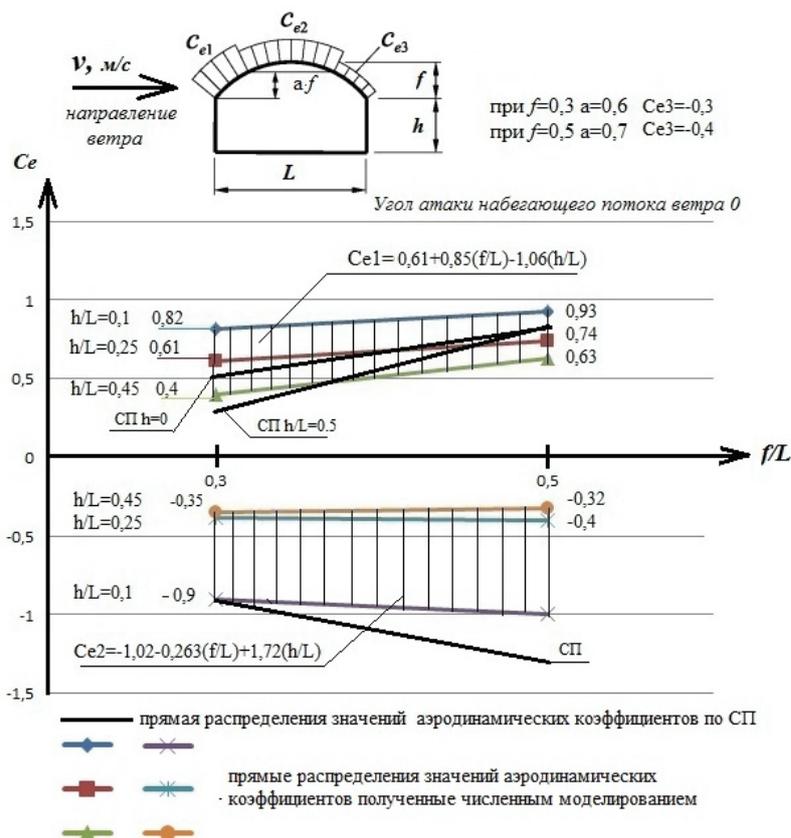


Рисунок 5 – График распределения аэродинамических коэффициентов при угле атаки $\beta = 0^\circ$.

2. Значения аэродинамических коэффициентов C_{e1} на наветренной стороне исследуемого сводчатого покрытия, определенные в результате математического (численного) моделирования, превышают нормативные значения максимум на 16 %.

3. Значения аэродинамических коэффициентов C_{e3} на подветренной стороне исследуемого копра, определенные в результате математического (численного) моделирования, по модулю превышают нормативные значения максимум на 50 %.

4. Значения аэродинамических коэффициентов C_{e2} в центральной части исследуемого сводчатого покрытия, определенные в результате математического (численного) моделирования, по модулю меньше нормативных для всех компонент.

5. Для арочных покрытий со стрелой подъема арки $f = 0,3L$ аэродинамический коэффициент принимает отрицательные значения на высоте $0,6f$, в нормативных документах – на постоянной высоте $0,7f$.

ВЫВОДЫ

1. Значения аэродинамических коэффициентов C_e для сводчатых покрытий, определенные с помощью численного моделирования, выше, чем определенные согласно СП 20.13330. В прочностных расчетах для бескаркасных арочных покрытий из тонкостенного гнутого профиля необходимо применять уточненные значения аэродинамических коэффициентов C_e .

2. На основании полученных данных при численном моделировании ветрового воздействия и применения статистического моделирования получены регрессионные зависимости для определения аэродинамических коэффициентов на поверхности арочного покрытия при заданных основных параметрах, таких как: отношение стрелы подъема арки к пролету (f/L) и отношение высоты здания к пролету (h/L) при разных углах атаки набегающего ветрового потока.

3. Уточненные аэродинамические коэффициенты C_e позволяют определить скорость воздушного потока в вентилируемой прослойке для утепленных покрытий из стальных тонкостенных холодногнутого арочных профилей с устройством двойной арки с заполнением минеральной ватой.

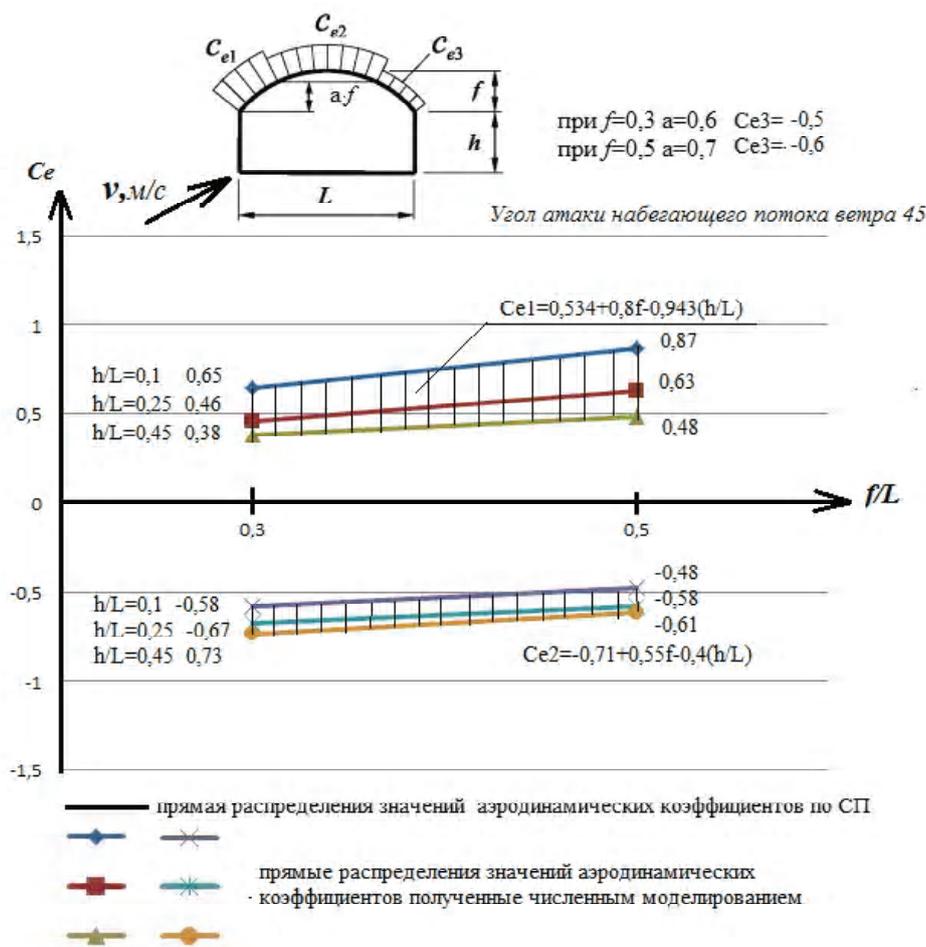


Рисунок 6 – График распределения аэродинамических коэффициентов при угле атаки $\beta = 45^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ляховский, Д. Металлостроительство: каковы перспективы в России? / Д. Ляховский. – Текст : непосредственный // Строительство. – 2014. – № 10. – С. 43–44.
2. Айрумян, Э. Л. Перспективы ЛСТК в России / Э. Л. Айрумян, Н. И. Каменщиков, М. А. Липленко. – Текст : непосредственный // Журнал «СтройПРОФИ». – 2013. – № 1 (10). – С. 31–65.
3. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К. Ф. Фокин ; 5-е изд., пересмотр. – Москва : АВОК-Пресс, 2006. – 250 с. – ISBN 5-98267-023-5. – Текст непосредственный.
4. Гагарин, В. Г. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, Е. Ю. Цыкановский. – Текст : непосредственный // Журнал АВОК. – 2004. – № 2. – С. 20–26.
5. Машенков, А. Н. Общая система уравнений Буссинеска для одномерной свободной конвекции в плоском вертикальном слое / А. Н. Машенков, Е. А. Косолапов, Е. В. Чербуканова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 2. – С. 93–98.
6. Gagarin, V. G. Calculation of the velocity of air in the air gap facade systems, where natural ventilation / V. G. Gagarin, V. V. Kozlov, K. I. Lushin. – Текст : непосредственный // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Volume 10, No. 2. – P. 43438–43441.
7. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия = Loads and actions : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр. : на замену СП 20.13330.2011 : дата введения 2017-06-04 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – Москва : ЦНИ ИСК им. В. А. Кучеренко АО Минстроя России, 2016. – 110 с. – Текст : непосредственный.
8. Recommendations on the use of CFD in Wind Engineering, In J.P.A.J. van Beek (Ed.) / J. Franke, C. Hirsch, A. G. Jensen [et al.]. – Текст : непосредственный // Processing Int. Conf. on Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics ; COST C14 – Impact of Wind and Storm on City life and Built Environment. – Rhode-Saint-Genève : [s. n.], 2004. – P. 1–11.

9. Comparison of various k-ε models and DSM applied to flow around a high-rise building / A. Mochida, Y. Tominaga, S. Murakami [et al.]. – Текст : непосредственный // Wind and Structures. – 2002. – 5(2-4). – P. 227–244.
10. Cross comparisons of CFD results of wind environment at pedestrian level around a high-rise building and within a building complex / Y. Tominaga, A. Mochida, T. Shirasawa [et al.]. – Текст : непосредственный // Journal of Asian architecture and building engineering. – 2004. – Volume 3(1). – P. 63–70.
11. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings / Yoshihide Tominaga, Akashi Mochida, Ryuichiro Yoshie [et al.]. – Текст : непосредственный // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. – 2008. – Volume 96, issues 10-11. – P. 1749–1761.
12. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра / ЦНИИ строительных конструкций им. В. А. Кучеренко. – Москва : Стройиздат, 1978. – 216 с. – Текст : непосредственный.
13. Реттер, Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика / Э. И. Реттер. – Москва : Стройиздат, 1984. – 294 с. – Текст : непосредственный.

Получена 09.01.2023

Принята 27.01.2023

В. О. МАЗУР, М. О. ЧАЙКА
 ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ БУДІВЕЛЬ ЗІ
 СКЛЕПІНЧАСТИМИ ПОКРИТТЯМИ ЗІ СТАЛЕВИХ ТОНКОСТІННИХ
 ХОЛОДНОГНУТИХ АРОЧНИХ ПРОФІЛІВ
 ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Стаття присвячена дослідженням аеродинамічних коефіцієнтів будівель зі склепінчастими покриттями в розв'язок положень СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Навантаження і впливи». Чисельне моделювання вітрової аеродинаміки в програмному комплексі обчислювальної гідрогазодинаміки SolidWorks – Flow Simulation дозволяє досліджувати вітровий вплив на склепінчасте покриття при різних кутах атаки набігаючого потоку вітру на безкаркасне арочне покриття із заданими геометричними параметрами. На підставі отриманих експериментальних даних, використовуючи методи статистичного моделювання, отримані регресійні залежності для визначення аеродинамічних коефіцієнтів на поверхні склепінчастого покриття при заданих геометричних параметрах для безкаркасних арочних покриттів, таких як: відношення стріли підйому арки до прольоту (f/L) і відношення висоти будівлі до прольоту (h/L) при різних кутах атаки набігаючого вітрового потоку
Ключові слова: аеродинамічний коефіцієнт, вітрова аеродинаміка, чисельне моделювання, експериментально-статистичне моделювання.

VICTORIA MAZUR, MARIA CHAYKA
 INVESTIGATION OF AERODYNAMIC COEFFICIENTS OF BUILDINGS WITH
 VAULTED COVERINGS MADE OF THIN-WALLED STEEL COLD-CURVED
 ARCH PROFILES
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article is devoted to the research of aerodynamic coefficients of buildings with vaulted coverings in the development of the provisions of SP 20.13330.2016 "SNiP 2.01.07-85*" Loads and impacts". Numerical simulation of wind aerodynamics in the SolidWorks – Flow Simulation computational fluid dynamics software package makes it possible to study the wind effect on the vaulted covering at different angles of attack of the incoming wind flow on the frameless arched covering with specified geometric parameters. On the basis of the experimental data obtained, using statistical modeling methods, regression dependences were obtained to determine the aerodynamic coefficients on the surface of the vaulted covering at given geometric parameters for frameless arch coverings, such as the ratio of the boom of the arch to the span (f/L) and the ratio of the height of the building to the span (h/L) at different angles of attack of the incoming wind flow.

Keywords: aerodynamic coefficient, wind aerodynamics, numerical modeling, experimental and statistical modeling.

Мазур Вікторія Александровна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології і організації будівництва ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: удосконалення конструктивно-технологічних рішень по устрою і капітальному ремонту огорожених будівель і споруд.

Чайка Мария Александровна – ассистент кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: совершенствование конструктивных решений утеплённых металлических бескаркасных покрытий.

Мазур Вікторія Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології та організації будівництва ДОНУВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: удосконалення конструктивно-технологічних рішень по влаштуванню і капітальному ремонту огорожувальних конструкцій будівель і споруд.

Чайка Марія Олександрівна – асистент кафедри технології та організації будівництва ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: удосконалення конструктивних рішень утеплених металевих безкаркасних покриттів.

Mazur Victoria – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of structural and technological solutions for the arrangement and overhaul of building envelopes of buildings and structures.

Chayka Maria – Assistant, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of design solutions of insulated metal frameless coatings.

СОДЕРЖАНИЕ

БРАТЧУН В. И., ПШЕНИЧНЫХ О. А., ПОПОВА В. П., ЯКИМОВ А. А., МОРОЗ Е. В., ШЕВЧЕНКО Ю. П. Дорожные асфальтополимерсеробетоны повышенной долговечности	5
БРАТЧУН В. И., БЕСПАЛОВ В. Л., РАДЮКОВА Э. Л., БОРОДАЙ Д. И., ЛЕОНОВ Н. С. Экологическая безопасность производства литых асфальтополимерсеробетонных смесей	12
ЕГОРОВА Е. В., ПЕТРИК И. Ю., КИЦЕНКО Т. П., ВОДОЛАД М. Н., ВАХЛАКОВ Д. И. Коррозионная стойкость самоуплотняющегося бетона с комплексной добавкой	21
КИБЗУН В. Н., НАГОРНАЯ Н. П. Методика оценки качества отечественной и импортной обуви, поступающей на рынок Донецкой Народной Республики	27
НАГОРНАЯ Н. П., КИБЗУН В. Н. Квалиметрическая оценка качества материалов для покрытия пола и затрат на их устройство, эксплуатацию	32
КОЧЕРГИН Ю. С., КАРАТ Л. Д., ЗОЛОТАРЁВА В. В. Регулирование свойств композиционных материалов на основе тирана изменением химической природы отвердителей	39
ШИЛИН И. В., ХИМЧЕНКО А. В. О возможности использования технологии стабилизации грунта водной смесью концентрата PERMA-ZYME для дорожного строительства	46
БЕСПАЛОВ В. Л., НАРИЖНАЯ О. Н., ОЛЕЙНИК А. А., БОРИСОВ М. Г., НАЗАРЕНКО В. Г., РОДЗИНА Т. В. Атмосферостойкость модифицированных асфальтополимербетонов	52
ГУБА К. Р., ГУЛЯК Д. В., СТУКАЛОВ А. А., ЖЕВАНОВ В. В., ПРУДНИКОВ М. Г., ЛИТВИНОВ Ю. Г., КОЗЛОВА Т. В. Полимерная добавка для модификации битума	60
ПЕНЧУК В. А., СИДОРОВ В. А. Исторические аспекты развития строительной индустрии	67
ЗОЛОТАРЁВА В. В., КАРАТ Л. Д., КОЧЕРГИН Ю. С. Регулирование свойств эпоксидных композитов с помощью моноглицидиловых соединений	81
БУКИНА Д. Ю., ЗАЙЧЕНКО Н. М. Щелочные вяжущие и бетоны на основе зол и шлаков ТЭС	89
БРАТЧУН В. И., ПШЕНИЧНЫХ О. А., БЕСПАЛОВ В. Л., СЕРДЮК А. И., РОДЗИНА Т. В. Комплексно-модифицированные дорожные асфальтополимерсеробетоны, микроармированные хризотиласбестовыми волокнами	98
ПШЕНИЧНЫХ О. А., РОМАСЮК Е. А., ВОЛОЩУК И. Е., ДОРОХОВА С. П., САМСОНОВ Д. А., ХОМУТОВ Е. Н., ГАЙДАЙ Р. Р. Исследование усталостной долговечности дисперсно-армированных асфальтобетонов	109
СОРОКАНИЧ С. В., ПАРАМОНОВА А. В. Влияние глиноземсодержащей добавки на процессы гидратации цементного камня	116
САМОЙЛОВА Е. Э., ЛОШАКОВА В. М. Физико-химические процессы при получении асфальто- и асфальтополимерных вяжущих	125
МАЗУР В. А., ЧАЙКА М. А. Исследование аэродинамических коэффициентов зданий со сводчатыми покрытиями из стальных тонкостенных холодногнутых арочных профилей	130

Статьи, публикуемые в журнале «Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры», размещены

- в российской информационно-аналитической системе – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- в электронно-библиотечной системе IPRbooks
- в информационно-поисковой системе Google Scholar.

ЗМІСТ

БРАТЧУН В. І., ПШЕНИЧНИХ О. О., ПОПОВА В. П., ЯКИМОВ О. О., МОРОЗ К. В., ШЕВЧЕНКО Ю. П. Дорожні асфальтополімерсіркобетони підвищеної довговічності	5
БРАТЧУН В. І., БЕСПАЛОВ В. Л., РАДЮКОВА Е. Л., БОРОДАЙ Д. І., ЛЕОНОВ М. С. Екологічна безпека виробництва литих асфальтополімер-сіркобетонних сумішей	12
ЄГОРОВА О. В., ПЕТРИК І. Ю., КІЦЕНКО Т. П., ВОДОЛАД М. М., ВАХЛАКОВ Д. І. Корозійна стійкість бетону, що самоущільнюється, з комплексною добавкою	21
КІБЗУН В. М., НАГОРНА Н. П. Методика оцінки якості вітчизняного та імпортного взуття, що надходить на ринок Донецької Народної Республіки	27
НАГОРНА Н. П., КІБЗУН В. М. Кваліметрична оцінка якості матеріалів для покриття підлоги та витрат на їх улаштування, експлуатацію	32
КОЧЕРГІН Ю. С., КАРАТ Л. Д., ЗОЛОТАРЬОВА В. В. Регулювання властивостей композиційних матеріалів на основі тірану шляхом зміни хімічної природи затверджувачів	39
ШИЛІН І. В., ХІМЧЕНКО А. В. Про можливість використання технології стабілізації ґрунту водною сумішшю концентрату PERMA-ZYME для дорожнього будівництва	46
БЕСПАЛОВ В. Л., НАРИЖНА О. М., ОЛІЙНИК О. О., БОРИСОВ М. Г., НАЗАРЕНКО В. Г., РОДЗІНА Т. В. Атмосферостійкість модифікованих асфальтополімер-бетонів	52
ГУБА К. Р., ГУЛЯК Д. В., СТУКАЛОВ О. А., ЖЕВАНОВ В. В., ПРУДНІКОВ М. Г., ЛИТВИНОВ Ю. Г., КОЗЛОВА Т. В. Полімерна добавка для модифікації бітуму	60
ПЕНЧУК В. О., СИДОРОВ В. А. Історичні аспекти розвитку будівельної індустрії	67
ЗОЛОТАРЬОВА В. В., КАРАТ Л. Д., КОЧЕРГІН Ю. С. Регулювання властивостей епоксидних композитів за допомогою моногліцидилових сполук	81
БУКІНА Д. Ю., ЗАЙЧЕНКО М. М. Лужні в'язучі та бетони на основі зол і шлаків ТЕС	89
БРАТЧУН В. І., ПШЕНИЧНИХ О. О., БЕСПАЛОВ В. Л., СЕРДЮК О. І., РОДЗІНА Т. В. Комплексно-модифіковані дорожні асфальтополімербетони, мікроармовані хризотилазбестовими волокнами	98
ПШЕНИЧНИХ О. О., РОМАСЮК Є. О., ВОЛОЩУК І. Є., ДОРОХОВА С. П., САМСОНОВ Д. А., ХОМУТОВ Є. М., ГАЙДАЙ Р. Р. Дослідження втомної довговічності дисперсно-армованих асфальтобетонів	109
СОРОКАНИЧ С. В., ПАРАМОНОВА А. В. Вплив глиноземної добавки на процеси гідратації цементного каменю	116
САМОЙЛОВА О. Е., ЛОШАКОВА В. М. Фізико-хімічні процеси при отриманні асфальто- та асфальтополімерних в'язучих	122
МАЗУР В. О., ЧАЙКА М. О. Дослідження аеродинамічних коефіцієнтів будівель зі склепінчастими покриттями зі сталевих тонкостінних холодногнутих арочних профілів	130

Статті, що публікуються у журналі «Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури», розміщені

- в російській інформаційно-аналітичній системі – Російський індекс наукового цитування (РІНЦ)
- в електронно-бібліотечній системі IPRbooks
- в інформаційно-пошуковій системі Google Scholar.

CONTENTS

BRATCHUN VALERY, PSHENICHNYKH OLEG, POPOVA VALENTINA, YAKIMOV ALEXANDER, MOROZ EKATERINA, SHEVCHENKO YULIA. Road Asphalt Polymer Sulfur Concrete of Increased Durability	5
BRATCHUN VALERY, BESPALOV VITALY, RADYUKOVA ELINA, BORODAI DENIS, LEONOV NIKITA. Environmental Safety of Cast Asphalt Polymer Production of Concrete Mixtures	12
YEGOROVA ELENA, PETRIK IRINA, KITSENKO TATYANA, VODOLAD MAXIM, VAKHLAKOV DMITRY. Corrosion Resistance of Self-Compacting Concrete with a Complex Admixture	21
KIBZUN VALENTINA, NAGORNAYA NINA. Methodology for Assessing the Quality of Domestic and Imported Footwear Entering the Market of the Donetsk People's Republic	27
NAGORNAYA NINA, KIBZUN VALENTINA. Qualimetric Assessment of the Quality of Materials for Floor Covering and the Cost of their Installation and Usage	32
KOCHERGIN YURIY, KARAT LEONID, ZOLOTAREVA VIKTORIYA. Control of Properties of Composite Materials Based on Thiirane by Changing the Chemical Nature of Hardeners	39
SHILIN IGOR, KHIMCHENKO ARKADII. On the Possibility of Using the Technology of soil Stabilization with an Aqueous Mixture of PERMA-ZYME Concentrate for Road Construction	46
BESPALOV VITALY, NARIZHNAYA OLGA, OLEINIK ARTEM, BORISOV MIKHAIL, NAZARENKO VLADISLAV, RODZINA TATIANA. Atmospheric Resistance of Modified Asphalt Polymers	52
GUBA KONSTANTIN, GULYAK DENIS, STUKALOV ALEKSANDR, ZHEVANOV VYACHESLAV, PRUDNIKOV MARK, LITVINOV YULIAN, KOZLOVA TATIANA. Polymer Additive for Bitumen Modification	60
PENCHUK VALENTIN, SIDOROV VLADIMIR. Historical Aspects of the Construction Industry Development	67
ZOLOTAREVA VIKTORIYA, KARAT LEONID, KOCHERGIN YURIY. Control of the Properties of Epoxy Composites Using Monoglycidil Compounds	81
BUKINA DARYA, ZAICHENKO NIKOLAI. Alkaline Binders and Concretes Based on Ashes and Slags of TPP	89
BRATCHUN VALERIY, PSHENICHNYKH OLEG, BESPALOV VITALIY, SERDYUK ALEXANDER, RODZINA TATIANA. Complex-Modified Road Asphalt Polymer Sulfur Concrete Micro-Reinforced with Chrysotilassbeth Fiber	98
PSHENICHNYKH OLEG, ROMASYUK EVGENIY, VOLOSHCHUK ILYA, DOROKHOVA SVETLANA, SAMSONOV DMITRIY, KHOMUTOV EVGENIY, GAIDAI RODION. Investigation of Fatigue Life of Dispersion-Reinforced Asphalt Concrete	109
SOROKANICH STANISLAV, PARAMONOVA ANASTASIA. Influence of Alumina-Containing Additive on Cement Stone Hydration Processes	116
SAMOJLOVA HELEN, LOSHAKOVA VALENTINA. Physical and Chemical Processes in the Production of Asphalt and Asphalt Polymer Binders	125
MAZUR VICTORIA, CHAYKA MARIA. Investigation of Aerodynamic Coefficients of Buildings with Vaulted Coverings Made of Thin-Walled Steel Cold-Curved Arch Profiles	130

The articles published in journal «Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture» are indexed by:

- the Russian Information and Analytical System – Russian Science Citation Index (RSCI)
- the electronic-library system IPRbooks
- the search engine Google Scholar.