

ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



ВЫПУСК 2018-1(129)

**СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

ГОУ ВПО "Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры"

ВЕСТНИК

**Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Издается с декабря 1995 года
Выходит 8 раз в год

Выпуск 2018-1(129)

**СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ**

Макеевка 2018

ДООУ ВПО “Донбаська національна академія
будівництва і архітектури”

ВІСНИК

**Донбаської національної академії
будівництва і архітектури**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Видається з грудня 1995 року
Виходить 8 разів на рік

Випуск 2018-1(129)

**СУЧАСНІ
БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Макіївка 2018

Основатель и издатель

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации серия ААА № 000094

выдано 17.01.2017 г. Министерством информации ДНР

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

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

Выпускается по решению ученого совета

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Протокол № 6 от 26.02.2018

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:

Александров В. Д., д. х. н., профессор;

Братчун В. И., д. т. н., профессор;

Горохов Е. В., д. т. н., профессор;

Ефремов А. Н., д. т. н., профессор;

Зайченко Н. М., д. т. н., профессор;

Левин В. М., д. 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;

Югов А. М., д. т. н., профессор;

Ядыкина В. В., д. т. н., профессор.

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

Программное обеспечение С. В. Гавенко

Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано к выпуску 23.03.2018

Адрес редакции и издателя

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

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Телефоны: (0622) 90-29-38; (0623) 22-20-51, (0623) 22-24-67

Тел/факс: (0623) 22-06-16, E-mail: vestnik@donnasa.ru,

<http://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

© ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2018

Засновник і видавець

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

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

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

Випускається за рішенням Вченої ради
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
Протокол № 6 від 26.02.2018

Редакційна рада:

Горохов Є. В., д. т. н., професор – головний редактор;
Мушанов 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:

Александров В. Д., д. х. н., професор;	Лобов М. І., д. т. н., професор;
Братчун В. І., д. т. н., професор;	Любомирський М. В., д. т. н., професор;
Горохов Є. В., д. т. н., професор;	Мушанов В. П., д. т. н., професор;
Єфремов О. М., д. т. н., професор;	Петраков О. О., д. т. н., професор;
Зайченко М. М., д. т. н., професор;	Югов А. М., д. т. н., професор;
Левін В. М., д. т. н., професор;	Ядிகіна В. В., д. т. н., професор.

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

Підписано до випуску 23.03.2018

Адреса редакції і видавця

86123, ДНР, м. Макіївка, вул. Державіна, 2,
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
Телефони: (0622) 90-29-38; (0623) 22-20-51, (0623) 22-24-67
Тел/факс: (0623) 22-06-16, E-mail: vestnik@donnasa.ru,
<http://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

© ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», 2018

УДК 625.855.3

**В. И. БРАТЧУН^а, В. Л. БЕСПАЛОВ^а, В. В. ЖЕВАНОВ^а, О. Н. НАРИЖНАЯ^а, В. А. БУГАЕВ^б,
А. Ю. КАЧКИНА^а, Ю. В. БУКИАШВИЛИ^а**^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б Восточно-украинский
национальный университет им. Владимира Даля

ВЯЖУЩИЕ СВОЙСТВА ОТСЕВА ДРОБЛЕНИЯ ОТВАЛЬНЫХ МАРТЕНОВСКИХ ШЛАКОВ И ИХ АКТИВАЦИЯ ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

Аннотация. Отсев дробления отвальных мартеновских шлаков характеризуется замедленным характером гидратации. При этом во времени формируется гелевая структура новообразований, о чем свидетельствуют: неизменность рентгеновских диафрагмограмм твердеющего шлакового камня как в возрасте одних суток, так и в возрасте двух лет; присутствие на поверхности шлаковых частиц гелеподобных натечных образований; гетерогенность на микроуровне гелевых новообразований как по составу химических элементов, так и количественному соотношению их; возникновение характерных для геля трещин синерезиса, их залечивание и появление новых, зачастую пересекающих старые трещины. Эффективным способом активизации вяжущих свойств отвального мартеновского шлака является введение в водшлаковую смесь негашеной молотой извести.

Ключевые слова: отсев дробления отвального мартеновского шлака, гидравлические свойства, гидратационные новообразования, активация вяжущих свойств шлака.

В производстве различных видов стали, в зависимости от технологии выплавки образуются мартеновские (преобладают среди сталеплавильных шлаков), конверторные, ваграночные, электросталеплавильные и другие шлаки [1].

Мартеновские шлаки образуются в результате взаимодействия примесей жидкого чугуна и лома (Si, Mn, P, S) с флюсами (известняком, кварцитом, плавиковым шпатом и др.) [1]. Химический состав шлаков мартеновского производства отличается постоянством и содержит до 30 элементов, среди которых сумма четырех элементов: CaO, SiO₂, Al₂O₃ и MgO составляет до 98 % [1].

Мартеновские шлаки не гранулируются, а сливаются в отвалы, где медленно остывают. При остывании вследствие высокой основности они практически полностью кристаллизуются и, как правило, почти не содержат стекла [1]. Для мартеновских шлаков характерно высокое содержание железа в виде оксидов и металлических включений – королек и скрапа (15...20 %).

При переработке отвального мартеновского шлака на щебень его сортируют, глыбы раскалывают, дробят, пропускают через электромагнитный сепаратор [2].

В процессе переработки мартеновского шлака на щебень образуется отсев дробления, который характеризуется следующими показателями качества: насыпная плотность 1 650...1 700 кг/м³; истинная плотность 3 200–3 250 кг/м³; марка по дробимости в стальном цилиндре фракции 5–10 мм 1 200; морозостойкость более 50 циклов; активность 1 МПа; модуль основности $M_o = 1,9$. Зерновой состав представлен частными остатками на ситах с размером отверстий, мм: 10 – 2 %; 5 – 24 %; 2,5 – 15 %; 1,25 – 18 %; 0,63 – 14 %; 0,315 – 15 %; менее 0,14 – 12 %.

Одним из эффективных направлений использования отсева дробления отвального мартеновского шлака является применение их в качестве гидравлически активного минерального компонента влажных органоминеральных смесей, приготовленных на жидких дорожных битумах или на битумных эмульсиях. В связи с этим целесообразно рассмотреть механизм гидратации отсева дробления мартеновских шлаков и способы ускорения этого процесса.

Отвальные мартеновские шлаки по химическому и минералогическому составу идентичны портландцементному клинкеру. По содержанию стекла (около 5 %) они также близки. Однако интенсивность проявления ими вяжущих свойств различна [4]. Гидратация минералов мартеновского шлака происходит по механизму аналогичному для портландцемента [4]:

- адсорбция молекул H_2O на гидравлически активных минералах; диссоциация их на H^+ и OH^- ;
- взаимодействие ионов H^+ , OH^- и диполей H_2O с активными центрами гидравлически активных минералов с образованием вначале слабых, а затем все более усиливающихся хемосорбционных связей;
- развитие полного обмена типа $Ca^{2+} \rightleftharpoons 2H^+$, приводящего к переходу части структурных единиц (Ca^{+2} , Al^{3+} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , SiO_2^{-2} и др.) в водный раствор и к присоединению ионов H^+ , OH^- и диполей H_2O к другим структурным единицам кристалла с образованием зародышей гидратационных соединений $Ca(OH)_2$, CaH_x , $C_xS_yH_z$ и др.;
- переход в раствор наряду с обмениваемыми ионами также и гидратированных ионов $Ca(OH)^+$, и др., что сопровождается насыщением и пресыщением водного раствора соответствующими ионами;
- кристаллизация пересыщенных водных растворов.

Таким образом, для шлаковых материалов, как и для цементных паст, процесс структурообразования по типу возникающих структур может быть разделен на два периода:

- период формирования начальной структуры (от затворения водой, растворами солей и твердения, когда гидратируемое тесто еще сохраняет свою пластичность, но характеризуется вначале коагуляционной, а затем коагуляционно-кристаллизационной структурой с преобладанием первой);
- период упрочнения, которому присуща значительно большая скорость нарастания прочности структуры твердеющего камня с преобладанием в ней кристаллизационных контактов.

При увлажнении шлаковых частиц проявляется гидрофильность щелочных металлов, в частности CaO и MgO . Ионы поверхностного слоя шлакового зерна взаимодействуют с противоположно заряженными частицами диполей воды, теряют свою агрегативную устойчивость, отрываются от поверхности и переходят в раствор вследствие высокой диэлектрической постоянной воды.

Вынос гидратных комплексов в поровое пространство со временем приводит к образованию концентрированного, истинного щелочного раствора, что вызывает щелочное возбуждение поверхностей более крупных кристаллических и аморфных частиц шлака. Заметное значение в интенсивности происходящих процессов играют поверхностные дефекты шлаковых частиц, которые под влиянием проникающих в них молекул воды активно развиваются.

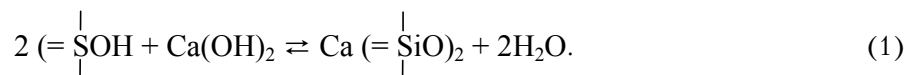
Для ускорения процессов гидратации частиц мартеновского шлака наиболее целесообразно введение в состав системы «шлак – вода» щелочных добавок, например негашеной извести, которая при затворении водой переходит в гидратную известь.

Гидратированная известь ($Ca(OH)_2$) способствует, прежде всего резкому повышению растворимости гидрогелей кремнекислоты и глинозема и процессу хемосорбции их на активной минеральной добавке. При наличии различных катионов хемосорбция происходит избирательно. Причем в первую очередь сорбируются ионы K^+ , Na^+ и последними щелочно-земельные катионы. Адсорбция гидроксидов, которые окружают эти катионы в воде, наступает лишь через некоторое время после хемосорбции катионов.

Хемосорбция катионов и анионов активатора ведет к частичной десорбции воды с поверхности добавки. Это приводит к увеличению сроков схватывания гидратируемой системы.

При соприкосновении с водой наиболее активные участки стекла на поверхности шлаковых зерен адсорбируют молекулы воды. Стекловидная фаза состоит из комплексных анионов $(SiO_4)^4-$, $(AlO_4)^5-$ и др., соединенных друг с другом кислородными связями в политетраэдрические структуры разного состава и вида. К этим анионам присоединяются также и катионы модификаторы по схеме $\equiv Si - O \dots Me$. При адсорбции воды стеклом происходит обмен относительно слабо связанных ионов – модификаторов щелочных и щелочноземельных металлов из стекла на ионы поверхности частичек стекла пленок гидратированного кремнезема, содержащего группы $\equiv Si - O \dots H$. Эти пленки препятствуют дальнейшему взаимодействию шлака с водой.

Введение в водный раствор гидратированной извести приводит к образованию соответствующих силикатов по схеме



Эта реакция является обратимой, и устойчивое существование тех или иных силикатов возможно только при определенной концентрации соответствующих гидратов окисей металлов в водном растворе. Образование устойчивых силикатов (и алюминатов) при отдельных концентрациях гидратов окисей металлов сопровождается разрушением пленок гидратированного кремнезема. В результате обнажаются и становятся доступнее для воды более глубокие участки стекла. Это, в свою очередь, сопровождается дальнейшим его гидролизом и гидратацией. Значительная растворимость в воде глинозема, а также алюминатов кальция в этих условиях способствует их выносу в окружающий раствор и образованию в последнем пор и капилляров, обеспечивающих дальнейший доступ воды, гидролизующей стекло.

Таким образом, введение небольшого количества $\text{Ca}(\text{OH})_2$ создает своеобразный толчок, нарушающий термодинамически неустойчивое равновесие шлакового стекла. Последнее в дальнейшем при взаимодействии с водой самопроизвольно перестраивается с образованием более устойчивых гидроалюминатов кальция, обуславливающих схватывание и твердение всей системы.

Гидратация активированных $\text{Ca}(\text{OH})_2$ частичек мартезовского шлака приводит к образованию низкоосновных волокнистых гидросиликатов кальция состава $(0,80-1,35) \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$, а также двухкальциевого гексаганального нестабильного гидроалюмината $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ или, скорее, гидрогеленита $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ [5, 6].

Образованию последнего должно особенно благоприятствовать непосредственное взаимодействие кремнезема и глинозема, составляющих аморфную и кристаллическую части стекла во время полной перестройки его структуры при гидролизе.

При изучении процессов гидратации (система 1) – несепарированный отсев дробления отвального мартезовского шлака (100 м.ч.), затворенный водой (15 м.ч.) и активированный гашеной известью (2 м.ч.) (система 2), определен предел прочности цилиндрических образцов $d = h = 5$ см во времени системы 1: одни сутки – 0,2 МПа, 28 суток – 1,0 МПа, 90 суток – 1,82 МПа, 180 суток – 3,73 МПа; системы 2: одни сутки – 0,5 МПа, 28 суток – 2,9 МПа, 90 суток – 5,70 МПа, 180 суток – 5,49 МПа. Как следует из полученных данных, отсев дробления отвального мартезовского шлака обладает вяжущими свойствами. При этом процесс гидратации к двум годам твердения прекращается. Сравнительно высокая прочность в возрасте один год ($R_{20} = 13,7$ МПа) и низкая в возрасте 28 суток свидетельствует о необходимости активизации его вяжущих свойств. В частности, как это показано в настоящей работе введение в водошлаковую смесь негашеной молотой извести существенно повышает прочность шлакового камня в возрасте 28 суток.

Установлено, что в процессе гидратации шлака формируется гелевая структура новообразований, о чем свидетельствует: неизменность рентгеновских дифрактограмм твердеющего шлакового камня как в возрасте одних суток, так и в возрасте двух лет (рис. 1); наличие на поверхности шлаковых частиц

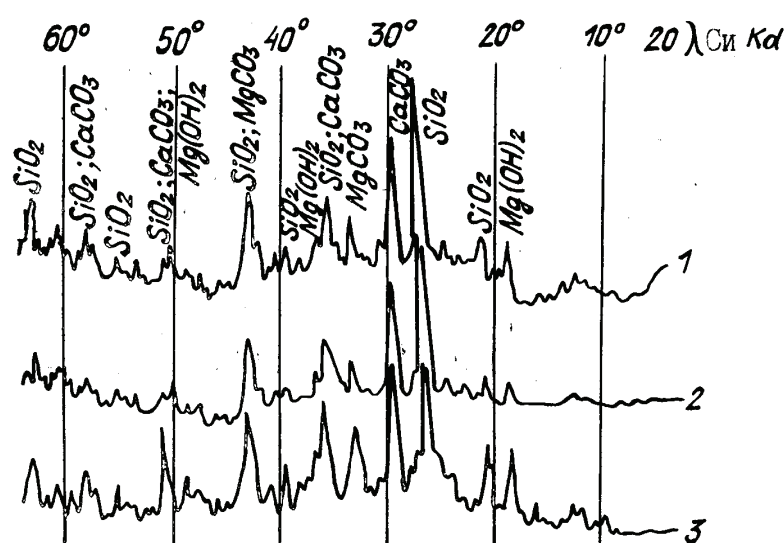


Рисунок 1 – Рентгенограммы гидратированного отсева дробления отвального мартезовского шлака в возрасте: 1 – 1 сутки; 2 – 1 год; 3 – 2 года.

гелеподобных натечных образований; гетерогенность на микроуровне гелевых новообразований как по составу химических элементов, так и по их количественному соотношению; возникновение характерных для геля систем трещин синерезиса, их залечивание и появление новых, зачастую пересекающих старые трещины (рис. 2).

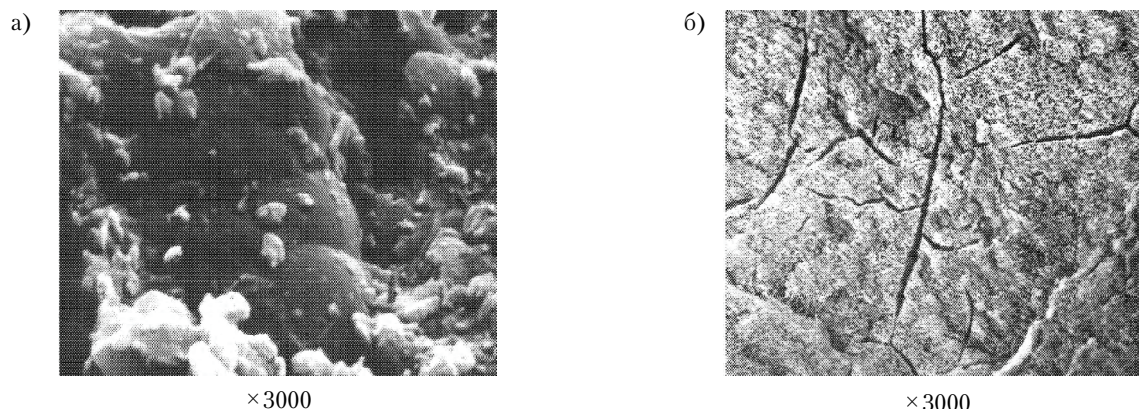


Рисунок 2 – Электронные микрофотографии гидратированного отвального мартеновского шлака в возрасте: а) 28 суток гидратации; б) 2 года гидратации.

Эффективным способом активации вяжущих свойств отвального мартеновского шлака является введение в водошлаковую смесь негашеной молотой извести. Гидроксид кальция приводит к поверхностному растворению шлаковых частиц и выносу в поровое пространство алюмосиликатной составляющей и синтезу гелевых новообразований преимущественно $Al - Si - Ca$ состава, которые и формируют конденсационную структуру шлакового камня [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Довгопол, В. И. Использование шлаков черной металлургии [Текст] / В. И. Довгопол. – М. : Металлургия, 1978. – 268 с.
2. Дорожно-строительные материалы [Текст] / И. М. Грушко, И. В. Королев, И. М. Борщ, Г. М. Мищенко. – М. : Транспорт, 1983. – 380 с.
3. Самодуров, С. Н. Асфальтовый бетон с применением шлаковых материалов [Текст] / С. Н. Самодуров. – Воронеж : Воронежский университет, 1984. – 108 с.
4. В'язучі речовини [Текст] / Р. Ф. Рунова, Ю. Л. Косовський, Л. Й. Двойкін, О. Л. Двойкін. – Київ : Основа, 2013. – 448 с.
5. Асфальтошлакобетоны на анионных битумных эмульсиях [Текст] / В. И. Братчун, Ю. В. Грицук, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, А. В. Губарь // Наука и техника в дорожной отрасли : Международный научно-технический журнал. – 2014. – № 4. – С. 22–25.
6. О целесообразности использования техногенного сырья для производства строительных материалов [Текст] / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, А. И. Бачурин, С. С. Поливцев [и др.] // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. – Одесса : ОГАСА, 2007. – Вып. 27. – С. 37–44.

Получено 09.01.2018

В. І. БРАТЧУН ^а, В. Л. БЕСПАЛОВ ^а, В. В. ЖЕВАНОВ ^а, О. М. НАРИЖНА ^а,
В. М. БУГАЄВ ^б, А. Ю. КАЧКІНА А, Ю. В. БУКІАШВІЛІ ^а
В'ЯЖУЧІ ВЛАСТИВОСТІ ВІДСІВУ ПОДРІБНЕННЯ ВІДВАЛЬНИХ
МАРТЕНІВСЬКИХ ШЛАКІВ І ЇХ АКТИВАЦІЯ ХІМІЧНИМИ ДОБАВКАМИ
^а ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^б Східно-український національний університет ім. Володимира Даля

Анотація. Відсів подрібнення відвальних мартенівських шлаків характеризується уповільненим характером гідратації. При цьому в часі формується гелева структура новоутворень, про що свідчать: незмінність рентгенівських діафрагмограм твердіючого шлакового каменю як у віці однієї доби, так і віці двох років; присутність на поверхні шлакових частинок гелеподібних натічних утворень;

гетерогенність на мікрорівні гелевих новоутворень як за складом хімічних елементів, так і кількісним співвідношенням їх; виникнення характерних для гелю тріщин синерезису, їх заліковування і поява нових, які часто перетинають старі тріщини. Ефективним способом активізації в'язучих властивостей відвального мартенівського шлаку є введення у водошлакову суміш негашеного меленого вапна.

Ключові слова: відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку, гідралічні властивості, гідратаційні новоутворення, активація в'язучих властивостей шлаку.

VALERY BRATCHUN ^a, VITALY BESPALOV ^a, VIACHESLAV ZHEVANOV ^a, OLGA NARYGNAYA ^a, VIKTOR BUGAEV ^b, ANASTASIA KACHKINA ^a, JULIA BUKIASHVILI ^a

KNITTING PROPERTIES OF SCREENING OF CRUSHING OF OPEN HEARTH SLAG AND THEIR ACTIVATION BY CHEMICAL ADDITIVES

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b East Ukrainian National University named after Dahl

Abstract. The screening of the crushing of the open-hearth open-hearth slags is characterized by a delayed nature of hydration. At the same time, the gel structure of neoplasms is formed in time, as evidenced by: the invariance of X-ray diaphragms of hardening slag stone both at the age of two years; the presence on the surface of slag particles of gel-like gangue formations; heterogeneity at the microlevel of gel neoplasms both in the composition of the chemical elements and in the quantitative ratio of them; the appearance of syneresis characteristic for the gel cracks, their healing and the appearance of new ones, often intersecting old cracks. An effective way to activate the astringent properties of the dump open-hearth slag is to introduce into the slag water mixture a quick-drying ground lime.

Key words: screening of crushing of open hearth slag, hydraulic properties, hydration neoplasms, activation of astringent properties of slag.

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

Жеванов Вячеслав Владимирович – старший преподаватель кафедры физического воспитания и спорта ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические и аналитические исследования синтетических смол и полимерных материалов.

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

Бугаев Виктор Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства Восточно-украинского национального университета имени Владимира Даля; проректор по административной работе. Научные интересы: совершенствование технологии бетонов естественного твердения.

Качкина Анастасия Юрьевна – студентка ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Букиашвили Юлия Владимировна – студентка 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 ДОУ 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.

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

Жеванов В'ячеслав Володимирович – старший викладач кафедри фізичного виховання та спорту ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні й аналітичні дослідження синтетичних смол і полімерних матеріалів.

Нарижная 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.

Бугаев Віктор Олексійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва і господарства. Проректор по адміністративній роботі Східно-українського національного університету імені Даля. Наукові інтереси: вдосконалення технології бетонів природного тверднення.

Качкина Анастасія Юрївна – студентка ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

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

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

Zhevanov Viacheslav – senior lecturer, Physical Education and Sports Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical and analytical researches of synthetic resins and polymeric materials ps.

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

Bugaev Viktor – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Urban Construction and Economy Department, East Ukrainian National University named after Dahl; pro-rector on administrative work of the. Scientific interests: improvement of technology of concretes of natural repeating over and over again.

Kachkina Anastasia – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

Bukiashvili Julia – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

УДК 546.226 221

О. В. СОБОЛЬ^а, Я. В. ШАЖКО^б, Л. Д. ОЖЕГОВА^б^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б ГУ «Институт физики горных процессов»

ПАРНЫЙ РОСТ КРИСТАЛЛОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НЕОРГАНИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ

Аннотация. В данной работе методом оптической микроскопии получены микрофотографии различных этапов затвердевания капель за-, до- и эвтектических водных растворов неорганических кристаллогидратов $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Проведен анализ процессов совместного или парного роста кристаллов в этих растворах, т.к. эти процессы лежат в основе возникновения эвтектики – чрезвычайно распространенного типа структуры в самых различных системах (металлических, неорганических, органических, минералогических и др.).

Ключевые слова: оптическая микроскопия, кристаллизация, кристаллогидрат, раствор, эвтектика.

Развитие многих направлений новых технологий связано с достижениями теории и практики получения различных кристаллических веществ. По сравнению с молекулярно-кинетическими закономерностями образования кристаллов и особенностями их строения гораздо менее изучены процессы совместного, или парного роста кристаллов. Между тем эти процессы лежат в основе возникновения эвтектики – чрезвычайно распространенного типа структуры в самых различных системах (металлических, неорганических, органических, минералогических и др.) Например, процесс направленной кристаллизации эвтектических растворов широко применяется в технологии волокнистых композиционных материалов. Сущность этого процесса заключается в выращивании композита из направленно кристаллизующегося раствора эвтектического состава [1–5].

Целью данной статьи являлось описание и ознакомление с процессами структурообразования при кристаллизации в за-, до- и эвтектических водных растворах кристаллогидратов $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Объектом исследования являлись капли за-, до- и эвтектических водных растворов кристаллогидратов $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ массами ~ 15÷16 мг. Растворы готовили смешиванием дистиллированной воды с соответствующим кристаллогидратом марки «ч» при температуре 70 °С.

Для этого капли растворов помещали на предметное стекло микроскопа «Биолам 70»; при этом капли растекались в жидкое «пятно» толщиной ~70÷80 мкм и площадью ~100÷110 мм². За процессом кристаллизации и структурой образовавшихся кристаллов наблюдали с помощью микроскопа при увеличениях ×200. Структуру кристаллов на отдельных этапах затвердевания фотографировали цифровым фотоаппаратом «OLYMPUS», встроенным в микроскоп.

Определение эвтектики как многофазной механической смеси кристаллов было впервые предложено Ф. Гётри в 1884 году. Столетний период исследований эвтектической кристаллизации породил множество конфронтирующих гипотез, пытающихся объяснить и классифицировать многочисленные морфологические разновидности эвтектик. Одним из наиболее распространенных следует считать представление об эвтектике как о мелкокристаллической многофазной структуре, возникающей в ходе множественного зарождения и роста кристаллов обеих, или хотя бы одной из фаз, составляющих двойную эвтектику (рис. 1, а, б).

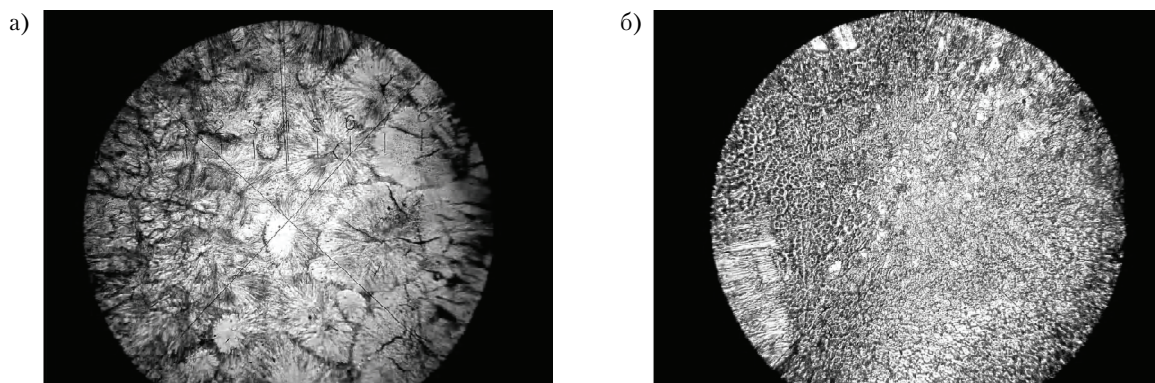


Рисунок 1 – Эвтектические растворы: а) $KAl(SO_4) \cdot 12H_2O$, б) $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

В действительности же любая двойная эвтектика является не мелкозернистой, а тонкоразветвленной двухфазной структурой, имеющей колониальное строение. Эвтектическая кристаллизация происходит путем зарождения и роста колоний, возникающих в результате парного (совместного и кооперативного) роста двух кристаллических партнеров, то есть в результате своеобразного кристаллического симбиоза (рис. 2, а, б). А. А. Бочвар первый установил, что неперенным условием образования типичной эвтектики является контакт двух разноименных кристаллов [6].

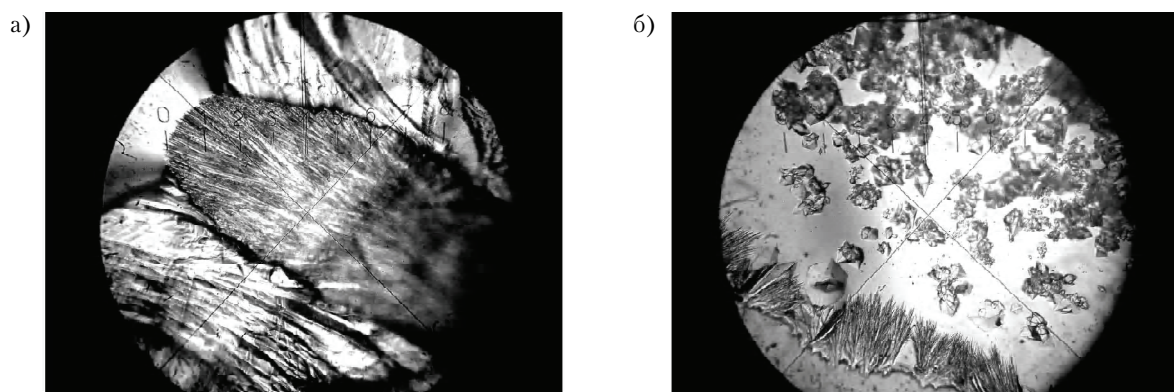


Рисунок 2 – Раствор $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$.

Кристаллизация эвтектического раствора носит особый характер. Действительно, температура начала и конца затвердевания такого раствора совпадает, эвтектика затвердевает при низшей температуре, и в ней практически при одной температуре выделяются оба вида кристаллов.

Во всей массе раствора эвтектического состава имеются приблизительно равномерно распределенные молекулы компонентов А и В. Для того чтобы кристаллизация шла с образованием кристаллов А и В, необходимо, чтобы молекулы этих веществ разрознились – в одних местах собирались только молекулы А и росли кристаллы А, а в других только молекулы В и росли кристаллы В.

Движение одинаковых молекул к определенным местам (центрам кристаллизации) А. А. Бочвар назвал восходящей диффузией. Образование этих центров объясняется тем, что молекулы хаотично распределены приблизительно равномерно, но в отдельных объемах возможны отклонения от среднего состава, и эти отклонения могут быть настолько велики, что этот объем будет состоять только из молекул одного компонента. Такие отклонения по составу в жидкости называются флуктуациями и являются центрами кристаллизации. Следовательно, возникновение кристаллов, резко отличающихся по составу от состава раствора, связано с двумя явлениями: а) отклонением по составу (флуктуацией), приводящим к образованию центров кристаллизации; б) восходящей диффузией, обеспечивающей рост кристаллов (доставка молекул данного компонента к его центрам кристаллизации).

Хотя в конечном итоге эвтектика представляет собой смесь кристаллов, образующихся при одной температуре, но эти кристаллы зарождаются и растут порознь. Пусть в каком-то месте образовался центр роста кристалла А. К этому центру будут двигаться и на нем наслаиваться молекулы компонента А из близко расположенной части жидкой фазы. Следовательно, слои жидкости, близкие к растущему кристаллу, будут обедняться молекулами компонента А. В этих местах будет оставаться все больше и больше молекул компонента В. В какой-то момент в этой богатой молекулами компонента В жидкости уже образуется зародыш другого кристалла, а именно кристалла В. С этого момента в жидкости, окружающей кристаллы А и В, интенсивно идет восходящая диффузия, т. е. молекулы каждого компонента пристраиваются к своему кристаллу. В какой-то момент эти кристаллики встретятся, придут в соприкосновение и рост их прекратится. Затвердевание раствора будет продолжаться путем роста других центров, возникших в других соседних объемах жидкости. В результате кристаллизация эвтектики происходит из большого числа центров, поэтому эвтектическая смесь состоит из мелких кристалликов А и В (по сравнению с размерами кристаллов А или В, которые образовались в доэвтектическом (рис. 3, а) и заэвтектическом (рис. 3, б) растворах до начала образования эвтектики).

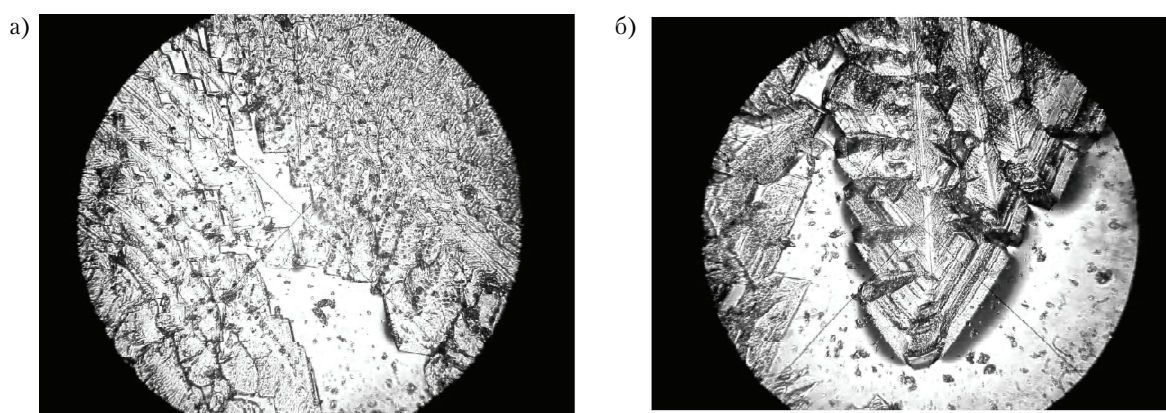


Рисунок 3 – Раствор $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: а) доэвтектический, б) заэвтектический.

Эвтектическая колония, следовательно, представляет собой двухфазный бикристаллит, состоящий из двух зерен. Оба зерна, входящих в колонию, в связи с особенностями парного роста характеризуются сильно развитым ячеисто-дендритным разветвлением и составляют сложную систему перемежающихся ответвлений.

Зарождение колоний происходит лишь на кристаллах одной из фаз. Эта базовая фаза отличается более сложной кристаллохимической природой, более высокой энтропией плавления и большей склонностью к развитию плоскогранных форм роста.

Зарождение колонии осуществляется путем разрастания кристалла второй фазы эвтектики по поверхности базового кристалла. Зарождение кристалла второй фазы происходит автономно или на подложке.

Развитие колонии на сформировавшемся бикристаллитном основании представляет собой процесс кооперативного роста двух разветвляющихся кристаллов. Ведет этот процесс базовая фаза. Габитус, секториальное строение и кристаллогеометрия разветвления базовой фазы определяют основные морфологические характеристики колонии [7, 8].

Главной особенностью парного роста кристаллов является взаимное стимулирование противоположными компонентами ячеистого разветвления кристаллов и фиксация этого разветвления чередующимся прорастанием фаз. Эта особенность определяет тонкую дифференцировку эвтектических структур. Возникновение тонкой эвтектики в виде системы перемежающихся ответвлений двух эвтектических фаз можно описать как процесс декорирования ведомой фазой развития ячеисто-дендритной субструктуры в растущем кристалле ведущей фазы. При этом кооперативный рост двух кристаллов обуславливается малой величиной межфазных расстояний и высоким уровнем концентрационных градиентов.

Вызываемая этим высокая скорость диффузионного разделения компонентов в растворе предотвращает зарождение новых кристаллов. Увеличение же скорости охлаждения замедляет массоперенос, но способствует усилению разветвления. Благодаря этому поддерживается высокий уровень концентрационных градиентов и обеспечивается непрерывный рост кристаллов эвтектической пары.

При кристаллизации эвтектики из жидкой фазы сначала выделяется кристаллик одного компонента, а когда рядом в жидкости остается много молекул другого компонента, образуется его кристалл и т. д. Следовательно, есть компонент, ведущий кристаллизацию. Он создает основу (скелет) эвтектики, а второй компонент, кристаллизующийся за ним, остается в межосных пространствах этого скелета. Получение пластинчатого или зернистого строения эвтектики зависит от природы кристаллизующихся компонентов. Чем больше поверхностное натяжение компонента, тем более округлыми получаются кристаллы в эвтектике (рис. 4).

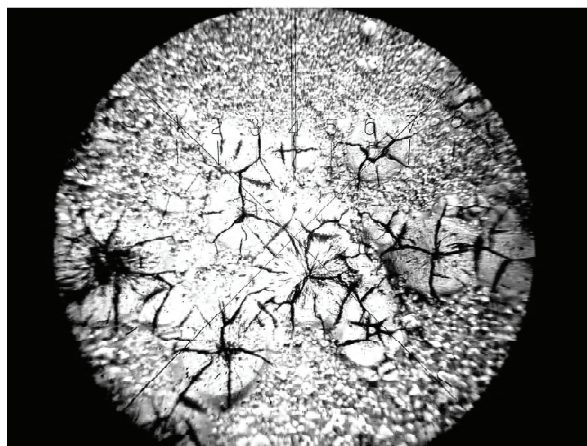


Рисунок 4 – Раствор $\text{KAl}(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Таким образом, в работе проведен анализ процессов совместного или парного роста кристаллов в растворах неорганических кристаллогидратов $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, т. к. эти процессы лежат в основе возникновения эвтектики – чрезвычайно распространенного типа структуры в самых различных системах (металлических, неорганических, органических, минералогических и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современная кристаллография [Текст]. В четырех томах. Т. 3. Образование кристаллов / А. А. Чернов, Е. И. Гиваргизов, Х. С. Багдасаров [и др.]. – М. : Наука, 1980. – 302 с.
2. Фольмер, М. Кинетика образования новой фазы [Текст] / М. Фольмер. – М. : Наука, 1986. – 206 с.
3. Козлова, О. Г. Рост и морфология кристаллов [Текст] / О. Г. Козлова. – 3-е изд. – М. : МГУ, 1980. – 357 с.
4. Портнов, В. Н. Возникновение и рост кристаллов [Текст] / В. Н. Портнов, Е. В. Чупрунов. – М. : Физматлит, 2006. – 328 с.
5. Особенности кристаллизации и плавления компонентов в водных растворах [Текст] / О. Б. Яценко, Д. Л. Котова, А. А. Федорец, И. Г. Чудотворцев // Конденсированные среды и межфазные границы. – 1999. – Т. 1, № 4. – С. 328–333.
6. Бочвар, А. А. Металловедение [Текст] : [Учебник для металлургич. и технол. специальностей вузов] / Акад. А. А. Бочвар. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Металлургиздат, 1956. – 495 с.
7. Таран Ю. Н. Парный рост кристаллов в сплавах эвтектического типа [Текст] / Ю. Н. Таран // 6 Международная конференция по росту кристаллов, Москва, 10–16 сент. 1980 = 6 International conference on crystal : расширенные тезисы. Т. 2. Рост из расплава и раствора в расплаве (процессы кристаллизации и образования дефектов) / АН СССР [и др.]. – Москва : [б. и.], 1980. – С. 46–48.
8. Гуськов, А. П. Самоорганизация распределения компонент при эвтектической кристаллизации [Текст] / А. П. Гуськов // XII Национальная конференция по росту кристаллов (НКРК-2006), Москва, 23–27 октября 2006 года : Тезисы докладов / Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова РАН [и др.]. – Москва : Наука, 2006. – С. 86.

Получено 10.01.2018

О. В. СОБОЛЬ ^a, Я. В. ШАЖКО ^b, Л. Д. ОЖЕГОВА ^b
ПАРНИЙ РІСТ КРИСТАЛІВ У ВОДЯНИХ РОЗЧИНАХ НЕОРГАНІЧНИХ
КРИСТАЛОГІДРАТІВ

^a ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^b ДУ «Інститут фізики гірських процесів»

Анотація. У даній роботі методом оптичної мікроскопії отримані мікрофотографії різних етапів затвердіння крапель за-, до- і евтектичних водяних розчинів неорганічних кристалогідратів $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ і $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Проведено аналіз процесів спільного або парного росту кристалів в цих розчинах, тому що ці процеси лежать в основі виникнення евтектики – надзвичайно поширеного типу структури у самих різних системах (металевих, неорганічних, органічних, мінералогічних і ін.).
Ключові слова: оптична мікроскопія, кристалізація, кристалогідрат, розчин, евтектика.

OXSANA SOBOLOVA ^a, YAROSLAV SHAZHKO ^b, LARISA OZHEGOVA ^b
CRYSTALS PAIR GROWTH IN WATER SOLUTIONS OF INORGANIC
CRYSTALLINE HYDRATES

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b SI «Institute of Physics of Mining Processes»

Abstract. In this work are received as method of optical microscopy microphotographs of different stages of hardening of drops for – to – and the eutectic water solutions of inorganic crystalline hydrates: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ and $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. The analysis of the processes of joint or pair growth of crystals in these solutions is carried out. these processes underlie the emergence of eutectics – an extremely widespread type of structure in a variety of systems (metal, inorganic, organic, mineralogical, etc.).
Key words: optical microscopy, crystallization, crystalline hydrate, solution, eutectic.

Соболь Оксана Викторовна – кандидат химических наук, доцент кафедры физики, математики и материаловедения ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение физико-химических основ кинетики процессов кристаллизации веществ.

Шажко Ярослав Витальевич – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе ГУ «Институт физики горных процессов». Научные интересы: десорбционные и сорбционные процессы в твердых телах, физика угля и горные процессы на больших глубинах.

Ожегова Лариса Дмитриевна – ученый секретарь ГУ «Институт физики горных процессов». Научные интересы: физика угля и горные процессы на больших глубинах.

Соболь Оксана Вікторівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри фізики, математики і матеріалознавства ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: аналіз фізико-хімічних основ кінетики процесів кристалізації речовин.

Шажко Ярослав Віталійович – кандидат технічних наук, заступник директора з наукової роботи ДУ «Інститут фізики гірських процесів». Наукові інтереси: десорбційні та сорбційні процеси в твердих тілах, фізика вугілля і гірські процеси на великих глибинах.

Ожегова Лариса Дмитрівна – вчений секретар ДУ «Інститут фізики гірських процесів». Наукові інтереси: фізика вугілля і гірські процеси на великих глибинах.

Sobol Oksana – Ph. D. (chemical.), Associate Professor Physics and Physical Materials Science Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: studying of physical and chemical bases kinetics processes of crystallization of substances.

Shazhko Yaroslav – Ph. D. (Eng.), deputy director on scientific work of SI «Institute of Physics of Mining Processes». Scientific interests: desorption and sorption processes in solids, physics of coal and mining processes at great depths.

Ozhegova Larisa – scientific secretary of SI «Institute of Physics of Mining Processes». Scientific interests: physics of coal and mining processes at great depths.

УДК 691.5+608.4

В. И. БРАТЧУН^а, В. В. СТАВЦЕВ^б, Е. А. РОМАСЮК^а, В. П. ДЕМЕШКИН^а, М. В. ЧИЧИГИН^а^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

ИЗМЕРЕНИЕ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ-БАЛОЧЕК С ПРИМЕНЕНИЕМ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА

Аннотация. В работе предложен метод измерения прогибов асфальтобетонного образца под действием циклических нагрузок с использованием емкостного датчика оригинальной конструкции. Приведены результаты измерений упругой деформаций различных видов и типов асфальтобетонов. Показано, что упругий прогиб с величинами от 10 до 60 мкм характерен для всех видов и типов асфальтобетонов и во временном отрезке испытания образцов 60...70 % от всего времени испытания. Установлено, что асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом Elvaloy-AM обладают в 3 раза большей устойчивостью к пластическим деформациям в отличие от традиционного асфальтобетона.

Ключевые слова: асфальтобетон, усталостная долговечность, прогиб, емкостный преобразователь, плоский конденсатор.

В процессе эксплуатации автомобильной дороги все конструктивные слои испытывают комплекс транспортных нагрузок, действие температуры, водонасыщения-высушивания, замораживания-оттаивания и других внешних факторов, в результате чего в нежесткой дорожной одежде формируются напряжения различной величины и знака. Особенностью нагрузки от транспортных средств является то, что напряжения, возникающие в материалах дорожного покрытия, могут и не превышать критических значений, однако при многократном приложении динамических механических нагрузок в асфальтобетоне развиваются усталостные процессы. Это приводит к постепенному накоплению пластических деформаций в пленочном битуме и образованию усталостных микротрещин, перерастающих в магистральные трещины с последующим разрушением дорожного покрытия. Таким образом, изучение особенностей усталостного разрушения и регистрации деформаций асфальтобетона как в процессе эксплуатации, так и в лабораторных условиях, а также разработка способов повышения усталостной долговечности традиционного горячего асфальтобетона является актуальной задачей [1–3].

Наиболее часто применяемое и адекватно моделирующее при многократной динамической нагрузке поведение дорожной одежды в лабораторных условиях является циклический изгиб асфальтобетонных образцов-балочек нагрузками меньше разрушающих. В работах [1–7] установлено возникновение на покрытии при проезде транспортных средств растягивающих и сжимающих напряжений. При этом в основании слоя покрытия напряжения носят в основном только растягивающий характер. Поэтому наиболее точными формами приложения нагрузок при испытании асфальтобетона в лабораторных условиях являются: синусоидальная форма, позволяющая прикладывать к образцу нагрузку различных знаков, моделируя тем самым появление растягивающих и сжимающих напряжений в покрытии, а также циклическая полусинусоидальная, характеризующаяся испытанием балочки на односторонний изгиб с учетом разгрузки (время «отдыха») [4, 5].

Таким образом, наиболее целесообразно выполнять исследования усталостной долговечности асфальтобетона в лабораторных условиях на образцах-балочках, подвергая их растяжению при изгибе от воздействия циклических нагрузок одинаковой величины, обеспечивая тем самым постоянство напряженного состояния с регистрацией главного критерия оценки усталостной долговечности

асфальтобетона – количества циклов до разрушения [4, 5, 6]. Однако в настоящее время, кроме определения количества циклов до разрушения, возникает необходимость точных замеров прогибов асфальтобетонного образца с целью более детального изучения поведения материала под действием динамических нагрузок, а также оценки степени влияния на деформационно-прочностные показатели асфальтобетона современных полимерных модификаторов, которые придают органическим вяжущими и асфальтобетонам эластичность [7].

Традиционный метод измерения прогиба асфальтобетонного образца-балочки с использованием стрелочных индикаторов часового типа является довольно неточным, к тому же данным индикатором не предоставляется возможным регистрация кратковременных упругих прогибов образца, длящихся доли секунды под действием динамических нагрузок. Следовательно, возникает необходимость в разработке и внедрении специальных электронных датчиков, которые будут обладать требуемой точностью, но в то же время их стоимость будет минимальна.

Цель работы состоит в разработке метода измерения прогибов асфальтобетонного образца под действием циклических нагрузок с использованием емкостного датчика.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В работе [8] авторами выполнены исследования усталостной долговечности асфальтобетонов на специально разработанной установке, которая позволяет нагружать стандартные асфальтобетонные образцы-балочки (16×4×4 см) циклической нагрузкой в форме полусинусоиды различной длительности с разными периодами отдыха, а также позволяет испытывать образцы статическими нагрузками (рис. 1).

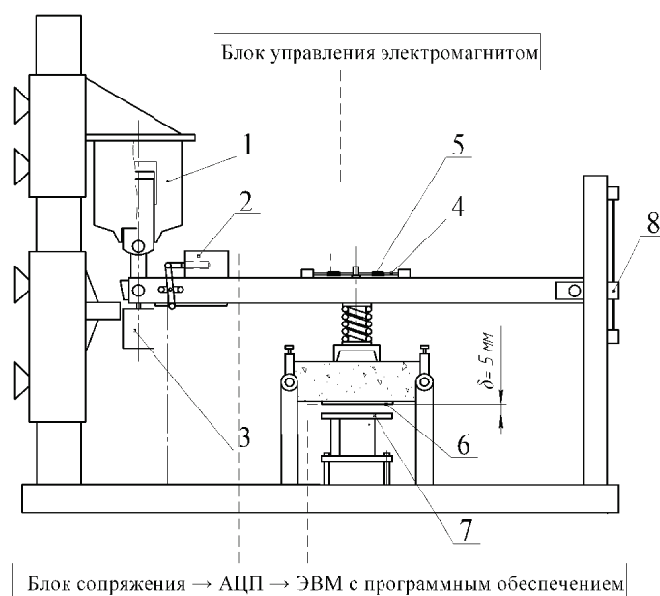


Рисунок 1 – Схема установки для испытания асфальтобетона на усталостную долговечность: 1 – нагружающий электромагнит; 2 – электромагнит-защелка; 3 – сменный груз; 4 – датчик измерения усилий; 5 – тензометрические датчики; 6 – токопроводящая пленка; 7 – датчик измерения прогибов; 8 – регулировочное устройство.

В данной установке для измерения величин прогиба образца под нагрузкой использован датчик оригинальной конструкции, который является попыткой использовать ёмкостные преобразователи для регистрации кратковременных циклических деформаций. В настоящее время известны приборы и методы измерения ёмкости с точностью от 0,1 пФ. Например, в работах [9–13] показаны примеры схем измерителей ёмкости, которые по техническим характеристикам не слишком уступают современным профессиональным приборам, но при этом значительно выигрывают в цене и компактности, что позволяет их использовать в лабораторных установках.

В основу предлагаемого емкостного преобразователя положено известное свойство плоских конденсаторов изменять электроёмкость при изменении расстояния между токопроводящими обкладками:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon \frac{S}{d}, \quad (1)$$

где C – электрическая емкость плоского конденсатора, Ф;
 ε_0 – электрическая постоянная, численно равная $8,854187817 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;
 ε – диэлектрическая проницаемость среды, заполняющая пространство между пластинами (в вакууме равна единице);
 S – площадь двух параллельных пластин, м²;
 d – расстояние между пластинами, м.

Общий вид и схема датчика приведены на рис. 2.

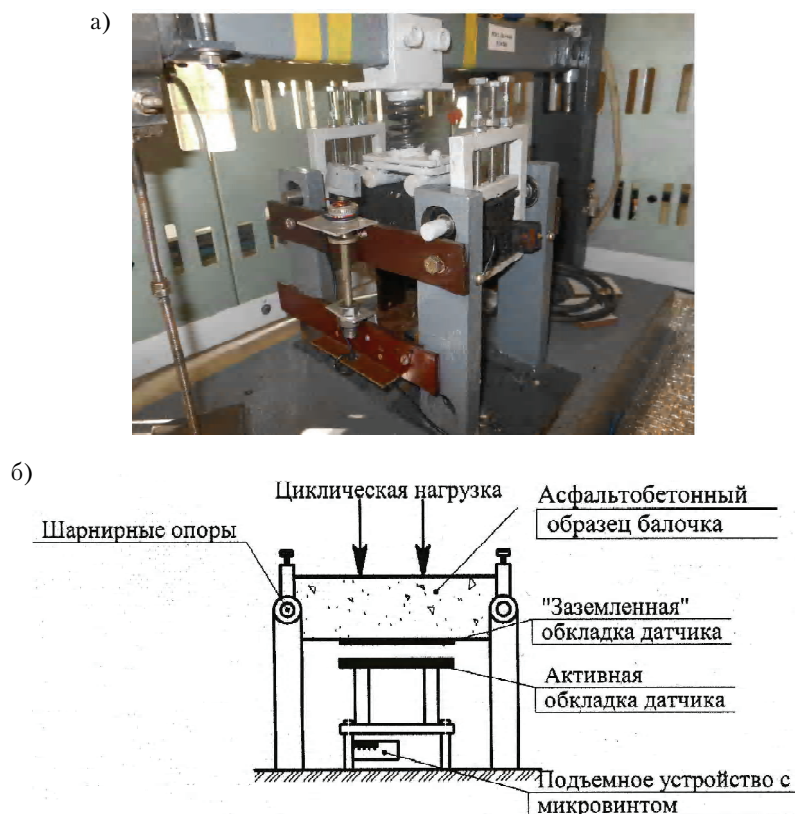


Рисунок 2 – Датчик емкостного типа: а) общий вид; б) схема.

С целью минимизации влияния на емкость датчика деталей конструкции одна из обкладок («заземленная» или «нулевая») представляет токопроводящую пленку наклеенную на нижнюю грань испытываемого асфальтобетонного образца. Противоположная (активная) обкладка изготовлена в виде пластины из одностороннего фольгированного стеклотекстолита, фиксируемой в изоляционных опорах параллельно к «заземленной» обкладке. С помощью подъемного устройства призма с активной обкладкой устанавливается на заданном расстоянии от «заземленной» обкладки.

В процессе испытания при воздействии кратковременных циклических или статических нагрузок образец подвергается продольным деформациям в виде вертикального прогиба образца-балочки, расстояние между обкладками датчика уменьшается и, как следствие, изменяется электрическая емкость образованного ими конденсатора, что и фиксируется электронным блоком емкостного преобразователя. Преобразователь построен на элементах импульсной микроэлектроники. Он преобразует емкость в сигнал, который далее считывается цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) и далее на персональном компьютере с платой аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) с требуемым программным обеспечением преобразуется в метрические значения прогиба. Точность измерения датчика составляет 0,01 мм.

Блок-схема емкостного датчика имеет следующий вид (рис. 3).

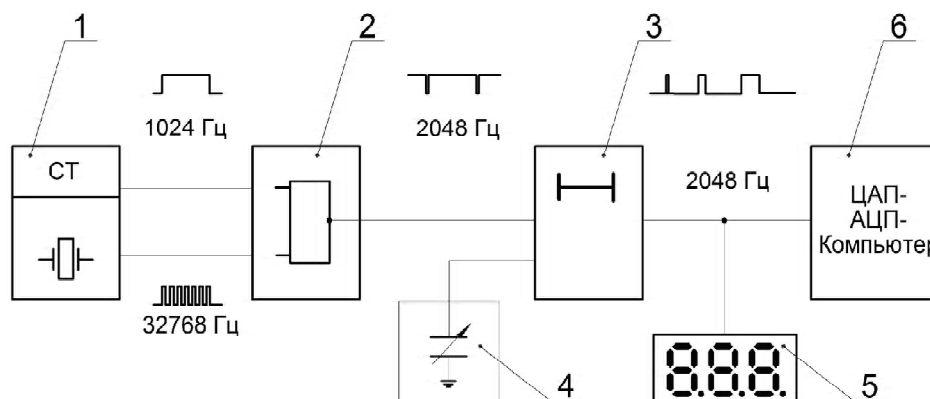


Рисунок 3 – Блок-схема емкостного датчика: 1 – генератор стабильной частоты с делителем 32678/32; 2 – синхронный детектор изменений; 3 – источник импульсов с длительностью, пропорциональной емкости датчика; 4 – емкостный датчик; 5 – цифровой вольтметр; 6 – компьютер.

Генератор стабильной частоты (1) с кварцевым резонатором часового типа с делителем частоты в одном корпусе микросхемы K176ИЕ12. На оба входа синхронного детектора изменений (2) подается тактовая частота 32 678 Гц и частота запуска 1 024 Гц. На выходе синхронного детектора изменений будет удвоенная частота 2 048 Гц, т. к. за период запускающего импульса происходит два изменения $\frac{1}{2}$. Источник импульсов (3) с источником тока и емкостным датчиком (4) формирует по каждому отрицательному импульсу, а положительный импульс переменной длительности зависит от емкости датчика при постоянном токе зарядки.

На выходе одновибратора формируется импульсная последовательность стабильной частоты с изменяющейся скважностью при изменении емкости датчика. Цифровой вольтметр (5) служит для визуального контроля в процессе калибровки преобразователя. Для получения сигналов с датчика, дальнейшей их обработки и сохранения на компьютере используются последовательно ЦАП, АЦП и соответствующее программное обеспечение.

Электрические схемы и принцип работы датчика более детально описаны в работе [8].

Время	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4	Канал 5	Канал 6	Канал 7	Канал 8
19125	0	0	-0,047523	0,6620236	0	0	0	0
19130	0	0	0,0125061	0,6620236	0	0	0	0
19135	0	0	0,1100537	0,6553199	0	0	0	0
19140	0	0	0,2451196	0,6077967	0	0	0	0
19145	0	0	0,4152027	0,6077967	0	0	0	0
19150	0	0	0,6027943	0,6178016	0	0	0	0
19155	0	0	0,7753786	0,6203028	0	0	0	0
19160	0	0	0,9204494	0,6278065	0	0	0	0
19165	0	0	1,0255007	0,6428138	0	0	0	0
19170	0	0	1,0005276	0,6520107	0	0	0	0
19175	0	0	1,0955343	0,6528187	0	0	0	0
19180	0	0	1,0755251	0,6528187	0	0	0	0
19185	0	0	1,0229995	0,6553199	0	0	0	0
19190	0	0	0,9504640	0,6077967	0	0	0	0

Рисунок 4 – Отображение полученных данных (изменение напряжения в Вольтах) с датчиков измерения усилия и деформации в специальной компьютерной программе.

зу при воздействии нагрузки, а после достижения нагрузки максимума. При этом характерно появление упругой деформации, которая затухает в период «отдыха» асфальтобетонного образца. В работе [9] отмечено, что физическая природа затухания упругой энергии неоднозначна. Она может быть вызвана процессами как в результате термоупругой релаксации на границе фаз, так и диффузией жидкой

В связи с тем, что частота дискретизации аналого-цифрового преобразователя составляет всего 5 мс, следовательно, уже после нескольких секунд регистрации информации с датчиков в компьютерной программе образуется огромный поток данных. Информацию с датчиков было решено регистрировать через достаточно большие промежутки времени (примерно через 5 000 или 10 000 циклов нагружений на образец). Поток полученных данных с датчиков заносится и сохраняется в специальной программе в виде таблицы (рис. 4) с последующим трансформированием в графическое изображение в виде графиков.

На рис. 5 приведены графики деформации под динамической нагрузкой образцов-балочек из традиционного горячего асфальтобетона типа «Б» (температура испытаний 20 °С). При всех испытаниях длительность действия нагружения в форме полусинусоиды составляло 0,1 с (100 мс) с периодом отдыха между нагружениями – 0,9 с.

Из зависимостей, приведенных на рис. 5, следует, что рост деформации асфальтобетона происходит не сразу при воздействии нагрузки, а после достижения нагрузки максимума.

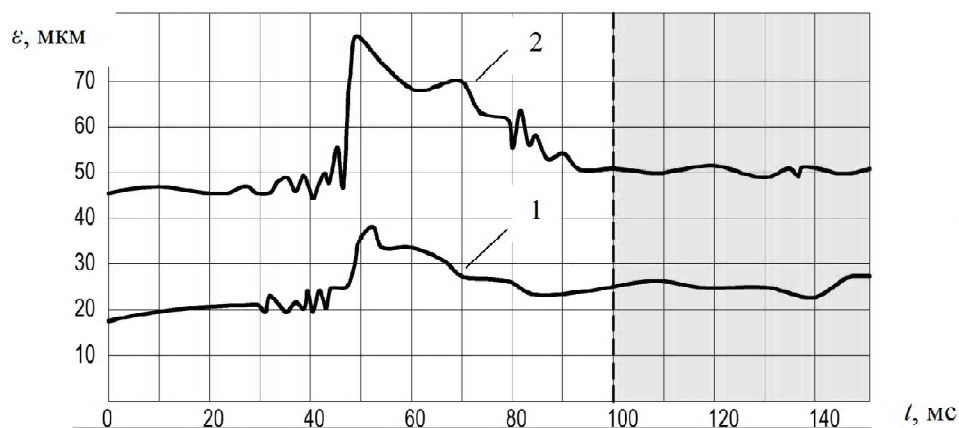


Рисунок 5 – Деформация мелкозернистого асфальтобетона типа «Б» при приложении кратковременной нагрузки величиной 20 % от разрушающей с длительностью 100 мс (1 – после 5 000 циклов; 2 – после 10 000 циклов).

фазы, т. е. ее вязким перемещением в поровом пространстве, инициированным переменным напряжением в асфальтобетоне.

Характерно, что для традиционного (немодифицированного) асфальтобетона величина упругой деформации меньше по сравнению с деформацией в аналогичных условиях, например, литого асфальтополимерсеробетона с комплексно-модифицированной структурой (рис. 6). Введение комплексной добавки (бутадиенметилстирольный каучук 2 %, мас. с технической серой 30 %, мас.) приводит к повышению упругости асфальтобетона и обеспечивает релаксацию возникающих в образце циклических деформаций. Следует отметить, что каучуковая добавка отличается низкой температурой стеклования. В стандартах на эти материалы величина упругости битумополимерных вяжущих характеризуется показателем эластичности. В действительности этот показатель отражает степень обратной ретардации материала после разрушения при растяжении. При этом степень эластичности зависит от химического состава вяжущего и его структуры [8, 9].

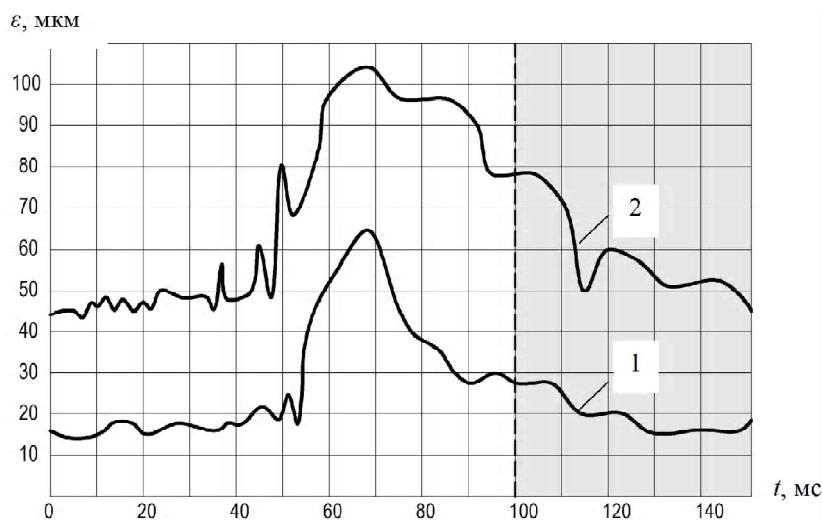


Рисунок 6 – Деформация литого асфальтополимерсеробетона типа «Б» при приложении кратковременной нагрузки величиной 20 % от разрушающей с длительностью 100 мс (1 – после 5 000 циклов; 2 – после 20 000 циклов).

Рост пластической деформации, равной 30...40 мкм у традиционного асфальтобетона наблюдается уже после 5 000 циклов попеременного нагружения, в то время как у литого асфальтополимерсеробетона такая деформация наблюдается через 15 000 циклов.

Следует отметить, что при увеличении количества циклов нагрузки наблюдается тенденция к росту упругой деформации исследуемых асфальтобетонов.

В работах [10, 11] установлено, что постепенное нарастание необратимой деформации асфальтобетона можно рассматривать как результирующую скоростей сдвига битумных прослоек, находящихся в неоднородном напряженном состоянии. Статистическое распределение перенапряженных битумных связей по объему образца является сглаживающим фактором между областями деформирования дисперсных систем с различной степенью разрушения структуры и объясняет разброс результатов испытаний. Поэтому асфальтобетон отличается от чистых битумов, относящихся как к коагуляционным пространственным дисперсным системам, так и к растворам полимеров с относительно малым содержанием дисперсной фазы, для которых существует область деформирования с предельно высокой вязкостью практически неразрушенной структуры, проявляющейся при медленных скоростях течения.

Анализ зависимостей (рис. 7) показывает, что асфальтобетон с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом характеризуется значительно более высокой устойчивостью к возникновению пластических деформаций по сравнению с традиционными и литыми асфальтобетонами. Упругий прогиб величиной в 50 мкм у асфальтобетона, модифицированного Элвалой-АМ, наблюдается после 30 000 циклов приложения нагрузки, в то время как у литого асфальтополимерсеробетона аналогичное значение прогиба характерно для 20 000 циклов.

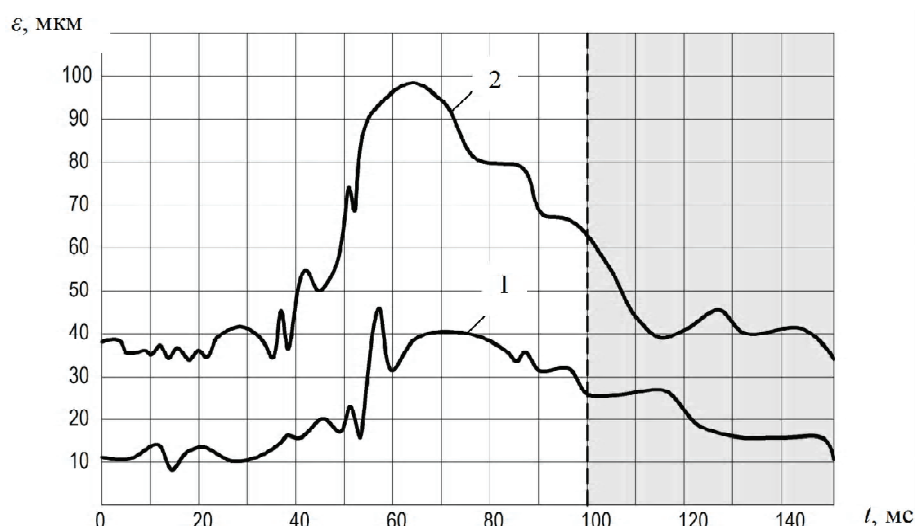


Рисунок 7 – Деформация мелкозернистого асфальтополимербетона типа «Б» с комплексно-модифицированной структурой этиленглицидилакрилатом Элвалой-АМ (битум – 2 %, мас. Элвалой + 0,2 % мас. ПФК, минеральные материалы механоактивированы 0,7 % мас. Элвалой) при приложении кратковременной нагрузки величиной 20 % от разрушающей с длительностью 100 мс (1 – после 10 000 циклов; 2 – после 30 000 циклов).

Полученные результаты полностью согласуются с результатами экспериментальных данных, приведенных в наших работах [6–8], из которых следует, что при массовой концентрации этиленглицидилакрилата 0,7 % мас. на поверхности минеральных материалов формируется оптимально структурированный слой из макромолекул этиленглицидилакрилата, который обеспечивает весь комплекс процессов, происходящих при взаимодействии на поверхности раздела фаз «минеральный материал – этиленглицидилакрилат», «активированная поверхность минеральных материалов этиленглицидилакрилатом – нефтяной дорожный битум, модифицированный этиленглицидилакрилатом в комбинации с полифосфорной кислотой ПФК-105». Как показано в разделе 2 [8] при оптимальной концентрации этиленглицидилакрилата формируется непрерывная адсорбционно-сольватная пленка терполимера на поверхности минеральных материалов толщиной 40–60 нм под действием адсорбционных процессов и химического взаимодействия глицидиловых групп этиленглицидилакрилата и гидроксильных групп ПФК-105, что позволяет значительно повысить стойкость модифицированного асфальтобетона к возникновению пластических деформаций.

ВЫВОДЫ

Представленный электронный датчик емкостного типа для измерения прогибов образца-балочки при испытании асфальтобетонов на усталостную выносливость позволил с необходимой точностью

исследовать поведение асфальтобетона при приложении динамических нагрузок. Установлено, что упругий прогиб с величинами от 10 до 50–60 мкм характерен для всех типов асфальтобетонных и во временном отрезке испытания образцов 60–70 % от всего времени испытания.

Показано, что упругий прогиб начинает лавинно нарастать только после достижения кратковременной нагрузки своего пика и величина прогиба постепенно снижается даже и после снятия нагрузки.

Асфальтобетоны с комплексно-модифицированной структурой обладают большей усталостной выносливостью и большей способностью к упругим деформациям в отличие от традиционного асфальтобетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илиополов, С. К. Динамика дорожных конструкций [Текст] / С. К. Илиополов, М. Г. Селезнев, Е. В. Углова. – Ростов-на-Дону : Изд-во Рост. гос. стрит. ун-та, 2002. – 258 с.
2. Илиополов, С. К. Усталостное разрушение асфальтобетона в широком частотном диапазоне [Текст] / С. К. Илиополов, Е. В. Углова, О. В. Дровалева // Дороги и мосты. – М. : РосдорНИИ, 2007. – № 17 (1). – С. 245–251.
3. Телтаев, Б. Б. Характеристики деформирования асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог [Текст] / Б. Б. Телтаев // Дорожная техника : Каталог-справочник. – Санкт-Петербург : ООО «Славутич», 2011. – С. 88–100.
4. Гончаренко, В. И. Термическая и динамическая усталость дорожного асфальтового бетона [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / В. И. Гончаренко. – Макеевка, 1983. – 176 с.
5. Дровалева, О. В. Усталостная долговечность асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / О. В. Дровалева. – Ростов-на-Дону, 2009. – 202 с.
6. Углова, Е. В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст] : дис. ... д-ра тех. наук : 05.23.11 / Е. В. Углова. – Ростов-на-Дону, 2009. – 350 с.
7. Братчун, В. И. Повышение долговечности бетонов на органических вяжущих регулированием свойств микроструктуры [Текст] / В. И. Братчун // Вестник ХНАДУ. – 2000. – № 12–13. – С. 141–144.
8. Усталостная долговечность асфальтополимербетонов с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, Е. А. Ромасюк [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2017. – № 3. – С. 32–37.
9. Свинтицких, Л. Е. К вопросу о повышении трещиностойкости асфальтобетона [Текст] / Л. Е. Свинтицких, Т. Н. Шабанова // Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии в строительном и дорожном комплексах – 2008» / Под ред. Н. М. Тихонова. – Тюмень : ТюмГАСУ, 2008. – С. 215–217.
10. Ребиндер, П. А. О реологии тиксотропно-структурированных дисперсных систем [Текст] // Поверхностные явления в дисперсных системах [Текст] : Избранные труды : Физико-химическая механика / П. А. Ребиндер. – М. : Наука, 1979. – С. 69–72.
11. Кирюхин, Г. Н. Особенности деформирования и разрушения битумоминеральных материалов в условиях ползучести при изгибе [Текст] / Г. Н. Кирюхин, Л. М. Гохман // Сборник трудов Союздорнии. – М., 1979. – Вып. 113. – С. 56–60.

Получено 11.01.2018

В. І. БРАТЧУН ^а, В. В. СТАВЦЕВ ^б, Є. О. РОМАСЮК ^а, В. П. ДЕМЕШКІН ^а,
М. В. ЧИЧИГІН ^а

ВИМІРЮВАННЯ ПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ
ЗРАЗКІВ-БАЛОЧОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ЄМНІСНОГО ДАТЧИКА

^а ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^б Авто-
мобільно-дорожній інститут ДОУ ВПО «Донецький національний технічний універси-
тет»

Анотація. В роботі запропонований метод вимірювання прогинів асфальтобетонного зразка під дією циклічних навантажень з використанням ємнісного датчика оригінальної конструкції. Наведено результати вимірювань пружної деформації різних типів асфальтобетону. Показано, що пружний прогин з величинами від 10 до 60 мкм характерний для всіх типів асфальтобетонів і в часовому відрізку випробування зразків 60–70 % від усього часу випробування. Встановлено, що асфальтобетоны з комплексно-модифікованою структурою етиленглицидлакрилатом Elvaloy-AM мають в 3 рази більшу стійкість до накопичення пластичних деформацій на відміну від традиційного асфальтобетону.

Ключові слова: асфальтобетон, утомленісна довговічність, прогин, ємнісний датчик, плоский конденсатор.

VALERY BRATCHUN ^a, VALERY STAVTSEV ^b, EVGENY ROMASYUK ^a,
VALENTIN DEMESCHKIN ^a, MIKHAIL CHICHIGIN ^a
MEASURING THE ELASTIC DEFORMATION OF ASPHALT-CONCRETE
BEAMS WITH THE USE OF A CAPACITIVE SENSOR

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b Automobile and Road
Institute of Donetsk National Technical University

Abstract. A method for measuring deflections of an asphalt-concrete sample under the action of cyclic loads using a capacitive sensor of the original design is proposed. The results of measurements of elastic deformations of various types of asphalt concrete are given. It is shown that the elastic deflection with values from 10 to 60 microns is characteristic for all types of asphalt concrete and in the time interval of testing the samples 60-70 % of the total test time. It has been established that asphaltic concrete with the complex-model structure of ethylene glycidyl acrylate Elvaloy-AM possesses 3 times more resistance to plastic deformations unlike traditional asphalt concrete.

Key words: asphaltic concrete, fatigue life, deflection, capacitive converter, flat capacitor.

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

Ставцев Валерий Васильевич – ведущий инженер кафедры общенаучных дисциплин Автомобильно-дорожного института ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет». Научные интересы: разработка высокоточных электронных устройств для лабораторных установок.

Ромасюк Евгений Александрович – 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.

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

Чичигин Михаил Владимирович – магистр кафедры автомобильных дорог и аэродромов «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 ДОУ 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.

Ставцев Валерій Васильович – провідний інженер кафедри загальнонаукових дисциплін Автомобільно-дорожнього інституту ДОУ ВПО «Донецький національний технічний університет». Наукові інтереси: розробка високоточних електронних пристроїв для лабораторних установок.

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

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

Чичигін Михайло Володимирович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

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

Stavtsev Valery – leading engineer of the department of scientific disciplines Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University. Scientific interests: the development of high-precision electronic devices for laboratory facilities.

Romasyuk Evgeny – 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.

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

Chichigin Mikhail – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

УДК 625.855.3

Д. В. ГУЛЯК, Д. В. СМЕРНОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОСТАВОВ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНА

Аннотация. Решение задач развития дорожной отрасли может быть успешно осуществлено на основе научно-технического прогресса, научной организации труда, широкого использования местных строительных материалов и отходов промышленности. Минеральные материалы техногенного происхождения являются недорогим и часто уже подготовленным сырьем для строительства, что приводит к снижению энергетических и материальных затрат. Поскольку объем техногенного сырья велик и постоянно растет, его использование становится важной задачей. Постоянно растущие требования к повышению качества дорожного покрытия ставят задачи глубокого изучения свойств асфальтобетонных смесей и факторов, которые определяют долговечность асфальтобетона в покрытии автомобильных дорог. Это особенно важно при использовании в асфальтобетонных смесях новых разновидностей техногенного сырья. Показано, что использование местных строительных материалов и отходов промышленности, модифицированных полимерными добавками, ведет к экономическому эффекту и утилизации отходов промышленности.

Ключевые слова: асфальтобетон, песчанник, киноварь, модифицирующие добавки, битум, полимер, песчано-щебенчатая смесь, органоминеральные композиты, шунгит.

ВВЕДЕНИЕ

Асфальтобетон – искусственный композиционный материал, получаемый в результате уплотнения рационально подобранной смеси щебня, песка, минерального порошка и битума [1]. Минеральный порошок является важнейшим структурообразующим компонентом асфальтобетона. На его долю приходится до 90-95 % суммарной поверхности минеральных составляющих, входящих в состав асфальтобетона.

В настоящее время постоянно увеличивается стоимость строительства автомобильных дорог. При этом возникает необходимость в создании сложных композитных конструкций дорожных одежд полифункционального значения, которые обеспечивали бы повышенную комфортность, долговечность и высокие транспортно – эксплуатационные свойства автомобильных дорог. Такой качественный скачок возможен за счет реализации концепции перехода на строительство укрепленных конструкций дорожных одежд.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Совершенствование состава дорожного асфальтополимербетона с использованием отходов горного производства и полимерной добавки с установлением закономерностей структурообразования модифицированного асфальтобетона.

В работе Л. И. Джулай и В. В. Антонова рассмотрена возможность получения минерального порошка из фосфорного гранулированного шлака. Для доведения свойств минерального порошка до стандартных требований шлаковый минеральный порошок активировался активирующей смесью битума вязкого из хлопкового гудрона, карбоксиламина и БП-3.

Изучением возможности использования в качестве минерального порошка флотохвостов занимались В. Н. Сотникова, В. А. Приходько, В. И. Мелихов. Флотохвосты – молотая горная порода, образующаяся после извлечения из нее флюорита способом флотации. Установлено, что применение в

асфальтобетоне минеральных порошков из флотохвостов способствует повышению водостойкости и деформативности асфальтобетона, сохранению высоких показателей прочности и сдвигоустойчивости асфальтобетона при повышенных температурах. Однако при полной замене минерального порошка флотохвостами асфальтобетон становится более пористым и обладает повышенной битумемкостью, поэтому менее устойчив к действию нагрузок.

В качестве минерального порошка также можно использовать золу-уноса ТЭЦ. Зола-унос (дымовая зола) образуется при сгорании различных видов твердого топлива (каменные и бурые угли, горючие сланцы, торф) на тепловых электростанциях. Асфальтобетон с применением золы-уноса в качестве минерального порошка по своим физико-механическим свойствам соответствует нормативным требованиям.

С. Е. Щербина исследовала возможность применения минерального порошка из шунгита. Шунгит – специфическая углеродосодержащая горная порода, которая характеризуется высокой прочностью, плотностью и способностью в измельченном виде смешиваться с любыми компонентами. Минеральный порошок из шунгита по всем показателям соответствует требованиям стандарта для марок МП-1 и МП-2 [7].

В работе Л. Б. Гезенцевея рассмотрено применение отходов дробления известняков в асфальтобетоне. Асфальтобетоны из отсевов известняка характеризуются более высокой коррозионной стойкостью. Такие асфальтобетоны целесообразно использовать для устройства оснований дорожных одежд и нижних слоев покрытий.

С. М. Атоян занимался вопросами применения ракушечных известняков в асфальтобетоне. Асфальтобетоны с минеральной частью из такой смеси по физико-механическим свойствам отвечают требованиям асфальтобетонов типов Б и В. Однако при использовании такого асфальтобетона в верхних слоях покрытия, расход битума увеличивается на 10...15 % в сравнении с асфальтобетоном из прочных минеральных материалов.

В работах В. В. Ядыкиной и Д. А. Кузнецова исследованы свойства асфальтобетона на щебне из кварцитопесчаника [2]. Исследования кварцитопесчаникового щебня показали, что по физико-механическим характеристикам этот материал отвечает техническим требованиям для производства асфальтобетона. Сцепление битума с щебнем из кварцитопесчаника лучше, чем сцепление с гранитным щебнем.

При существующих темпах ремонта автомобильных дорог большое значение имеет развитие производства эффективных дорожно-строительных материалов. Донбасс богат таким строительным материалом, как песчаник. Песчаник – сцементированная осадочная горная порода из мелких зерен минерала и цементирующего вещества. Обычно состоит из кварца, иногда из полевого шпата, слюды. На территории Горловки при добычи ртути содержащего минерал (киноварь) образовались большие объемы кварцевого песчаника в отвалах. Этот материал можно использовать в качестве щебня для производства асфальтобетона.

С целью предотвращения преждевременного разрушения асфальтобетонного дорожного покрытия и накопления дефектов в виде трещин, выбоин, наплывов свойства асфальтобетона необходимо повышать введением в их состав модифицирующих добавок. В то же время процессы структурообразования в асфальтополимербетонах на основе минеральных отходов горной промышленности, а именно ртутного производства, изучены недостаточно. При использовании в составе дорожного асфальтополимербетона минеральных материалов кварцевого песчаника следует ожидать снижения затрат на производство асфальтобетонных смесей, что позволит получить существенный экономический эффект.

На основании анализа существующих теоретических и экспериментальных данных установлено, что эффективным способом повышения физико-механических свойств асфальтобетона является модификация асфальтобетонных смесей полимерными добавками [3]. В частности для улучшения свойств асфальтобетона в его состав вводят добавку Kraton D 1101. Это полимер, представляющий собой гранулы диаметром 0,5–1,0 мм темно-серого цвета. При введении Kraton D 1101 в битум после растворения бутадиена образуется бутадиенполистирольная сетка.

Анализ теоретического анализа о процессах структурообразования в асфальтобетонах на основе песчаника показал, что данный материал позволяет получать качественные асфальтополимербетонные смеси и асфальтополимербетон.

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что основные физико-механические свойства асфальтобетона на основе песчаника из киновари не отвечают требованиям ДСТУ Б В.2.7-119:2011. При введении в битум полимера Kraton D 1101 наблюдается существенное повышение основных физико-механических свойств асфальтобетона. Результаты исследований представлены ниже.

Для выполнения экспериментальных работ был использован битум марки БНД 60/90. В качестве модификатора был принят Kraton D 1101. Для модифицированных битумов и асфальтополимербетонных использованы стандартные методы исследований по ДСТУ 4044-2011 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия», ДСТУ Б. В. 2.7-135:2007 «Битумы дорожные, модифицированные полимерами. Технические условия» и ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

Методами экспериментально-статистического моделирования выполнена оптимизация состава модифицированной асфальтополимербетонной смеси. Установлено оптимальное количество битума – 6,2 % в смеси, а полимера Kraton D 1101 – 3,2 % от массы битума. Асфальтополимербетон по сравнению с немодифицированным асфальтобетоном характеризуется показателем длительной водостойкости, который возрастает на 15...20 %, прочность на 1...3 %, в то время как показатели водонасыщения остаются в допустимых пределах (рис. 1–4).

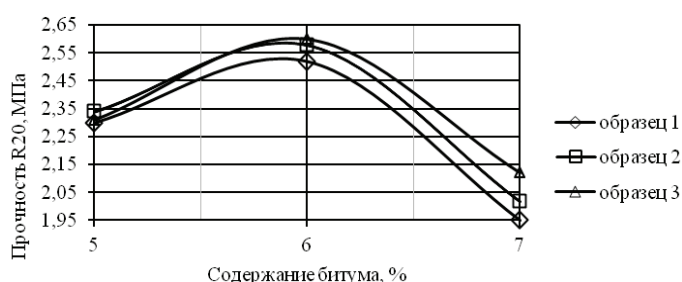


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности при сжатии R_{20} асфальтобетона от количества битума.

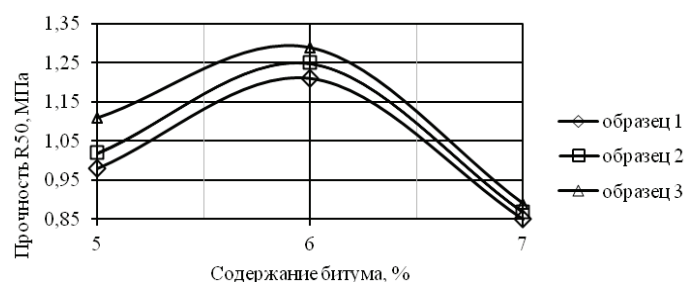


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности при сжатии R_{50} асфальтобетона от количества битума.

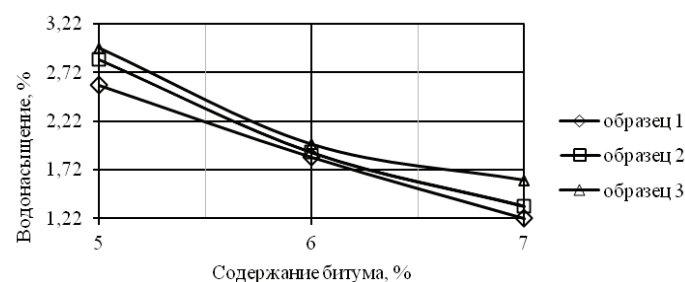


Рисунок 3 – Зависимость водонасыщения W асфальтобетона от количества битума.

На рисунках 1–4 приведены показатели качества асфальтобетона от содержания в его составе битума.

Анализ данных показал, что при увеличении количества битума происходит улучшение физико-механических свойств асфальтобетона: значение средней плотности и длительной водостойкости растет, водонасыщение уменьшается, однако эти данные еще не отвечают ДСТУ Б.В.2.7-119:2011; показатели прочности при сжатии снижаются с увеличением количества битума более 6 %. Введение битума более 7 % способствует появлению излишнего битума, что ведет к снижению показателей прочности при сжатии асфальтобетона.



Рисунок 4 – Зависимость длительной водостойкости асфальтобетона от количества битума.

Для оценки влияния Kraton D 1101 на качественные показатели асфальтобетона в смесь вводили различное количество полимерной добавки (1...5 % от массы битума). Добавку вводили в заранее разогретую до 150 °С асфальтобетонную смесь и перемешивали в лабораторных условиях. Затем из приготовленной смеси при давлении 40 МПа изготавливали стандартные образцы для испытаний. Результаты испытаний приведены на рис. 5–8.

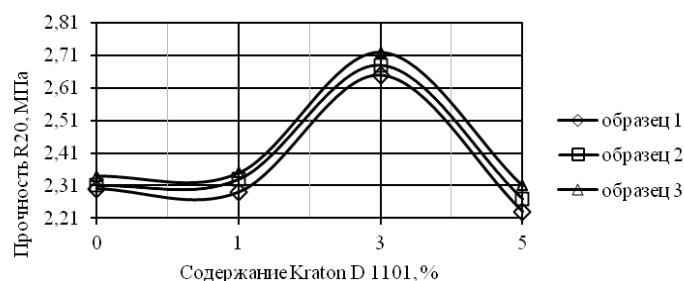


Рисунок 5 – Зависимость предела прочности при сжатии R_{20} асфальтополимербетона от содержания битума и полимера Kraton D 1101.

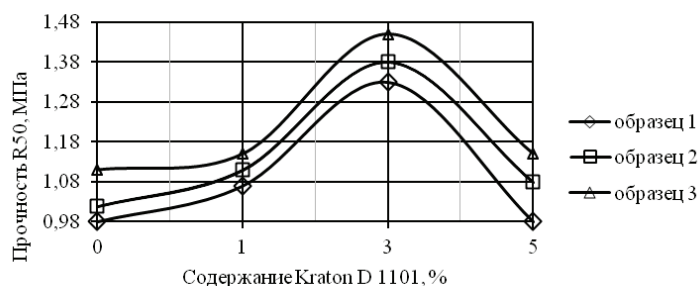


Рисунок 6 – Зависимость предела прочности при сжатии R_{50} асфальтополимербетона от содержания битума и полимера Kraton D 1101.

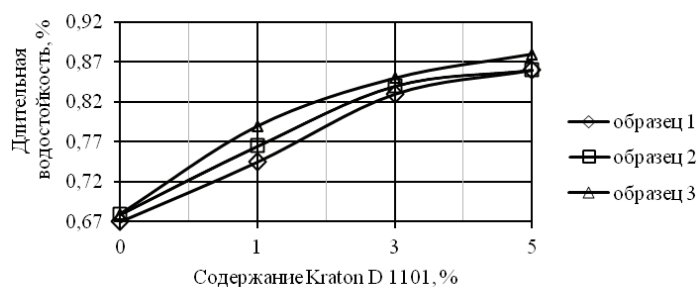


Рисунок 7 – Зависимость длительной водостойкости асфальтополимербетона от содержания битума и полимера Kraton D 1101.

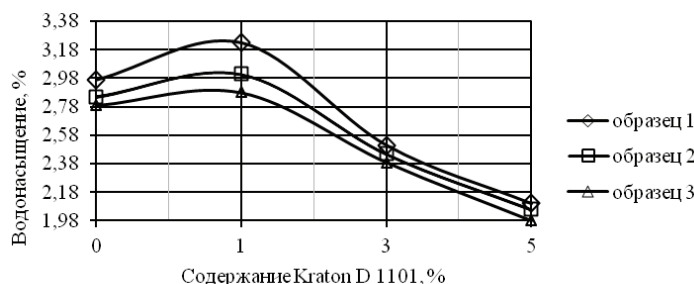


Рисунок 8 – Зависимость водонасыщения асфальтополимербетона от содержания битума и полимера Kraton D 1101.

Анализ данных показывает, что добавка Kraton D 1101 увеличивает показатели прочности при сжатии образцов, что объясняется снижением вязкости вяжущего при введении Kraton D 1101. Максимальная прочность при сжатии наблюдается при содержании битума 6 % и Kraton D 1101 3 %.

По полученным данным подобран оптимальный состав асфальтобетонной смеси тип В, которая содержит в своем составе щебень из песчаника 32 %, песчано-щебенистую смесь 59 %, минеральный порошок 9 %, битум БНД 60/90 6,2 % от массы минеральной части и полимерную добавку Kraton D 1101 3,2 % от массы битума.

ВЫВОДЫ

В условиях постоянного увеличения стоимости строительства автомобильных дорог и повышения требований к их транспортно-эксплуатационному состоянию использование местных строительных материалов и отходов промышленности является актуальной задачей. Применение местного песчаника позволит снизить энергетические и материальные затраты на строительство и ремонт дорог.

При получении высококачественных асфальтобетонов необходимо учитывать не только природу минеральных компонентов, но и состояние их поверхности. На основании анализа существующих теоретических и экспериментальных исследований можно считать, что одним из эффективных способов повышения свойств асфальтобетонов является модификация асфальтобетонной смеси Kraton D 1101.

Приведенный теоретический анализ позволил сделать вывод, о том, что получение асфальтополимербетона на основе местного материала (песчаника) возможно.

Себестоимость асфальтополимербетонной смеси на основе песчаника меньше на 5 %, чем себестоимость смеси из стандартных минеральных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонович, И. И. Дорожно-строительные материалы [Текст] : [Учебник для вузов по спец. 1211 «Автомобильные дороги»] / И. И. Леонович, К. Ф. Шумчик. – Мн. : Высшая школа, 1983. – 399 с.
2. Ядыкина, В. В. Кварцитопесчаники КМА как минеральная составляющая асфальтобетонной смеси [Текст] / В. В. Ядыкина, Д. А. Кузнецов // Строительные материалы. – 2003. – № 1. – С. 20–21.
3. Веренько, В. А. Новые материалы в дорожном строительстве [Текст] / В. А. Веренько. – Минск : Технопринт, 2004. – 170 с.
4. Гохман, Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон [Текст] / Л. М. Гохман. – М. : ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2008. – 117 с.
5. Ядыкина, В. В. Водо- и морозостойкость асфальтобетона на щебне и отсеве дробления кварцитопесчаника [Текст] / В. В. Ядыкина, Д. А. Кузнецов // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 3. – С. 83–86.
6. Гохман, Л. М. Влияние эластичности вяжущих на усталостную прочность полимерасфальтобетона [Текст] / Л. М. Гохман, О. В. Гавриленко // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – № 4. – С. 21–24.
7. Гридчин, А. М. Особенности взаимодействия битума с минеральными материалами из кислых пород [Текст] / А. М. Гридчин, В. В. Ядыкина // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2008. – № 40. – С. 13–16.
8. Веренько, В. А. Регулирование свойств асфальтобетона модифицирующими добавками, вводимыми в смесь [Текст] / В. А. Веренько, В. В. Занкович, П. П. Яцевич // Вестник ХНАДУ. – 2008. – № 40. – С. 51–56.

Получено 12.01.2018

Д. В. ГУЛЯК, Д. В. СМИРНОВА
ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ
ВДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДУ АСФАЛЬТОПОЛІМЕРБЕТОНІВ
ДОНБУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. Вирішення задач розвитку дорожньої галузі може бути успішно здійснено на основі науково-технічного прогресу, наукової організації праці, широкого використання місцевих будівельних матеріалів і відходів промисловості. Мінеральні матеріали техногенного походження є недорогими і часто вже підготовленою сировиною для будівництва, що приводить до зниження енергетичних і матеріальних витрат. Оскільки обсяг техногенної сировини великий і постійно зростає, її використання стає важливим завданням. Постійно зростаючі вимоги до підвищення якості дорожнього покриття ставлять завдання глибокого вивчення властивостей асфальтобетонних сумішей і факторів, які визначають довговічність асфальтобетону в покритті автомобільних доріг. Це особливо важливо при використанні в асфальтобетонних сумішах нових різновидів техногенної сировини. Показано, що використання місцевих будівельних матеріалів і відходів промисловості, модифікованих полімерними добавками, веде до економічного ефекту та утилізації відходів промисловості.

Ключові слова: асфальтобетон, піщаник, кіновар, модифікуючі добавки, бітум, полімер, піщано-щебенева суміш, органомінеральні композити, шунгіт.

DENIS GULYAK, DARIA SMIRNOVA
INVESTIGATION OF THE USE OF MINERAL WASTE WASTE FOR
IMPROVEMENT OF ASFALTOPOLYMERBETON COMPOSITIONS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The solution of the problems of the development of the road industry can be successfully implemented on the basis of scientific and technological progress, the scientific organization of labor, the widespread use of local construction materials and industrial waste. Mineral materials of technogenic origin are cheap and often already prepared raw materials for construction, which leads to a reduction in energy and material costs. As the volume of technogenic raw materials is large and constantly growing, its use becomes an important task. Constantly growing requirements to improve the quality of the road surface set the task of in-depth study of the properties of asphalt mixtures and factors that determine the durability of asphalt concrete in the road surface. This is especially important when using new varieties of technogenic raw materials in asphalt mixes. It is shown that the use of local building materials and industrial wastes modified with polymer additives leads to an economic effect and to the recycling of industrial waste.

Key words: asphalt concrete, sandstone, cinnabar, modified additives, bitumen, polymer, sand-chippy mixture, organomineral composites, schungite.

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

Смирнова Дарья Валентиновна – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование вторичных ресурсов в дорожном строительстве.

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

Смирнова Дар'я Валентинівна – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання вторинних ресурсів в дорожньо-му будівництві.

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 traveling clothes on the basis of retrofitting of organic astringent.

Smirnova Daria – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: use of secondary resources in road construction.

УДК 691.16: 662

**В. Л. БЕСПАЛОВ, П. С. ПАШКОВСКИЙ, А. Ю. ЧИТАЛАДЗЕ, Е. Э. САМОЙЛОВА, А. М. ГРОЗЕНКО,
Р. В. ТРИШКИН**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ В СОСТАВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Аннотация. Показана целесообразность использования в качестве минерального порошка модифицированных асфальтобетонов шламов станций нейтрализации сталепроволочно-канатных заводов (ШСН), подвергнутых поверхностной активации полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол (ПОЭС). Изучены физико-химические свойства ШСН и ПОЭС. Оптимизированы составы модифицированных асфальтобетонов и исследованы их физико-механические свойства. Установлено, что разработанные составы асфальтополимербетонных смесей характеризуются повышенной уплотняемостью в интервале температур 70...130 °С, а бетоны – повышенным сопротивлением сдвига при высоких положительных температурах (условная жесткость при 60 °С 4,6...5,9 кН/мм), повышенной плотностью, длительной водостойкостью и атмосферостойкостью.

Ключевые слова: отходы промышленности, минеральный порошок, модифицированные асфальтобетоны повышенной долговечности.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

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

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

Дорожное строительство характеризуется высокой материалоемкостью и может обеспечить утилизацию крупнообъёмных техногенных отходов, отвалы которых на территории Украины и России создают существенную экологическую напряженность.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Структура бетонов на органических вяжущих рассматривается принципиально на двух уровнях: макро- и микро. На макроуровне это структура минерального остова, представленного частицами песка и щебня. На микроуровне – структура асфальтовяжущего, дёгтевяжущего вещества [3–5]. Важнейшей составляющей обеих подструктур является контактная зона – зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов. Это обусловлено тем, что в плотных

© В. Л. Беспалов, П. С. Пашковский, А. Ю. Читаладзе, Е. Э. Самойлова, А. М. Грозенко, Р. В. Тришкин, 2018

бетонах контакты между структурообразующими частицами микро-, мезо- и макроструктуры представлены структурированным органическим вяжущим. Именно адгезионно-когезионно-эластические свойства адсорбционно-сольватных слоев органического вяжущего в значительной мере определяют физико-механические свойства асфальтобетона.

Минеральный порошок (МП) является основной структурообразующей составляющей бетонов на органических вяжущих.

В работах Л. И. Базжина, И. А. Рыбьева, Д. И. Гегелия, Я. А. Калужского, И. В. Королёва, П. В. Сахарова [3–9] установлено, что адсорбционная активность минерального порошка определяется величиной удельной поверхности, химическим и минералогическим составом, количеством активных центров на поверхности МП, топографией, микрорельефом и чистотой поверхности.

В ДСТУ Б В. 2.7-121-2014 интегрально сформулированы технические требования к минеральным порошкам. В частности, регламентируется их зерновой состав. Известно, что наибольшей структурирующей способностью обладают активные наполнители с размером частиц $(10-100) \cdot 10^{-6}$ м.

При этом важно, чтобы в составе минерального порошка были частицы разных размеров, что определяется значением пустотности, которая должна быть не более 35 % объёма после уплотнения порошка давлением 40 МПа. Чем меньше величина пустотности минерального порошка, тем меньше пустотность минерального остова бетона и меньший расход органического вяжущего.

О чистоте поверхности минерального порошка косвенно судят по величине набухания (не более 2,5 %) и значению битумоёмкости, которая не должна превышать 85 %. Последняя регламентирует и значение интегральной поверхности МП. Порошок должен быть сухим (влажность не более 1 % по массе), так как избыточная влажность снижает энергию взаимодействия между органическим вяжущим и поверхностью МП. В связи с этим асфальтобетоны не будут работать как единая система, теряется монолитность.

На сталепроволочно-канатных заводах Украины (гг. Днепропетровск, Запорожье, Одесса, Харцызск, Черновцы) в процессе нейтрализации отработанных сернокислых травильных растворов известковым молоком ежегодно образуются десятки тысяч тонн как исходных шламов, так и отходов из-под пресс-фильтров, которые вывозятся в отвалы. Шламы представляют собой гетерогенную систему, состоящую из жидкой (вода) и твёрдой фаз (обломки недожжённого известняка с размером частиц $(0,5 - 15) \cdot 10^{-2}$ м; частицы гидроксида железа размером $1 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-6}$ м; кристаллики двуводного гипса, размер которых приближается к размерам частичек гидроксида железа).

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Целью настоящей статьи является исследование шламов станций нейтрализации в качестве минерального порошка для производства модифицированных асфальтополимербетонов.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

В настоящей работе изучены физико-химические свойства шламов нейтрализации травильных растворов Харцызского сталепроволочно-канатного завода.

Шлам представляет собой продукт ярко-рыжего цвета. Твёрдая фаза жидкого шлама составляет около 10...30 % и представлена обломками известняка, железистыми минералами и органической составляющей.

Исследование фазового состава показало, что в составе шлам – отхода присутствует двуводный гипс. Это подтверждается рентгенографическими отражениями: $d = (7,53; 4,24; 3,05; 2,87; 2,69; 2,00) \cdot 10^{-10}$ м.

Двуводный гипс в составе шлам – отхода находится в виде тонких игл призматической формы длиной $(8-9) \cdot 10^{-5}$ м (исследования выполнены с помощью поляризационного оптического микроскопа МП-7 и сканирующем микроскопе ИСИ-60А). Микроскопические исследования показывают, что иглы гипса соприкасаются одной из сторон с гелевидной фазой, представленной железосодержащими минералами гётитом (HFeO_2), лепидокритом ($\text{FeO}(\text{OH})$), лимонитом ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Электронные микрофотографии свидетельствуют о большом многообразии форм частиц, которые присутствуют в составе шлама нейтрализации травильных растворов, от игловатых частиц до шаровидных и упакованных в пакеты (типа портландит).

Показатели преломления гипса:

$$n_g = 1,530; n_m = 1,523; n_p = 1,521; n_g = 0,009.$$

Содержание двуводного гипса в различных пробах колеблется от 10 до 27 % по массе. Дегидратация гипса по результатам ДТА происходит уже в интервале температур 90...120 °С.

Как уже указывалось, в составе шлама обнаружен железосодержащий субстрат, что объясняет цвет отхода. Наличие этих соединений подтверждается методом рентгеноструктурного анализа. Установлено содержание кальция $(9,99; 5,44; 3,87; 2,81; 2,49) \cdot 10^{-10}$ м, гематита $(3,65; 2,65; 2,51; 2,16; 1,9) \cdot 10^{-10}$ м; гётита $(4,16; 2,65; 2,42; 2,34; 1,70) \cdot 10^{-10}$ м; гидроферрита кальция $(5,18; 4,50; 3,12; 2,75; 2,28; 2,04) \cdot 10^{-10}$ м.

Железистые минералы при рассмотрении в поляризационном микроскопе имели следующие показатели преломления:

Лепидокрит: $N_g = 2,51$; $N_m = 2,20$;
Гётит: $N_g = 2,41$; $N_m = 2,41$; $N_p = 2,27$;
Лимонит: $N_g = 2,00$; $N_m = 2,10$;

По внешнему виду они похожи на круглые сгустки, слипающиеся между собой в более крупные комочки и обволакивающие кристаллы гипса.

Термограмма гётита характеризуется двумя эндоэффектами при температурах 385 и 690 °С. Лепидокрит характеризуется эндоэффектом при 380 °С и экзоэффектом при температуре 600 °С.

Одной из составляющих шлама являются частицы недожиг известняка с размерами от $1 \cdot 10^{-6}$ м до $2 \cdot 10^{-2}$ м. Рентгеноструктурный анализ показал их наличие присутствием линий $(3,04; 2,49; 2,30; 2,09; 1,93; 1,89) \cdot 10^{-10}$ м.

Твёрдый отход из-под пресс – фильтров представляет собой плотную землистую массу бурого-коричневого цвета, размокающую в воде. По данным рентгеновского анализа отход содержит как и жидкий шлам нейтрализации двухводный гипс $(7,49; 4,24; 2,86; 3,04) \cdot 10^{-10}$ м; из железосодержащих минералов выделяется гематит $(3,67; 2,68; 2,21) \cdot 10^{-10}$ м и гётит $(2,47; 2,13; 1,87) \cdot 10^{-10}$ м. Большое количество железистых минералов аморфны и рентгенографически не идентифицируются. К таким минералам относится лимонит. Следует также отметить исчезновение линий лепидокрита и гётита.

Таким образом, результаты физико-химических исследований свидетельствуют о том, что в шламе присутствуют ряд веществ, которые приведут как к снижению водостойкости асфальтобетона (сульфаты кальция), так и к снижению стабильности под действием атмосферных факторов (железистые минералы) [7–10].

В табл. 1 приведены физико-химические свойства шлама нейтрализации травильных растворов Харцызского сталепроволочно-канатного завода, высушенного и измельченного в шаровой мельнице и испытанного в соответствии с ДСТУ Б В. 2.7-121-2014.

Таблица 1 – Физико-химические свойства шлама нейтрализации травильных растворов

Вид минерального порошка	Удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{кг}$	Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Средняя плотность под нагрузкой 40 МПа, $\text{кг}/\text{м}^3$	Пористость, %	Битумоемкость, %
Из шлама нейтрализации травильных растворов	560	3 460	2 290	66,0	92
Известняковый	400	2 715	1 880	31,0	61
Известняковый, активирован стеарином	445	2 710	1 890	30,3	59

По показателям битумоемкости и пористости ШН не отвечает требованиям ДСТУ Б В. 2.7-121-2014, поэтому его подвергали поверхностной активации полимерсодержащим отходом производства эпоксидных смол.

При производстве твердых эпоксидных смол, прежде всего эпоксидно-новолачных (ЭН-6, ЭН-6НХ, УП-692, УР-6313 и др. [10]), используемых в электронной технике, предусмотрены многочисленные промывки для снижения содержания ионных примесей. При этом образуются отходы в виде водно-органических эмульсий, содержащих значительное количество твердых смол, а также органических растворителей, направляемых в коллектор сжигания. Кроме того, в общий коллектор поступают жидкие отходы производства эпоксидных смол.

Таким образом, физико-химический состав полимерных отходов производства эпоксидных смол, содержащих летучие вещества, твердые компоненты, органические и неорганические вещества, является сложным, поэтому в отделе физико-химических методов исследований Донецкого

УкрНИИпластмасс был выполнен анализ отходов по схеме: определение суммы летучих (ГОСТ 10587); определение неорганических веществ.

Качественный и количественный состав летучих выполнен методом газожидкостной хроматографии в герметизированной ячейке объемом 250 см³ и насыщенности 0,1 мг/мл на хроматографе «Цвет-110». Получены средние значения (исследованы 9 проб) веществ: вода 37...60 %; толуол 10...15 %; изопропанол 0,8...8,0 %; метилизобутилкетон 1,0...2,0 %; бензол + этилбензол 0,9...1,9 %; ацетон 0,3...0,5 %; эпихлоргидрин 0,08...0,5 %.

Количество остатка после прокаливании определяли методом сжигания в открытом тигле при $T = 550...600$ °С. Изучение химического состава остатка после прокаливании показало, что основным компонентом золы является хлорид натрия, который определен потенциометрическим методом (ГОСТ 10587) титрованием 0,05 Н AgNO₃. Кроме того, натрий входит в состав отхода в виде едкого натрия. На это указывает слабощелочная реакция среды (рН = 8–9). Содержание натрия по иону Cl⁻ колеблется в пределах 1,7...6,6 %, а в процентах от массы золы 52...73 %.

Хлор омыляемый определяли по ГОСТ 10587, его количество находится в пределах 4,3...5,8 %.

Полимерный остаток определен расчетным путем (табл. 2). Нерастворимая часть полимерных отходов помимо зольных компонентов включает высокомолекулярную полимерную часть (нерастворимые в ацетоне за вычетом золы). Жидкая часть отходов, помимо летучих компонентов и воды, включает олигомеры (эпоксидные, хлоргидриновые эфиры и др.), а также глицерин и полиглицерины. Разработан паспорт на полимерсодержащие отходы производства эпоксидных смол (табл. 2).

Таблица 2 – Технический паспорт на полимерные отходы производства эпоксидных смол

Наименование показателя	Метод определения	Допустимые значения показателя, мас. %
1. Сумма летучих компонентов	ГОСТ 10587 140 °С, 3 часа	35–60
2. Вода*	ГОСТ 10587 отгон в виде азеотропа с толуолом по Дину-Старку	25–45
3. Органические растворители: толуол, ацетон, ИПС и др.*	п. 1 – п. 2 (расчет)	10–15
4. Зола	Прокаливание при 350...600 °С	не более 12 %
5. Хлористый натрий**	ГОСТ 10587 – опр. Cl ⁻ – ион	не более 7 %
6. Хлор омыления	ГОСТ 10587	не более 6 %
7. Полимерный остаток	Расчетным путем (100 – п.1 – п.4), %	35–50

*) Включено в п. 1. **) Включено в п. 4.

Исследовался модифицированный асфальтобетон, в котором битум модифицирован 2 % масс. этиленглицидилакрилатом в комбинации с 0,2 % мас. полифосфорной кислотой ПФК-105, а шлам нейтрализации сталепроволочноканатных заводов поверхностно-активирован 2 % полимерсодержащими отходами производства эпоксидных смол [11].

Рассмотрение комплексной модификации микроструктуры асфальтобетонов на их свойства в сравнении с традиционными (ДСТУ Б В. 2.7-119-2003) показывают, что модификация битума Элвалом 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. 3).

Методом Маршалла определена устойчивость, условная жесткость и пластичность бетонов на нефтяном дорожном битуме и битумополимерных композициях (табл. 4). Асфальтобетоны, приготовленные на битумополимерном вяжущем, как содержащих Элвалой АМ (индекс 2), так и Элвалой АМ в комплексе с полифосфорной кислотой ПФК-105 характеризуются более высокими значениями устойчивости и низкой пластичности, прежде всего бетоны, которые содержат битум, модифицированный комплексной добавкой Элвалой АМ+ПФК.

Это должно обеспечить высокую сдвигоустойчивость и долговременную прочность покрытий автомобильных дорог на основе модифицированных асфальтобетонов в области высоких положительных эксплуатационных температур.

В процессе эксплуатации дорожные покрытия, кроме транспортных нагрузок, подвергаются воздействию природно-климатических факторов, оказывающих существенное влияние на их долговечность: температура, скорость ее изменения, солнечная радиация, ветер, атмосферные осадки,

Таблица 3 – Механические свойства модифицированных асфальтобетонов

Показатели	Состав асфальтоявящего 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 20 °С 50 °С	6,8 3,12 1,09	7,4 2,41 1,12	7,8 3,1 1,4	8,1 3,6 1,7
Коэффициент водостойкости при длительном водонасыщении, $K_{вод}$	0,78	0,916	0,95	0,96
Коэффициент теплоустойчивости, $K_T = R_0 / R_{50}$	6,23	6,6	5,57	4,76

Таблица 4 – Значение показателей, характеризующих сдвигустойчивость мелкозернистых бетонов по методу Маршалла (температура испытания 60 °С)

№ п/п	Вид асфальтоявящего в смеси	Условная пластичность, 1/10, мм	Устойчивость, Р, Н	Условная жесткость, А, Н/мм
1	Нефтяной дорожный битум П ₂₅ = 59 град. шкалы пенетрометра; минеральный порошок известняковый не активиро- ванный	46	15 256	3 316
2	Нефтяной дорожный битум БНД 130/200, модифицированный 2,5 % Элвалоя АМ; минеральный порошок – шлам станций нейтрализации, активиро- ванный 2,5 % ПОЭС	35	16 245	4 641
3	Нефтяной дорожный битум БНД 130/200, модифицированный 2,5 % Элвалоя АМ и 0,2 % ПФК-105; минеральный порошок – шлам станций нейтрализации, активированный 2,5 % ПОЭС	32	19 050	5 953

влажность воздуха, попеременное увлажнение и высушивание, замораживание и оттаивание. Известно, что если напряжение, возникающее в дорожном покрытии от движущегося транспорта, не превышает его несущей способности, то долговечность зависит от вышеуказанных факторов [1–9].

Одной из основных причин изменения свойств асфальтобетонов в процессе эксплуатации и снижения его долговечности являются процессы старения, происходящие в бетоне под действием атмосферных, транспортных грунтогеологических факторов. Под влиянием температуры, кислорода воздуха, солнечной радиации в асфальтобетоне происходят необратимые физико-механические превращения, следствием которых является потеря бетонами на органических вяжущих деформативной и демфирующей способности, а также коррозионной устойчивости.

В настоящей работе проверялась устойчивость мелкозернистых асфальтобетонов в климатической камере ИП-1 на тепловое старение.

Температура прогрева 60 °С. Образцы асфальтобетона подвергались ультрафиолетовому облучению.

В качестве показателя, характеризующего изменение свойств асфальтобетона, принят коэффициент старения R_{20}^{τ}/R_{20}^0 (где R_{20}^{τ}/R_{20}^0 – предел прочности при сжатии бетона при 20 °С, подвергнутого тепловому старению в течение τ и 0 часов времени соответственно).

Данные, приведенные на рисунке, 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.

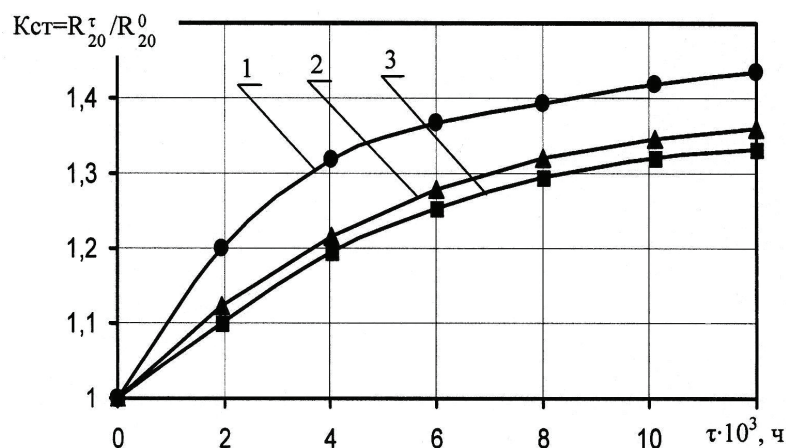


Рисунок – Зависимость коэффициента теплового старения $K_{ст}$ от времени прогрева τ в климатической камере ИП при температуре 75 °С мелкозернистых асфальтобетонов, отличающихся видом асфальто вяжущего вещества (АВВ): 1, 2, 3 – индексы составов АВВ асфальтобетонов приведены в таблице 4.

Это можно объяснить испарением углеводородов битума с молекулярной массой до 400 и полимеризацией смолистых веществ, вследствие взаимодействия кислорода воздуха в порах и капиллярах с непредельными соединениями нефтяного дорожного битума. В этом случае срок службы асфальтобетонного покрытия можно продлить, если своевременно устраивать и возобновлять тонкослойные слои износа. Это позволит значительно замедлить испарение легкокипящих фракций мальтеновой среды нефтяного дорожного битума и ограничить диффузию кислорода воздуха к полимеризующимся компонентам органического вяжущего. Менее интенсивные необратимые изменения прежде всего асфальтополимербетона с комплексно-модифицированной микроструктурой (на примере состава 3 асфальто вяжущего вещества).

Это обусловлено тем, что макромолекулы и надмолекулярные образования Элвалоя АМ, а также макромолекулы эпиксидных олигомеров на поверхности частиц шлама станции нейтрализации сорбируют большую часть низкомолекулярных 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 – снижение интенсивности окисления кислородом воздуха ненасыщенных соединений битума вследствие меньшей диффузии воздуха сквозь пленку органического вяжущего, плотность и когезионная прочность которой значительно выше битумной.

ВЫВОДЫ

Теоретически и экспериментально доказано, что эффективным способом переработки шламов нейтрализации травильных растворов в минеральный порошок для производства асфальтополимербетонной повышенной долговечности является их поверхностная активация полимерсодержащим отходом производства эпиксидных смол.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семилетов, В. П. Опыт эффективного использования вторичных ресурсов в народном хозяйстве УССР [Текст] / В. П. Семилетов. – К. : УкрНИИИТИ, 1981. – 64 с.
2. Gragger, F. Stand, Aussichten und Probleme der Wiederverwendung von Asfaltstoffen und Nebenprodukten im Strassenbau [Текст] / F. Gragger // Stal. Mischwerk. – 1981. – № 1. – С. 19–29.
3. Рыбьев, И. А. Асфальтовые бетоны [Текст] / И. А. Рыбьев – М. : Высшая шк., 1969. – 399 с.

4. Королёв, И. В. Асфальтобетонные покрытия [Текст] / И. В. Королёв, В. А. Золотарёв, В. А. Ступивцев. – Донецк : Донбасс, 1970. – 161 с.
5. Сахаров, П. В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей [Текст] / П. В. Сахаров // Транспорт и дороги города. – 1935. – Вып. 12. – С. 22–26.
6. Короткевич, Н. Н. Физико-химические основы применения минеральных порошкообразных материалов (заполнителей) для дорожных асфальтобетонов и методы их использования [Текст] / Н. Н. Короткевич // Минеральные порошки для асфальтового бетона : [Сб. статей] / Дор. н.-и. ин-т "ДорНИИ". – М. : Дориздат, 1940. – С. 3–67.
7. Базжин, Л. И. Исследование влияния минералогического состава и структуры минеральных порошков на старение асфальтового бетона [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Л. И. Базжин, ХАДИ. – Харьков, 1974. – 24 с.
8. Гегелия, Д. И. Закономерности изменения некоторых расчётных параметров асфальтобетона при длительном воздействии воды и знакопеременных температур [Текст] / Д. И. Гегелия // Совершенствование технологии строительства асфальтобетонных и других черных покрытий : Тр. СоюздорНИИ / Гос. всесоюз. дор. НИИ; [Редкол.: И. А. Плотникова (отв. ред.) и др.]. – М. : Союздорнии, 1981. – С. 67–76.
9. Гельфанд, С. И. Устойчивость асфальтобетона и дёгтебетона в зависимости от климатических факторов [Текст] / С. И. Гельфанд. – М. : Автотрансиздат, 1957. – 16 с.
10. Братчун, В. И. Оптимизация состава комплексно – модифицированного дёгтевяжущего вещества дёгтеполимербетона [Текст] / В. И. Братчун, И. Ф. Рыбалко // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. – 1999. – Вып. 99-2(15). – С. 66–71.
11. Асфальтополимербетонные смеси, модифицированные этиленглицидиакрилатом [Текст] / В. И. Братчун, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер, Е. Э. Самойлова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2015. – № 1. – С. 33–36.

Получено 15.01.2018

В. Л. БЕСПАЛОВ, П. С. ПАШКОВСКИЙ, Г. Ю. ЧИТАЛАДЗЕ,
О. Е. САМОЙЛОВА, О. М. ГРОЗЕНКО, Р. В. ТРИШКИН
ПРО ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ В СКЛАДІ
МОДИФІКОВАНИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ ПІДВИЩЕНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Показана доцільність використання як мінерального порошку модифікованих асфальтобетонів шламів станцій нейтралізації сталедротоканатних заводів (ШСЗ), поверхнево-активованих полімервмістильним відходом виробництва епоксидних смол (ПВЕС). Вивчені фізико-механічні властивості ШСЗ і ПВЕС. Оптимізовані склади модифікованих асфальтобетонів і досліджені їх фізико-механічні властивості. Встановлено, що розроблені склади асфальтополімербетонних сумішей характеризуються підвищеною ущільненістю в інтервалі температур 70...130 °С, а бетони – підвищеним опором зсуву при високих позитивних температурах (умовна жорсткість при 60 °С 4,6...5,9 кН/мм), підвищеною щільністю, водостійкістю і атмосферостійкістю.

Ключові слова: відходи виробництва, мінеральний порошок, модифіковані асфальтобетони підвищеної довговічності.

VITALY BESPALOV, PETR PASHKOVSKIY, ANNA CHITALADZE, ELENA
SAMOYLOVA, ALEKSEJ GROZENKO, ROMAN TRISHKIN
THE USE OF MAN-MADE MATERIALS IN THE COMPOSITION OF MODIFIED
ASPHALT CONCRETE INCREASED DURABILITY
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The expediency of use as a mineral powder modified asphalt concrete sludge neutralization stations steel wire – rope plants (SNS) subjected to the surface activation of the polymer containing epoxy resins production waste (PCER). The physical – chemical properties and SNS PCER. Optimized formulations of modified asphalt concrete and studied their physical – chemical properties. It is found that asphalt compositions designed polymer concrete mixtures characterized by high density in the temperature range 70...130 °C, and concrete – high shear resistance at high temperature positive (notional rigidity at 60 °C 4,6...5,9 kN/mm) high-density, long-term water resistance and atmospheric resistance.

Key words: industrial waste, mineral powder modified asphalt concrete increased durability.

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

Пашковский Петр Семенович – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: экологическая безопасность предприятий по производству дорожно-строительных материалов.

Читаладзе Анна Юрьевна – магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: экологическая безопасность предприятий по производству дорожно-строительных материалов.

Самойлова Елена Эдуардовна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной химии «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов.

Грозенко Алексей Михайлович – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение влияния физических и химических факторов на процессы изменения физико-механических свойств и долговечности асфальтобетона.

Тришкин Роман Валентинович – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение влияния физических и химических факторов на процессы изменения физико-механических свойств и долговечности асфальтобетона.

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

Пашковський Петро Семенович – доктор технічних наук, професор кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: екологічна безпека підприємств по виробництву дорожньо-будівельних матеріалів.

Чіталадзе Ганна Юріївна – магістрантка кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси : екологічна безпека підприємств по виробництву дорожньо-будівельних матеріалів.

Самойлова Олена Едуардівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної хімії ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів.

Грозенко Олексій Михайлович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вивчення впливу фізичних та хімічних факторів на процеси зміни фізико-механічних властивостей і довговічності асфальтобетону.

Трішкін Роман Валентинович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вивчення впливу фізичних та хімічних факторів на процеси зміни фізико-механічних властивостей і довговічності асфальтобетону.

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

Pashkovskij Petr – D. Sc. (Eng.), Professor, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: environmental safety of enterprises for the production of road – construction materials.

Chitaladze Anna – graduate student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: environmental safety of enterprises for the production of road – construction materials.

Samoylova Elena – Ph. D (Eng.), Associate Professor, Applied Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical studies of polymer composite materials.

Grozenko Aleksej – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

Trishkin Roman – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

УДК 666.972.16

Н. М. ЗАЙЧЕНКО, С. В. ЛАХТАРИНА, Е. В. ЕГОРОВА, В. Б. МАРТЫНОВА, Т. П. КИЦЕНКО

ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ЗАТВОРЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ
ПОЛНОЙ УСАДКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ**

Аннотация. Исследовано влияние дополнительного количества воды затворения на показатели подвижности бетонной смеси, значения механических и деформационных свойств (аутогенной и влажностной усадки) легких высокопрочных бетонов. Установлено, что введение дополнительного количества воды затворения увеличивает фактическое значение водоцементного отношения до 0,41, однако не снижает показатель предела прочности при сжатии бетонов. При этом значение аутогенной усадки бетона с дополнительным количеством воды затворения в возрасте 28 суток на 50 % меньше усадки бетона без дополнительного количества воды. Общая усадка легкого бетона с дополнительным количеством воды затворения на 16 % ниже аналогичного состава без дополнительного количества.

Ключевые слова: подвижность, аутогенная усадка бетона, влажностная усадка бетона, легкий высокопрочный бетон, суперпластификатор.

В последние десятилетия отмечена тенденция увеличения доли конструкционного легкого бетона прочностью 45...70 МПа в вертикальных несущих элементах высотных зданий, предварительно напряженных сборных плит покрытий и перекрытий, конструкциях мостов и сооружений оффшорной зоны (Норвегия, Голландия, США, Германия, Великобритания, Япония и др.) [1–5]. По оценкам специалистов, применение легкого бетона в 1,5...2,5 раза снижает материальные затраты по сравнению с обычным тяжелым бетоном аналогичного класса прочности. При этом некоторые архитектурные варианты оформления конструктивно реализуемы только при использовании высокопрочного легкого бетона [6].

Анализируя известные литературные источники [7–13], можно сделать вывод, что основные преимущества легких бетонов проявляются прежде всего в следующем:

- увеличение длины пролетов несущих конструкций, работающих на изгиб, где собственная масса составляет значительную долю от полной нагрузки (большепролетные мосты);
- сокращение расхода бетона и арматуры и, соответственно, транспортировочной и монтажной массы, более высокая начальная прочность, более ранняя распалубка и предварительное обжатие, что обеспечивает возможность более ранней эксплуатации элементов;
- более высокая плотность, водо- и газонепроницаемость микро- и мезоструктуры за счет низкого содержания капиллярных пор;
- более высокая износостойкость;
- повышенная защита арматуры от коррозии за счет чрезвычайно медленного распространения карбонизации;
- повышенная водонепроницаемость, в основе которой лежит противодействие продвижению влаги, порождаемое сжатым воздухом, находящимся в порах и капиллярах заполнителя;
- повышенная стойкость к воздействию различных агрессивных сред;
- возможность получения менее теплопроводного бетона для ограждающих конструкций, что обусловлено тем, что коэффициент теплопроводности вещества, из которого складывается твердая фаза материала, в 100 раз превышает коэффициент теплопроводности воздуха, заключенного в порах. Теплопроводность легких бетонов составляет приблизительно $\frac{1}{3}$ теплопроводности тяжелых, т. е. они оказывают в три раза большее сопротивление теплопередаче, чем тяжелые [9];

- повышенное сцепление цементного камня с легкими заполнителями, а также протекание пуццолановых реакций на границе раздела «цементная паста – пористый заполнитель», что обеспечивает эксплуатационную долговечность бетона;

- медленная влаготдача водонасыщенных легких заполнителей, которая обеспечивает бетону последующий «внутренний уход».

Для получения высокопрочных легких бетонов используют те же технологические приемы, что и в технологии тяжелых высокопрочных бетонов: применение высокомарочных, в том числе композиционных цементов и максимально прочных пористых заполнителей; проектирование состава бетона с предельно низким водоцементным отношением; применение супер- и гиперпластификаторов в сочетании с микрокремнеземом или другими тонкодисперсными кремнеземистыми добавками; в ряде случаев осуществляют предварительную подготовку легкого заполнителя (водонасыщение, активация поверхности, гидрофобизация и др.); особо тщательное перемешивание и уплотнение бетонной смеси с сохранением ее высокой однородности; создание благоприятных условий твердения бетона [14].

В то же время известно, что характерной особенностью легких бетонов на пористых заполнителях является то обстоятельство, что каждый тип крупного заполнителя позволяет получать бетоны только до определенной прочности, по достижении которой дальнейшее повышение прочности раствора (за счет повышения расхода цемента и снижения водоцементного отношения) не приводит к заметному повышению прочности бетона. Так по данным [14] для получения бетона с прочностью свыше 60 МПа и средней плотностью около 1 750 кг/м³ (ККК = 34) применяли высокопрочный керамзит и органо-минеральный модификатор серии МБ.

С другой стороны, бетоны с высоким коэффициентом конструктивного качества получены при частичной замене плотного крупного заполнителя пористым (ККК = 39) [15], хотя при этом средняя плотность бетона остается достаточно высокой – 2 050 кг/м³. Дальнейшее снижение средней плотности бетона может быть достигнуто при замене плотного мелкого заполнителя пористым. При этом, в случае высокой пуццолановой активности мелкого заполнителя, может быть существенное повышение прочности бетона, обусловленное уплотнением микроструктуры и контактной зоны. Например, по данным [6, 7] отмечен положительный эффект частичной замены плотного песка и цемента комбинированной минеральной добавкой в виде микрокремнезема и золы-уноса.

Целью настоящей работы является исследование влияния минеральной добавки в виде зольных сфер и керамзитового песка в качестве частичной (полной) замены плотного песка, а также керамзита фракции 5...10 мм – как частичная (полная) замена гранитного щебня, на показатели подвижности бетонных смесей, среднюю плотность, аутогенную и влажностную усадки и прочность бетона.

Для определения влияния дополнительного количества воды затворения на показатель подвижности бетонных смесей, аутогенную и влажностную усадки и прочностные показатели легких бетонов были изготовлены ранее разработанные составы легких конструктивных бетонов с частичной (25 %) заменой крупного плотного заполнителя (щебня гранитного) – пористым (щебнем керамзитовым), и частичной (50 %) заменой мелкого плотного заполнителя (кварцевого песка) – керамзитовым песком [17]. При этом во всех случаях использовались сухие пористые заполнители без дополнительной воды затворения (состав № 1) и с дополнительной водой затворения, необходимой для внутреннего ухода (состав № 2). Объем дополнительной воды для состава № 2 составляет 0,025 м³.

В качестве компонентов бетонных смесей приняты: портландцемент (ПЦ): ПЦ I-500; минеральная добавка: микрокремнезем (МК): МАРЕPLAST SF, химическая добавка: суперпластификатор (СП) – Melflux 5581 F; крупный заполнитель плотный – щебень (Щ) гранитный фракции 5...10 мм, мелкий – песок (П) кварцевый; крупный заполнитель пористый (ЩК) – дробленый керамзитовый гравий, фракция 5...10 мм; мелкий – песок керамзитовый (ПК).

Бетонные смеси приготовлены с применением в качестве активной минеральной добавки микрокремнезема в количестве 10 % от расхода цемента. Количество суперпластификатора принято постоянным – 0,7 % от расхода цемента. Составы и свойства свежеприготовленных бетонных смесей приведены в табл. 1.

Аутогенную усадку бетона исследовали на образцах-призмах размером 40 40 160 мм при твердении в условиях, исключающих испарение влаги из бетона (рис. 1). Измерение деформаций образцов выполнено головками измерительными рычажно-зубчатыми типа 1ИГ (ГОСТ 18833) с ценой деления 0,001 мм.

Измерение деформаций аутогенной усадки осуществляли в течение 28 суток, затем образцы извлекали из формы, на их торцы наклеивали стальные реперы и в дальнейшем производили измерения

Таблица – Состав и свойства свежеприготовленных бетонных смесей

№	Расход компонентов, кг (л)/м ³										Свойства бетонной смеси	
	В/Ц	ПЦ	МК	П	ПК	ЩК	Щ	В	В'	СП	средняя плотность, кг/м ³	Д _{расп} , мм
1	0,37	612	61	394	163	59	515	224	0	4,3	1 924	500
2	0,41	612	61	394	163	59	515	224	24,5*	4,3	1 928	530

*Примечание: избыточное количество воды сверх расчетной.

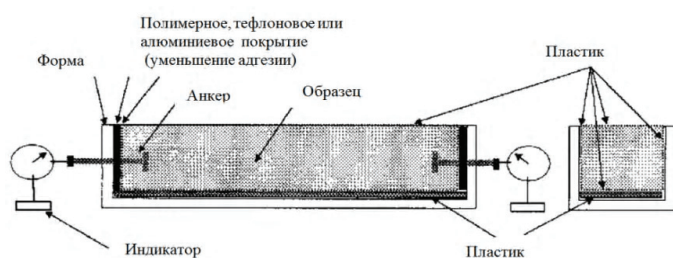


Рисунок 1 – Форма для определения линейной деформаций автогенной усадки образцов с размерами поперечного сечения 40×40 мм.

деформаций усадки бетона, вызванных испарением из них влаги (влажностная усадка). При этом образцы хранились в эксикаторе над порошком хлористого кальция.

Измерение линейных деформаций усадки при высыхании бетона проводились с помощью индикаторов часового типа с точностью до 0,01 мм. Схема устройства для определения деформаций усадки при высушивании образцов бетона представлена на рис. 2.

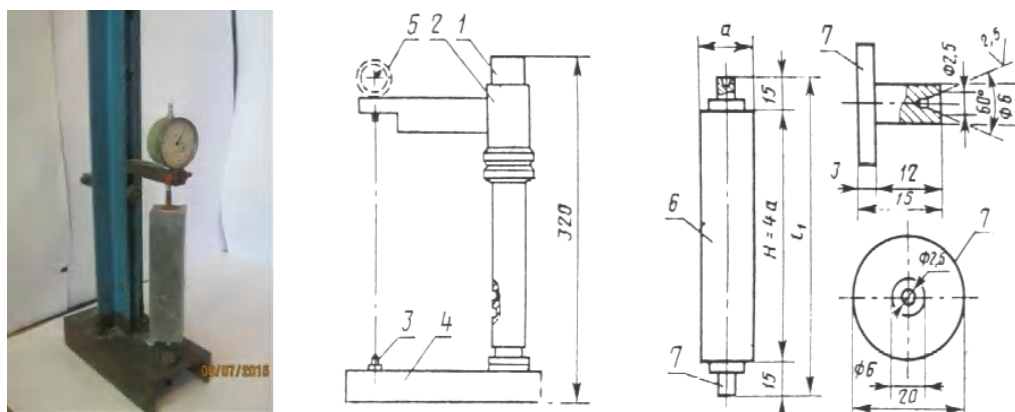


Рисунок 2 – Схема устройства для определения деформаций усадки при высыхании образцов бетона с размерами поперечного сечения 40×40 мм: 1 – стойка; 2 – кронштейн; 3 – конусообразный выступ; 4 – нижняя опора; 5 – индикатор; 6 – образец; 7 – репер; а – размер стороны поперечного сечения образца; H – высота образца; l_1 – база измерений.

Текущность ($D_{распл}$) смесей определяли при помощи уменьшенного конуса Абрамса ($d_1 = 140$ мм, $d_2 = 65$ мм, $h = 215$ мм, $V = 2,2$ л.). Предел прочности при сжатии бетона определяли на образцах-кубах со стороной ребра 0,07 м.

Установлено, что бетонная смесь с сухим пористым заполнителем (состав № 1) характеризуется высокой начальной текучестью (диаметр расплыва конуса 500 мм), однако вследствие поглощения пористым заполнителем части воды затворения наблюдается ее резкая потеря. В то же время при введении дополнительной воды затворения для внутреннего ухода (состав № 2) бетонная смесь также характеризуется высокой начальной текучестью (диаметр расплыва конуса 530 мм), однако при этом ее дальнейшая потеря во времени выражена в значительно меньшей мере.

Введение дополнительного количества воды затворения увеличивает фактическое значение водоцементного отношения до 0,41, однако не снижает показатель предела прочности при сжатии бетонов (рис. 3). При этом значение аутогенной усадки бетона состава № 2 в возрасте 28 суток составляет -100×10^{-6} (рис. 4), что на 50 % меньше усадки бетона с сухим пористым заполнителем (состав № 1): -200×10^{-6} . Очевидно, что поглощаемая пористым заполнителем избыточная часть воды затворения впоследствии служит агентом внутреннего ухода, что снижает риск микротрещинообразования бетонов в раннем возрасте вследствие развития аутогенной усадки.

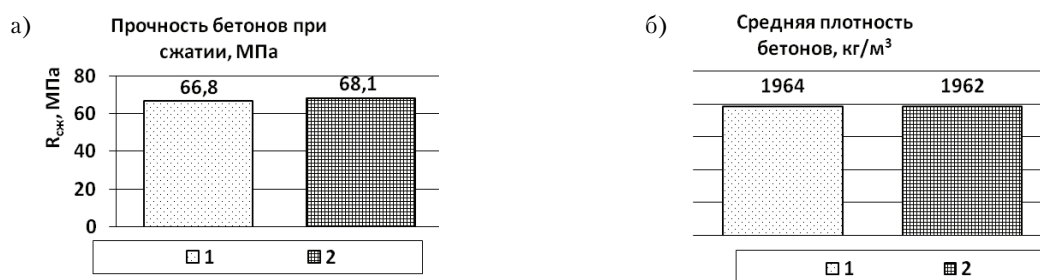


Рисунок 3 – Изменение предела прочности при сжатии (а) и средней плотности (б) конструкционных легких бетонов.

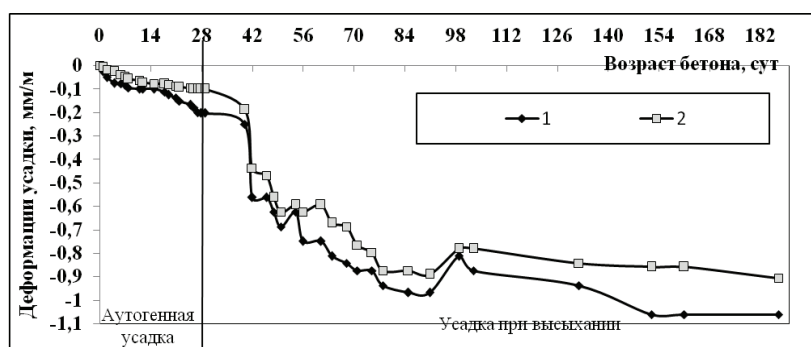


Рисунок 4 – Изменение аутогенной усадки и усадки при высыхании бетонов во времени.

На официальной странице Американского института стандартов NIST (<http://concrete.nist.gov>) в онлайн режиме была построена 2D модель распределения пористых и плотных заполнителей в бетоне и при этом рассчитана область ухода за бетоном на расстояние до 2 мм от поверхности пористых заполнителей всех фракций. Показано, что дополнительная вода затворения, обеспечивая, как минимум, водосодержание пористого заполнителя 9,8 % и его распределение в бетоне, создает благоприятные условия для более полной гидратации вяжущего во всем объеме бетона, уменьшая при этом внутренние напряжения, вызванные аутогенной усадкой (рис. 5).

После измерения аутогенной усадки в течение 28 суток образцы-призмы выдерживали в эксикаторе над хлористым кальцием и продолжали измерять усадку бетонов при высыхании. Общая усадка бетона состава № 1 с сухим пористым заполнителем в возрасте 187 суток составляет 1,07 мм/м (рис. 4), в то же время значение полной усадки бетона с дополнительным количеством воды затворения (состав № 2) составляет 0,9 мм/м, что на 16 % меньше.

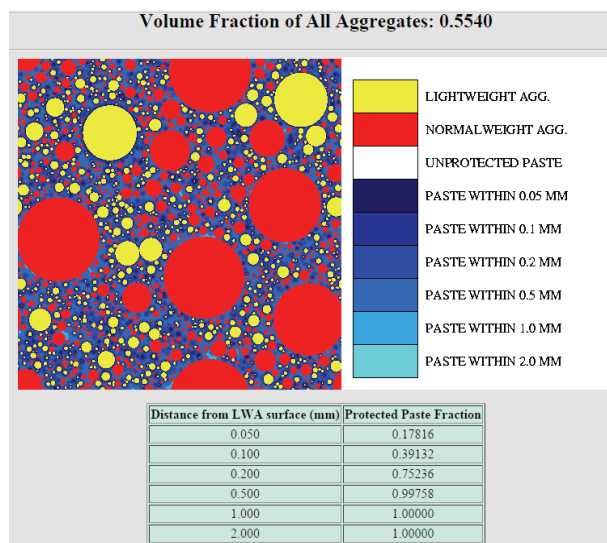


Рисунок 5 – 2D модель распределения пористых и плотных заполнителей в бетоне.

ВЫВОДЫ

Установлено, что введение дополнительного количества воды затворения увеличивает фактическое значение водоцементного отношения до 0,41, однако не снижает показатель предела прочности при сжатии бетонов. При этом значение аутогенной усадки бетона с дополнительным количеством воды затворения в возрасте 28 суток на 50 % меньше усадки бетона без дополнительного количества воды. Общая усадка легкого бетона с дополнительным количеством воды затворения на 16 % ниже аналогичного состава без дополнительного количества воды. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что избыточная вода затворения, поглощаемая пористым заполнителем, служит для внутреннего ухода за бетоном и снижает значение аутогенной усадки и усадки при высыхании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Исаев, В. Ф. Керамзитобетон в мостостроении [Текст] / В. Ф. Исаев // Тезисы докладов III Всесоюзной конференции по легким бетонам / Под ред. И. А. Плотникова. – М. : Стройиздат, 1985. – С. 146–147.
- Building Bridges and other Marine Structures with Structural Lightweight Aggregate Concrete [Текст] : ESCSI Information Sheet № 4700.4 / Expanded Shale, Clay and Slate Institute. – Murray Holladay Road : Expanded Shale, Clay and Slate Institute, 1992. – 26 p.
- Spliced Segmental Prestressed Concrete I-Beams for Shelby Creek Bridge [Текст] / W. B. Caroland, D. Deep, H. H. Jansen, L. Spaans // PCI Journal. – 1992. – September-October. – P. 22–33.
- Celik, H. O. Lightweight HPC on route 106 bridge in Virginia [Текст] / H. O. Celik // HPC Bridge Views. – 2004. – Issue No. 32. – P. 3.
- Clarke, J. L. Structural Lightweight Aggregate Concrete [Текст] / J. L. Clarke. – London ; New York : Blackie Academic & Professional, 2005. – 240 p.
- Фаликман, В. Р. Высокопрочный легкий бетон: технология и свойства [Текст] / В. Р. Фаликман, Ю. В. Сорокин, О. М. Горячев // Бетон и железобетон. – 2005. – № 2. – С. 8–11.
- Бужевич, Г. А. Долговечность легких бетонов на пористых заполнителях [Текст] / Г. А. Бужевич, Г. И. Горчаков // Всесоюзная конференция по легким бетонам : тезисы докладов / Под ред. А. А. Плотникова. – М. : Гостройиздат, 1970. – С. 61–73.
- Довжик, В. Г. Технология высокопрочного керамзитобетона [Текст] / В. Г. Довжик, В. А. Дорф, В. П. Петров. – М. : Стройиздат, 1976. – 136 с.
- Иванов, И. А. Легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях [Текст] / И. А. Иванов. – М. : Стройиздат, 1993. – 182 с. – ISBN 5-274-00822-4.
- Звездов, А. И. Высокопрочные легкие бетоны в строительстве и архитектуре [Текст] / А. И. Звездов, В. Р. Фаликман // Деловая слава России. – 2010. – № 4. – С. 106–109.
- Легкие бетоны: Проектирование и технология [Текст] : научное издание / А. Шорт [и др.] ; пер. с англ. В. З. Мешкова ; под ред. В. Н. Ярмаковского. – М. : Стройиздат, 1981. – 233 с.
- Симонов, М. З. Основы технологии легких бетонов [Текст] / М. З. Симонов. – М. : Издательство литературы по строительству, 1973. – 584 с.

13. Мешкаускас, Ю. И. Конструктивный керамзитобетон [Текст] / Ю. И. Мешкаускас. – М. : Стройиздат, 1977. – 83 с.
14. Зайченко, Н. М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] : Монография / Н. М. Зайченко. – Макеевка : ДонНАСА, 2009. – 207 с.
15. Weiss, J. Improving Concrete Bridge Decks with Internal Curing, Concrete [Электронный ресурс] / J. Weiss, C. DiBella, D. D. Bentz // Concrete Bridge Views. – 2013. – Issue 69. – Режим доступа : <http://concretebridgeviews.org/i69/Article3.asp>.
16. Фаликман, В. Р. Высокопрочный легкий бетон: технология и свойства [Текст] / В. Р. Фаликман, Ю. В. Сорокин, О. М. Горячев // Бетон и железобетон. – 2005. – № 2. – С. 8–11.
17. Лахтарина, С. В. Влияние частичной замены плотных заполнителей пористыми на среднюю плотность и прочность бетонов [Текст] / С. В. Лахтарина, Н. М. Зайченко // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – 2014. – Вип. № 52. – С. 151–160.

Получено 16.01.2018

М. М. ЗАЙЧЕНКО, С. В. ЛАХТАРИНА, О. В. ЕГОРОВА, В. Б. МАРТИНОВА,
Т. П. КИЦЕНКО
ВПЛИВ ДОДАТКОВОЇ ВОДИ ЗАТВОРЮВАННЯ НА ПОКАЗНИКИ ПОВНОЇ
УСАДКИ ВИСОКОМІЦНИХ ЛЕГКИХ БЕТОНІВ
ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. Досліджено вплив додаткової кількості води затворювання на показники рухливості бетонної суміші, значення механічних і деформаційних властивостей (аутогенної і вологісної усадки) легких високоміцних бетонів. Встановлено, що введення додаткової кількості води збільшує фактичне значення водоцементного відношення до 0,41, однак не знижує показник межі міцності при стиску бетонів. При цьому значення аутогенної усадки бетону з додатковою кількістю води в віці 28 діб на 50 % менше усадки бетону без додаткової кількості води. Загальна усадка легкого бетону з додатковою кількістю води на 16 % нижче аналогічного складу без додаткової кількості.

Ключові слова: рухомість, аутогенна усадка бетону, вологісна усадка бетону, легкий високоміцний бетон, суперпластифікатор.

MYKOLA ZAICHENKO, SERGEY LAHTARYINA, ELENA EGOROVA,
VITA MARTYNONOVA, TATYANA KITSSENKO
INFLUENCE OF THE EXTRA WATER ADDITIONAL TO THE TOTAL
SHRINKAGE OF HIGH-STRENGTH LIGHTWEIGHT AGGREGATE CONCRETE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The effect of extra mixing water on the slump of the concrete mix, the mechanical and deformation properties (autogenous and drying shrinkage) of high-strength lightweight aggregate concrete are investigated. It is established that the addition of extra mixing water, increases the actual value of water-cement ratio to 0.41, however, does not reduce the index of compressive strength of the concrete. The value of concrete autogenous shrinkage with an addition of extra mixing water at the age of 28 days is 50% less than shrinkage of concrete without additional water. The total shrinkage of lightweight concretes with addition of extra mixing water is 16% below the composition without adding.

Key words: slump, autogenous shrinkage, drying shrinkage, high-strength lightweight aggregate concrete, superplasticizer.

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.

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

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.

Мартынова Вита Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: ячеистые бетоны.

Киценко Татьяна Петровна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

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

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

Єгорова Олена 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.

Мартынова Вита Борисовна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: ніздрюваті бетони.

Киценко Тетяна Петрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетони.

Zaichenko Mykola – 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 on the base of modified fillers.

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

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.

Martynova Vita – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: cellular concretes.

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

УДК 691:620.193.2.003

В. Н. ЛЕВЧЕНКО, Э. П. БРЫЖАТЫЙ, Е. В. ШЕЛИХОВА, Н. А. НЕВГЕНЬ, В. Н. ЗАВЯЛОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОВЕДЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО
ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ И ПОТЕРЬ ОТ
КОРРОЗИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Аннотация. Коррозия материалов, изделий и конструкций выступает как фактор, препятствующий эффективному использованию основных производственных фондов, и наносит значительный ущерб, который не ограничен потерями металла. Он обусловлен также преждевременным выходом из строя основных фондов, авариями и простоями оборудования, снижением объёма выпускаемой продукции при ремонтно-восстановительных работах. Предлагаемая методология исследований рассматривает во взаимной связи первоначальные капитальные вложения в создание средств защиты, затраты при изготовлении конструкций и возведении строительных объектов, а также затраты и потери, возникающие при эксплуатации зданий и сооружений. Особенностью методологии является учёт разновременности затрат, приведение их к началу эксплуатации по фактору времени и оценка экономической эффективности по конечному результату.

Ключевые слова: коррозия, основные фонды, агрессивная среда, амортизация, потери.

Основные фонды (средства) являются всенародной собственностью и представляют собой главный элемент национального богатства страны. Они служат важнейшим средством производства и оказывают значительное влияние на его эффективность.

При эксплуатации основных фондов и их учете придерживаются классификации норм амортизации: здания, сооружения, передаточные устройства, машины и оборудование, транспортные средства, инструмент, производственный инвентарь, хозяйственный инвентарь и прочие основные фонды.

Проведение исследований предусматривает анализ затрат на эксплуатацию зданий и сооружений, которые являются «пассивной частью» основных производственных фондов, но от их состояния зависит эффективность использования «активной части» основных производственных фондов – машин и оборудования.

Особенность функционального назначения зданий и сооружений заключается в том, что они призваны обеспечивать нормальную работу расположенного в них технологического оборудования и соответствующие условия для работающих. Внеплановые и аварийные ремонты производственных зданий вызывают простои основного технологического оборудования и снижение выпуска продукции предприятия. Сквозная коррозия емкостных сооружений и хранилищ приводит к прямой потере производимой продукции.

Обследование предприятий с агрессивными средами проводится для выявления необходимых или фактических затрат на капитальные и текущие ремонты, на защиту строительных конструкций от коррозии, прямых и косвенных потерь в процессе эксплуатации зданий и сооружений. При этом фиксируются по каждому зданию или сооружению межремонтные сроки службы и периодичность возобновления антикоррозионной защиты строительных конструкций.

В соответствии с действующим положением при вводе зданий и сооружений в эксплуатацию составляется технический паспорт, в котором указываются наименование производственного цеха, балансовая (восстановительная) стоимость объекта, в том числе производственной и служебно-бытовой части. Приводятся общие сведения: год постройки, этажность, площадь застройки,

строительный объем, схематический план и поперечный разрез здания, схематический план кровли, конструктивные характеристики здания. Даются более подробные характеристики площади производственных помещений, полов, наружных поверхностей ограждающих конструкций, размеры внутренних поверхностей ограждающих и несущих конструкций, проектные данные о допускаемых полезных нагрузках на основные несущие конструкции и элементы зданий и др. Приводятся данные по антикоррозионной защите строительных конструкций и принятые при строительстве согласованные изменения проекта.

К техническому паспорту прикладывается и соответствующая проектная документация (например, рабочие чертежи антикоррозионной защиты в сильноагрессивной среде).

Введенные в эксплуатацию основные фонды принимаются на баланс предприятия и по ним ведется бухгалтерский учет в соответствии с положением о бухгалтерских отчетах и балансах.

На здания и сооружения предприятия заводятся бухгалтерией инвентарные карточки или книги учета основных средств.

В инвентарной книге (карточка) указывается инвентарный номер сооружения, полное наименование каждого объекта, сведения о проектной документации (паспорт, чертеж, № проекта), дата постройки и ввода в эксплуатацию, прочие индивидуальные признаки [общая характеристика конструкций, антикоррозионной защиты (по материалу и типу), объем здания и т. д.]. Отражаются сведения о первоначальной стоимости объекта, дате проведения стоимости капитальных ремонтов, реконструкции (достройки) с момента ввода объекта в эксплуатацию и сумма износа при переоценке основных фондов.

На промышленных предприятиях в бухгалтерском балансе находит отражение вся производственная и хозяйственная деятельность предприятия. В статистическом отчете отражается и движение основных фондов и потери от коррозии металлов и применяемые средства защиты.

Кроме того, в технических службах предприятий имеется первичная документация по планированию и проведению текущих и капитальных ремонтов зданий и сооружений.

При обследовании производственных зданий предприятий на основе паспорта промышленного предприятия и перечисленных выше документов рекомендуется выявить следующие данные: наименование министерства (ведомства); наименование предприятия (производственное объединение, комбинат); краткая характеристика производства (наименование перерабатываемого сырья, выпускаемой продукции); наличие службы эксплуатации зданий и сооружений; наличие и функции службы учета потерь и затрат на защиту от коррозии; общая производственная площадь зданий (тыс. м²); стоимость производственных зданий на конец отчетного года; в том числе здания с агрессивной средой (по перечню объектов или инвентарных карточек); перечень зданий, по которым учитывались эксплуатационные затраты за последние три года.

Производственные здания с агрессивной средой прежде всего определяются по инвентарным карточкам. На такие здания бухгалтерия начисляет повышенный процент амортизации на капитальный ремонт в соответствии с примечаниями к действующим нормам амортизационных отчислений по основным фондам. Величину этих отчислений можно сверить по сумме амортизационных отчислений, отражаемой в бухгалтерском учете по кредиту.

Этих данных для анализа фактических эксплуатационных затрат, связанных с дополнительными расходами от воздействия агрессивных сред, недостаточно. После получения общих сведений рекомендуется ознакомиться с данными и актами последних обследований состояния строительных конструкций в зданиях с агрессивной средой. Заполнить на предприятии статистическую форму №1-кор в соответствии с типовой методикой по учету потерь от коррозии [5] и разработанных НИИЖБ рекомендаций [3]. В дальнейшем перейти к сбору данных по объекту (зданию), выбранному для детального обследования.

Характеристика агрессивной среды, воздействующая на строительные конструкции

Прежде всего необходимы сведения о степени воздействия агрессивной производственной среды на конструктивные элементы зданий и сооружений.

По каждому выбранному для обследования объекту с агрессивной средой анализируется карта характеристики агрессивности среды. Форма составляется по данным технического паспорта или предыдущего обследования строительных конструкций, в которой указываются конструктивные элементы, подверженные воздействию агрессивной среды и повышенной увлажненности (фундаменты, колонны, балки, фермы, плиты покрытий и др.), а также указывается год ввода в эксплуатацию здания и его конструктивных элементов. В зданиях, эксплуатируемых длительное время, год ввода в

эксплуатацию отдельных конструкций, из-за полной их замены в процессе эксплуатации, может не совпадать с годом ввода объекта в целом.

Наличие агрессивных сред, их концентрацию и химический состав определяют по данным исследований лабораториями предприятия или службами технической эксплуатации зданий и сооружений. При отсутствии необходимых данных производятся соответствующие обследования и оценка степени агрессивности среды с привлечением специализированных проектных или исследовательских организаций.

Оценка степени агрессивности среды (слабоагрессивная, среднеагрессивная, сильноагрессивная) определяется для каждого подверженного коррозии конструктивного элемента производственного здания (сооружения) в соответствии с действующими нормативными документами.

Определение первоначальных затрат на защиту строительных конструкций от коррозии

Как указывалось выше, на каждое эксплуатируемое или введенное в эксплуатацию здание имеется технический паспорт. К техническому паспорту прикладывается соответствующая проектная документация, по которой может быть определена технико-экономическая характеристика строительных конструкций и способов их защиты от коррозии на год ввода производственного здания в эксплуатацию.

Определенные технико-экономические характеристики по каждому конструктивному элементу здания, подвергающегося при эксплуатации воздействию агрессивных сред, заполняются в таблицу.

В соответствии с действующим положением о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений и документами по технической эксплуатации зданий и сооружений [4] ежегодно проводятся технические осмотры и оценка состояния конструктивных элементов зданий и сооружений. На основе материалов проведенных технических осмотров здания заполняется таблица.

Определение эксплуатационных затрат на ремонтно-восстановительные работы, обусловленные коррозией строительных конструкций

Для поддержания функционального назначения зданий и сооружений во время их эксплуатации производятся ремонтно-восстановительные работы. По объему и характеру работ различают два основных вида – капитальный и текущий ремонт. Капитальным ремонтом считается такой ремонт, при котором производится восстановление или частичная замена изношенных за межремонтный срок службы строительных конструкций, состояние которых снижает эксплуатационные характеристики зданий (сооружений) или их отдельных частей. Капитальный ремонт осуществляется в соответствии с годовыми планами. Источником покрытия затрат на капитальный ремонт является амортизационный фонд предприятия.

Текущий ремонт проводится путем устранения мелких повреждений и дефектов строительных конструкций для предохранения от преждевременного износа в период между плановыми капитальными ремонтами. Текущий ремонт зданий и сооружений входит в состав цеховых и общезаводских расходов, является самостоятельной статьей сметы этих расходов и производится за счет издержек производства.

Помимо капитального и текущего ремонтов в производственных зданиях с агрессивной средой производится возобновление антикоррозионной защиты строительных конструкций. Эти затраты производятся за счет дополнительных отчислений на капитальные ремонты. Они всегда входят в состав работ капитального или текущего ремонтов, но могут выполняться самостоятельно в межремонтные периоды (например, возобновление защитных лакокрасочных покрытий).

При обследовании предприятий затраты на капитальный ремонт и возобновление антикоррозионной защиты принимаются по фактическим данным соответствующих сметно-финансовых расчетов или актов приемки на выполнение работы (если работы выполнены специализированной подрядной организацией). Из указанных документов исключаются работы, не относящиеся к ремонту зданий и сооружений, и выделяется лишь стоимость ремонта отдельных конструктивных элементов и их антикоррозионной защиты.

Затраты на капитальный ремонт, проведенный хозяйственным способом, отражаются по данным бухгалтерского учета в журнале-ордере в счете основного производства субсчета «Капитальный ремонт» или в счете вспомогательного производства.

Затраты на текущие ремонты принимаются по данным бухгалтерского учета основного производства. Из дефектных ведомостей и актов на капитальный или текущий ремонт необходимо выделять работы по возобновлению защиты строительных конструкций от коррозии. Из состава работ

по текущему ремонту исключаются затраты по содержанию зданий и сооружений (очистка от снега, льда, мусора, мытье окон и т. п.).

Затраты, связанные с ремонтами строительных конструкций производственного здания, эксплуатируемого в агрессивных средах, отражаются в таблице. При заполнении граф таблицы учитываются затраты на текущие и капитальные ремонты тех конструкций, ремонт которых проводился в соответствующих годах. По каждому конструктивному элементу указывается наименование и расход материалов, используемых при текущем или капитальном ремонте. При этом указывается наименование групп применяемых материалов по строкам.

Для некоторых материалов и изделий, количество которых выражается в штуках, м², пог.м, в скобках приводится масса (вес) единицы измерения.

В стоимости текущего и капитального ремонтов учитывается суммарная стоимость затрат труда и использованных материалов и машин.

Если в процессе капитального или текущего ремонта полностью заменены металлические и металлосодержащие (например, железобетонные) конструктивные элементы, то в примечании указывается масса (вес) металла в этих элементах, его дальнейшее использование для производственных целей невозможно (подлежит сдаче в металлолом).

Определение потерь от коррозии строительных конструкций

Методика определения потерь от коррозии основывается на суммарном выражении затрат материальных, трудовых и энергетических ресурсов, вызываемых коррозией строительных конструкций.

Потери от коррозии строительных конструкций при эксплуатации зданий и сооружений разделяются на прямые и косвенные (рис.). К прямым потерям, ($C_{пр}$) относятся: количество и стоимость прокорродировавших конструкций и их элементов, которые заменяются при их полном износе и ликвидации до истечения срока амортизации – $C_{м1}$; стоимость конструкций и их элементов, замененных при проведении капитального и текущего ремонтов – $C_{м2}$; стоимость конструкций и полуфабрикатов, списанных по причине коррозии при транспортировке и хранении – $C_{м3}$.



Рисунок – Схема издержек (ущерба) от коррозии материалов.

Значение прямых потерь от коррозии вычисляется по формуле:

$$C_{пр} = C_{м1} + C_{м2} + C_{м3}, \quad (1)$$

Потери от выбытия зданий и сооружений до истечения амортизационного срока службы из-за коррозии строительных конструкций определяются по данным актов о ликвидации основных средств (фондов).

Первичными документами для определения потерь металла и других материалов при проведении ремонтов служат данные дефективных ведомостей, сметно-финансовых расчетов и актов по выполненным ремонтам или актов приемки отремонтированных, реконструированных и модернизированных объектов. Потери при транспортировании (доставке) материалов определяются на основании записей в актах приемки-сдачи. Потери из-за коррозии при хранении материалов и изделий определяются по соответствующим актам на списание, в которых указано, что причиной списания является коррозия.

К косвенным потерям ($C_{\text{кос}}$) относятся потери и убытки, связанные с простоем размещенного в производственном здании основного технологического оборудования и машин во время ремонтно-строительных конструкций и снижением объема или ухудшением качества выпускаемой продукции ($C_{\text{в4}}$), а также потери материалов ($C_{\text{м5}}$) и продукции и возмещение ущерба смежным отраслям и окружающей среде, возникающего из-за сквозной коррозии конструктивных элементов зданий и сооружений ($C_{\text{в6}}$).

Величина косвенных потерь (материальных, трудовых и энергетических ресурсов) от коррозии вычисляется по формуле:

$$C_{\text{кос}} = C_{\text{в4}} + C_{\text{м5}} + C_{\text{в6}}. \quad (2)$$

При проведении капитального ремонта или возобновлении антикоррозионной защиты строительных конструкций в действующих производствах косвенные потери выражаются в виде снижения объема выпускаемой продукции из-за простоя основного технологического оборудования.

Для производственных цехов потери от простоя размещенного в здании технологического оборудования и связанного с этим снижения объема выпускаемой продукции рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{в4}} = (\text{Ц} - \text{С})\text{Б} t_{\text{п.об.}}, \quad (3)$$

где Ц – стоимость единицы выпускаемой продукции (по действующим оптовым ценам);
С – заводская себестоимость единицы продукции;
Б – годовой объем (мощность) выпуска продукции;
 $t_{\text{п.об.}}$ – время простоя размещенного в здании технологического оборудования и машин в период проведения ремонтно-строительных работ (выраженное в долях года).

Сведения о времени простоя оборудования принимаются по актам или по ведомости учета проведения ремонтно-строительных работ.

По формуле (3) могут рассчитываться потери от простоя оборудования при авариях, вызванных коррозией строительных конструкций и в периоды остановки производства при проведении обследований технического состояния поврежденных коррозией конструкций.

Стоимость потерь от потери и порчи материала, полуфабрикатов и готовой продукции, от сквозной коррозии конструктивных элементов резервуаров, трубопроводов, складов и хранилищ определяется по актам, составленным для учета непроизводительных расходов и потерь продукции предприятия. В учет принимаются возмещенные предприятием затраты по ликвидации ущерба от коррозии, наносимого смежным отраслям промышленности и сельскому хозяйству, окружающей среде (штрафы, неустойки и др.).

ВЫВОД

Экономические исследования эксплуатационных затрат и потерь от коррозии наиболее целесообразно выполнять в периоды проведения специализированными организациями обследований технического состояния строительных конструкций, подверженных воздействию агрессивных сред.

Концепция системного подхода к анализу и управлению строительной недвижимостью в различных средах получила широкое распространение в мировой практике под названием сервейинга. Системный подход при этом проявляется в том, что процесс управления недвижимостью рассматривается как взаимосвязанное единство технических, экономических, экологических и управленческих экспертиз и решений.

Объекты недвижимости и их совокупность во взаимодействии с различными сегментами рынка представляют собой сложную систему, охватывающую влияние разнохарактерных факторов в течение жизненного цикла. Поскольку сервейинг имеет техническую, юридическую, экономическую, экологическую сторону, его нельзя свести к какой-либо одной из них в оценочных процедурах.

Техническую экспертизу, связанную с обследованием зданий и сооружений, проводят не только для объектов, находившихся в эксплуатации, но и для вновь построенных при наличии в процессе строительства зданий недопустимых отклонений от проекта, а также объектов незавершенного строительства, («недостроев» и «долгостроев»). В условиях функционирования рынка недвижимости операции с ней невозможно производить с должной эффективностью без исчерпывающих сведений о техническом состоянии здания, сооружения или комплекса в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанов, В. И. Народнохозяйственный ущерб от коррозии [Текст] / В. И. Агаджанов // Коррозия и стойкость железобетона в агрессивных средах : (Сб. науч. тр.) / НИИ бетона и железобетона ; Под ред. В. М. Москвина, Ю. А. Саввиной. – М. : НИИЖБ, 1980. – С. 168–173.
2. Методика определения экономической эффективности антикоррозионной защиты строительных конструкций промышленных зданий и сооружений [Текст] / Науч.-исслед. ин-т бетона и железобетона Госстроя СССР. – Москва : [б. и.], 1967. – 81 с.
3. Рекомендации по учету и отчетности о потерях от коррозии и затратах на противокоррозионную защиту на предприятиях стройиндустрии и в строительных организациях [Текст] / НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1984. – 40 с.
4. Руководство по эксплуатации строительных конструкций производственных зданий промышленных предприятий [Текст] / ЦНИИпроезданий. – М. : Стройиздат, 1981. – 57 с.
5. Типовая методика по учету потерь от коррозии металла и затрат на противокоррозионную защиту [Текст] / ГКНТ, ЦСУ СССР. – М., 1982. – 20 с.
6. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций, промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении [Текст] / Харьковский проектный и научно-исследовательский институт (Промстройинипроект) Госстроя СССР. – М. : Стройиздат, 1990. – 176 с.

Получено 17.01.2018

В. М. ЛЕВЧЕНКО, Е. П. БРИЖАТИЙ, О. В. ШЕЛИХОВА, М. О. НЕВГЕНЬ,
В. М. ЗАВЯЛОВ

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО
ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИДАТКІВ І ВТРАТ ВІД КОРОЗІЇ
БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Корозія матеріалів, виробів і конструкцій виступає як чинник, який перешкоджає ефективному використанню основних виробничих фондів і завдає значної шкоди, що не обмежена втратами металу. Вона обумовлена також передчасним виходом із ладу основних фондів, аваріями та простоями устаткування, зниженням обсягу продукції, що випускається, під час ремонтно-відновлювальних робіт. Пропонована методологія досліджень розглядає у взаємозв'язку початкові капітальні інвестиції у створення засобів захисту, витрати при виготовленні конструкцій і зведенні будівельних об'єктів, а також витрати та збитки, що виникають при експлуатації будівель і споруд. Особливістю методології є врахування різночасовості витрат, приведення їх до початку експлуатації за фактором часу й оцінка економічної ефективності за кінцевим результатом.

Ключові слова: корозія, основні фонди, агресивне середовище, амортизація, втрати.

VICTOR LEVCHENKO, EDUARD BRYZHATY, ELENA SHELIKHOVA, NIKOLAI
NEVGEN, VIACHESLAV ZAVIALOV

METHODICAL APPROACHES TO THE RESEARCH FOR DETERMINING
MAINTENANCE CHARGES AND CORROSION LOSSES OF BUILDING
STRUCTURES

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Corrosion of materials, products and structures is acting as a factor militating against the efficient use of basic production funds, and it causes damage without limiting to corrosion losses. The damage results in premature wear of the basic funds, unplanned downtime, reducing of production volume while repairing. The research methods suggested consider in conjunction both the initial capital investments in safety

facilities and structural and maintenance costs. The strategy's unique feature is the allowance of costs diversity, their reduction to start in use according to time factor and cost-effectiveness analysis by final result.

Key words: corrosion, basic funds, corrosion environment, damping, losses.

Левченко Виктор Николаевич – кандидат технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической и воспитательной работе ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Брыжатый Эдуард Парфирьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Шелихова Елена Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры экономики, экспертизы и управления недвижимостью ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Невгень Николай Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Завялов Вячеслав Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

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

Брижати́й Едуард Парфірієвич – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Шеліхова Олена Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри економіки, експертизи та управління нерухомістю ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Невгень Микола Олександрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Завялов В'ячеслав Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Levchenko Victor – Ph. D. (Eng., Professor, Vice-rector in education and pedagogic activities the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, chancellor's office. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Bryzhatyi Eduard – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Shelikhova Elena – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Economy, Examinations and Managements Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: Economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Nevgen Nikolai – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

Zavialov Viacheslav – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

УДК [[691:658]:339.142]:517.518.45

Н. П. НАГОРНАЯ

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

**РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРИ АНАЛИЗЕ ЗАВИСИМОСТИ
ТОВАРООБОРОТА ТОРГОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫМИ
ТОВАРАМИ ОТ ТОВАРООБОРОТА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И
ИЗДЕЛИЙ**

Аннотация. Цель работы – показать применение метода регрессионной модели анализа влияния товарооборота строительных материалов на общий товарооборот рассматриваемого хозяйственного магазина. Так как товарооборот строительных материалов и изделий зависит от множества факторов, которые рассматриваются в данной работе как случайные величины, нами при исследовании использована модель регрессионного анализа. Используя свойства динамических рядов, рассматривается не только трендовая составляющая динамического ряда статистических данных, но и временная составляющая их как случайная трендовая величина. Разработана методика прогнозирования экономических показателей товарооборота строительных товаров как составляющей части общего товарооборота рассматриваемого предприятия хозяйственных товаров. В простейшей модели товарооборота группы товаров в первую очередь учитывается, что его величина определяется его ценой и доходом торгового предприятия. На самом же деле на уровень реализации оказывает также влияние ряд других факторов: цены на изделия различных производителей, качество строительных материалов и изделий, надежность поставщиков, воздействие рекламы, экологические параметры изделия и так далее. Обычно предполагают, что все факторы, не учтенные явно в статистической модели, оказывают на объект относительно малое результирующее воздействие в интересующем нас аспекте. Состав учтенных в модели факторов и её структура могут быть уточнены в ходе совершенствования модели.

Ключевые слова: строительные материалы и изделия, товарооборот, динамический ряд, линия тренда, прогнозирование.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Как известно, статистической называется зависимость между случайными величинами x и y , при которой случайное изменение одной из них влечет изменение распределения вероятностей другой [1, 2]. В работе использовано линейное уравнение регрессии для негруппированной выборки:

$$y = a_0 + a_x x, \quad (1)$$

где y – общий товарооборот хозяйственного магазина, тыс. руб.;
 x – товарооборот строительных материалов и изделий, тыс. руб.

Величина товарооборота строительных материалов и изделий рассматривается как случайная величина в общем товарообороте предприятия.

Для нахождения уравнения регрессии использована система нормальных уравнений,

$$nb + a \sum x = \sum y \quad (2)$$

$$b \sum x + a \sum x^2 = \sum xy$$

где x_i – товарооборот строительных материалов и изделий, тыс. руб.;
 y_i – товарооборот всего торгового предприятия, тыс. руб. [5, 6].

Расчеты представлены в таблице 1, где k – процент отклонения товарооборота, определенного по уравнению ($y_{\text{ипр}}$), от фактического значения (y_i).

Таблица 1 – Величина товарооборота строительных материалов и изделий

квартал	x_i	y_i	x^2	$x_i y_i$	$y_{\text{ипр}}$	$k, \%$
1	5,4	8,7	29,16	46,98	8,756	0,64
2	5,7	9,4	32,49	53,58	9,35	-0,53
3	6,1	10,1	37,21	61,61	10,14	0,04
4	6,3	10,6	39,69	66,78	10,54	-0,54
5	6,5	11	42,25	71,50	10,94	-0,55
6	6,8	11,5	46,24	78,20	11,53	-0,26
7	7,1	12,1	50,41	85,91	12,13	-0,25
итого	43,9	73,4	277,75	464,56		2,81

$$\alpha = 1,9853; b = 1,965.$$

Уравнение регрессии имеет вид $\bar{y}_i = 1,9853x - 1,965$.

Определяем σ_x, σ_y – среднеквадратические уравнения x и y :

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum x^2 - \left(\frac{1}{n} \sum x \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{7} \cdot 277,45 - \left(\frac{1}{7} \cdot 43,9 \right)^2} = 0,5522;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum y^2 - \left(\frac{1}{n} \sum y \right)^2} = \sqrt{\frac{1}{7} \cdot 778,08 - \left(\frac{1}{7} \cdot 73,4 \right)^2} = 0,0973.$$

Определяем коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = \frac{464,56 : 7 - (43,9 : 7) \cdot (73,4 : 7)}{0,5522 \cdot 1,0973} = 0,7518.$$

Полученный коэффициент корреляции $r_{xy} = 0,7518$ свидетельствует о тесной линейной корреляционной зависимости изучаемых факторов.

Используя данные товарооборота хозяйственного магазина и товарооборота строительных материалов и изделий (таблицы 2, 3), определяем прогноз этих показателей на следующий квартал по уравнениям:

Таблица 2 – Товарооборот хозяйственного магазина

t, квартал	y_t	t^2	$t y_t$
1	8,7	1	8,7
2	9,4	4	18,8
3	10,1	9	30,3
4	10,6	16	42,4
5	11	25	55
6	11,5	36	69
7	12,1	49	84,7
28	73,4	140	308,9
8	13,08	прогноз	
9	13,09		
10	14,73		

$$Y_t = b + a \cdot t \quad (3)$$

Таблица 3 – Прогноз товарооборота строительных материалов и изделий на квартал (3месяца) [7]

t, квартал	x_i	t^2	$x \cdot t$
1	5,4	1	5,4
2	5,7	4	11,4
3	6,1	9	18,3
4	6,3	16	25,2
5	6,5	25	32,5
6	6,8	36	40,8
7	7,1	49	49,7
28	43,9	140	183,3
8	7,34	прогноз	
9	7,61		
10	7,88		

для общего товарооборота всего торгового предприятия из системы нормальных уравнений (4):

$$nb + a\Sigma t = \Sigma y \quad (4)$$

$$b\Sigma t + a\Sigma t^2 = \Sigma ty$$

$$Y_t = 6,43 + 0,83t \quad (5)$$

и товарооборота строительных материалов и изделий (6):

$$X_t = b_1 + a_1 \cdot t. \quad (6)$$

Для товарооборота строительных материалов и изделий система нормальных уравнений имеет вид (таблица 3):

$$nb_1 + a_1\Sigma t = \Sigma x, \quad (7)$$

$$b_1\Sigma t + a_1\Sigma t_2 = \Sigma tx.$$

Система нормальных уравнений (7)

$$7b_1 + 28a_1 = 73,4$$

$$28b_1 + 140a_1 = 183,3$$

Уравнение товарооборота строительных материалов и изделий:

$$Y_t = 5,18 + 0,62t$$

ВЫВОДЫ

Используя свойства регрессионного анализа динамических рядов, которые позволяют учесть неопределенность динамики развития экономических систем в зоне риска, была построена экономическая модель. Параметры модели определены методом статистического эксперимента. Модель рассмотрена на примере динамического ряда товарооборота предприятия «Хозяйственные товары» и товарооборота строительных материалов и изделий этого предприятия. Это позволило составить прогноз, который учитывает неопределенность развития предприятия в виде риска. В работе доказано, что использование регрессионного анализа динамических рядов для анализа экономических показателей возможно и может быть использовано при прогнозировании динамики экономических процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ [Текст] / Н. Дрейпер, Г. Смит ; Пер. с англ. под ред. Ю. П. Адлера, В. Г. Горского. – М. : Статистика, 1973. – 392 с.
2. Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов [Текст] / Т. Андерсон. – М. : МИР, 1976. – 756 с.
3. Болдин, М. В. Знаковый статистический анализ линейных моделей [Текст] / М. В. Болдин, Г. И. Симонова, Ю. Н. Тюрин. – М. : Наука физ.-мат. лит., 1997. – 288 с.
4. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В. Е. Гмурман. – М. : Высшая школа, 2000. – 479 с.
5. Болдин, М. В. Знаковый статистический анализ линейных моделей [Текст] / М. В. Болдин, Г. И. Симонова, Ю. Н. Тюрин. – М. : Наука : Изд. фирма «Физ.-мат. лит.», 1997. – 285 с. – ISBN 5-02-015222-6.
6. Ширяев, А. Н. Вероятность [Текст] : Учеб. пособие для вузов по спец «Математика» / А. Н. Ширяев. – М. : Наука, 1980. – 575 с.
7. Булинский, А. В. Теория случайных процессов [Текст] / А. В. Булинский, А. Н. Ширяев. – М. : Физматлит, 2005. – 408 с. – ISBN 5-9221-0335-0.

Получено 19.01.2018

Н. П. НАГОРНА

РЕГРЕСІЙНІ МОДЕЛІ ПРИ АНАЛІЗІ ЗАЛЕЖНОСТІ ТОВАРООБІГУ
ТОРГОВЕЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА ГОСПОДАРСЬКИМИ ТОВАРАМИ ВІД
ТОВАРООБІГУ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ВИРОБІВ
ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла
Туган-Барановського»

Анотація. Мета роботи – показати застосування методу регресійної моделі аналізу впливу товарообігу будівельних матеріалів на загальний товарообіг розглянутого господарського магазину. Оскільки товарообіг будівельних матеріалів та виробів залежить від багатьох факторів, які розглядаються в даній роботі як випадкові величини, то нами при дослідженні використана модель регресійного аналізу. Використовуючи властивості динамічних рядів, розглядається не тільки трендова складова динамічного ряду статистичних даних, але і тимчасова складова їх як випадкова трендова величина. Розроблено методику прогнозування економічних показників товарообігу будівельних товарів як складової частини загального товарообігу розглянутого підприємства господарських товарів. У простій моделі товарообігу групи товарів в першу чергу враховується, що його величина визначається його ціною і доходом торговельного підприємства. Насправді ж на рівень реалізації впливає також ряд інших чинників: ціни на вироби різних виробників, якість будівельних матеріалів і виробів, надійність постачальників, вплив реклами, екологічні параметри будівельних матеріалів і виробів. Зазвичай припускають, що усі фактори, не враховані явно в статистичній моделі, мають на об'єкт відносно малий результуючий вплив. Склад врахованих в моделі факторів і її структура можуть бути уточнені в ході вдосконалення моделі.

Ключові слова: будівельні матеріали та вироби, товарообіг, динамічний ряд, лінія тренда, прогнозування.

NINA NAGORNA

REGRESSION MODELS IN THE ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF TRADE
TURNOVER OF A COMMERCIAL ENTERPRISE WITH HOUSEHOLD GOODS
ON THE TURNOVER OF BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS
Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade

Abstract. The purpose of the work is to show the application of the regression model of the analysis of the effect of the turnover of building materials on the total turnover of the commercial store in question. Since the turnover of building materials and products depends on many factors that are considered in this paper as random quantities, then in this work we use a model of regression analysis. Using the properties of dynamic series, we consider not only the trend component of the dynamic series of statistical data, but also the temporal component of them as a random trend value. The methodology for forecasting economic indicators (the turnover of construction goods as a component of the total turnover of the economic enterprise under consideration) has been developed. In the simplest commodity turnover model of a group of commodities, first of all, it is taken into account that its value is determined by its price and income of a trading enterprise. implementation is also influenced by a number of other factors: the prices of products from different manufacturers, product quality, supplier reliability, the impact of advertising we, the environmental parameters of the product, etc. Usually it is assumed that all the factors that are not explicitly taken into

account in the statistical model have a relatively small net effect on the object in the aspect of interest to us. The composition of the factors considered in the model and its structure can be refined in the course of improving the model.

Key words: building materials and products, turnover, dynamic series, trend line, forecasting.

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

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

Nagorna Nina – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade. Scientific interests: development of effective technologies of processing of technogenic raw material in komponenty of composition materials.

УДК 677.021.12.017.4:539.61

Д. П. ЛОЙКО, В. Н. КИБЗУН

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

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ АДГЕЗИИ ПОЛИМЕРНЫХ
СМЕСЕЙ К ПОРИСТЫМ СТРУКТУРАМ РАЗЛИЧНОГО СТРОЕНИЯ**

Аннотация. Адгезионная прочность материалов и тканей с полимерным покрытием является одним из главных факторов, определяющих их качество. Механизм адгезии системы «ткань – полимерное покрытие» окончательно не выяснен. В процессе исследования был проведён обзор и критический анализ причин, обуславливающих адгезию полимеров к пористым субстратам различного строения. Установлено, что при выборе субстрата желательно брать ткани с высокой пористостью текстильных волокон и в качестве адгезивов и субстратов лучше использовать материалы с высокой степенью полярности. При разработке состава покрытия следует вводить в него вещества, которые усиливают межмолекулярное взаимодействие, например резорцино-формальдегидную смолу. Адгезив должен иметь определенную вязкость. При этом следует учитывать его усадку при высыхании и стойкость при растяжении или сдвиге в случае попытки отделить его от субстрата.

Ключевые слова: адгезия, полимерное покрытие, каучук, текстильные волокна, субстрат.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Анализ адгезии полимерных смесей к пористым структурам представляет частный случай адгезии к субстратам полимерной структуры. Практическое значение этого вопроса особенно велико в производстве строительных материалов и тканей специального назначения, т. е. резино-тканевых изделий и шин, нетканых клеевых текстильных материалов и во многих других аналогичных случаях, где адгезионная прочность сцепления является доминирующим фактором износостойкости системы «ткань – полимерное покрытие». В этом аспекте обзор и критический анализ выполненных работ по адгезии полимеров к субстратам полимерной природы представляет большой теоретический и практический интерес.

Наиболее обширный экспериментальный материал по адгезии связующих к волокнообразующим полимерам представлен в работах, связанных с изучением резино-кордных систем и нетканых текстильных материалов.

Первые экспериментальные данные, характеризующие влияние природы связующего и волокон на адгезию в нетканых текстильных материалах, были получены Е. Т. Устиновой, С. С. Воюцким [1], В. Б. Тихомировым [2].

Вопрос о влиянии химической природы волокон и связующих на адгезию в нетканых материалах специально изучался В. Б. Тихомировым совместно с О. И. Чупрыниной и др. [3]. В результате выполненных исследований оказалось, что при изменении химической природы связующего или волокон величина адгезии изменяется в пределах от 2 до 5 МПа в зависимости от химической природы склеиваемых волокон; их адгезия снижается по ряду: полиэфирное волокно (лавсан) > вискозное > капроновое > полипропиленовое». Что касается природы термопластичных адгезивов, то их прочность сцепления с текстильными волокнами во всех случаях снижается в ряду: полистирол > поливинилацетат > каучуковое связующее СКН-40-1 ГН. > хлорин (хлорированный поливинилхлорид). Приведенные ряды, как указывает В. Б. Тихомиров, являются условными, так как данные требуют уточнения. Однако они представляют известный теоретический интерес, и автор [3] сделал попытку объяснить полученные данные на основе известных теоретических представлений об адгезии с различных позиций.

Адгезия каучукового связующего СКН 40-1 ГП к вискозным волокнам, по мнению В. Б. Тихомирова, объясняется в первую очередь адсорбционно-молекулярным взаимодействием. Роль диффузии в этом случае, очевидно, невелика. Такие представления соответствуют взглядам В. Г. Раевского и С. С. Воюцкого [5], которые специально изучали адгезию бутадиенакрилонитрильного каучука к целлюлозному субстрату. По их мнению, диффузия молекул каучука в данном случае затруднена из-за наличия в субстрате большого количества полярных групп. Поэтому решающим они считают эффекты, связанные с межмолекулярным взаимодействием. Немалую роль играет и тот факт, что вискозное волокно имеет своеобразный макрорельеф, четко наблюдаемый на поперечных срезах. Оно имеет изрезанное поперечное сечение, что, несомненно, увеличивает площадь контакта между адгезивом и вискозным волокном, а следовательно, способствует проявлению механической адгезии. Наконец, текстильные волокна имеют еще одну особенность – пористость.

Наибольшей монолитностью обладают волокна, получаемые прядением из расплава (полиамидные и др.). Но даже и у этих волокон имеются пустоты, микротрещины и поры, вытянутые вдоль оси волокна. При мокром и сухом прядении из растворов образуются волокна с наибольшим содержанием пустот. Особенно изобилуют пустотами и порами вискозные волокна. Такие волокна можно рассматривать как мелкопористые сорбенты. В природных целлюлозных волокнах, например хлопке, объем пор составляет 35...40 % от объема волокна. Таким образом, эффект механического заклинивания играет немалую роль в повышении адгезионной прочности сцепления адгезивов и пористых субстратов. Причем адгезив не только заполняет все в промежутке между элементарными волокнами, но и затекает в углубления и неровности извитого контура вискозных волокон.

Исследования В. К. Белова и Л. А. Беловой показали, что при взаимодействии каучукового связующего СКН-40-1 ГП с целлюлозным субстратом могут возникнуть и химические связи [6]. Объясняют они это тем, что карбоксильные группы каучука химически взаимодействуют с оксигруппами целлюлозы, образуя при этом сложно-эфирные связи. Сравнительно высокую адгезию каучукового связующего СКН-40-1 ГП с полиамидными волокнами (капроном) В. Б. Тихомиров объясняет диффузией и образованием химических связей.

Особого внимания заслуживает вопрос об адгезии связующих к полиэфирному волокну (лавсану). По мнению С. Т. Устиновой, В. Г. Раевского, С. С. Воюцкого, Н. Л. Гаретовской, Н. В. Беляева и др. [1, 4, 7], адгезия бутадиенакрилонитрильного связующего к полиэфирному волокну не должна быть высокой, так как волокнообразующий полимер характеризуется высокой плотностью упаковки макромолекул и высокой кристалличностью. По экспериментальным данным этих исследователей, полученным методом расслаивания адгезия к полиэфирным волокнам действительно ниже, чем к капроновым или вискозным. Однако по данным В. Б. Тихомирова [2], адгезия к полиэфирному волокну примерно одинакова или даже несколько выше адгезии к другим волокнам.

Изменение адгезии каучуковых связующих к волокнам можно произвести путем введения в адгезив различных смол. Так, по данным С. Т. Устинова, С. С. Воюцкого, Н. Л. Гаретовской и др. [1, 4, 7], наблюдается повышение адгезии каучуковых связующих при добавлении в их состав термореактивных смол, главным образом резорцино-формальдегидных. Замена резорцино-формальдегидной смолы на меламино или мочевиноформальдегидную и даже на формальдегидную ведет к снижению адгезии.

Для увеличения адгезии каучуковых связующих к полиамидному волокну, как и в случае вискозы, применяют резорцино-формальдегиднолатексные смеси. При этом используют латексы, каучуки которых содержат функциональные группы.

Одним из важных средств повышения адгезии к текстильным волокнам является модифицирование их поверхности таким образом, чтобы создать условия для совмещения адгезива и субстрата. Одним из способов повышения адгезии резины к полиэфирному волокну является пропитка винилпиридиновым латексом в смеси с водорастворимой эпоксидной смолой. Механизм взаимодействия полиизоцианатов и эпоксидных смол к полиэфирным волокнам не установлен. Предполагают, что высокая адгезия эпоксидных смол связана с наличием в их молекулах сравнительно гибких участков, несущих на себе активные функциональные группы. Последние могут подходить к эфирным группам полиэфирного волокна и взаимодействовать с ними.

Вопросу влияния структуры и свойств текстильных субстратов на адгезионную прочность сцепления системы «ткань-полимерное покрытие» посвящено сравнительно мало работ. Однако все исследователи справедливо отмечают, что немаловажную роль в повышении адгезии системы «ткань-полимерное покрытие» играет текстильная основа, состояние ее поверхности, структура и эксплуатационные характеристики. Д. Аоки считает, что состояние поверхности является одним из

главных факторов, определяющих адгезионную прочность элементов системы. Состояние поверхности ткани зависит от многих факторов: вида использованной пряжи, длины моноволокна, характера обработки его поверхности, переплетения и др. Из всех перечисленных факторов, характеризующих физическое состояние поверхности, наибольшее влияние на величину адгезии, по мнению Д. Аоки, оказывает мшистость ткани. Автор приводит зависимость сопротивления разрыву от количества волоконцев, оставшихся в каучуке. Данные получены при испытании адгезии ткани с натуральным каучуком. В результате выполненных опытов оказалось, что чем выше мшистость тканей, тем больше величина адгезии. Далее автор наносил адгезив, основой которого является НК, на нейлоновую ткань, изготовленную из моноволокна и штапельного волокна длиной 1,5 дюйма. Опыты Аоки показали, что в обоих случаях зависимость сопротивления разрыву от количества волоконцев имеет линейный характер. Однако во втором случае эффект несколько выше. На основании этого автор делает вывод, что штапельные волокна, как имеющие большую мшистость, обладают более высокой адгезионной способностью, чем моноволокно. Поэтому он рекомендует в смеси с моноволокном вводить 20...30 % штапельного волокна. Это, по его мнению, не только увеличивает адгезионную прочность сцепления, но и прочность системы в целом.

Установлено, что лучшие результаты адгезии могут быть получены только в том случае, когда поверхность ткани однородная, без всевозможных узелков, участков масел, жира. Главенствующую роль в повышении адгезии ткани с резинами отводят мшистости текстильной основы. Считается, что наличие концов волокон в штапельной пряже является определяющим фактором в процессе соединения резины с тканью. Такое соединение более эффективно, чем проникновение резины в структуру тканей из гладких нитей.

Установлено, что адгезия полимеров, находящихся в вязкотекучем состоянии, к пористым субстратам с неровной, развитой поверхностью (тканям) связана с проникновением адгезива в микро – и макродефекты субстрата и одновременным взаимодействием на их поверхности. Таким образом, установлено, что для систем с субстратами, обладающими неровной поверхностью, и в частности для тканей, определение специфической адгезии связано с изменением истинной поверхности контакта.

Чаще всего адгезию полимеров к текстильным материалам объясняют как чисто механический процесс, процесс механического заклинивания адгезива в межволоконное пространство. Этому способствует то, что все натуральные, искусственные волокна имеют некоторую микрошероховатость, поры, микротрещины, пустоты. Некоторым волокнам, например хлопковым, присуща природная извитость, которая также усиливает прочность связи субстрата и адгезива.

Наличие в волокнах полярных групп – ОН – способствует образованию прочной связи их с покрытием. Поэтому натуральные целлюлозные волокна, содержащие в своем составе большое количество активных групп -Н-, имеют высокую степень адгезии к покрытиям. Этому способствует еще и шероховатая поверхность, а также природная извитость волокон.

Сравнительно неплохой адгезией обладают и искусственные волокна. Изрезанное поперечное сечение вязкого волокна увеличивает площадь контакта с адгезивом, а присутствие полярных групп обеспечивает возникновение водородных связей между субстратом и покрытием.

В настоящее время для увеличения в вязком волокне активных групп его подвергают предварительной обработке резорцино-формальдегидно-латексными смесями и т. д.

Механизм адгезии между синтетическими волокнами и адгезивами является более сложным. Синтетические волокна, как правило, обладают плохой адгезией, меньшей, чем даже можно было ожидать исходя из их химического строения.

Причиной малой прочности связи синтетических волокон с адгезивом является отсутствие на поверхности нитей ткани концов отдельных волокон, их гладкая поверхность, а также сравнительно малая химическая активность, т. е. недостаточное количество полярных групп.

Таким образом, рассматривая вопросы адгезии полимеров к волокнам, необходимо учитывать химическую природу адгезива и субстрата, имея в виду, что характер взаимодействия на границе раздела «адгезив-субстрат» определяет прочность связи между компонентами системы, а следовательно, и качество готовых тканей. Большое влияние на прочность сцепления ткани с резиновым покрытием оказывают такие факторы, как плотность ткани, крутка нити и другие параметры. Адгезив в этом случае внедряется между элементарными волокнами нитей (между нитями первой и второй крутки) и заполняет промежутки между ними, образуя как бы заклепки или тяжи.

Вместе с тем надо отметить, что ряд авторов не рекомендует применять для спецодежды нетканые материалы: они жестки, быстрее подвергаются наколам и подрывам.

Как уже было сказано выше, на свойства тканей специального назначения влияет также природа адгезива.

В качестве адгезива в настоящее время широкое распространение получили НК, синтетические каучуки, смола ПВХ или совмещенные системы (СКН и нитрильный каучук; СКН и ПВХ, СКН, ПВХ и СКУ-50 и т. д.). Из каучуков по защитным свойствам (устойчивость к действию масел, растворов солей, кислот, щелочей), физико-механическим и по сопротивлению старению лучшими являются бутадиен-нитрильный каучук (СКН), ПВХ смола и совмещенные системы на их основе.

Хорошая адгезия полимерного материала к субстрату в случае применения совмещенных систем СКН и ПВХ обуславливается наличием полярных нитрильных групп СКН, которые увеличивают интенсивность межмолекулярного взаимодействия с субстратом, способствуют образованию сил Ван-дер-Ваальса, а наличие двойных связей в молекулах СКН делает покрытие при определенных условиях (соответствующая температура, наличие катализатора) к тому же и химически активным. Увеличению химической активности способствует и введение в состав покрытия низкомолекулярных смол (РФЛ) с активными группами. Эти смолы на первых стадиях конденсации содержат большое количество метилольных групп, способных к взаимодействию с гидроксильными группами целлюлозы. Кроме того, РФЛ может образовать водородные связи с амидными группами полиамидных волокон.

ВЫВОДЫ

При выборе субстрата желательно использовать ткани с высокой пористостью текстильных волокон.

В качестве адгезивов и субстратов лучше использовать материалы с высокой степенью полярности. Прочные соединения дают только адгезив и субстрат, близкие по полярности. В случае применения синтетических волокон, нужно подвергать их предварительной обработке.

При разработке рецептуры покрытия в ее состав следует вводить вещества, которые усиливают межмолекулярное взаимодействие, например, резорцино-формальдегидную смолу.

Адгезив должен иметь определенную вязкость. При этом следует учитывать его усадку при высыхании и стойкость при растяжении или сдвиге в случае попытки отделить его от субстрата.

Но все эти явления не были еще подвергнуты серьезному экспериментальному изучению. И в настоящее время еще не полностью решен вопрос прочной адгезии пленки с тканью. Поэтому работа в этом направлении должна продолжаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устинова, С. Т. Адгезия латексных эластомеров к пленкам волокнообразующих полимеров [Текст] / С. Т. Устинова, С. С. Воюцкий // Известия вузов: Технология легкой промышленности. – 1965. – № 4. – С. 46–52.
2. Тихомиров, В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) [Текст] / В. Б. Тихомиров – М. : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
3. Тихомиров, В. Б. О связи между адгезией и прочностью нетканых клееных материалов [Текст] / В. Б. Тихомиров, О. И. Чупрынина, С. А. Овчинникова // Технология текстильной промышленности. – 1969. – № 5. – С. 18–23.
4. Устинова, Е. Т. Получение нетканых фильтрующих материалов путем пропитки волокнистых систем дисперсиями высокополимеров [Текст] / Е. Т. Устинова, С. С. Воюцкий // Известия вузов: Технология легкой промышленности. – 1965. – № 1. – С. 104–110.
5. Абдрахманова Л. А. Разработка способа усиления эпоксидных полимерных материалов [Текст] / Л. А. Абдрахманова, В. Г. Хозин, Н. В. Майсурадзе // Известия вузов. Строительство, 1993. – № 5. – С. 115–118.
6. Белов, В. И. Исследование тканей с несмываемым аппретом на основе карбоксидатного латекса [Текст] / В. И. Белов, Л. А. Белова // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1962. – № 2. – С. 91–96.
7. Гаретовская, Н. Л. Адгезионные составы для полиэфирного волокна [Текст] / Н. Л. Гаретовская, Н. В. Беяева // Каучук и резина. – 1965. – № 7. – С. 23–28.
8. Каблов, В. Ф. Модификация эластичных клеевых составов и покрытий элементсодержащими промоторами адгезии [Текст] : монография / В. Ф. Каблов, С. Н. Бондаренко, Н. А. Кейбал. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2010. – 238 с.

Получено 22.01.2018

Д. П. ЛОЙКО, В. М. КИБЗУН

ТЕОРЕТИЧНІ УЯВЛЕННЯ АДГЕЗІЇ ПОЛІМЕРНИХ СУМІШЕЙ З
ПОРИСТИМИ СТРУКТУРАМИ РІЗНОЇ БУДОВИ

ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського»

Анотація. Адгезійна міцність тканин з полімерним покриттям є одним з головних факторів, що визначають її якість. Механізм адгезії системи «тканина – полімерне покриття» остаточно не з'ясований. У процесі дослідження було проведено огляд і критичний аналіз причин, які обумовлюють адгезію полімерів до пористих субстратів різної будови. Встановлено, що при виборі субстрату бажано брати тканини з високою пористістю текстильних волокон, а як адгезиви і субстрати краще використовувати матеріали з високим ступенем полярності. При розробці складу покриття слід вводити в нього речовини, які підсилюють міжмолекулярну взаємодію, наприклад резорцино-формальдегідну смоли. Адгезив повинен мати певну в'язкість. При цьому слід враховувати його усадку при висиханні і стійкість при розтягуванні або зсуву в разі спроби відокремити його від субстрату.

Ключові слова: адгезія, полімерне покриття, каучук, текстильні волокна, субстрат

DMITRY LOYKO, VALENTINA KIBZUN

THEORETICAL CONCEPTS OF ADHESION POLYMER BLENDS WITH POROUS
STRUCTURES OF DIFFERENT STRUCTURE

Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade

Abstract. The adhesive strength of polymer coated fabrics is one of the main factors determining their quality. The mechanism of adhesion of the «fabric-polymer coating» system has not been finally clarified. In the course of the research, a review and a critical analysis of the reasons responsible for the adhesion of polymers to porous substrates of various structures was carried out. It was found that when choosing a substrate, it is desirable to take tissues with high porosity of textile fibers, and materials with a high degree of polarity should be used as adhesives and substrates. When developing the composition of the coating, it should be introduced into its composition substances that enhance the intermolecular interaction, for example, resorcinol-formaldehyde resin. The adhesive must have a certain viscosity. It should be taken into account its shrinkage during drying and its resistance to stretching or shearing in the event of an attempt to separate it from the substrate.

Key words: adhesion, polymer coating, rubber, textile fibers, substrate.

Лойко Дмитрий Петрович – кандидат технических наук, профессор кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: исследование потребительных свойств пластмасс, клеев и текстильных товаров.

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

Лойко Дмитро Петрович – кандидат технічних наук, професор кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського». Наукові інтереси: дослідження споживних властивостей одягово-взуттєвих товарів.

Кібзун Валентина Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського». Наукові інтереси: дослідження споживних властивостей одягово-взуттєвих товарів.

Loyko Dmitry – Ph. D. (Eng.), Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade. Scientific interests: research of consumer properties clothing – footwear products.

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

УДК: 625.878.06 (477.6)

А. В. ЗАГОРОДНЯЯ^а, А. Н. ВОЛЧКОВ^б, О. А. ПШЕНИЧНЫХ^б^а ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет», ^б ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НЕФТЯНЫХ БИТУМОВ ДОРОЖНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

Аннотация. Показано, что для обеспечения асфальтобетонных покрытий противостоять колеейности, трещинообразованию и старению нефтяные дорожные битумы необходимо модифицировать термоэластопластами, комплексными добавками содержащими термоэластопласт и техническую серу, дисперсно армировать. Комплексно-модифицированные асфальтобетоны характеризуются повышенной сдвигоустойчивостью, способностью противостоять старению и трещинообразованию, а асфальтополимерсеробетонные смеси широким интервалом уплотняемости (70–130 °С) и низкой энергией уплотняемости, в два раза ниже, чем для стандартных горячих асфальтобетонных смесей.

Ключевые слова: асфальтобетон, битумополимерные вяжущие, транспортные и климатические воздействия, модификация, долговечность асфальтобетона.

ПОСТАНОВКА НАУЧНОЙ ПРИКЛАДНОЙ ЗАДАЧИ

Комплексное воздействие, с одной стороны, динамических нагрузок, климатических факторов, агрессивных сред и низкого качества материалов, которые используются при строительстве дорог, часто приводит к преждевременным разрушениям асфальтобетонного покрытия. С другой стороны, недостаточная пропускная способность дорожных сетей непосредственно затрагивает эффективность национальной экономики. В зависимости от технической категории дорог, в нормативных документах России СНиП 2.05.02-85* «Автомобильные дороги» и Украины ДБН В.2.3-4:2007 «Автомобильные дороги», сроки между капитальным ремонтом дорожного покрытия составляют 8...12 лет [1–8].

К основным разрушениям асфальтобетонных покрытий (в регионе их протяженность составляет 90 %, а в городах 100 % от общей сети) относятся: пластические деформации в виде колеи, которые возникают при высоких положительных температурах, пересекающие усталостные трещины в покрытии, которые образуются от действия многократных повторяющихся нагрузок, в основном весной и осенью, когда земляное полотно переувлажнено; низкотемпературные поперечные трещины, возникающие в области отрицательных температур при охлаждении покрытия [6, 7].

Современная технология нефтепереработки, и в частности более глубокая переработка нефтяного сырья при производстве битумов ухудшает их эксплуатационные свойства. Качество асфальтобетонных, при прочих равных условиях, зависит от качества нефтяных дорожных битумов [4, 5].

Для того, чтобы улучшить качество вяжущих битумов в России и в Украине, следуя мировым тенденциям, применяют специальные полимерные модификаторы. Они способствуют повышению адгезии органического вяжущего к поверхности минеральных материалов, стойкости покрытия к попеременному замораживанию-оттаиванию или сдвигоустойчивости в области высоких положительных температур [8, 9].

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЯ

Главной целью модификации полимерами к битуму является понижение температурной чувствительности вяжущего, а также придание вяжущему эластичности. Если цель будет достигнута, тогда асфальтобетон с применением ПБВ, будет иметь повышенную сдвигоустойчивость, низкотемпературную трещиностойкость и усталостную долговечность.

© А. В. Загородняя, А. Н. Волчков, О. А. Пшеничных, 2018

Полимерно-битумные вяжущие получают растворением при оптимальных температурно-временных режимах совмещения полимера с битумом или же при предварительном растворении полимера в специальном растворителе (индустриальном масле, сланцевом масле, дизельном топливе и др.) с дальнейшим смешиванием с битумом. Обязательным условием получения ПБВ является совместимость обоих компонентов, что определяется способностью полимера растворяться или набухать в дисперсионной среде битума.

Приготовление битумов, модифицированных полимерами, предусматривает чаще всего повышение температуры совмещения до 150...200 °С и интенсивное перемешивание компонентов.

Разные по составу полимеры оказывают различное действие на свойства модифицированного битума. Классификация термопластов и эластомеров, используемых для модификации дорожных битумов, показана на рисунках 1 и 2 [9–12].

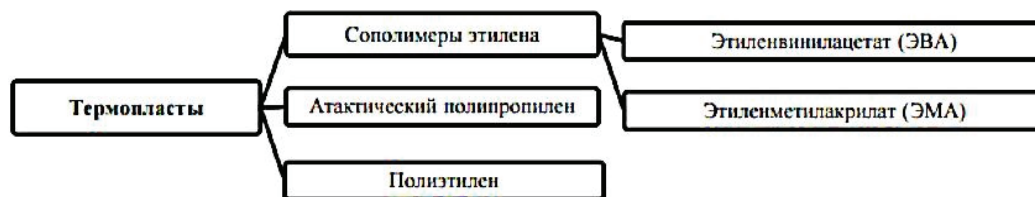


Рисунок 1 – Классификация термоэластопластов, используемых для модификации битума.



Рисунок 2 – Классификация эластомеров, применяемых для модификации битума.

С использованием комплекса современных экспериментальных методов изучены механизмы, явления и процессы, которые происходят в модифицированных системах. Известно, что модифицированные асфальтобетонные смеси отличаются повышенной уплотняемостью в пределах температур 60...130 °С (против 100...130 °С для традиционных горячих асфальтобетонных смесей); пониженной энергоемкостью уплотнения [1] модифицированных асфальтобетонов, которая в 2 раза ниже, чем для традиционных. Они характеризуются более высокой устойчивостью при технологическом старении (в 10 раз меньше) и в 3 раза долговечнее при эксплуатационном старении.

В случае, когда для традиционного асфальтобетона температура хрупкости составляет (–15) – (–17) °С (в Донбассе температура холодной однодневки –29 °С), а переход в вязкотекучее состояние 40...50 °С, то для модифицированных асфальтобетонов температура хрупкости составляет –32 °С, а переход в вязкотекучее состояние 75...80 °С. Они более морозоустойчивы, более сдвигоустойчивы и характеризуются усталостной долговечностью в 3 раза выше, чем традиционные асфальтобетоны [1].

Наиболее эффективными полимерами – модификаторами нефтяных дорожных битумов являются трехблочный полимер бутадиена и стирола стирол-бутадиен-стирол (SBS). Объемы производства БПВ с использованием SBS в странах Европы (2001 г.) составили от 1 % – Финляндия до 15 % Бельгия от 100 % используемого битума, в США – 6,5 % [1–12].

Наиболее радикальным способом повышения качества асфальтополимербетонных смесей является производство полимерно-армированных асфальтобетонов, упрочненных волокнами или нитевидными кристаллами [9]. Дисперсное армирование бетонов позволяет укрепить макро- и микроструктуру асфальтополимербетона, повысить вязкость, долговечность и усталостную прочность покрытия из литой асфальтобетонной смеси.

При растягивающих напряжениях в результате сцепления дисперсно-волокнистых частиц с органическим вяжущим и минеральными частицами асфальтобетона в последнем возникают местные поля напряжений, взаимодействие которых создает в асфальтобетоне сложное напряженное состояние, сглаживает концентрации напряжений у концов трещин, повышает сцепление частиц бетона вследствие развитой поверхности и упрочняет структуру бетона. В результате повышается предельная растяжимость асфальтобетона и процесс трещинообразования становится равномерным (изотропным) и энергоемким [9].

Сочетание в композиционном материале частиц с различными упруго-прочностными характеристиками позволяет повысить модуль упругости и предел выносливости, ударную вязкость и предел прочности при сжатии. Создание полиматричных систем или комбинированных структур – одно из оригинальных и перспективных направлений регулирования свойств композиционных материалов.

Для получения оптимальных полимерно-армированных асфальтобетонов целесообразно использовать сочетание микро- и макроармирующих частиц различных видов. Будучи соизмеримыми, по своим параметрам $d = 0,100\text{--}0,001$ мм, $\ell = 0,5\text{--}2,0$ мм с размерами зародышевых трещин и самих агрегатов, микроарматура равномерно распределяется в асфальтовяжущем, имея при этом произвольную пространственную ориентацию.

Высокие значения отношения ℓ / d до 100 и произвольная ориентация по объему позволяют микроармирующим элементам эффективно воспринимать в любом направлении растягивающие напряжения, возникающие в матрице при температурных перепадах. При охлаждении асфальтобетона, микроармирующие добавки охватывают температурные микротрещины со всех сторон, препятствуя их развитию и слиянию в макротрещины.

Практическим опытом реализации вышеприведенных положений являются литые асфальтобетоны повышенной сдвигоустойчивости, модифицированные резино- карбонатосодержащим термоэластопластом (РТЭП). РТЭП представляют собой гранулы из резиносодержащего термоэластопласта с тонкодисперсным наполнителем (карбонатом кальция и серой). При объединении РТЭП с битумом при температуре $160\text{--}170$ °С в течение 10...15 минут термопластичная составляющая РТЭП расплавляется в органическом вяжущем, а резиновая и карбонатсодержащая часть выступает в роли армирующего компонента в образующемся полимерно-битумном вяжущем. В этих условиях резиновая составляющая РТЭП набухает в битуме и совместно с наполнителем – карбонатом кальция образует дисперсную фазу, обладающую армирующими свойствами [9].

При охлаждении образуется смешанная интерполимерная структура резинополимерного вяжущего с взаимопроникающими микроструктурами из полимерной добавки и органического вяжущего. Модификация битума БНД 40/60 РТЭП (6 % по массе) расширяет интервал пластичности на 5 °С, обеспечивает полимербитумному вяжущему эластичность $\mathcal{E} = 82$ %. Предел прочности модифицированного литого асфальтобетона в сравнении с немодифицированным при 50 °С возрастает на 10...15 %, предел прочности на сдвиг при 60 °С на 10...25 %.

Одним из наиболее эффективных способов повышения качества бетонов на органических вяжущих является комплексная модификация их микроструктуры введением в нефтяной дорожный битум комплексной добавки (бутадиенметилстирольный каучук СКМС-30 (2 %) + техническая сера (30...40 %) с одновременной механоактивацией поверхности минерального порошка бутадиенметилстирольным каучуком (05 %) из раствора в низкокипящих углеводородах [1]. При оптимальной концентрации активатора (0,5 % СКМС) на поверхности минерального порошка формируется структурированный слой модификатора, приводящей к усилению межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз «модифицированное органическое вяжущее – минеральный материал».

Это приводит к тому, что асфальтополимерсеробетонные смеси с комплексно-модифицированной микроструктурой отличаются повышенной удобоукладываемостью и уплотняемостью в диапазоне температур 60...130 °С. Асфальтополимерсеробетоны отличаются широким интервалом вязкоупругого поведения в покрытии дорожной одежды (температура стеклования – минус 32,5 °С, температура перехода в вязкотекучее состояние 75 °С), повышенным сопротивлением сдвига (устойчивость по Маршаллу 23 кН). Они устойчивы к старению ($K = 1,25$), водостойчивы $K = 0,75$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационные технологии ямочного ремонта покрытий внутригородских асфальтобетонных дорог литыми асфальтополимерсеробетонными смесями [Текст] / В. И. Братчун, Д. В. Гуляк, В. Л. Беспалов, В. В. Горяинов, Р. В. Парашевин // Строительный комплекс и ЖКХ: развитие и эффективность в условиях нестабильной среды деятельности : материалы научно-практического круглого стола с международным участием, г. Макеевка, 25 нояб. 2016 г. / редкол.: Е. В. Горохов [и др.]. – Макеевка : ДонНАСА, 2016. – С. 8–10.
2. Галдина, В. Д. Модифицированные битумы [Текст] : учебное пособие / В. Д. Галдина. – Омск : СИБАДИ, 2009. – 230 с.
3. Гохман, Л. М. Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС [Текст] : учеб. пособие / Л. М. Гохман. – М. : ЗАО «ЭКОНИНФОРМ», 2004. – 584 с.
4. Производство нефтяных битумов [Текст] / А. А. Гуреев, Е. А. Чернышева, А. А. Коновалов, Ю. В. Кожевникова. – М. : РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2007. – 103 с.
5. Евдокимова, Н. Г. Разработка научно-технологических основ производства современных битумных материалов как нефтяных дисперсных систем [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук / Н. Г. Евдокимова. – Москва, 2015. – 417 с.
6. Золотарев, В. А. Оценка продолжительности жизни асфальтобетона под действием статистического нагружения [Текст] / В. А. Золотарев // Автомобільні дороги. – 2013. – № 31. – С. 25–33.
7. Золотарёв, В. А. Щебёночно-мастичный асфальтобетон – французский взгляд [Текст] / В. А. Золотарёв // Автошляховик України. – 2005. – № 6. – С. 31–32.
8. Нефтяные битумы с поверхностно-активными добавками, полученными на основе низкомолекулярного полиэтилена [Текст] / Е. О. Колышева, Н. Г. Евдокимова, Р. Н. Гайнанова, В. Ф. Нигматуллин // Наука. Технология. Производство : Тезисы докладов межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / редкол.: Евдокимова Н. Г. [и др.]. – Уфа : УГНТУ, 2012. – С. 25–27.
9. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы с добавками в дорожном строительстве [Текст] / Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (S8) ; Пер. с франц. В. А. Золотарева, инж. Л. А. Беспаловой ; под общ. ред. д. т. н. В. А. Золотарева, д. т. н. В. И. Братчуна. – Харьков : ХНАДУ, 2003. – 229 с.
10. Прогрессивные технологии капитального ремонта дорожных одежд [Текст] / В. В. Мозговой, А. Е. Мерзликин, Л. А. Мозговая [и др.] // Дорожная техника : Каталог-справочник. – Санкт-Петербург : ООО «Славутич», 2007. – С. 126–139.
11. Радовский, Б. С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв [Текст] / Б. С. Радовский // Дорожная техника : Каталог-справочник. – Санкт-Петербург : ООО «Славутич», 2007. – С. 86–99.
12. Соломенцев, А. Б. Классификация и номенклатура модифицирующих добавок для битума [Текст] / А. Б. Соломенцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 1. – С. 14–16.

Получено 25.01.2018

А. В. ЗАГОРОДНЯ ^a, О. М. ВОЛЧКОВ ^b, О. О. ПШЕНИЧНИХ ^b ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ МОДИФІКУВАННЯ НАФТОВИХ БІТУМІВ ДОРОЖНІХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

^a ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет», ^b ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Показано, що для забезпечення асфальтобетонних покриттів протистояти колійності, тріщинам і старінню нафтових дорожніх бітумів необхідно модифікувати термоеластопластами, комплексними добавками, які містять термоеластопласт і технічну сірку, дисперсно армувати. Комплексно-модифіковані асфальтобетони характеризуються підвищеною зсувостійкістю, здатністю протистояти старінню і тріщинам, а асфальтополімерсіркобетонні суміші широким інтервалом щільності (70...130 °С) і низькою енергією щільності, в два рази нижче, ніж для стандартних гарячих асфальтобетонних сумішей.

Ключові слова: асфальтобетон, бітумополімерне в'язуче, транспортні та кліматичні впливи, модифікація, довговічність асфальтобетону.

ANASTASIA ZAGORODNYAYA ^a, ALEXANDER VOLCHKOV ^a,
OLEG PSHENICHNIY ^b

THE CHARACTERISTIC OF STRUCTURE MODIFIED POLYMERIC AND
BITUMINOUS BINDER IN ASPHALT CONCRETE TAKING INTO ACCOUNT
REGIONAL FEATURES OF DONBASS

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

Abstract. It is shown that to ensure asphalt-concrete coatings to resist rutting, fissuring and aging, oil road bitumen must be modified with thermoplastic elastomers, complex additives containing thermoplastic elastomer and technical sulfur, dispersed reinforcing. Complex-modified asphalt concretes are characterized by increased shear stability, the ability to withstand aging and cracking, and asphalt-polymer-sulfur-concrete mixtures with a wide compaction interval (70–130 °C) and low compaction energy, is half that of standard hot asphalt mixtures.

Key words: asphaltic concrete, bituminopolymer binders, transport and climatic effects, modification, durability of asphalt concrete.

Загородняя Анастасия Викторовна – аспирант кафедры землеустройства, строительства автомобильных дорог и геодезии ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: исследование эффективности применения различных типов модификаторов и видов заполнителей для получения асфальтобетонных смесей и их применения для ремонта и строительства автомобильных дорог.

Волчков Александр Николаевич – старший преподаватель кафедры автоматизации и электроснабжения в строительстве ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Пшеничных Олег Александрович – магистрант 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.

Загородня Анастасія Вікторівна – аспірант кафедри землеустрою, будівництва автомобільних доріг і геодезії ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: дослідження ефективності застосування різних типів модифікаторів і видів наповнювачів для отримання асфальтобетонних сумішей і їх застосування для ремонту і будівництва автомобільних доріг.

Волчков Олександр Миколаєвич – старший викладач кафедри автоматизації і електроснабження в будівництві ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Пшеничних Олег Олександрович – магістрант 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.

Zagorodnyaya Anastasia – postgraduate student, Land Management, Road Construction and Geodesy Department, Lugansk National Agrarian University. Scientific interests: study the effectiveness of various types of modifiers and types of aggregates for asphalt mixtures and their use for the repair and construction of roads.

Volchkov Alexander – senior lectures, Electrical Technology and Automatics in Engineering Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

Pshenichniy Oleg – master's student, Highways and Air Fields Department. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

УДК 678.686

Е. Э. САМОЙЛОВА, С. В. МОИСЕЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ГРУППОВЫХ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ БИТУМА

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

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

Одним из основных условий сцепления минерального материала и вяжущего является способность вяжущего смачивать данный минеральный материал. Смачивание – это первое, что вызывает избирательную адсорбцию и хемосорбцию отдельных компонентов битума с поверхностью минеральных материалов, а также ряд других процессов на поверхности твердого тела, а именно, увеличение концентрации наиболее полярных молекул жидкости. Способность битума смачивать минеральные материалы в значительной мере определяет технологию и свойства асфальтобетона [1].

Критерием смачивания является краевой угол смачивания (θ), связанный с поверхностными свойствами битума:

$$\cos \theta = (\sigma_{\text{мв}} - \sigma_{\text{мб}}) / \sigma_{\text{бв}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{мв}}$, $\sigma_{\text{мб}}$, $\sigma_{\text{бв}}$ – поверхностное натяжение на границе «минеральный материал «(ММ) – воздух»; «ММ-битум»; «битум – воздух», соответственно.

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

$$W_K = 2 \sigma_{\text{бв}}, \quad (2)$$

$$W_A = \sigma_{\text{бв}} (1 + \cos \theta). \quad (3)$$

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

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

Цель данной работы – оценить величину поверхностного натяжения ГХК битума. Для его расчета использованы структуры ГХК, приведенные в [1, 3] (представлены на рис.).

Поверхностное натяжение мономеров масел (молекулярные массы ($M_{\text{ср}}$) от 200 до 600 а.е.м.) оценивали по формуле [2]:

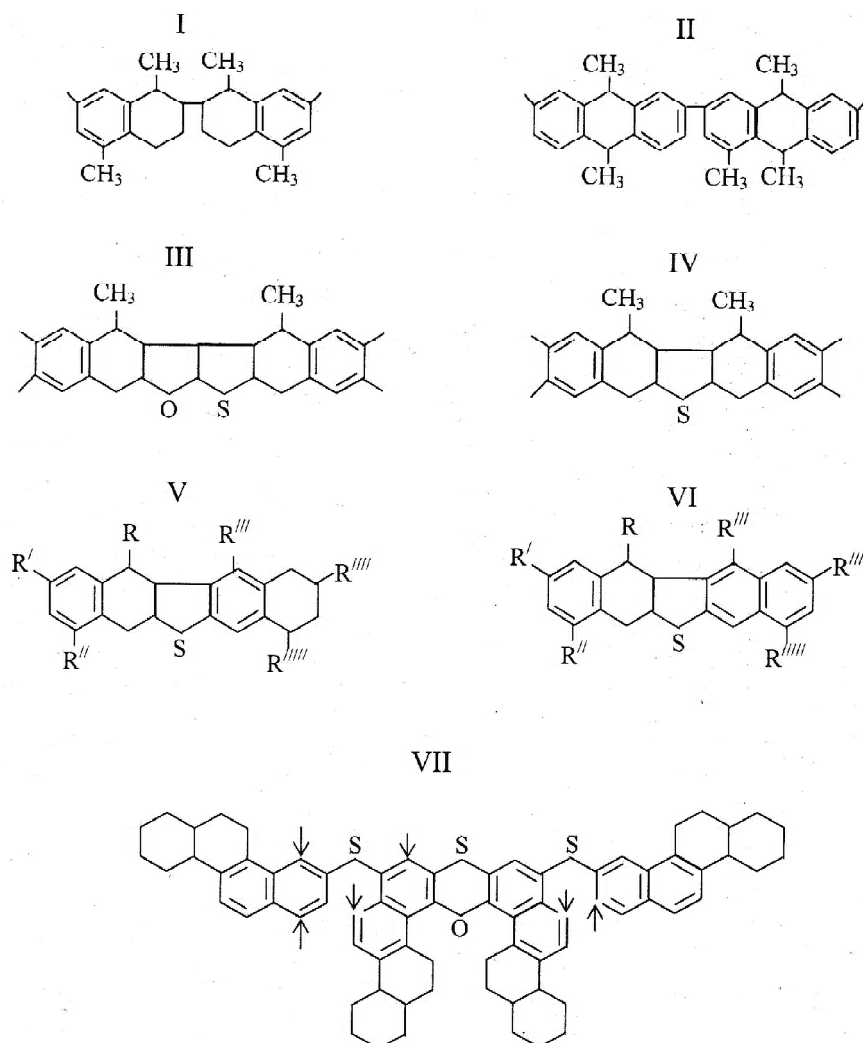


Рисунок – Звенья молекул смол и асфальтенов согласно [1, 3].

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

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

Величина ΔE^* является аддитивной:

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

где ΔE_i^* – вклад каждого атома и типа межмолекулярного взаимодействия в ΔE^* .

ΔV_i – инкременты Ван-дер-Ваальсового объема атомов. Согласно [2] коэффициенты A_j равны:

$A_y = 0,0287$ для углеводородов, сложных эфиров, альдегидов, кетонов;

$A_k = 0,0181$ для кислот и спиртов.

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

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

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

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

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

$\sum \Delta E_i^*$ и $\sum \Delta V_i$ относятся к повторяющемуся звену полимерной цепи.

Результаты расчетов также приведены в табл. 1.

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

ГХК	Структурная формула рис. 1	Эмпирическая формула	$M_{\text{ср}}$	С/Н	$\sum_i \Delta E_i^*$, кДж/моль	$\sum_i \Delta V_i$, \AA^3	$\sigma_{\text{ов}}$, мН/м расчет по формуле	
							(4) мономеры и олигомеры	(5) полимеры
М	I	$C_{24}H_{30}$	270	0,80	67,3	394,4	35,9	42,8
М	IV	$C_{22}H_{24}S$	320	0,91	87,0	415,5	35,0	56,0
М	V	$C_{25}H_{32}S$	364	0,78	70,3	412,2	36,4	42,4
М	III	$C_{24}H_{28}OS$	364	0,86	74,9	406,2	42,4	46,7
М	VI	$C_{26}H_{29}S$	373	0,89	79,6	401,4	41,9	49,4
М	II	$C_{33}H_{32}$	428	1,03	94,5	410,0	49,0	54,9
С	II–II	$C_{66}H_{69}$	855	1,03	189	820,0	49,0	54,9
С	VII	$C_{70}H_{78}S_3O$	1 030	0,89	210,7	998,9	–	50,9
С	II–II–II	$C_{99}H_{94}$	1 280	1,03	283,5	1 230,0	–	54,9
А	(I) _n	$(-C_{24}H_{28}-)$	268	0,86	67,3	394,4	–	42,8
А	(II) _n	$(-C_{33}H_{30}-)$	426	1,10	94,5	410,0	–	54,9
А	(III) _n	$(-C_{24}H_{26}OS-)$	362	0,92	74,9	406,2	–	46,7
А	(VII) _n	$(-C_{70}H_{76}S_3O-)_n$	1 028	0,92	210,7	998,9	–	50,9

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

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

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

Таким образом, чем выше содержание масел в битуме, тем меньше его $\sigma_{\text{ов}}$. Экспериментальные данные ($\sigma_{\text{ов}}$, θ), приведенные в табл. 2, что соответствует этому выводу.

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

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

ВЫВОДЫ

1. Выполнена оценка величины поверхностного натяжения групповых химических компонентов битума с использованием приемов компьютерного материаловедения.

Таблица 2 – Поверхностные свойства битумов

Показатель	БНД 40/60	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 90/130	БНД 200/300	Литературный источник
$\sigma_{\text{ов}}$ при 120 ⁰ С	33	32	31	30	28	[1, с. 151]
θ^0 при $\eta = 0,5$ Па·с						
– гранит	35	32	29	26	15	[1, с. 153]*
– мрамор	34	31	27	23	10	
W_K , МДж/м ²	66	64	62	60	56	Расчет по формуле (2)
W_A , МДж/м ²						
– гранит	60,1	59,0	58,1	57,1	55,0	Расчет по формуле (3)
– мрамор	60,5	59,5	57,6	57,6	55,6	
Сцепление с поверхностью стекла, %, не менее	32	20	17	13	-	[5]
*) Расчет по формуле (1), в предположении, что величина $\Delta\sigma$ в числителе равна таковой для БНД 200/300.						

2. Сопоставив полученные данные с величиной работы адгезии и когезии, получили представление о преимуществах битумов с высоким содержанием смол и относительно низким содержанием масел для изготовления асфальтобетонов.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів: підручник для студентів вищих навчальних закладів [Текст] / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов ; під редакцією д. т. н. В. І. Братчуна. – Макіївка : ДонНАБА ; Харків : ХНАДУ, 2013. – 338 с. – ISBN 5-7763-0351-6.
2. Аскадский, А. А. Компьютерное материаловедение полимеров, т.1. Атомно-молекулярный уровень [Текст] / А. А. Аскадский, В. И. Кондращенко. – М. : Научный мир, 1999. – 544 с.
3. Гун, Р. Б. Нефтяные битумы [Текст] / Р. Б. Гун. – М. : Химия, 1973. – 432 с.
4. Межиковский, С. М. Олигомерное состояние вещества [Текст] / С. М. Межиковский, А. Э. Аринштейн, Р. Я. Дебердеев. – М. : Наука, 2005. – 252 с.
5. ДСТУ 4044-2001. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови [Текст]. – Зі змінами № 1, 2. – Замінює ГОСТ 22245-90 ; чинний від 2002-01-01. – К. : Держстандарт України, 2001. – 15 с.

Получено 26.01.2018

О. Е. САМОЙЛОВА, С. В. МОИСЕЕНКО ОЦІНКА ВЕЛИЧИНИ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ ГРУПОВИХ ХІМІЧНИХ КОМПОНЕНТІВ БІТУМУ

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

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

Ключові слова: бітуми, групові хімічні компоненти, когезія, адгезія, крайовий кут змочування, масла, смоли, асфальтени, поверхневий натяг, комп'ютерне матеріалознавство.

ELENA SAMOYLOVA, SVETLANA MOISEYENKO
ESTIMATION OF THE SURFACE TENSION OF GROUP CHEMICAL
COMPONENTS OF BITUMEN

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Using the methods of computer material science, the value of the surface tension of group chemical components (MCC) of bitumen was estimated. The advantage of bitumen with a high tar content and a relatively low content of oils for the manufacture of asphalt-concrete from the position of providing high cohesive and adhesion properties.

Key words: bitumen, group chemical components, cohesion, adhesion, wetting contact angle, oils, resins, asphaltenes, surface tension, computer materials science.

Самойлова Елена Эдуардовна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной химии ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов.

Моисеевко Светлана Викторовна – магистрант кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов.

Самойлова Олена Едуардівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної хімії ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів.

Моїсєєнко Світлана Вікторівна – магістрант кафедри техносферної безпеки ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів.

Samoylova Elena – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Applied Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical studies of polymer composite materials.

Moiseyenko Svetlana – graduate student, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical studies of polymer composite materials.

УДК [678.686.01.046:544.022.823]:620.17

Ю. С. КОЧЕРГИН^а, Е. Э. САМОЙЛОВА^б, О. С. ПОПОВА^а^а ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», ^б ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ МОЛОТЫМ КАРБОНАТОМ КАЛЬЦИЯ

Аннотация. Исследование вязкоупругих свойств полимеров динамическим механическим методом имеет большое теоретическое и прикладное значение. Динамические механические свойства, особенно механические потери, весьма чувствительны ко всем типам температурных переходов, релаксационных процессов, структурных неоднородностей и особенностей морфологических структур многофазных систем, смесей полимеров и наполненных полимерных композиций. В широком температурном интервале исследованы динамические механические свойства композиционных материалов на основе эпоксидных полимеров, наполненных молотым карбонатом кальция, в зависимости от размеров и концентрации наполнителя, режима отверждения и воздействия водной среды. Показано, что наполнение композиции способствует повышению динамического модуля упругости и модуля потерь, а также температур, соответствующих максимальным значениям модуля потерь и тангенса угла механических потерь.

Ключевые слова: эпоксидные композиционные материалы, молотый карбонат кальция, вязкоупругие свойства, динамический механический метод, режим отверждения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Как известно [1–5], отличительной особенностью композиционных материалов на основе полимеров являются их резко выраженные вязкоупругие свойства, обуславливающие уникальный комплекс основных физико-механических характеристик. Для получения информации о вязкоупругом поведении материала необходимо иметь экспериментальные данные в широком интервале частот (или времен) и температур. Поэтому исследование вязкоупругих свойств динамическим механическим методом имеет большое теоретическое и прикладное значение [2, 5]. В частности, динамический модуль упругости, также как и модуль, измеренный любым другим методом, является весьма важным показателем деформационно-прочностных свойств полимеров. Наряду с показателем механических потерь динамический модуль упругости служит наиболее чувствительным индикатором всех форм молекулярной подвижности в полимерах, в первую очередь, в стеклообразном состоянии. Помимо чисто теоретического интереса для понимания механизмов молекулярного движения в полимерах, механические потери имеют большое практическое значение, во многом определяя другие механические свойства полимеров. Поэтому абсолютные величины показателей механических потерь, положения температур и частот, при которых наблюдаются максимумы потерь, представляют особый интерес. Высокие механические потери в полимерах и материалах на их основе могут быть как достоинством, так и недостатком. С одной стороны, потери уменьшают вибрации и препятствуют возникновению резонансных колебаний с резким нарастанием амплитуды. С другой стороны, высокие потери в общем случае служат показателем пониженной стабильности размеров, которая очень нежелательна в конструкциях, работающих длительное время под нагрузкой. Многие другие механические свойства тесно связаны с механическими потерями – это долговечность, удельная поверхностная энергия разрушения и ударная прочность, коэффициент трения, истирание и износ. Определение механических потерь может служить эффективным методом определения молекулярной массы полимеров, состава сополимеров, степени неоднородности сшивания, влияния термообработки на морфологию кристаллов в кристаллических полимерах, состава смесей полимеров и

© Ю. С. Кочергин, Е. Э. Самойлова, О. С. Попова, 2018

блок-сополимеров, степени отверждения термореактивных смол. Динамические механические свойства полимеров могут быть существенно изменены термообработкой образцов. Так, закалка аморфных полимеров в отличие от отжига обычно приводит к повышению механических потерь. Динамические механические свойства, особенно механические потери, весьма чувствительны ко всем типам температурных переходов, релаксационных процессов, структурных неоднородностей и особенностей морфологических структур многофазных систем типа частично-кристаллических полимеров, смесей полимеров и наполненных полимерных композиций.

Ранее [6] нами исследовано влияние молотого карбоната кальция, изготовленного из мрамора высокой степени чистоты и белизны, на комплекс деформационно-прочностных и адгезионных свойств эпоксидных полимеров в зависимости от марки и концентрации наполнителя, химической природы отвердителя и режима отверждения. Показано, что наполнение способствует повышению адгезионной прочности при сдвиге и отрыве, модуля упругости, прочности при сжатии и растяжении при незначительном снижении температуры стеклования и деформационной способности.

В продолжение исследований **целью настоящей статьи** явилось изучение вязкоупругих свойств эпоксидных полимерных материалов, наполненных молотым карбонатом кальция.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В качестве эпоксидного олигомера использовали промышленную диановую смолу ЭД-20 с молекулярной массой 410 и содержанием эпоксидных групп 21,4 %. В качестве наполнителей использовали изготовленные из мрамора высокой степени чистоты и белизны дисперсные частицы молотого карбоната кальция, представляющие собой следующие продукты (все производства Турции): омиакарб-5КА, нормкаль-2 и нормкаль-40. Для сравнения в составе композиций использовали также кварцевую муку. Основные свойства наполнителей приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Свойства порошковых наполнителей

Марка наполнителя	Основное вещество	Содержание основного вещества, % (масс.), не менее	Значение рН	Средний размер частиц, мкм	Твердость по Мозу	Белизна, усл. ед.
Омиакарб-5КА	CaCO ₃	98,00	9,50	6,00	3,00	93,00
Нормкаль-2		99,20	7,50	2,21	3,00	98,50
Нормкаль-40		99,20	7,50	43,00	3,00	98,50
Кварцевая мука	SiO ₂	99,70	7,00	23,00	6,50	92,50

Отверждение композиций проводили диэтилентриамином ДЭТА по двум режимам: I – 25 °С/24 ч + 50 °С/8 ч (отверждение при умеренной температуре) и II – 25 °С/24 ч + 120 °С/3 ч (отверждение с термообработкой при повышенной температуре).

Динамические механические характеристики (динамический модуль упругости E' , модуль потерь E'' и тангенс угла механических потерь $\tan \delta$) измеряли на установке ДМА 983 термоаналитического комплекса DuPont 9900 на образцах размерами 25×4×2 мм при нагреве со скоростью 10° С/мин. Модуль высокоэластичности ($E_{в.э.}$) определяли при температуре, равной $T_g + 50$ °С.

Механические свойства при одноосном растяжении (разрушающее напряжение σ_p и деформация при разрыве ϵ_p) определяли на приборе типа Поляни с жестким динамометром и автоматической регистрацией измеряемых величин [7]. Скорость деформирования составляла $3,83 \cdot 10^{-5}$ м/с.

Внутренние напряжения определяли на установке, описанной в [8], путем измерения прогиба лежащей на двух опорах упругой подложки, на которую нанесена полимерная композиция. Измерение прогибов подложек в процессе отверждения композиции и последующего снижения температуры производили катетометром КМ-6, снабженным дополнительным осветительным устройством. Величину внутренних напряжений рассчитывали по формуле:

$$\sigma_{ост} = \frac{4f_{max}E_n\delta^3}{3l^2(\delta + \Delta\delta)\Delta\delta} \quad (1)$$

где f_{max} – максимальное значение прогиба подложки;
 l – длина подложки;

δ и $\Delta\delta$ – толщина подложки и композиции соответственно;
 E_n – модуль упругости подложки.

Водопоглощение (W) определяли по изменению массы образцов после кипячения в течение 3 часов по формуле:

$$W(t) = \frac{m(t) - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где m_0 – начальная масса образца;
 $m(t)$ – масса образца после пребывания в воде в течение времени t .

Молекулярную массу участка цепи между узлами химической сетки (M_c) рассчитывали по формуле:

$$M_c = 3\rho RT / E_{B.3.}, \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная;
 T – абсолютная температура;
 ρ – плотность полимера.

Плотность узлов химической сетки (n_c) рассчитывали по формуле:

$$n_c = \frac{\rho}{M_c}, \quad (4)$$

Плотность образцов измеряли методом градиентной колонки по ГОСТ 15139-69.

Степень отверждения эпоксидного полимера определяли методом экстрагирования в ацетоне растворимой (непрореагировавшей) части эпоксидной смолы.

При анализе зависимостей $\lg \delta - T$ обращает на себя внимание (рис. 1, табл. 2) следующий экспериментальный факт. Для эпоксидных композиционных материалов, отвержденных по режиму I,

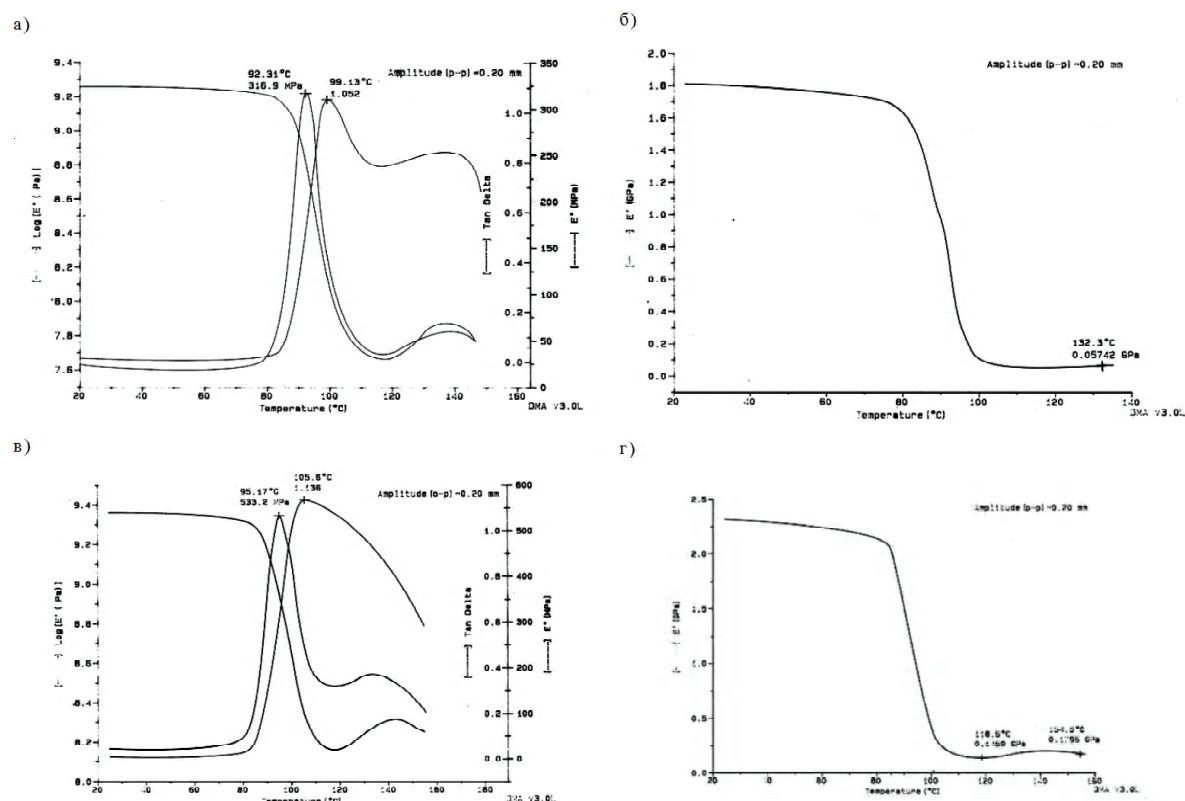


Рисунок 1 – Температурные зависимости логарифма динамического модуля упругости, модуля потерь и тангенса угла механических потерь (а, в) и динамического модуля упругости (б, г) для исходного эпоксидного полимера (а, б) и композита, содержащего 50 масс. ч. омиакарба (в, г). Образцы отверждены по режиму I.

Таблица 2 – Влияние наполнителей на динамические модули упругости E' и E'' , максимумы $\lg \delta_{\max}$ и E'' эпоксидных композиционных материалов

Наполнитель	Параметр			
	Динамический модуль упругости, E' , ГПа	Модуль высокоэластичности, $E_{в.э.}$, МПа	Максимальное значение тангенса угла механических потерь, δ_{\max}	Максимум модуля потерь, E''_m , МПа
Исходный образец ¹⁾	<u>1,86</u> ²⁾ 1,38	<u>57,42</u> 42,97	<u>1,052</u> 0,286	<u>316,9</u> 117,1
Омиакарб ³⁾	<u>2,32</u> 1,61	<u>145,2</u> 138,2	<u>1,136</u> 0,285	<u>533,2</u> 146,8
Нормкаль-2 ³⁾	<u>2,75</u> 2,13	<u>176,7</u> 95,98	<u>0,856</u> 0,335	<u>470,2</u> 220,9
Нормкаль-2 ⁴⁾	<u>3,03</u> 1,84	<u>200,1</u> 106,8	<u>1,026</u> 0,250	<u>641,1</u> 179,2
Нормкаль-40 ³⁾	<u>3,11</u> 2,37	<u>140,8</u> 134,7	<u>1,096</u> 0,360	<u>734,1</u> 245,1
Кварцевая мука ³⁾	<u>3,22</u> 2,05	<u>82,8</u> 73,04	<u>1,335</u> 0,314	<u>670,8</u> 173,1
Кварцевая мука ⁴⁾	<u>3,82</u> 2,62	<u>209,1</u> 135,6	<u>1,012</u> 0,312	<u>738,7</u> 378,4

¹⁾ 100 масс. ч. ЭД-20 + 12 масс. ч. ДЭТА.

²⁾ В числителе – отверждение по режиму I, в знаменателе – по режиму II.

³⁾ Содержание наполнителя – 50 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидного полимера.

⁴⁾ Содержание наполнителя 100 масс. ч.

после прохождения основного максимума $\lg \delta$ вначале достаточно быстро снижается, затем при температуре выше 100 °С падение $\lg \delta$ прекращается, и в диапазоне 100...160 °С наблюдается второй широкий размытый максимум, после которого $\lg \delta$ снова довольно быстро уменьшается. Такой характер поведения может быть объяснен тем, что после расстеклования эпоксидного полимера ускоряется молекулярная подвижность, которая способствует процессу доотверждения.

На взаимодействие непрореагировавших при отверждении без подогрева эпоксидных и аминных групп расходуется часть подводимой тепловой энергии, что находит свое отражение в образовании максимума с вершиной при температуре ~135 °С. Другим подтверждением реакции доотверждения является увеличение динамического модуля упругости в температурном интервале 100...135 °С (рис. 1).

Наконец, если образец предварительно был подвергнут термообработке при 120 °С, т. е. процесс доотверждения уже был завершен до начала сканирования образца, то для него на зависимости $\lg \delta - T$ этот вторичный максимум не проявляется (рис. 2).

Интенсивность первичного максимума при этом сильно снижается, а его положение существенно смещается (на ~55 °С) в сторону более высоких температур. При этом эффект наблюдается как для ненаполненного полимера, так и для композитов, содержащих наполнитель.

Высокие значения $\lg \delta_{\max}$ (табл. 2) для образцов, отвержденных по режиму I, могут быть связаны с наложением эффектов, обусловленных процессом стеклования, и конформационных перегруппировок молекул, связанных с протеканием реакции доотверждения эпоксидной матрицы в области повышенных температур, где проявляется этот максимум. Об образовании дополнительных химических сшивок в результате взаимодействия непрореагировавших при температурах ниже 120 °С эпоксидных групп смолы и аминных групп отвердителя свидетельствует максимум на температурной зависимости $\lg \delta$ (меньший по интенсивности, чем основной переход, связанный с расстеклованием эпоксидной матрицы). После прогрева при 120 °С, когда процесс доотверждения уже реализован, интенсивность данного релаксационного перехода существенно снижается.

Что касается значений динамического модуля упругости E' (табл. 2) в стеклообразном состоянии полимера, то после термообработки образцов уменьшение E' может быть связано с тем, что дополнительные химические сшивки, образующиеся в эпоксидном полимере при термообработке, препятствуют более плотной упаковке фрагментов молекулярной цепи, снижая тем самым эффективность

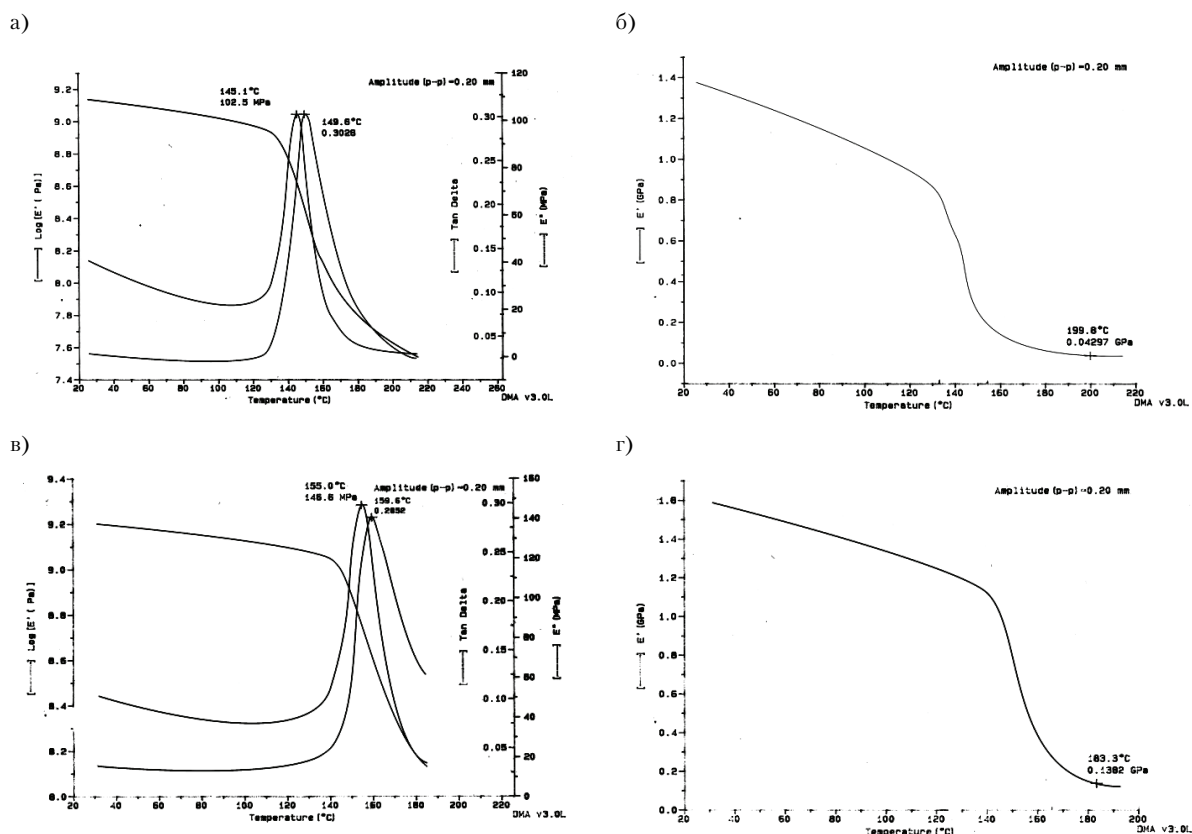


Рисунок 2 – Температурные зависимости логарифма динамического модуля упругости, модуля потерь и тангенса угла механических потерь (а, в) и динамического модуля упругости (б, г) для исходного эпоксидного полимера (а, б) и композита, содержащего 50 масс. ч. амиакарга (в, г). Образцы отверждены по режиму II.

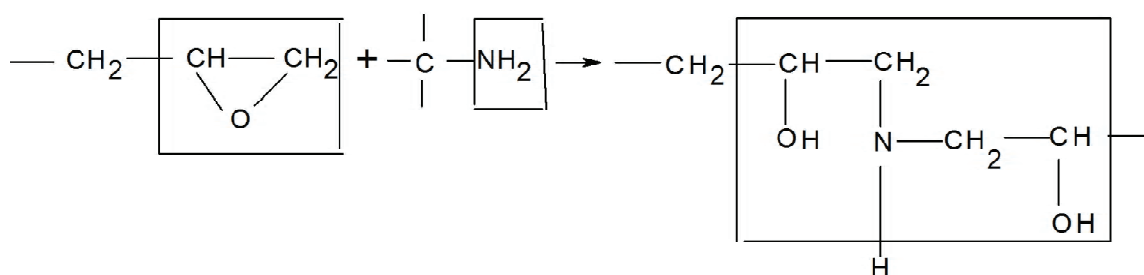
межмолекулярного взаимодействия. Подобный эффект аномальной зависимости E' от плотности узлов химической сетки (n_c) неоднократно наблюдали ранее и другие исследователи [2, 9].

Как известно [10, 11], плотность упаковки макромолекул характеризуется коэффициентом упаковки:

$$K = N_A \cdot \Delta V_i \rho / M, \quad (5)$$

где N_A – число Авогадро;
 ΔV_i – вандерваальсовский объем звена полимера;
 ρ – плотность;
 M – молекулярная масса звена полимера.

При отверждении эпоксидных смол аминными отвердителями происходит изменение вандерваальсовского объема, причем оно затрагивает только те фрагменты, которые непосредственно участвуют в реакции отверждения: Вандерваальсовский объем исходных фрагментов эпоксидной смолы и отвердителя, обведенных рамкой, составляет $82,3 \cdot 10^{-30}\text{ м}^3$. Вандерваальсовский объем



образующихся после отверждения фрагментов, выделенных рамкой, составляет $87,3 \cdot 10^{-30} \text{ м}^3$. Таким образом, процесс отверждения способствует увеличению коэффициента упаковки при прочих равных условиях.

Однако, поскольку в нашем случае речь идет о небольшом доотверждении вследствие термообработки, этим изменением вандерваальсовского объема можно пренебречь. Тогда основной вклад в коэффициент упаковки будет вносить величина молекулярной массы звена полимера, которая, согласно данным табл. 3, меняется весьма существенно. Меньшая плотность упаковки и обеспечивает большую свободу конформационных перестроек, ответственных за релаксационные процессы.

Таблица 3 – Влияние наполнителей на параметры W , M_c и n_c

Наполнитель	Параметр		
	Водопоглощение, W , %	Молекулярная масса участка цепи между узлами сшивки, M_c , кг/кмоль	Плотность узлов химической сетки, n_c , кмоль/м ³
Исходный образец ¹⁾	0,863	<u>221,3</u> ²⁾ 296,2	<u>4,88</u> ²⁾ 3,71
Омиакарб ³⁾	0,786	<u>78,14</u> 119,6	<u>14,08</u> 9,20
Нормкаль – 2 ³⁾	0,556	<u>72,31</u> 136,92	<u>15,21</u> 8,03
Нормкаль – 2 ⁴⁾	0,360	<u>55,67</u> 124,08	<u>19,76</u> 8,87
Нормкаль – 40 ³⁾	0,758	<u>142,76</u> 149,23	<u>7,71</u> 7,37
Кварцевая мука ³⁾	0,796	<u>153,50</u> 174,01	<u>7,17</u> 6,32
Кварцевая мука ⁴⁾	0,280	<u>55,5</u> 77,3	<u>21,6</u> 15,53

¹⁾ 100 масс. ч. ЭД-20 + 12 масс. ч. ДЭТА.

²⁾ В числителе – отверждение по режиму I, в знаменателе – по режиму II.

³⁾ Содержание наполнителя – 50 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидного полимера.

⁴⁾ Содержание наполнителя 100 масс. ч.

Введение наполнителей приводит к ощутимому увеличению модуля E' во всем интервале стеклообразного состояния для обоих режимов отверждения. При этом по степени влияния на величину E' наполнители располагаются в следующем ряду (в порядке возрастания):

Режим I – исходный полимер (без наполнителя) < омиакарб < нормкаль-2 < нормкаль-40 < кварцевая мука.

Режим II – исходный полимер < омиакарб < кварцевая мука < нормкаль-2 < нормкаль-40.

Как следует из данных табл. 3, M_c наполненных образцов ниже (и соответственно n_c выше) по сравнению с исходным полимером для одного и того же режима отверждения, что нетрудно понять, поскольку в знаменатель формулы для расчета M_c входит параметр $E_{в.з.}$, который закономерно растет при добавке наполнителя [12]. Так как $n_c = \rho/M_c$, то, естественно, что n_c снижается при росте M_c . Обращает на себя внимание, что M_c увеличивается, а n_c уменьшается для образцов одного и того же состава после их отверждения по режиму II по сравнению с отверждением при меньшей температуре по режиму I. Причина подобного поведения данных параметров, на наш взгляд, заключается в том, что величина $E_{в.з.}$, используемая для расчета M_c (и опосредовано n_c), измеряется при температуре $T_c + 50$ °С. Если принять за T_c среднее значение между величинами температур начального $T_c^н$ и конечного $T_c^к$ участков перехода образцов из стеклообразного в высокоэластичное состояние (табл. 4), то для образцов, отвержденных по режиму I, $T_c + 50$ °С составляет 140 °С, а именно в окрестностях этой температуры, как следует из рис. 1, наблюдается процесс доотверждения образцов. Поэтому фактически величины параметров M_c и n_c соответствуют доотвержденным образцам, то есть композитам с более высокой плотностью поперечного сшивания химической сетки. В то же время для образцов, отвержденных по режиму II, значение T_c составляет около 150 °С. А при $T_c + 50$ °С, т. е. при 200 °С, в образце уже могут проходить термодеструкционные процессы [13, 14], в результате которых разрушается часть узлов сетки химических связей. Это находит свое отражение в увеличении M_c и соответственно в уменьшении n_c (для образцов одного и того же состава).

Таблица 4 – Влияние наполнителей на температуры релаксационных переходов эпоксидного композита

Наполнитель	Параметр			
	Температура начального участка перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние, T_c^H , °C	Температура конечного участка перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние, T_c^K , °C	Температура максимального значения $\lg \delta_{\max}$, °C	Температура E''_{\max} , °C
Исходный образец ¹⁾	<u>84,2</u> ²⁾ 132,5	<u>97,1</u> 156,6	<u>99,1</u> 152,3	<u>92,3</u> 147,3
Омиакрб ³⁾	<u>85,2</u> 144,1	<u>100,7</u> 165,6	<u>105,6</u> 159,6	<u>95,3</u> 155,6
Нормкаль-2 ³⁾	<u>83,6</u> 143,0	<u>100,3</u> 164,9	<u>105,1</u> 159,7	<u>94,7</u> 154,5
Нормкаль-2 ⁴⁾	<u>75,32</u> 146,01	<u>90,4</u> 168,8	<u>93,68</u> 161,3	<u>84,3</u> 157,0
Нормкаль-40 ³⁾	<u>83,9</u> 140,9	<u>100,1</u> 164,0	<u>102,8</u> 160,4	<u>94,4</u> 154,7
Кварцевая мука ³⁾	<u>84,1</u> 141,9	<u>101,2</u> 165,8	<u>100,4</u> 162,1	<u>92,4</u> 156,5
Кварцевая мука ⁴⁾	<u>85,9</u> 143,1	<u>104,0</u> 166,2	<u>109,5</u> 170,1	<u>98,1</u> 163,1

¹⁾ 100 масс. ч. ЭД-20 + 12 масс. ч. ДЭТА.

²⁾ В числителе – отверждение по режиму I, в знаменателе – по режиму II.

³⁾ Содержание наполнителя – 50 масс. ч. на 100 масс. ч. эпоксидного полимера.

⁴⁾ Содержание наполнителя 100 масс. ч.

Представляло интерес сравнить влияние термообработки на воздухе и в горячей воде на динамические механические свойства исследуемых композиций. Видно (табл. 4), что после термообработки образцов, отвержденных по режиму I, наблюдается ощутимый рост температуры перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние, а также температур, при которых достигают максимальных значений модуль потерь E'' и тангенс угла механических потерь $\lg \delta$.

Воздействие кипящей воды (рис. 3) приводит к меньшему снижению (по сравнению с термообработкой) модуля E' в стеклообразном состоянии. Это явление может быть обусловлено образованием дополнительных водородных связей между полярными группами полимера и молекулами сорбированной воды. Вместе с тем сорбированная вода оказывает пластифицирующее действие на эпоксидный полимер, что находит свое отражение в некотором снижении температуры перехода из стеклообразного в высокоэластическое состояние и температур максимумов $\lg \delta$ и E'' .

Интересно, что при этом максимальное значение тангенса угла механических потерь и модуля потерь для образца, подвергнутого экспозиции в воде, несколько ниже, чем у термообработанного композита. Причину такого изменения данных параметров в результате термообработки и экспозиции в кипящей воде нетрудно понять, если учесть, что величина $\lg \delta$ определяется по формуле $\lg \delta = E''/E'$.

Из нее следует, что величина $\lg \delta$ будет снижаться, если уменьшается модуль потерь E'' или возрастает динамический модуль упругости.

Как видно из данных табл. 5, термообработка образцов по режиму II и их экспозиция в кипящей воде приводят к увеличению модуля потерь и $\lg \delta$ при комнатной температуре. Вероятно, это может быть связано с ростом уровня внутренних напряжений в образцах после нагрева до повышенных температур и последующим достаточно быстрым охлаждением до температуры окружающей среды. Подобная закалка образца, как отмечалось нами во введении, способствует повышению уровня механических потерь. По мере нагрева образца в ходе эксперимента происходит постепенное увеличение температуры, что приводит к релаксации внутренних напряжений. Вследствие этого наблюдается весьма ощутимое уменьшение E'' и $\lg \delta$ при повышении температуры до 100 °C (рис. 2 и 3) для образцов, отвержденных по режиму II, а также образцов, подверженных кипячению в воде. Отметим, что образцы при этом находятся в стеклообразном состоянии, поскольку их температура $T_{\text{сн}}$ выше 122 °C. Резкий рост при 100 °C значений E'' и $\lg \delta$ для образцов, отвержденных по режиму I, обусловлен тем, что они при этой температуре претерпевают переход из стеклообразного состояния в высо-

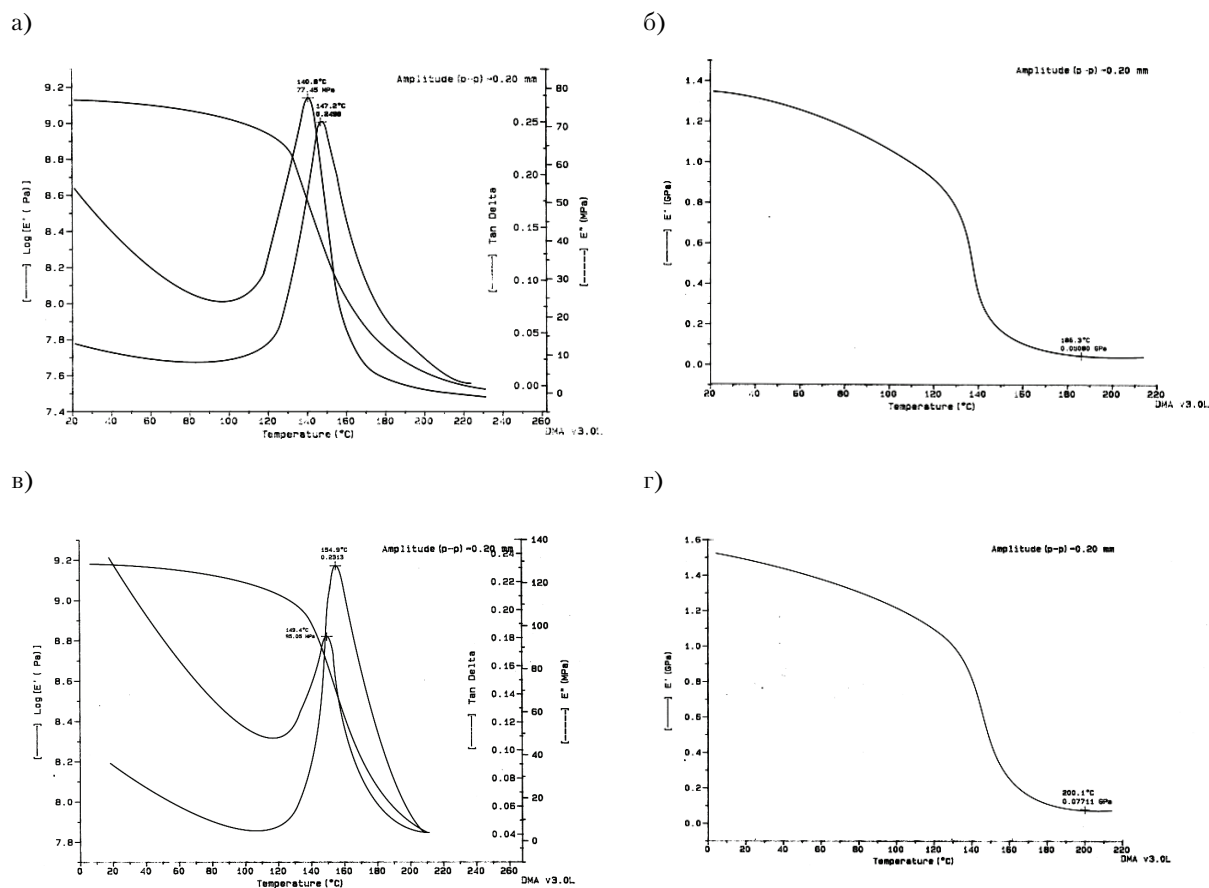


Рисунок 3 – Температурные зависимости логарифма динамического модуля упругости, модуля потерь и тангенса угла механических потерь (а, в) и динамического модуля упругости (б, г) для исходного эпоксидного полимера (а, б) и композита, содержащего 50 масс. ч. омиакарба (в, г), после их экспозиции в кипящей воде в течение трех часов.

Таблица 5 – Влияние режимов отверждения эпоксидных композиционных материалов и экспозиции в кипящей воде на их динамические механические свойства

Наполнитель		Параметр			
		E''_{25} , МПа ¹⁾	E''_{100} , МПа ¹⁾	$\text{tg } \delta_{25}$ ²⁾	$\text{tg } \delta_{100}$ ²⁾
Исходный образец ³⁾	режим I	18	115	0,003	0,28
	режим II	41	22	0,029	0,026
	кипячение	53	23	0,032	0,022
Омиакарб ⁴⁾	режим I	20	465	0,025	0,92
	режим II	50	37	0,036	0,027
	кипячение	110	51	0,072	0,044
Кварцевая мука ⁴⁾	режим I	100	244	0,060	0,61
	режим II	96	47	0,049	0,029
	кипячение	215	74	0,077	0,036

¹⁾ Модуль потерь при температуре 25 и 100 °С соответственно.

²⁾ Тангенс угла механических потерь при 25 и 100 °С соответственно.

³⁾ 100 масс. ч. ЭД-20 + 12 масс. ч. ДЭТА.

⁴⁾ содержание наполнителя 50 масс. ч.

коэластичное (для них T_g ниже 86 °С), который, как хорошо известно [2, 4, 5, 12], всегда сопровождается значительными потерями механической энергии.

Обобщая результаты исследований, приведенных в табл. 2–4, отметим, что при введении наполнителей одни параметры, определенные методом динамической механической спектроскопии, а именно модули $E'_{25^\circ\text{C}}$, $E'_{\text{в.з.}}$, $E''_{\text{в.з.}}$ существенно возрастают, а другие ($\text{tg } \delta_m$, $T_{\text{tg}\delta m}$, $T_{E'm}$, T_c^n , T_c^k) изменяются довольно мало. Температура T_c^k , хотя и несколько выше, но достаточно хорошо коррелирует с температурой максимума тангенса угла механических потерь. Величина максимума $\text{tg } \delta$ практически не изменяется при добавлении наполнителя. Хотя если бы потери были обусловлены только движением молекул полимера, то для наполненного полимера максимум $\text{tg } \delta$ должен быть меньше в соответствии с соотношением Нильсена [12]:

$$\text{tg } \delta_k \approx \text{tg } \delta_n \cdot v_n, \quad (6)$$

где k – композит (наполненный полимер);
 v_n – объемная доля полимера.

Очевидно, если в ненаполненном полимере $v_n = 1$, то в наполненном $v_n = 1 - v_n$, где v_n – объемная доля наполнителя. Как видно из табл. 2, небольшое снижение максимального значения тангенса угла механических потерь (и при этом меньшее, чем предсказывает соотношение Нильсена) наблюдается для нормкаля-2 и микробарита. Для омиакарга имеет место даже увеличение $\text{tg } \delta_m$ (значение $\text{tg } \delta_k$ в точке максимума) по сравнению с базовым образцом. Это свидетельствует о том, что в наполненном полимере происходит дополнительное рассеяние механической энергии, источником которого может быть, например, трение между частицами наполнителя или между наполнителем и полимером. При содержании молотого карбоната кальция, равном 50 мас. ч., его объемная доля составляет около 0,17. Тогда $v_n = 0,83$, а $\text{tg } \delta_k \approx 1,052 \cdot 0,83 = 0,873$, что хорошо согласуется с экспериментальным значением $\text{tg } \delta_m$ только для образца, содержащего нормкаль-2. Но при увеличении содержания и этого наполнителя до 100 масс. ч. (объемная доля 0,29) экспериментальная величина $\text{tg } \delta_m$, равная 1,026, существенно превышает расчетное значение, равное 0,746.

Экспериментальные величины динамического модуля упругости достаточно хорошо согласуются со значениями, рассчитанными по формуле:

$$E'_k = E'_n v_n + A \cdot E_n \cdot v_n, \quad (7)$$

где E'_n , E_n и E'_k – динамические модули упругости исходного полимера, наполнителя и композита соответственно;
 v_n и v_n – объемные доли полимера и наполнителя соответственно;

A – эмпирическая константа, зависящая от степени адгезии между наполнителем и матрицей.

Так, при условии $A = 0,115$ для композиции, содержащей нормкаль-2 в количестве 50 масс. ч., имеем расчетное значение $E'_k = 2,60$, а в эксперименте – 2,65 (при 25 °C). Для композиции, содержащей 100 масс.ч. нормкаля, эти величины соответственно равны 3,15 и 3,03.

Поведение динамического модуля упругости в высокоэластичном состоянии $E'_{\text{в.з.}}$, достаточно хорошо может быть описано аналитической зависимостью Гута-Смолвуда [12]:

$$E_k = E_n(1 + 2,5v_n + 14,1v_n^2), \quad (8)$$

где E_k и E_n – соответственно динамические модули упругости наполненного и исходного полимера,
 v_n – объемная доля наполнителя в полимере.

Для образцов, отверженных по режиму I при содержании наполнителя 50 и 100 мас. ч., расчет дает значения модуля $E'_{\text{в.з.}}$ 105,2 и 167,1 МПа соответственно, что достаточно хорошо согласуется с экспериментальными величинами (82,8 и 209,1 МПа для образцов, содержащих кварцевую муку).

Более высокий уровень механических потерь в образце, подвергшемся кипячению в воде, может быть объяснен спецификой действия сорбированной влаги на свойства полимерной матрицы. Прямой эксперимент по определению влияния воды на величину $\sigma_{\text{вн}}$ свидетельствуют о довольно ощутимом увеличении данного параметра (табл. 6). Одновременно возрастают когезионная прочность и деформация при разрыве. Все это позволяет предположить, что наличие в отверждающейся системе воды приводит к формированию более плотной химической сетки. Результаты измерения степени отверждения эпоксидного полимера (ЭП) подтверждают это предположение (табл. 6).

Таблица 6 – Влияние воды на механические свойства и степень отверждения ЭП, отвержденного ДЭТА

Содержание воды в полимере, масс. ч	$\sigma_{\text{вн}}$ (МПа) при температуре, °С		σ_p , МПа	ϵ_p , %	Степень отверждения ЭП, %
	20	–60			
0	3,1	6,1	30	0,9	72,7
0,5	4,1	9,3	34	1,0	78,1
1,0	5,3	11,8	37	1,1	81,7

Сложный характер влияния воды на степень превращения эпоксидных групп на уровень внутренних напряжений и деформационно-прочностные свойства может быть объяснен с учетом предложенного ранее механизма [15–17] влияния жидких сред на свойства ЭП. Его сущность состоит в предположении наложения эффектов пластификации и резкого ускорения процесса доотверждения полимера на глубоких стадиях превращения реакционноспособных групп. Авторами [15–17] высказано предположение, что сорбированная полимером жидкость ослабляет физические связи, что приводит к увеличению интенсивности молекулярного движения. Вследствие этого повышается вероятность контакта непрореагировавших реакционноспособных (эпоксидных и аминных) групп, а следовательно, и образование дополнительных химических сшивок.

ВЫВОДЫ

Проведено системное исследование динамических механических свойств эпоксидных полимеров в зависимости от химической природы, размера частиц и концентрации дисперсных наполнителей, представляющих собой молотый карбонат кальция, изготовленный из мрамора высокой степени чистоты и белизны. Показано, что при введении наполнителей модули упругости и потерь существенно возрастают. В то же время абсолютная величина максимума тангенса угла механических потерь и температура, при которой он наблюдается, при введении наполнителя изменяются довольно мало. Установлено, что температура конечного участка перехода полимера из стеклообразного в высокоэластичное состояние достаточно хорошо согласуется с температурой максимума тангенса угла механических потерь. Предположено, что в наполненном полимере происходит дополнительное рассеяние механической энергии, которое может быть связано с трением частиц наполнителя между собой и/или полимерной матрицей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ферри, Дж. Вязкоупругие свойства полимеров [Текст] / Дж. Ферри. – М. : Издательство, 1963. – 392 с.
2. Перепечко, И. И. Акустические методы исследования полимеров [Текст] / И. И. Перепечко. – М. : Химия, 1973. – 296 с.
3. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебное пособие [Текст] / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин [и др.], под ред. А. А. Берлина. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
4. Уорд, И. Механические свойства твердых полимеров [Текст] / И. Уорд ; Пер. с англ. под ред. А. Я. Малкина. – М. : Химия, 1975. – 350 с.
5. Ван Кревелен, Д. В. Свойства и химическое строение полимеров [Текст] / Д. В. Ван Кревелен ; Пер. с англ. под ред. А. Я. Малкина. – М. : Химия, 1976. – 416 с.
6. Кочергин, Ю. С. Свойства эпоксидных композиционных материалов, наполненных карбонатом кальция [Текст] / Ю. С. Кочергин, О. С. Попова, Т. И. Григоренко // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2017. – № 2. – С. 53–56.
7. Малкин, А. Я. Методы измерения механических свойств полимеров [Текст] / А. Я. Малкин, А. А. Аскадский, В. В. Коврига. – М. : Химия, 1978. – 336 с.
8. Волосков, Г. А. Установка для исследования остаточных напряжений в материалах на основе отверждающихся синтетических смол [Текст] / Г. А. Волосков, В. А. Липская // Заводская лаборатория. – 1976. – № 10. – С. 1264–1266.
9. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции [Текст] / Ю. С. Зайцев, Ю. С. Кочергин, М. К. Пактер, Р. В. Кучер. – Киев : Наук. думка, 1990. – 200 с.
10. Аскадский, А. А. Деформация полимеров [Текст] / А. А. Аскадский. – М. : Химия, 1973. – 448 с.
11. Аскадский, А. А. Химическое строение и физические свойства полимеров [Текст] / А. А. Аскадский, Ю. И. Матвеев. – М. : Химия, 1983. – 240 с.
12. Мэнсон Дж., Сперлинг Л. Полимерные смеси и композиты [Текст] / Дж. Мэнсон, Л. Сперлинг ; Пер. с англ. под ред. Ю. К. Годовского. – М. : Химия, 1979. – 440 с.
13. Ли, Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам [Текст] / Х. Ли, К. Невилл. – М. : Химия, 1973. – 416 с.

14. Химические реакции полимеров [Текст] : В 2-х томах. Т. 2 / Под ред. Е. Феттеса ; Пер. с англ. под ред. З. А. Роговина. – М. : Мир, 1967. – 403 с.
15. Ускорение процесса отверждения эпоксидных полимеров в воде на глубоких стадиях превращения [Текст] / Ю. С. Кочергин, Т. А. Кулик, Ю. С. Зайцев, А. А. Аскадский // Кинетика и механизм макромолекулярных реакций [Текст] : тезисы всесоюзного совещания 10-12 января 1984 г. / АН СССР, Науч. совет по высокомолекуляр. соединениям, Отд-ние Ин-та хим. физики. – Черногоровка (Моск. обл.) : ОИХФ АН СССР, 1984. – С. 25.
16. Механизм влияния воды на свойства эпоксиполимеров [Текст] / Ю. С. Кочергин, Т. А. Кулик, А. Ф. Прядко [и др.] // Пластические массы. – 1985. – № 11. – С. 29–31.
17. Воздействие жидких сред на свойства эпоксидно-каучуковых полимеров [Текст] / Т. А. Кулик, А. Ф. Прядко, Ю. С. Кочергин [и др.] // Пластические массы. – 1986. – № 12. – С. 19–20.

Получено 30.01.2018

Ю. С. КОЧЕРГІН ^а, О. Е. САМОЙЛОВА ^б, О. С. ПОПОВА ^а
В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ ПОЛІМЕРНИХ
МАТЕРІАЛІВ, НАПОВНЕНИХ МЕЛЕНИМ КАРБОНАТОМ КАЛЬЦІЮ

^а ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського», ^б ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Дослідження в'язкопружних властивостей полімерів динамічним механічним методом має велике теоретичне і прикладне значення. Динамічні механічні властивості, особливо механічні втрати, вельми чутливі до всіх типів температурних переходів, релаксаційних процесів, структурних неоднорідностей і особливостей морфологічних структур багатофазних систем, сумішей полімерів і наповнених полімерних композицій. У широкому температурному інтервалі досліджені динамічні механічні властивості композиційних матеріалів на основі епоксидних полімерів, наповнених меленим карбонатом кальцію залежно від розмірів і концентрації наповнювача, режиму затвердіння і впливу водного середовища. Показано, що наповнення композиції сприяє підвищенню динамічного модуля пружності і модуля втрат, а також температур, відповідних максимальним значенням модуля втрат і тангенса кута механічних втрат.

Ключові слова: епоксидні композиційні матеріали, мелений карбонат кальцію, в'язкопружні властивості, динамічний механічний метод, режим затвердіння.

YURIY KOCHERGIN ^а, ELENA SAMOYLOVA ^б, OKSANA POPOVA ^а
VISCOELASTIC PROPERTIES OF EPOXY RESIN MATERIALS FILLED WITH
GROUND CALCIUM CARBONATE

^а Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade, ^б Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The study of viscoelastic properties of polymers dynamic mechanical method is of great theoretical and practical importance. Dynamic mechanical properties, especially mechanical losses, very sensitive to all types of thermal transitions, relaxation processes, structural heterogeneities and characteristics of morphological structures of multiphase systems such as partially-crystalline polymers, mixtures of polymers and filled polymer compositions. In a wide temperature interval investigated the dynamic mechanical properties of composite materials based on epoxy polymers filled with ground calcium carbonate, depending on the size and concentration of filler, mode of curing and exposure of the aquatic environment. It is shown that the filling of the composition contributes to the increase in dynamic modulus of elasticity and modulus of losses and the temperatures corresponding to the maximum values of modulus and loss tangent of mechanical losses.

Key words: epoxy composite materials, ground calcium carbonate, viscoelastic properties, dynamic mechanical method, mode of curing.

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

Самойлова Елена Эдуардовна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной химии ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов.

Попова Оксана Сергеевна – старший преподаватель кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: модификация эпоксидных клеевых композиций, направленная на повышение их потребительских, в том числе физико-механических и адгезионных свойств. Исследование проблем развития ассортимента эпоксидных клеящих средств; инновационные подходы к оценке качества эпоксидных клеев.

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

Самойлова Олена Едуардівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної хімії ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів.

Попова Оксана Сергіївна – старший викладач кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: модифікація епоксидних клейових композицій, що спрямована на підвищення їх споживчих, у тому числі фізико-механічних і адгезійних властивостей. Дослідження проблем розвитку асортименту епоксидних клеючих засобів; іноваційні підходи до оцінки якості епоксидних клеїв.

Kochergin Yuriy – D. Sc. (Chem. Sc.), Professor, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade. Scientific interests: technology, modification, physics and mechanics of polymer composition materials.

Samoylova Elena – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Applied Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physicochemical studies of polymer composite materials

Popova Oksana – senior lecturer, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, Turgan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade. Scientific interests: modification of epoxy adhesive compositions oriented to the increase of their consuming, including physical and mechanical and adhesion properties. Development studies range of epoxy adhesive means, innovative approaches to assessing the quality of epoxy adhesives.

УДК 69.692

А. Б. ТРИНКЕР

Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation

**ОБ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
СТРОИТЕЛЬСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

Аннотация. Сеть электрических станций, как кровяная система страны, обеспечивает индустрию и жильё энергией и связью. Современные кластеры в прошлом называли НПО, а разработанные в них строительные материалы и технологии успешно применялись в десятках министерств и ведомств нашей страны и на половине земного шара.

Ключевые слова: ГОЭЛРО, научно-технический прогресс, железобетон, долговечность, всепогодность, коррозия, сейсмостойкость.

Специалисты, собранные более 60 лет назад в НПО ВНИПИ «Теплопроект» Минмонтажспец-строя СССР, создавали и внедряли новые строительные материалы и технологии бетонов для всех министерств и ведомств Советского Союза, а также для многих стран мира. ВНИПИ Теплопроект, организованный в конце 1940-х годов на базе заводов, строительно-монтажных управлений и институтов, являлся, как сегодня называют «кластер» (то есть научно-производственное объединение), который одновременно разрабатывал-исследовал-проектировал-изготавливал и издавал инструкции по применению новых строительных материалов и технологий бетонов. В результате этого время от первоначальной идеи до опытного образца было сокращено до минимума. Экономились трудозатраты и сырьё. Взаимозаменяемость учёных в цехах заводов позволяла получать высокачественные материалы и технологии, по своим параметрам не имеющие аналогов в мире. Разработанные и утверждённые «Инструкции по применению новых строительных материалов и технологий бетонов» являлись гарантией долговечности зданий и сооружений. Директор ВНИПИ «Теплопроект» к. т. н. И. А. Шишков и заведующие центральными лабораториями составляли штаб науки Минмонтажспецстроя СССР (рис. 1).

Основная тематика центральной лаборатории № 10, (заведующий лабораторией к. т. н. Б. Д. Тринкер, руководивший с 1954 года) включала обследование и изучение состояния высотных железобетонных дымовых и вентиляционных труб и разработку новых проектных решений. Выполнялись исследования, направленные на создание специальных бетонов высокой морозостойкости для башенных гиперболических градирен и особоплотных бетонов, твердеющих в условиях непосредственного соприкосновения с породой, замороженной до -50°C для бетонирования закрепного пространства калийных шахт. Проводились исследования и были разработаны основные положения теории коррозии бетона под воздействием сернистого газа. Разрабатывались способы противокоррозионной защиты и ремонта бетона стволов труб и башенных градирен, цементно-полимерные бетоны повышенной коррозионной стойкости. Большое место в исследованиях занимали вопросы управления структурой и свойствами бетонов с использованием поверхностно-активных веществ ПАВ и электролитов, не вызывающих коррозию арматуры, в том числе бетонов, предназначенных для возведения труб и других сооружений в скользящей опалубке. По договорам выполнено обследование более 200 железобетонных высотных труб и даны рекомендации по их ремонту или восстановлению.

В результате выполненных работ были разработаны общесоюзные и ведомственные нормативные документы по производству бетонных работ при возведении дымовых железобетонных труб,



Рисунок 1 – Штаб науки, единомышленники ВНИПИ «Теплопроект» Минмонтажспецстроя СССР: директор к. т. н. И. А. Шишков, зав. лабораторией теплотехники д. т. н. И. Б. Заседателев, зав. лабораторией высотных и специальных сооружений к. т. н. Б. Д. Тринкер, зав. лабораторией жаростойких конструкций к. т. н. И. И. Шахов (справа налево) 1977 год.

башенных гиперболических градирен, калийных шахт, тяжёлых морских причалов, по противокоррозионной защите специальных сооружений в высокоагрессивных средах, обеспечению жаростойкости, сейсмоустойчивости и других свойств. Разработаны ведомственные нормативные документы по приготовлению и применению торкрет-масс для тепловой изоляции, а также огнезащитных штукатурок и жаростойких растворов.

Серьёзной работой являлось обобщение результатов исследовательских работ и опыта строительства железобетонной опоры (высотой 385,6 м) телевизионной башни в Останкино. При строительстве этого уникального сооружения были предъявлены специальные требования к качеству цемента и заполнителей бетона. Лабораторией № 10 выполнялся жёсткий постадийный активный контроль за соблюдением всех технических требований при возведении башни. Были получены новые данные о влиянии: вещественного состава цемента (щелочей, окиси железа) и структуры минералов (алита и белита) на свойства бетонных смесей и затвердевшего бетона; водо-цементного отношения (В/Ц) на прочность и долговечность бетона. Прочность бетона Останкинской телебашни со временем нарастала непрерывно, при проектной марке бетона М400 (1963 год), через 5 лет испытания бетона на прочность на отметке 85 метров показали результат М650. В результате Б. Д. Тринкер получил «Вечный Бетон».

В соответствии с разработанными лабораторией № 10 требованиями к бетону и его свойствам ежегодно трест Спецжелезобетонстрой Минмонтажспецстроя СССР и В. О. Гидроспецстрой Минэнерго СССР возводили более 65 железобетонных промышленных труб высотой от 150 до 330 м. В XX веке построено более 80 труб высотой 320...330 метров новых конструкций с противодавлением в вентилируемом зазоре между стволом и футеровкой, разработанных в лаб. № 5 и № 10, и отделом проектирования промышленных труб института. На Углегорской, Запорожской, Рязанской ГРЭС в 1970–1974 г.г. построены дымовые трубы высотой 320 м новой конструкции. Исследование, проектирование и подбор составов бетона для всех дымовых труб были выполнены в лаб. № 10 под руководством Б. Д. Тринкера.

С применением полимерцементного лёгкого бетона ПЦБ впервые построена дымовая труба № 2 высотой 330 м на Экибастузской ГРЭС-1 в 1980 г (рис. 2) и самая высокая в мире труба высотой 420 м на Экибастузской ГРЭС-2 в 1985 г.

Серию дымовых труб высотой 330 м с кремнебетонными стволами при авторском надзоре лаб. № 10 было осуществлено на Киришской ГРЭС, Зуевской ГРЭС-2, Ново-Ангренской ГРЭС, труба № 1 на Экибастузской ГРЭС-1, на Азербайджанской ГРЭС в 1977-1983 г.г. Уникальные трубы новой конструкции с полимерсиликатным ПСБ внутренним стволом, для эксплуатации в сверхвысокой агрессивной среде были построены на Сибирских ГРЭС (рис. 2, 6а, 6б). По инструктивным документам, разработанным в лаб. № 5 и № 10, построены стволы Березниковского, Соликамского и Селигерского калийных комбинатов и тяжёлый морской причал в Баренцевом море.



Рисунок 2 – Самые высокие в Азии дымовые трубы по 330 метров, Экибастузская ГРЭС № 1, мощностью 4 млн квт., 1979 год.

При технической помощи сотрудников лаб. № 10 построены первые в СССР конические железобетонные дымовые трубы высотой 180 и 250 м в скользящей опалубке на ТЭЦ-25, ТЭЦ-26, ТЭЦ-23 и гиперболические градирни высотой 90 м на Московских ТЭЦ-21, -22, -23, -24, -25, -26, на Ленинградских ТЭЦ, Киевской ТЭЦ-6, Гомельской ТЭЦ (рис. 2, 3, 4) впервые в СССР: в скользящей опалубке, с суперпластификаторами ЛТМ и с использованием бетононасосов, на Ровенской АЭС (рис. 3) и Ново-Ангренской ГРЭС возведены уникальные самые мощные в мире градирни высотой и диаметром по 150 м (гиперболические параболлоиды) (рис. 5).

Все высотные сооружения возведены из бетона с суперпластификатором ЛТМ, полученным в лаб. № 10 (первое в мире ПАВ-лигносульфонаты – ССБ, сульфитно-спиртовая барда, созданы в 1948 году Б. Д. Тринкером), чтобы применить литьевую-безвибрационную технологию, одновременно получить сверхпрочный и сверхдолговечный бетон и одновременно обеспечить экологическую безопасность. В лаб. № 10 запроектирован и подобран состав бетона для возведения памятника В. И. Ленину в г. Волгограде, разработаны методы реставрации и под руководством руководителя лаборатории осуществлена работа на главном монументе «Родина-мать» памятника-ансамбля героям Сталинградской битвы на Мамаевом кургане в г. Сталинграде в 1969–1971 гг., и на 3 000-кубовых фундаментах цехов метанола на Новгородском химкомбинате «СОЮЗАЗОТ», которые испытывали пульсирующие под давлением 200 МПа нагрузки, в 1982–1983 годах. За время работы в институте «Теплопроект» сотрудники лаборатории № 10 получили 35 авторских свидетельств на изобретения, защитили пять кандидатских диссертаций, опубликовали более 350 статей и три книги по профилю работ института.

Наглядные примеры показывают значительную экономическую эффективность, полученную в результате производственного применения научно-технических разработок «Теплопроекта», например, при возведении впервые в мире в 1984 году дымовой трубы высотой 250 метров ТЭЦ Metallургического комбината «Азовсталь» в городе Жданов (теперь Мариуполь) из кислотожаростойкого лёгкого всепогодного полимерсиликатного бетона ПСБ. При расходе бетона 10 тысяч кубометров получен экономический эффект – прибыль 1 миллион рублей (в ценах 1984 года) за счёт:

- 1) сокращённой по-времени новой технологии, то есть одновременного совмещённого монтажа-бетонирования наружного и внутреннего стволов трубы;
- 2) применения кислото и жаростойкого лёгкого полимерсиликатбетона ПСБ, эксплуатация которого с 1984 года показала высочайшую гарантированную долговечность и стойкость;
- 3) отсутствия затрат на ремонт и восстановление;
- 4) отсутствия затрат на сохранение экологии окружающей среды;

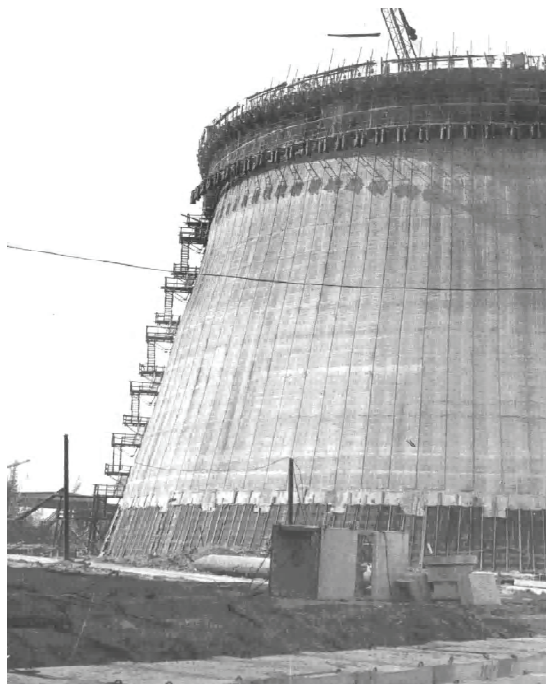


Рисунок 3 – Ковейерная технология, монолитная без рабочих швов бетонирования тонкостенная особо долговечная железобетонная градирня высотой 90 метров на ТЭЦ-25 МОСЭНЕРГО, возведённая в скользящей опалубке с применением бетононасоса и с суперпластификатором ЛТМ, рассчитанная на 100 лет работы в экстремальных, всепогодных температурно-влажностных условиях, при температурах: внутри водяной конденсат плюс 40–60 градусов, снаружи по погоде от минус 40 до плюс 40, 1977 год. Проект: Б. Д. Тринкер зав. лабораторией № 10 ВНИПИ «Теплопроект» Минмонтажспецстроя СССР. Строительство: главный технолог В. О. Гидроспецстрой Минэнерго СССР А. Б. Тринкер. Потом В. О. Гидроспецстрой построил типовые 90-метровые градирни на Московских ТЭЦ-21, –22, – 23, – 25, – 26, в Ленинграде, Минске и Гомеле (Белоруссия), в Киеве ТЭЦ-6 (Украина), в Риге (Латвия) и т. д.



Рисунок 4 – На палубе скользящей опалубки градирни ТЭЦ-25 Мосэнерго (Очаково), справа главный технолог А. Б. Тринкер, слева директор станции, 1977 год.



Рисунок 5 – НАЧАЛО «СВЕРХ-ВЫСОТЫ»: градирни высотой 150 метров Ровенской АЭС, бывший гор. Кузнецовск, Западная Украина, первые «СВЕРХВЫСОТНЫЕ» и «САМЫЕ ПЕРВЫЕ» в СССР, градирня – гиперболический параболоид, 1977 год. Всепогодное круглогодичное строительство огромных 150-метровых осободолговечных башенных железобетонных градирен с применением лигносуфоалюминатов ЛТМ. Это ещё одно доказательство отечественных высших научно-технических достижений XX века. Потом возводили такие-же градирни на Ново-Ангренской ГРЭС в Узбекистане. Проект: Б. Д. Тринкер. Автор бетона: А. Б. Тринкер.

5) поликлиматических возможностей возведения.

Впервые в истории мирового строительства были получены лёгкие всепогодные бетоны на керамзитовом гравии, имеющие высокие теплозащитные свойства и одновременно обладающие кислото- и щелочестойкостью, а также, как показал четверть вековой опыт эксплуатации, высокую долговечную термостойкость до 400 °С. Появилась возможность: во-первых, круглогодично строить тепловые и атомные электростанции, химические предприятия в зимних условиях при температуре минус 50 °С на вечной мерзлоте (табл. 1, 2) (рис. 6 а, б – Сургутские и Берёзовская ГРЭС высококачественно возведённые на вечной мерзлоте из High Performance Concrete), во-вторых, обеспечить надёжную долговечную теплоизоляцию зданий для Крайнего Севера и Дальнего Востока.

Таблица 1 – Климат Сургута

Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Абсолютный максимум, °С	2,7	6,5	11	23	31,8	33,5	36,3	30,3	29,8	20,7	8,2	2,5	36,3
Средний максимум, °С	16,3	14,2	4,8	1,6	10,6	18,9	22,4	18,2	10,8	2,5	8,3	14,2	2,5
Средняя температура, °С	20	18,3	9,3	2,9	5,8	14,4	18,2	14,4	7,4	0,2	11,5	18	1,7
Средний минимум, °С	23,4	22	13,6	7,1	1,7	10,1	14	10,8	4,6	2,6	14,6	21,7	5,3
Абсолютный минимум, °С	54,2	55,2	48,7	39,7	22	6,7	0,1	3,7	10,5	30,7	46,9	55	55,2
Норма осадков, мм	25	22	28	25	58	57	76	69	85	55	39	32	580

Таблица 2 – Климат Красноярского края

Месяц, декада	Ноя I	Ноя II	Ноя III	Дек I	Дек II	Дек III	Янв I	Янв II	Янв III	Фев I	Фев II	Фев III	Мар I	Мар II
Абс. максимум, °С	13,6	12,7	12,1	8,6	7,1	6,5	6,0	4,4	6,0	6,2	7,9	8,5	12,3	13,7
Ср. тем-ра, °С	-13,6	-18,3	-22,7	-25,6	-27,3	-28,4	-28,9	-28,8	-28,4	-27,3	-25,6	-22,3	-18,6	-14,3
Абс. минимум, °С	30,7	38,0	42,3	44,1	47,0	45,9	52,8	49,2	45,4	41,6	39,8	39,3	38,7	35,2



а)



б)

Рисунок 6 – Тепловые и атомные электростанции на вечной мерзлоте: а) Сургутские ГРЭС № 1 и № 2 (слева), крупнейшие электрические станции России, 1985 г.; б) Берёзовская ГРЭС, уникальная дымовая труба высотой 370 метров, 1985 год.

Учитывая запросы энергетиков и для расширения области применения были сконструированы для малых энергетических установок отдалённых районов Севера сборные мобильные железобетонные дымовые трубы высотой 30, 45, 60 метров, причём для эксплуатации в среде высокоагрессивных дымовых газов (топливом служит сернистый мазут, (содержание серы 3...5 %), применяется лёгкий полимерсиликатный бетон ПСБ, для среднеагрессивных дымовых газов (топливом служит бурый уголь, содержание серы 0,5...1,0 %) применяется лёгкий полимерцементный бетон ПЦБ.

Технология применения и материалы-композиты были разработаны Центральной лабораторией высотных и специальных сооружений и конструкций № 10 ВНИПИ «Теплопроект». Сборные мобильные дымовые трубы высотой 30, 45 и 60 метров из ПСБ, предназначенные для отдалённых районов, быстромонтируемые в любых климатических условиях при температуре от минус 50 °С до плюс 50 °С и на вечной мерзлоте стали этапом научно-технического прогресса нашей страны. Авторский коллектив ВНИПИ «Теплопроект» за разработку и внедрение сборных дымовых труб был награждён в 1991 году премией Совета Министров СССР.

К настоящему времени в эксплуатации находится более 50 дымовых труб ПЦБ (в том числе: самая высокая в мире 420-метровая на Экибастузской ГРЭС № 2, построенная в 1986 году; дымовая труба № 2 на Экибастузской ГРЭС № 1 высотой 330 м, построенная в 1980 году; дымовая труба высотой 370 м Берёзовской ГРЭС, построенная в 1985 году, и другие высотки) и 10 дымовых труб из лёгкого ПСБ (в том числе высотой 330 метров на Омской ТЭЦ № 5). Для возведения одной дымовой трубы высотой от 250 до 420 метров расходуется от 10 до 20 тысяч кубометров бетонной смеси, нетрудно подсчитать общий объём: ПЦБ – приблизительно 600 000 м³, и ПСБ – 120 000 м³ за период с 1984 года

по настоящее время. Кроме этого, были изготовлены десятки мобильных сборных труб ПЦБ высотой 30, 45, 60 метров для котельных и ТЭЦ в отдалённых районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, также ПЦБ и ПСБ применялись в цехах химических и металлургических комбинатов.

До сих пор данная технология вне конкуренции во всём мире!

Перечислим разработки Центральной лаборатории № 10 ВНИПИ «Теплопроект» которые успешно применялись разными министерствами нашей страны:

1. Минэнерго СССР:

- технология строительства монолитных железобетонных градирен высотой 55 метров в переставной опалубке – применение комплексных воздухововлекающих поликлиматических химических добавок (ЛТМ) для повышения долговечности бетона эксплуатируемого в жёстких климатических условиях, 1960-е годы;

- технология строительства монолитных железобетонных градирен высотой 90 метров в скользящей опалубке для Московских ТЭЦ -21, -22, -23, -25, -26 с 1975 года, с применением комплексных универсальных модификаторов – поверхностно-активных ПАВ и электролитов, которые являются ингибиторами коррозии и повышают долговечность бетона;

- технология строительства монолитных высокопроизводительных градирен высотой 150 метров для Ровенской АЭС (Украина) и Ново-Ангренской ГРЭС (Узбекистан);

- технология единой системы возведения монолитных высотных сооружений круглогодичного строительства от плюс 50 °С до минус 50 °С, включающей применение скользящей опалубки, бетононасосов, суперпластификаторов ЛТМ, полимерных плёночных покрытий, защищающих свежеуложенный бетон от высыхания,

- технология применения термоактивных подвесных покрытий ТАПП для непрерывного зимнего бетонирования высотных сооружений, в содружестве с лабораторией № 5, заведующий лабораторией д. т. н. И. Б. Заседателей.

Минэнерго СССР применял разработки ВНИПИ «Теплопроекта» при строительстве АЭС Козлодуй в Болгарии, ТЭЦ во Вьетнаме и в Улан-Баторе (Монголия), АЭС на Кубе, ГЭС «Хоабинь» во Вьетнаме.

2. Минхимпром СССР:

- методика ремонта нагнетанием для 3 000-кубометровых фундаментов под плунжерные насосы цеха метанола, развивающие циклические знакопеременные нагрузки, на химическом комбинате «Союзазот» в Новгороде, 1975–1980 годы;

- технология поточного строительства и ремонта грануляционных башен высотой 180 метров нитроаммофоски НРК на химическом комбинате «Акрон» («Союзазот») в Новгороде, 1980–1983 годы;

- технология ПСБ и ПЦБ для получения химически стойких бетонов.

Минхимпром СССР применял разработки ВНИПИ «Теплопроекта» при строительстве химического комбината на Кубе.

3. Главмоспромстройматериалы Мосгорисполкома:

- методика многофункциональных наносуперпластификаторов ЛТМ для получения литевой (безвибрационной) технологии самоуплотнения бетонной смеси, экономии цемента, повышения качества и долговечности бетона, одновременно утилизируются многотоннажные отходы производств химической и целлюлозно-бумажной промышленности, что улучшает экологию окружающей среды. Практическое применение осуществлено на заводе ЖБИ № 17 при производстве сборных ж. б. свай длиной от 4 до 20 метров, дорожных плит, блоков. Годовой объём внедрения составил 160 тысяч кубометров. В 1987 году коллектив завода и главка за внедрение ЛТМ награждён Премией Совета Министров СССР;

4. Главмосстрой Мосгорисполкома:

- технология суперпластификатора ЛТМ на Московском ДСК № 1:

- 1) Краснопресненский завод ЖБК с 1987 года внедрил в объёме 600 тыс. м³ бетона в год по конвейерной технологии, изготовив наружные стеновые трёхслойные панели, кровельные панели, блоки, и 150 тысяч м³ в год товарного бетона – поликлиматический-супер ЛТМ.

- 2) Тушинский завод ЖБК с 1988 года внедрил в полном объёме по кассетной технологии 220 тыс. м³ в год при производстве панелей перекрытий.

5. 1-й Строительно-монтажный трест Минсредмаш СССР:

- нанотехнология многокомпонентного повышения качества сборных железобетонных изделий методом одновременного применения:

- 1) высокофункционального наносуперпластификатора ЛТМ, разработанного к. т. н. Б. Д. Тринкером, и смазки для металлических форм, изготавливаемых в роторно-пульсационном аппарате РПА,

который гомогенизирует ЛТМ и смазку, измельчая до размеров молекул и в результате впервые в Москве была внедрена универсальная нанотехнология! РПА был разработан в 1970-х годах тоже отечественными учёными.

Успешным итогом комплексного применения нанотехнологии смазки и суперпластификатора ЛТМ : во всех железобетонных изделиях завода ЖБИ Минсредмаша СССР в Лихоборах с 1987 года отсутствовали раковины, каверны и трещины, одновременно получена значительная экономия цемента, электроэнергии и трудозатрат. Завод ЖБИ в Лихоборах изготавливал в трёх цехах по агрегатно-поточной технологии более 350 разных видов изделий для жилищного, промышленного и специального строительства.

Эффективные строительные материалы и технологии бетонов из отечественного сырья, разработанные в НПО ВНИПИ «Теплопроект» Минмонтажспецстроя СССР в 1950-1980 годы, это огромное практическое богатство-наследие для современных строителей России XXI века.

ВЫВОДЫ

Впервые в истории науки и техники в 1950–1980 годах во всесоюзном научно-исследовательском центре ВНИПИ «Теплопроект» Минмонтажспецстроя СССР учёные практически успешно доказали: железобетон является самым долговечным, всепогодным и сейсмостойким строительным материалом, из которого создают архитектурные шедевры, при условии квалифицированного управления структурой и свойствами на стадии проектирования. Отечественная наука в XXI веке должна продолжить производственное творчество «Теплопроекта».

Цитата из доклада: «Веру в будущее мы найдём в величии нашего прошлого» – так нас учили.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тринкер, Б. Д. Защита от коррозии железобетонных вентиляционных и дымовых труб, работающих в условиях агрессивных газов [Текст] / Б. Д. Тринкер, В. П. Плутенко ; М-во строительства РСФСР. Техн. упр. Науч.-исслед. ин-т по строительству. – Москва : ЦБТИ, 1959. – 40 с.
2. Тринкер, Б. Д. Долговечность промышленных железобетонных труб [Текст] / Б. Д. Тринкер // Специальные работы в промышленном строительстве. – 1961. – № 4. – С. 50–60.
3. Тринкер, Б. Д. Повышение долговечности дымовых железобетонных труб [Текст] / Б. Д. Тринкер // Промышленное строительство. – 1966. – № 11. – С. 37–39.
4. Тринкер, Б. Д. Исследование прочности сцепления, морозостойкости и водопроницаемости бетона с рабочими швами бетонирования [Текст] / Б. Д. Тринкер // Гидротехническое строительство. – 1967. – № 9. – С. 22–28.
5. Тринкер, Б. Д. Основные положения для выбора материалов и составов бетона для специальных высотных сооружений [Текст] / Б. Д. Тринкер // Специальные бетоны и сооружения / Науч. ред. Б. Д. Тринкер. – Москва : [б. и.], 1976. – С. 3–14. – (Сборник трудов / М-во монтажных и спец. строит. работ СССР. Главтепломонтаж. Всесоюз. науч.-исслед. и проект. ин-т «Теплопроект»; Вып. 41).
6. Тринкер, Б. Д. Вопросы проектирования и строительства монолитных дымовых труб [Текст] / Б. Д. Тринкер // Бетоны для специальных сооружений : Сборник трудов / НПО «Тепломонтаж», Всесоюз. н.-и. и проект. ин-т «Теплопроект»; [Гл. ред. И. К. Энно]. – М. : ВНИПИТеплопроект, 1988. – С. 3–15.
7. Тринкер, А. Б. Бетонные работы при строительстве высотных дымовых труб в скользящей опалубке [Текст] / Б. Д. Тринкер // Специальные строительные работы. – 1980. – № 4. – С. 3–6.
8. Тринкер, А. Б. Бетонирование монолитных железобетонных градиен в скользящей опалубке [Текст] / Б. Д. Тринкер // Специальные строительные работы. – 1980. – № 7. – С. 4–7.
9. Тринкер, А. Б. Строительство железобетонных высотных сооружений в скользящей опалубке [Текст] / Б. Д. Тринкер // Энергетическое строительство. – 1981. – № 1. – С. 30–33.
10. Тринкер, А. Б. Применение непрерывной системы бетонирования при возведении специальных высотных сооружений [Текст] / Б. Д. Тринкер // Специальные строительные работы. – 1982. – № 9. – С. 5–8.
11. Тринкер, А. Б. Применение суперпластификаторов для приготовления бетона специальных высотных сооружений возводимых в скользящей опалубке [Текст] / Б. Д. Тринкер // Строительство тепловых электростанций. – 1982. – № 10. – С. 6–9.
12. Тринкер, А. Б. Опыт применения суперпластификаторов [Текст] / Б. Д. Тринкер // Строительство атомных электростанций. – 1983. – № 2. – С. 14–17.
13. Тринкер, А. Б. Опыт возведения высотных дымовых труб в зимних условиях с применением скользящей опалубки [Текст] / Б. Д. Тринкер // Строительство тепловых электростанций. – 1983. – № 10. – С. 1–7.
14. Тринкер, А. Б. Применение единой системы скоростного бетонирования высотных дымовых труб [Текст] / Б. Д. Тринкер // Современные проблемы разработки, проектирования, возведения и эксплуатации монолитных железобетонных труб : доклады всесоюзной конференции / Главтепломонтаж ММСС СССР. – М. : ВНИПИТеплопроект, 1983. – С. 22–25.

15. Тринкер, А. Б. Надёжность и долговечность высотных сооружений из монолитного железобетона [Текст] / Б. Д. Тринкер // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 1992. – № 11. – С. 19–22.

Получено 31.01.2018

А. Б. ТРИНКЕР

ПРО ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ТА БУДІВНИЦТВА
ЕНЕРГЕТИЧНИХ СПОРУД

Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation

Анотація. Мережа електричних станцій, як кров'яна система країни, забезпечує індустрію і житло енергією і зв'язком. Сучасні кластери в минулому називали НПО, а розроблені в них будівельні матеріали і технології успішно застосовувалися в десятках міністерств і відомств нашої країни і на половині земної кулі.

Ключові слова: ГОЕЛРО, науково-технічний прогрес, залізобетон, довговічність, всепогодність, корозія, сейсмостійкість.

ALEXANDER TRINKER

ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION
OF POWER STRUCTURES

Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation

Abstract. The network of power plants as the blood system of the country, provides the industry and housing with energy and communication. Modern clusters in the past called NGO, and the construction materials developed in them and technologies were successfully applied in tens of the ministries and departments of our country and on a half of the globe.

Key words: GOELRO, scientific and technical progress, reinforced concrete, durability, all-weather capability, corrosion, seismic stability.

Тринкер Александр Борисович – доктор технических наук, Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation. Научные интересы: технология строительства, защита от коррозии, сверхпрочный и сверхдолговечный бетон, композиты, нанотехнологии.

Трінкер Олександр Борисович – доктор технічних наук, Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation. Наукові інтереси: технологія будівництва, захист від корозії, надміцний і понаддовговічний бетон, композити, нанотехнології.

Trinker Alexander – D. Sc. (Eng.), Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation. Scientific interests: the technology of construction, is sewn up from corrosion, super-strong and super-durable concrete, composite, nanotechnologies.

УДК 666.974.2

А. Н. ЕФРЕМОВ, О. Б. КОНЕВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ПРЕССОВАННЫХ
ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО СТЕКЛА**

Аннотация. На основе жидкостекольных вяжущих из дисперсных гранулированного доменного и кристаллических сталеплавильных шлаков получены бесцементные бетоны полусухого прессования марок 100–200. Бетоны способны к длительному твердению в нормальных условиях и воде, характеризуются высокой коррозионной стойкостью в растворах солей сульфатов натрия, магния и кальция, а также в слабо концентрированной соляной кислоте. Марка бетонов по морозостойкости составляет 25–50.

Ключевые слова: доменный гранулированный и сталеплавильные шлаки, жидкое стекло, бесцементный бетон, долговечность.

ВВЕДЕНИЕ

Шлакощелочные вяжущие являются одними из наиболее эффективных безклинкерных композиций по многим факторам: активности, технологии, долговечности, себестоимости.

В настоящее время досконально изучены и широко применяются шлакощелочные бетоны на вяжущих, основой которых являются молотые доменные гранулированные шлаки и щелочные компоненты – водные растворы NaOH , Na_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$. Наиболее высокой активностью, 70–120 МПа, характеризуются вяжущие, затворенные низкомодульными жидкими стеклами с силикатным модулем $m = 1,0\text{--}2,2$. Однако промышленностью такие стекла практически не производятся. При использовании выпускаемых стекол с силикатным модулем 2,6–3,4, активность шлакощелочных вяжущих снижается в 2–3 раза [1–3]. Поэтому их, как правило, разбавляют раствором NaOH . Кроме того, сдерживающим фактором широкого внедрения шлакощелочных бетонов на основе низкомодульных жидких стекол и молотых доменных граншлаков, особенно основных, являются чрезмерно короткие сроки схватывания, составляющие 5–20 минут [4, 5].

В последние 10–20 лет на металлургических предприятиях бывшего Советского Союза приступили к широкой переработке отвальных доменных и сталеплавильных шлаков с целью извлечения металла и получения фракционированной шлаковой продукции. При этом наиболее мелкие, песчано-щебенистые фракции 0...5 и 0...10 мм, как правило, пользуются наименьшим спросом у потребителей. Одной из основных причин этого является значительное – до 40 % по массе, содержание пылеватой фракции менее 0,16 мм. Эта фракция состоит, главным образом, из $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2$, образовавшегося в результате силикатного распада [6, 7].

В технологии жаростойких и огнеупорных бетонов известно применение жидкостекольных вяжущих композиций с отвердителями из саморассыпающихся кристаллических шлаков и нефелинового шлама. Их твердение происходит за счет взаимодействия силиката натрия с $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ по поверхности разрыхленных тонкодисперсных частиц с образованием гелеобразных гидросиликатов типа $(\text{Na}_2\text{O}, \text{CaO}) \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Такие вяжущие также имеют чрезмерно короткие сроки схватывания [8, 9]. Однако их преимущество перед доменными граншлаками – тонкодисперсность, они не требуют помола.

В работе [10] нами показано, что жидкостекольные песчано-щебенистые смеси из сталеплавильных шлаков при использовании в течение 30–60 минут после схватывания сохраняют пластичность,

достаточную для формования плотных изделий методом полусухого прессования. При этом получены прессованные бетоны марок 100–200.

Цель настоящей работы – изучить свойства бетонов и их составляющих, определяющих долговечность изделий, в том числе в агрессивных средах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве шлакового компонента вяжущих использовались фракции менее 0,16 мм мартеновского и электросталеплавильного шлаков завода «Донецксталь» и молотый доменный гранулированный шлак Мариупольского комбината им. Ильича с остатками на сите 0,08 мм соответственно 12, 16 и 8 %. Жидкое стекло имело силикатный модуль 2,9 и плотность 1,25 г/см³.

В качестве мелкого и крупного заполнителей применяли стабилизированные песчаную и щебенистую фракции 0,16 – 5 и 5...10 мм мартеновского шлака. Щебенистая фракция по пределу прочности при стандартном испытании (ГОСТ 5578-94, ГОСТ 8269.0-97) соответствовала марке 800 (дробимость – 11,9...12,1 %).

В исследованиях использовался бетон с расходом шлаковых компонентов, % массы: щебень – 50, песок – 25, пылеватая фракция 0...0,16 мм – 25. Жидкое стекло вводилось в смесь в количестве 14...18 % от массы сухих составляющих.

Для испытания бетонов на морозостойкость и стойкость при длительном твердении применялись образцы-цилиндры диаметром и высотой 7 см, при испытании на коррозионную стойкость – цилиндры диаметром и высотой 5 см. Образцы прессовались при давлении 20 МПа.

При определении коррозионной стойкости контрольные образцы после 28 суток твердения в нормальных условиях помещались на решетчатый поддон таким образом, чтобы они со всех сторон контактировали с раствором. Расстояние между образцами составляло 5 см. Агрессивная жидкость сменялась 1 раз в 3 недели. Эталонные образцы погружались в емкость с дистиллированной водой, которая также менялась 1 раз в 2 недели. По истечении 6 месяцев образцы были испытаны на прочность при сжатии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Заполнители из отвальных сталеплавильных шлаков подвержены силикатному распаду, что может вызвать снижение прочности бетона и даже полное его разрушение. Для проверки стабильности заполнителей проведены исследования зависимости прочности от длительности твердения бетонов в нормальных условиях и в воде. Анализ результатов, приведенных в табл. 1 и 2, показывает, что в течение 3 лет выдержки в нормальных условиях прочность бетонов возрастает в 1,89...2,31 раза по сравнению с образцами 28-суточного возраста. Аналогичные результаты получены при хранении образцов в воде, прочность бетонов увеличивается в 1,71...2,74 раза. Наибольший рост прочности в обоих случаях характерен для бетона на электросталеплавильном шлаке.

Таблица 1 – Зависимость прочности бетонов от длительности твердения в нормальных условиях

Вид шлаковой составляющей вяжущих	Прочность при сжатии (МПа перед чертой, % после черты), при длительности твердения, месяцы				
	1	3	12	24	36
Электросталеплавильный шлак	16,2/100	23,6/146	27,4/169	33,7/208	37,5/231
Мартеновский шлак	8,0/100	10,8/135	12,2/153	13,9/174	15,1/189
Доменный граншлак	14,2/100	19,4/137	22,9/161	25,7/181	18,3/199

Таблица 2 – Зависимость прочности бетонов от длительности твердения в воде

Вид шлаковой составляющей вяжущих	Прочность при сжатии (МПа перед чертой, % после черты), при длительности твердения, месяцы				
	1	3	12	24	36
Электросталеплавильный шлак	11,8/100	19,7/167	24,1/204	29,4/249	32,3/274
Мартеновский шлак	7,0/100	8,5/121	9,6/137	10,8/154	12,0/171
Доменный граншлак	9,6/100	12,7/133	15,4/160	16,6/173	18,2/190

Исследования морозостойкости (табл. 3) показали, что после 15 циклов прочность бетонов на доменном гранулированном и электросталеплавильном шлаках увеличивается. Для бетона, в котором

Таблица 3 – Морозостойкость прессованных мелкозернистых бетонов

Вид шлаковой составляющей вяжущих	Коэффициент морозостойкости при количестве циклов замораживания и оттаивания		
	15	25	50
Электросталеплавильный шлак	1,03	0,97	0,87
Мартеновский шлак	0,97	0,92	0,69
Доменный граншлак	1,10	1,22	1,16

основой вяжущего является тонкодисперсный мартеновский шлак, характерно незначительное – 3 %, падение прочности. После 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания бетон на доменном граншлаке продолжает упрочняться. Падение прочности бетона на электросталеплавильном шлаке близка к предельной величине, а на мартеновском шлаке сброс прочности существенно превысил допустимый предел.

Проведены исследования стойкости бетонов в растворах солей Na_2SO_4 , MgSO_4 , CaSO_4 и HCl . Анализ полученных данных (таблица 4) свидетельствует о том, что все изученные составы бетонов стойки в растворах солей сульфатов натрия, магния и кальция, а также в слабokonцентрированной соляной кислоте.

Таблица 4 – Коррозионная стойкость прессованных мелкозернистых шлакощелочных бетонов

Вид шлаковой составляющей вяжущих	Прочность при сжатии в МПа (перед чертой), коэффициент коррозионной стойкости (после черты) контрольных образцов в агрессивных растворах						
	вода	CaSO_4	1,5 %-ный MgSO_4	6 %-ный MgSO_4	3 %-ный Na_2SO_4	10 %-ный Na_2SO_4	0,1N HCl
Электросталеплавильный шлак	20,2/1,00	19,3/0,95	20,4/1,00	20,7/1,02	22,1/1,09	20,0/0,99	19,0/0,94
Мартеновский шлак	8,3/1,00	12,7/1,53	13,8/1,66	15,6/1,88	12,7/1,53	17,0/2,05	14,0/1,69
Доменный граншлак	30,9/1,00	29,7/0,96	29,3/0,95	24,4/0,78	33,4/1,08	32,1/1,04	34,9/1,13

ВЫВОДЫ

1. На основе жидкостекольных вяжущих из дисперсных гранулированного доменного и кристаллических сталеплавильных шлаков получены бесцементные бетоны полусухого прессования марок 100–200. Бетоны способны к длительному твердению в нормальных условиях и воде.

2. Бетоны характеризуются высокой коррозионной стойкостью в растворах солей сульфатов натрия, магния и кальция, а также в слабо концентрированной соляной кислоте.

3. Марка бетонов на кристаллических сталеплавильных шлаках по морозостойкости составляет 25–50.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях [Текст] / [под ред. В. Д. Глуховского]. – К. : Вища шк., 1981. – 224 с.
2. Кривенко, П. В. Специальные шлакощелочные цементы [Текст] / П. В. Кривенко. – К. : Будівельник, 1992. – 192 с.
3. Ефремов, А. Н. Шлакощелочные вяжущие и бетоны с повышенными жаростойкими свойствами [Текст] : дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.05 : защищена 18.11.1981 : утв. 21.04.1982 / Ефремов А. Н. – К., 1981. – 210 с. : ил. – Библиогр.: с. 143–162.
4. А. с. 697429 СССР, МКИ С 04В 7/14. Вяжущее [Текст] / И. А. Пашков, А. Н. Ефремов (СССР). – № 2518162/29–33 ; заявл. 22.08.77 ; опубл. 17.11.79, Бюл. № 42. – 3 с.
5. А. с. 863532 СССР, МКИ С 04В 7/14. Вяжущее [Текст] / А. Н. Ефремов, В. Б. Лукьянов (СССР). № 2843807/29–33 ; заявл. 03.10.79 ; опубл. 15.09.81, Бюл. № 34. – 2 с.
6. Торопов, Н. А. Химия цементов [Текст] / Н. А. Торопов. – М. : Стройиздат, 1956. – 272 с.
7. Бетоны и изделия на шлаковых и зольных цементах [Текст] / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, Б. Н. Виноградов [и др.]. – М. : Стройиздат, 1963. – 362 с.

8. Тарасова, А. П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе [Текст] / А. П. Тарасова. – М. : Стройиздат, 1982. – 132 с.
9. Кремнеземистые бетоны и блоки [Текст] / А. К. Пургин, И. П. Цыбин, А. В. Жуков [и др.]. – М. : Metallurgizdat, 1975. – 215 с.
10. Ефремов, А. Н. Бесцементные шлакобетоны на основе отвальных сталеплавильных шлаков [Текст] / А. Н. Ефремов, О. Б. Конев // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. 2016-1(117). – С. 79–83.

Получено 31.01.2018

О. М. ЄФРЕМОВ, О. Б. КОНЄВ
ДОВГОВІЧНІСТЬ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ ПРЕСОВАНИХ ШЛАКОЛУЖНИХ
БЕТОНІВ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. На основі рідкоскляних в'язучих з дисперсних гранульованого доменного і кристалічних сталеплавильних шлаків отримані безцементні бетони напівсухого пресування марок 100–200. Бетони здатні до тривалого твердіння в нормальних умовах і воді, характеризуються високою корозійною стійкістю в розчинах солей сульфатів натрію, магнію і кальцію, а так само у слабо концентрований соляній кислоті. Марка бетонів за морозостійкістю становить 25–50.

Ключові слова: доменний гранульований і сталеплавильні шлаки, рідке скло, безцементний бетон, довговічність.

ALEXANDER YEFREMOV, OLEG KONEV
DURABILITY OF THE FINE-GRAINED PRESSED SLAG CONCRETE ON THE
BASIS OF LIQUID GLASS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. On a basis the liquid silica glass knitting from disperse granulated domain and crystal steel-smelting slags concrete of moist pressing of quality class 100–200 are received. Concrete are capable to long curing in normal conditions and water, are characterized by high corrosion resistance in solutions of salts of sulfates of sodium, magnesium and calcium, and also in poorly concentrated hydrochloric acid. The quality class of concrete on freezeproof makes 25–50.

Key words: domain the granulated and steel-smelting slags, liquid glass, slag concrete, life cycle.

Ефремов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, жаростойкие и огнеупорные бетоны.

Конев Олег Борисович – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе кристаллических металлургических шлаков и жидкого стекла.

Ефремов Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів, вогнетривкі бетони.

Конев Олег Борисович – ассистент кафедры технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони на основі кристалічних металургійних шлаків і рідкого скла.

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

Konev Oleg – assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of crystalline metallurgical slags and liquid silica glass.

УДК 625.8

А. С. БАРБО, Д. В. ВРЖЕЩ, А. А. ПАВЛЕНКО, А. С. РЕШЕТНИКОВ, А. А. СТУКАЛОВ, Д. И. БОРОДАЙ
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТСЕВА
ДРОБЛЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКА С ЦЕЛЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В
ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Аннотация. Выполнен анализ проблемы повторного использования отходов переработки флюсовых известняков на предприятиях горнорудной промышленности. Исследованы физико-механические свойства отсева дробления известняка из отвалов дробильно-обогащительной фабрики ДОФ № 2 Комсомольского рудоуправления. Установлено, что высокое содержание пылеватых и глинистых частиц в отсеве в количестве более 25 % не позволяет использовать данный материал в дорожном строительстве без дополнительной переработки. Даны рекомендации о возможных способах использования отсева дробления известняка в дорожном строительстве.

Ключевые слова: местные материалы, земляное полотно, дорожная одежда, укрепление грунтов, отсев дробления известняка.

ФОРМУЛИРОВАНИЕ НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ

В настоящее время в отвалах и хвостохранилищах горных предприятий Украины накопилось свыше 7 млрд т пород, открытыми горными работами нарушено около 190 тыс. га земель, при этом значительная часть подобных техногенных формирований содержит в себе потенциальное сырье для различных отраслей народного хозяйства, т. е. представляет собой техногенные месторождения [1]. На территории Старобешевского района в отвалах дробильно-обогащительных фабрик (ДОФ) Докучаевского флюсо-доломитного комбината и Комсомольского рудоуправления находится более 143 млн м³ (80 млн т) отходов переработки флюсовых известняков.

Традиционная технология переработки флюсовых известняков состоит из дробления и сортировки известняка. Дробление проводится преимущественно на щековых дробилках, реже применяются роторные или конусные дробилки. Сортировка производится на вибрационных грохотах и характеризуется низкой эффективностью и высоким взаимным засорением мелкими фракциями и глинистыми частицами более крупных товарных фракций известнякового щебня. Следствием такого нерационального использования карбонатного сырья становится низкий выпуск кондиционной готовой продукции, увеличение затрат на складирование некондиционной мелочи загрязненного известняка и отсева в отвалы, а также дополнительные затраты за использование недр. Отходами текущего производства становится фракция крупностью 0...40 мм из загрязненного известнякового щебня с частицами глины [2].

Трудность переработки отсева дробления на традиционных грохотах возникает как в текущем производстве, так и при просеивании материала отвалов. В первом случае просеивания на тонких ситах приводит к их быстрому забиванию, во втором – возникают дополнительные трудности из-за влажности материала. При этом уже при 2...3 % влажности происходит забивание сита. Доля отсева карбонатных пород в среднем по отрасли доходит до 40 % от переработанной горной массы [3].

Проблема использования отходов предприятий горнодобывающей отрасли актуальна и в мировом масштабе. Так, согласно данным Администрации федеральных дорог Департамента транспорта США (FHWA) ежегодно в США образуется около 175 млн т отходов дробления горных пород предприятий горнорудной отрасли, а суммарные накопления отсева и шламов составляют около 4 млрд т [4].

© А. С. Барбо, Д. В. Вржеш, А. А. Павленко, А. С. Решетников, А. А. Стукалов, Д. И. Бородай, 2018

Теоретически отсев дробления карбонатных горных пород может повторно использоваться в различных отраслях народного хозяйства: строительстве, металлургии, химической и пищевой промышленности. Однако в большинстве случаев отсев дробления содержит значительное количество (более 20 %) глинистых материалов, которые ограничивают возможную область практического использования и требуют дополнительной переработки сырья, связанной с необходимостью разделения известнякового и песчано-глинистого материала отсева [3].

Для дорожного строительства характерным является потребление большого количества минеральных материалов. Для возведения земляного полотна и дорожной одежды автомобильной дороги необходимы значительные объемы грунтов, а также различных каменных материалов. В случае отсутствия в районе строительства источников этих материалов их транспортировка на большие расстояния ведет к увеличению стоимости строительных работ. Одним из основных направлений снижения стоимости строительства автомобильных дорог является использование местных материалов, для которых не требуются дальние перевозки автомобильным транспортом, а также исключены перевозки железнодорожным транспортом. Исходя из этого, к местным, а следовательно, к доступным для применения и дешевым материалам следует относить как повсеместно залегающие, широко распространенные природные грунты различного состава, так и твердые обломочные отходы производства и некондиционные каменные материалы, называемые искусственными (техногенными) грунтами [5].

Отсевы дробления в дорожном строительстве могут быть применены при устройстве земляного полотна, временных объездов, площадок, парковых дорожек; при рекультивации земель, нарушенных горными и строительными работами; в смесях с малыми дозами вяжущего и без него для устройства облегченных покрытий, оснований, подстилающих, морозозащитных и дренирующих слоев; пески из отсева дробления, обогащенные как мелкозернистый материал – для приготовления асфальто- и цементобетона и т. д., – если они удовлетворяют требованиям соответствующих нормативных документов [6].

В США отсева дробления известняка применяют в качестве мелкого заполнителя для цементных и асфальтовых бетонов, а также при строительстве земляного полотна, дополнительных и основных слоев основания дорожных одежд [4]. Проблема разработки возможных способов повторного использования отсева дробления известняка актуальна как в целом для экономики, так и для дорожного строительства в частности, как одной из наиболее материалоемкой отраслей с точки зрения использования каменных материалов и грунтов. Этот факт подтверждается наличием современных исследований по данной тематике как отечественных [3, 7–9], так и зарубежных авторов [4].

Проблема отсутствия грунтов и каменных материалов, обладающих необходимыми физико-механическими свойствами для возведения земляного полотна и дорожных одежд автомобильных дорог, является актуальной для условий строительства в Донбассе. Наличие же значительного количества неиспользуемых отходов дробления известняка на территории предприятий горнорудной промышленности региона требует новых исследований способов их повторного использования с учетом современных технологических возможностей дорожно-строительной отрасли.

Целью работы является исследование физико-механических свойств отсева дробления известняка из отвалов дробильно-обоганительной фабрики ДОФ № 2 Комсомольского рудоуправления и определения области его возможного использования при строительстве автомобильных дорог.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Исследования по определению физико-механических свойств отсева дробления известняка из отвалов дробильно-обоганительной фабрики ДОФ № 2 Комсомольского рудоуправления проводились по стандартным методикам согласно действующим нормативным документам:

- ДСТУ Б В.2.1-17:2009 «Грунты. Методы лабораторного определения физических свойств»;
- ДСТУ Б В.2.1-12:2009 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности»;
- ДСТУ Б В.2.1-19:2009 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава»;
- ДСТУ Б В.2.7-232:2010 «Строительные материалы. Песок для строительных работ. Методы испытаний»;
- ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97) «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты испытаний отсева дробления известняка из отвалов дробильно-обогажительной фабрики ДОФ № 2 Комсомольского рудоуправления приведены в таблице.

Таблица – Физико-механические свойства отсева дробления известняка

Наименование показателей	Значение показателей
Истинная плотность, г/см ³	2,520
Объемный вес (насыпная плотность), г/см ³	1,245
Природная влажность, %	5,7
Плотность скелета при стандартном уплотнении, г/см ³	2,171
Оптимальная влажность при стандартном уплотнении, %	8,0
Содержание пылеватых и глинистых частиц, %	26,3
Марка по дробимости	600
Гранулометрический состав с учетом фракций 5...20 мм, содержание фракций, %	
10,0 мм	0,9
5,0 мм	14,7
2,5 мм	32,8
1,25 мм	24,5
0,63 мм	16,5
0,315 мм	5,7
0,14 мм	4,8
< 0,14 мм	0,2
Модуль крупности	4,1
Гранулометрический состав без учета фракций 5...20 мм, содержание фракций, %	
2,5 мм	39,3
1,25 мм	25,6
0,63 мм	21,8
0,315 мм	6,8
0,14 мм	5,8
< 0,14 мм	0,7
Модуль крупности	3,8

Результаты испытаний, представленные в таблице, позволяют сделать вывод о том, что отличительной характеристикой исследуемого отсева дробления известняка является наличие большого числа (26,3 %) пылеватых и глинистых частиц, что ограничивает возможности его использования в дорожном строительстве без дополнительной обработки с исходными физическими характеристиками.

Для определения возможных способов использования отсева дробления известняка в дорожном строительстве было выполнено сопоставление фактических характеристик материала с требованиями нормативных документов.

ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Песок плотный природный для строительных материалов, изделий, конструкций и работ. Технические условия» устанавливает технические требования, в том числе к пескам из отсевов дробления, предназначенных для применения в качестве оснований при устройстве автомобильных дорог и аэродромов и компонента смесей для устройства покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Анализ технических требований нормативного документа свидетельствует о том, что исследуемый отсев дробления соответствует требованиям по насыпной плотности и прочности, но не соответствует требованиям по зерновому составу и содержанию пылеватых и глинистых частиц.

ДСТУ Б В.2.7-30:2013 «Материалы нерудные для щебеночных и гравийных оснований и покрытий автомобильных дорог. Общие технические условия» устанавливает технические требования к минеральным дорожно-строительным нерудным материалам, в том числе к щебеночно-песчаным смесям из отходов добычи горных пород, которые применяют без использования вяжущих или стабилизаторов дорожных масс для строительства, реконструкции и ремонтов щебеночных покрытий, оснований, дополнительных слоев оснований, устроенных методом заклинки или из смесей на автомобильных дорогах общего пользования. Согласно классификации материалов исследуемый отсев

может рассматриваться как легко уплотняемая щебеночно-песчаная смесь из природного камня с размером зерен от 0 до 20 мм включительно. По зерновому составу отсев соответствует требованиям, предъявляемым к смеси для расклинивания С12, также может быть рассмотрен вопрос возможности использования отсева в качестве смеси для выравнивания поверхности оснований дорожной одежды (смеси С13, С14), где отклонения по зерновому составу на отдельных ситах незначительны. Однако во всех случаях отсев не соответствует требованиям по содержанию пылеватых и глинистых частиц, содержание которых допускается до 5 %.

ДСТУ Б В.2.7-207:2009 «Материалы щебеночные, гравийные и песчаные, обработанные неорганическими вяжущими. Технические условия» устанавливает технические требования, в том числе к щебеночно-песчаным смесям, обработанным неорганическим вяжущим, которые используются для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог. Характеристики исследуемого отсева соответствуют требованиям по прочности и частично соответствуют требованиям по зерновому составу, что позволяет рассматривать вопрос использования исходного отсева для слоев дорожной одежды при условии его укрепления неорганическими вяжущими и соответствия укрепленного материала требованиям данного стандарта по прочности на сжатие и на растяжение при изгибе, а также по морозостойкости.

Результаты анализа требований нормативных документов свидетельствуют о том, что наличие более 25 % пылеватых и глинистых частиц в исследуемом отсеве ограничивает возможность его применения в конструкциях дорожных одежд и требует либо укрепления вяжущими материалами, либо дополнительной обработки отсева для удаления пылеватых и глинистых частиц. В этом случае целесообразным представляется рассмотреть отсев дробления как техногенный дисперсный грунт в соответствии с классификацией ДСТУ Б В.2.1-2-96 «Грунты. Классификация».

Грунты для возведения земляного полотна должны соответствовать требованиям раздела 6 ДБН В.2.3-4:2007 «Автомобильные дороги». Возможность использования отсева дробления в первую очередь определяется его стойкостью в конструкции земляного полотна под воздействием погодно-климатических факторов. Опыт использования грунтов с большим содержанием пылеватых частиц свидетельствует о том, что такие грунты склонны к морозному пучению и могут использоваться при условии их укрепления вяжущими материалами. Необходимо провести дальнейшие исследования в частности водостойкости, морозостойкости и дренирующей способности отсева дробления известняка с целью определения возможности его использования в конструкции земляного полотна и необходимости укрепления вяжущими материалами.

В конструкциях дорожных одежд грунты могут использоваться при условии укрепления их вяжущими материалами. Нормативный документ ВБН В.2.3-218-541:2010 «Устройство слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами» устанавливает требования к грунтам, которые можно использовать для укрепления с целью применения в конструкциях дорожных одежд. Исследуемый отсев дробления соответствует требованиям, предъявляемым к зерновому составу и может использоваться для укрепления вяжущими различных типов.

ГБН В.2.3-37641918-554:2013 «Автомобильные дороги. Слои дорожной одежды из каменных материалов, отходов промышленности и грунтов, укрепленных цементом. Проектирование и строительство» устанавливает требования к проектированию слоев дорожной одежды из отходов промышленности и грунтов, укрепленных цементом. Зерновой состав отсева дробления не соответствует требованиям данного нормативного документа. В этом случае пригодность отсева дробления известняка к укреплению цементом определяется по результатам испытаний после укрепления цементом. Если свойства укрепленного материала будут соответствовать нормативным требованиям, то его можно использовать для укрепления в составе дорожных одежд без улучшения зернового состава.

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования физико-механических свойств отсева дробления известняка свидетельствуют о том, что в природном состоянии этот материал содержит значительное количество (более 25 %) пылеватых и глинистых частиц, что не соответствует требованиям нормативных документов к каменным материалам, используемым в дорожном строительстве. Это ограничивает область применения материала и требует дополнительных затрат, направленных на очистку от пылеватых и глинистых частиц и обогащения отдельными фракциями зернового состава. Возможным решением этой проблемы может стать рассмотрение отсева дробления известняка как техногенного крупнообломочного грунта с дальнейшим использованием в конструкции земляного полотна и дорожных одежд в исходном состоянии при условии укрепления вяжущими материалами для повышения

прочности, водостойкости и морозостойкости, а также снижения отрицательного влияния пылевых и глинистых частиц на физико-механические свойства. Дальнейшими исследованиями планируется изучение физико-механических свойств отсева дробления известняка, укрепленного различными вяжущими, с целью разработки рекомендаций по использованию данного материала в дорожном строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кустов, В. В. Обоснование рациональных параметров технологии формирования и разработки техногенных месторождений сыпучих горных пород [Электронный ресурс] : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22 / В. В. Кустов ; ДонНТУ. – Донецк, 2016. – 182 с. – Режим доступа : http://donntu.org:8081/sites/default/files/documents/dissertaciya_kustov.pdf.
2. Дрешпак, А. С. Анализ параметров обогащения известняков из неоднородных карбонатных месторождений [Электронный ресурс] / А. С. Дрешпак // Збагачення корисних копалин : Наук.-техн. зб. – 2015. – Вып. 61 (102). – Режим доступа : <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2015-61-102/02.pdf>.
3. Назимко, Е. И. Комплексное использование известняков Еленовского месторождения [Электронный ресурс] / Е. И. Назимко, Т. А. Лазарева, А. М. Лазарев. // Збагачення корисних копалин : Наук.-техн. зб. – 2012. – Вып. 50(91). – Режим доступа : <http://zzkk.nmu.org.ua/pdf/2012-50-91/02.pdf>.
4. User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction [Электронный ресурс] : Publication Number: FHWA-RD-97-148 // Federal Highway Administration Research and Technology / U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/intro.cfm>. – Загл. с экрана.
5. Автомобильные дороги и мосты. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами [Текст] : Обзорная информация. Выпуск 3 / Федеральное дорожное агентство Министерства транспорта Российской Федерации. Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам». – М. : Информавтодор, 2007. – 54 с.
6. Методические рекомендации по применению и обогащению отсеков дробления и разнопрочных каменных материалов для дорожного строительства [Текст] / разраб. Ф. В. Панфилов [и др.]. – М. : Союздорнии, 1987. – 77 с.
7. Гусев, Н. К. Строительство слоев аэродромных и дорожных одежд из местных материалов [Текст] / Н. К. Гусев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 2(65). – С. 21–22.
8. Матуа, В. П. Использование укрепленных грунтов при строительстве слоев основания [Текст] / В. П. Матуа, А. Г. Акопян // Строительство-2015: Строительство. Дороги. Транспорт : Материалы Международной научно-практической конференции / Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет» [и др.]. – Ростов н/Д : Редакционно-издательский центр РГСУ, 2015. – С. 9–10.
9. Булдаков, С. И. Технология устройства основания автомобильной дороги с применением цементогрунта [Текст] / С. И. Булдаков, С. А. Мурзич // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог : Сборник научных трудов ОАО «ГИПРОДОРНИИ». – 2014. – № 5(64). – С. 62–66.
10. Del Ponte, K. L. State DOT Environmental and Economic Benefits of Recycled Material Utilization in Highway Pavements [Электронный ресурс] : A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Geological Engineering) / K. L. Del Ponte ; University of Wisconsin-Madison. – Madison, 2016. – 160 p. – Режим доступа : http://rmrc.wisc.edu/wp-content/uploads/2017/05/kdelponte_UW_thesis_S2016.pdf.
11. Bloom, E. F. Assessing the Life Cycle Benefits of Recycled Material in Road Construction [Электронный ресурс] : A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Geological Engineering) / E. F. Bloom ; University of Wisconsin-Madison. – Madison, 2016. – 143 p. – Режим доступа : http://rmrc.wisc.edu/wp-content/uploads/2017/05/Bloom-Thesis_Final-Draft-V2.pdf.
12. Abukhettala, M. Use of Recycled Materials in Road Construction [Электронный ресурс] / M. Abukhettala // Proceedings of the 2nd International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'16), Ottawa, Canada – May 5–6, 2016 / Edited by Prof. Dr. Michel Plaisent. – Ottawa, Canada : International ASET Inc., 2016. – P. 138–1–138–8. – Режим доступа : https://avestia.com/ICCSTE2016_Proceedings/files/paper/138.pdf.

Получено 31.01.2018

О. С. БАРБО, Д. В. ВРЖЕЩ, А. О. ПАВЛЕНКО, О. С. РЕШЕТНИКОВ,
О. А. СТУКАЛОВ, Д. И. БОРОДАЙ
ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДСІВУ
ПОДРІБНЕННЯ ВАПНЯКУ З МЕТОЮ ВИКОРИСТАННЯ В ДОРОЖНЬОМУ
БУДІВНИЦТВІ

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Виконано аналіз проблеми повторного використання відходів переробки флюсових вапняків на підприємствах гірничорудної промисловості. Досліджено фізико-механічні властивості відсіву дроблення вапняку з відвалів дробильно-збагачувальної фабрики ДЗФ № 2 Комсомольського рудоуправління. Встановлено, що високий вміст пиловатих і глинистих часток у відсіві в кількості більше 25 % не дозволяє використовувати даний матеріал в дорожньому будівництві без додаткової переробки. Надано рекомендації про можливі способи використання відсіву дроблення вапняку в дорожньому будівництві.

Ключові слова: місцеві матеріали; земляне полотно; дорожній одяг; зміцнення ґрунтів; відсів подрібнення вапняку.

ALEXANDER BARBO, DMITRIY VRZHESHCH, ARTEM PAVLENKO,
ALEXANDER RESHETNIKOV, ALEKSANDR STUKALOV, DENIS BORODAY
INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF
LIMESTONE CRUSHING SCREENING IN ORDER TO USE IN ROAD
CONSTRUCTING

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The problem of re-use of wastes of fluxing limestone processing at mining enterprises is analyzed. The physical and mechanical properties of limestone screening from the dumps of the crushing and dressing plant were investigated. It was found that a high content of dust and clay fractions in the screening in an amount of more than 25 % does not allow the use of this material in road construction without additional processing. Recommendations are given on the possible ways of using the limestone screening in road construction.

Key words: local materials, embankment, pavement, soil strengthening, screening of limestone crushing.

Барбо Александр Сергеевич – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности в дорожном строительстве.

Вржеш Дмитрий Владиславович – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности в дорожном строительстве.

Павленко Артем Александрович – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности в дорожном строительстве.

Решетников Александр Сергеевич – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности в дорожном строительстве.

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.

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.

Барбо Олександр Сергійович – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості в дорожньому будівництві.

Вржеш Дмитро Владиславович – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості в дорожньому будівництві.

Павленко Артем Александрович – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості в дорожньому будівництві.

Решетников Александр Сергійович – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості в дорожньому будівництві.

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

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

Barbo Alexander – Master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of industrial wastes in road construction.

Vrzheshch Dmitriy – Master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of industrial wastes in road construction.

Pavlenko Artem – Master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of industrial wastes in road construction.

Reshetnikov Alexander – Master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of industrial wastes in road construction.

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.

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

УДК 625.855.3

В. И. БРАТЧУН, О. Н. НАРИЖНАЯ, А. А. СТУКАЛОВ, К. А. УРУТИН
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

НАБЛЮДЕНИЕ ДЕСОЛЬВАТАЦИИ АСФАЛЬТЕНОВ ПРИ НАГРЕВЕ БИТУМОВ

Аннотация. В работе приведены ДСК-кривые дорожного битума БНД 40/60, полученные при первом и повторном нагреве образца, находящегося в равновесном состоянии. Проанализированы наблюдаемые на этих кривых температурные аномалии и их энтальпии. Особое внимание уделено процессу десольватации асфальтенового ядра (приводящего к разрушению мицелл) и последующему диспергированию асфальтеновых наноагрегатов. Сделан вывод о возможности регулировать структурную организацию битумов путём задания соответствующей температурной предьстории.

Ключевые слова: асфальтеновые наноагрегаты, структура, фазовые превращения, влияние на свойства нефтяных систем.

Согласно общепринятым представлениям нефтяные битумы являются коллоидно-дисперсными системами с наноразмерами дисперсной фазы (мицелл) [1, 2]. В работе [3] приведена идентификация дисперсных структур нефтяных битумов методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). В частности для битума БНД 40/60 отмечен эндотермический эффект в интервале 112...131 °С с энтальпией $\Delta H \approx -1$ Дж/г, который обусловлен десольватацией асфальтенов, т. е. разрушением асфальтено-смолистых комплексов, формирующих дисперсную фазу (мицеллы) нефтяного битума.

В данной работе этот процесс рассмотрен более детально. На рис. 1 приведено равновесие между мицеллами и групповыми компонентами битума. При низких температурах (приближающихся к 0 °С) равновесие смещено в сторону образования мицелл, в которых асфальтеновое ядро стабилизировано и сольватировано смолами и растворёнными в них маслами (углеводородными компонентами).

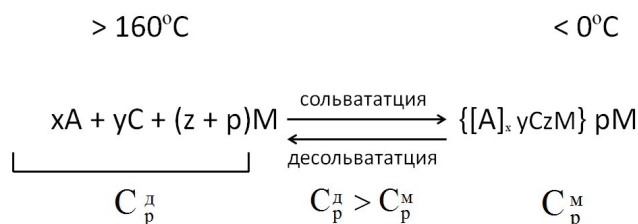


Рисунок 1 – Равновесие между мицеллами и свободными групповыми компонентами в битуме (М – масла, С – смолы, А – асфальтены): C_p – теплоемкость групповых компонентов в свободном (C_p^a) и структурированном (C_p^m) состоянии.

При температурах, приближающихся или превышающих технологические ($160\text{ }^{\circ}\text{C}$), равновесие смещено в сторону свободных групповых компонентов битума и возможно растворение асфальтенов в мальтеновой части битума, на что указывают данные работы [3]: наличие дополнительного эндоефекта, примыкающего к упомянутому выше, и последующее резкое возрастание теплового потока.

Поэтому естественно, что для наблюдения десольватации асфальтенов (разрушения мицелл) нами использован метод ДСК. Характеристика прибора и температурная программа исследования приведены в работе [3].

На рис. 2 приведен разрез измерительной ячейки прибора [4], на которой видно наличие двух образцов: рабочего и контрольного. Дифференциальный сканирующий калориметр регистрирует разницу тепловых потоков W , возникающих при линейном нагреве образцов.

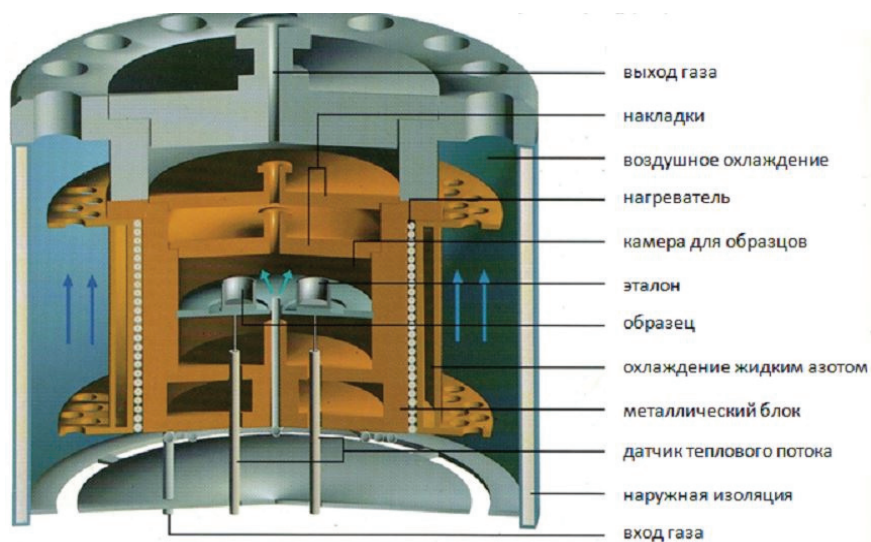


Рисунок 2 – Измерительная ячейка дифференциального сканирующего калориметра (ДСК).

При этом, если тепловой поток от исследуемого (рабочего) образца (W_p) превышает тепловой эффект от контрольного (W_k), ДСК кривая смещается в сторону экзоэффекта, т. е. увеличения алгебраического значения W по шкале прибора. Такой эффект возможен, если теплоёмкость исследуемого образца (C_p^u) ниже, чем контрольного (C_p^k), или в образце происходит экзотермический процесс (кристаллизация, экзотермическая химическая реакция). Это проиллюстрировано рисунком 3. Следовательно, по наклону калориметрической (ДСК) кривой мы можем сделать вывод об изменении теплоёмкости образца, т. е. об изменении его структурной организации [5].

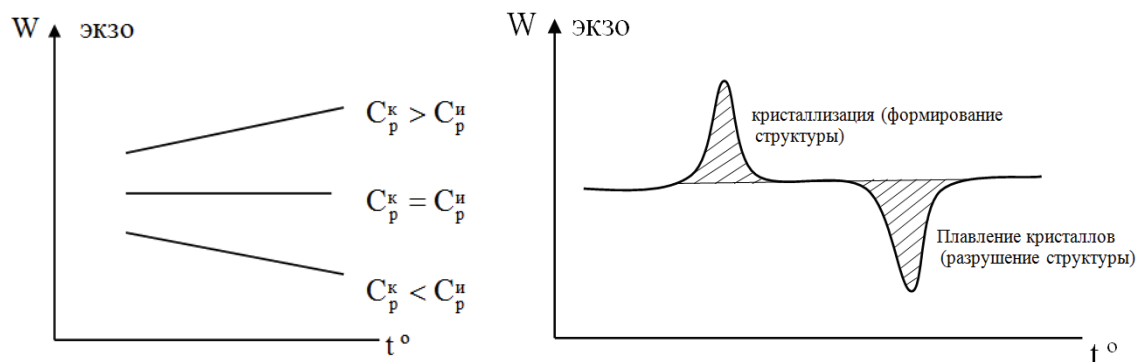


Рисунок 3 – Регистрация разницы тепловых потоков (W , Вт/г) через рабочий (и) и контрольный (к) образцы: C_p – теплоемкость образцов.

Поскольку теплоёмкость компонентов в свободном состоянии выше теплоёмкости структур на их основе [6], изменение C_p при нагреве битума в определённой температурной области [3] несёт информацию о его структурной организации. Этот тезис проиллюстрирован рисунком 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования битума БНД 40/60 методом ДСК приведены на рис. 4: по оси абсцисс показано изменение температуры в линейном режиме нагрева (20 К/мин), по оси ординат – тепловой поток W в единицах измерения прибора (мкВ/мг). При чувствительности прибора 2,42 (мкВ/мг = Вт/г) [3] переход к общепринятым единицам измерения W :

$$W_{\text{мВт}} = 2,42 W_{\text{мкВ}}.$$

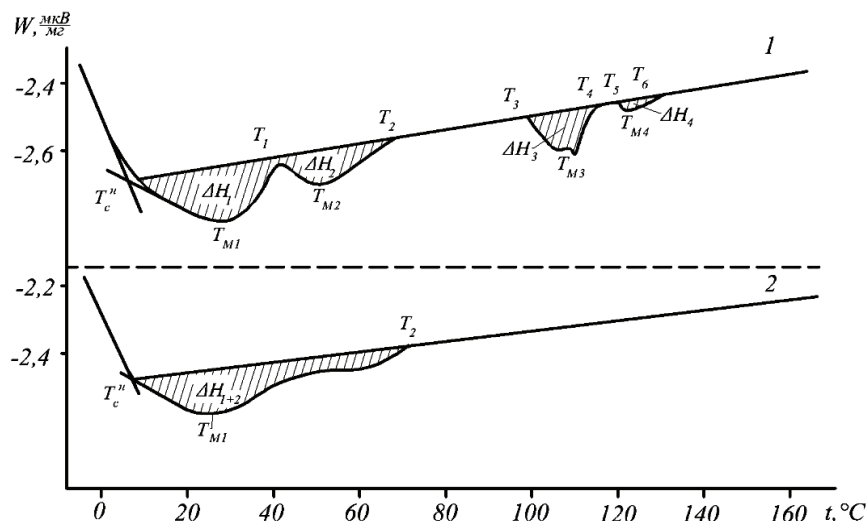


Рисунок 4 – ДСК исходного битума: 1 – первый нагрев, 2 – повторный нагрев.

Верхняя кривая (1) соответствует первому нагреву исходного битума БНД 40/60 в равновесном состоянии, которое ему было обеспечено хранением без доступа воздуха в течение трех лет. Нижняя кривая (2) соответствует повторному нагреву той же навески битума после изотермической выдержки при 180 °С в течение 5 мин и быстрого охлаждения до – 30 °С (со скоростью $\vartheta = 20$ К/мин). Оба нагрева выполнялись по одинаковой температурной программе [3]: нагрев образца до 180 °С ($\vartheta = 20$ К/мин). Прежде, чем перейти к обсуждению различий этих кривых, отметим, что их масштабы W на рис. 4 различаются (что видно по оси ординат).

В статье [3] приведено отнесение аномалий, наблюдаемых на кривых ДСК рис. 4: ΔH_1 и ΔH_2 – плавление кристаллов парафинов (насыщенных соединений) и разупорядочение структурно-коагуляционных кластеров мицелл; ΔH_3 и ΔH_4 – десольватация асфальтенов (разрушение мицелл) и диспергирование асфальтеновых агрегатов.

Значения энтальпий этих процессов, найденные из приведенных на рис. 4 кривых [3], приведены в таблице. Как следует из рис. 4 и таб., тепловой эффект плавления кристаллов насыщенных соединений (НС) при повторном нагреве (ΔH_{1+2}) сохраняется. То, что $\Delta H_{1+2} > \Delta H_1 + \Delta H_2$, связано с разрушением парафиново-асфальтеновых структур [3] и высвобождением дополнительного количества НС. При выбранной температурной программе эти структуры не успевают восстанавливаться.

Таблица – Аномалии на кривой ДСК (рис. 1) битума БНД 40/60

Энтальпия аномалии	ΔH , Дж/г	
	1-й нагрев	2-й нагрев
ΔH_1	4,18	8,35
ΔH_2	0,94	
$\Delta H_3 + \Delta H_4$	0,98	–

Наблюдаемые при температуре выше 120 °С процессы десольватации (разрушения мицелл битума) и диспергирования асфальтеновых агрегатов (ΔH_3 и ΔH_4) при повторном нагреве не наблюдаются. Следовательно, выбранный температурный режим ДСК обеспечивает полное разрушение мицелл и не позволяет им восстановиться.

Не восстанавливаются при охлаждении и диспергированные асфальтеновые агрегаты, о чём свидетельствует различие в углах наклона ДСК-кривых в области выше 140 °С для первого и повторного нагревов.

Что касается остальных характеристических температур, отмеченных на рис. 4 (T_c^* , T_m , T_2), их различия при первом и повторном нагревах невелики, что свидетельствует в пользу восстановления в основном структурной организации битума, обусловленной наличием мальтеновой части.

Приведенные данные свидетельствуют о различиях в структурной организации битумов при различных температурах и с различной термической предысторией. В частности, до ≈20 °С битум БНД 40/60 содержит кристаллы НС и имеет коагуляционную мицеллярную структуру. В интервале 20...80 °С происходит постепенное плавление кристаллов (кристаллитов) и разрушение кристаллизационной структуры (битум переходит в вязко-текучее состояние).

А выше 120 °С происходит десольватация асфальтенов и разрушение мицелл. Выше 140 °С разрушаются асфальтеновые комплексы, при более высокой температуре асфальтены начинают растворяться в мальтеновой части битума. При быстром охлаждении может быть получен битум, не содержащий мицелл и с определённым распределением асфальтенов между дисперсной и жидкой фазами, зависящим от температуры битума.

ВЫВОДЫ

1. Методом ДСК изучены дисперсные фазы в образце битума БНД 40/60 в состоянии, близком к равновесному.
2. Показано, что разрушение мицелл (путём десольватации асфальтенов) происходит при температуре выше 120 °С.
3. При быстром охлаждении мицеллярная структура битума не восстанавливается.
4. Задавая битуму соответствующую термическую предысторию, можно обеспечить требуемую его структурную организацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печеный, Б. Г. Битумы и битумные композиции [Текст] / Б. Г. Печеный. – М. : Химия, 1990. – 256 с.
2. Ганеева, Ю. М. Асфальтеновые нано-агрегаты: структура, фазовые превращения, влияние на свойства нефтяных систем [Текст] / Ю. М. Ганеева, Т. Н. Юсупова, Г. В. Романов // Успехи химии. – 2011. – Т. 80, № 10. – С. 1034–1050.
3. Идентификация дисперсных структур в нефтяных битумах методом ДСК [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов [и др.] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – Вып. 2017-2(124). – С. 16–24.
4. NETZSCH DSC 200 [Текст] / NETZSCH-Gerätebau GmbH. – [Selb/Bayern : s. n., 2000]. – 12 p.
5. Берштейн, В. А. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физико-химии полимеров [Текст] / В. А. Берштейн, В. М. Егоров. – Л. : Химия, 1990. – 256 с.
6. Годовский, Ю. К. Теплофизические методы исследования полимеров [Текст] / Ю. К. Годовский. – М. : Химия, 1976. – 216 с.

Получено 31.01.2018

В. І. БРАТЧУН, О. М. НАРІЖНА, О. А. СТУКАЛОВ, К. О. УРУТІН
СПОСТЕРІГАННЯ ДЕСОЛЬВАТАЦІЇ АСФАЛЬТЕНІВ ПРИ НАГРІВАННІ
БІТУМІВ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У роботі наведені ДСК-криві дорожнього бітуму БНД 40/60, що отримані при першому і повторному нагріві зразка, який знаходиться у рівноважному стані. Проаналізовані спостережувані на цих кривих температурні аномалії та їх ентальпії. Особливу увагу приділено процесу десольватації асфальтенового ядра (що приводить до руйнування міцел) і подальшому диспергуванню асфальтенових наноагрегатів. Зроблено висновок про можливість регулювання структурною організацією бітумів шляхом завдання відповідної температурної передісторії.

Ключові слова: асфальтенові наноагрегати, структура, фазові перетворення, вплив на властивості нафтових систем.

VALERY BRATCHUN, OLGA NARYGNAYA, ALEKSANDR STUKALOV,
KONSTANTIN URUTIN
OBSERVATION OF DESOLVATION OF ASPHALTENES DURING BITUMEN
HEATING

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The paper presents DSC curves of bitumen of road 40/60, obtained during the first and repeated heating of a sample in an equilibrium state. The temperature anomalies observed on these curves and their enthalpies are analyzed. Particular attention is paid to the process of desolvation of the asphaltene core (leading to the destruction of micelles) and subsequent dispersion of asphaltene nanoaggregates. It was concluded that it is possible to regulate the structural organization of bitumens by setting the appropriate temperature prehistory.

Key words: asphaltene Nan aggregates, structure, phase transformations, influence on the properties of oil systems.

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

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.

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.

Урутин Константин Александрович – магистрант 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 ДОУ 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.

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

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

Урутин Констянтин Олександрович – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

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

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

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.

Urutin Konstantin – master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

УДК 625.855.3

А. Г. ДОЛЯ, Р. К. ПОПОВ, Д. В. СЕВЕРИН, А. О. ТЕРЕЩЕНКО, А. В. КАТЕРИНИНА
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ
ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА**

Аннотация. Приведены основные физические и механические свойства отходов и вторичных продуктов промышленности в качестве исходного сырьевого материала для производства минерального порошка; определены качественные показатели асфальтовых бетонов, содержащих минеральные порошки из доменного шлака, золы-уноса тепловых электростанций, пыли вращающихся печей цементных заводов: прочность при сжатии при температурах 0, 20, 50 °С, водонасыщение, набухание. В выводах и рекомендациях установлены факторы, оказывающие решающее влияние на свойства асфальтобетонов.

Ключевые слова: минеральный порошок, цементная пыль, зола-уноса ТЭС, доменный шлак, асфальтобетон, карбонатная горная порода, прочность, водонасыщение, набухание.

Порометрические и коррозионные свойства асфальтобетонов в значительной мере зависят от содержания гранулометрического состава и текстуры минерального порошка [1], который не производится ни одним предприятием в Донецком регионе.

В настоящее время строители автомобильных дорог в Донецком регионе используют в качестве минерального порошка инертную доломитовую пыль, гидрофобизированную техническим стеарином (0,15 % по массе), Докучаевской фабрики инертной пыли, которая производится для нужд угольной отрасли с тонкостью помола выше, чем требуется ГОСТ 16557-78 на минеральный порошок – через сито 0,071 мм проходит не менее 90 % по массе. Кроме того, что отпускная цена на неё довольно высокая, её применение в асфальтобетонных смесях требует повышения расхода битума, а наличие технического стеарина с температурой застывания не ниже 53 °С негативно сказывается на прочности асфальтобетона при сжатии при температуре 50 °С [2].

Из других порошкообразных отходов и вторичных продуктов промышленности в незначительных количествах в качестве минерального порошка применяется зола-уноса Кураховской ТЭС, гранулометрический состав которой не соответствует требованиям для минерального порошка. Её необходимо дополнительно измельчать в мельницах с определенным набором мелющих тел до тонкости помола частиц менее 0,071 мм [2].

При наличии в Донецком регионе значительного количества различных отходов и вторичных продуктов отраслей промышленности проблему получения минерального порошка можно решить, использовав после соответствующей переработки продукты известкового, силикатного и железистого распада доменного шлака или тонкий помол кристаллических основных, нейтральных и кислых доменных шлаков, обеспечивающих хорошую адгезию битумной пленки, а также традиционные арагонитовые порошки.

Кроме упомянутого выше, можно использовать порошки, приготовленные из колошниковой пыли, цемента, а также супесчаных и пылеватых грунтов типа лёсса, горелых песков формовочных цехов машиностроительных заводов, отсеков нерудного производства и др., разумеется, при наличии помольных установок-мельниц.

В классической технической и периодической литературе имеются сведения информационного характера о применении различных отходов производств в качестве минерального порошка для

асфальтобетонов, но использование их на постоянной основе производилось в незначительных объемах в виде поисковых исследований. Нормативной базой является ГОСТ 16557-2003 «Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей. Технические условия». В этом нормативном документе регламентированы качественные показатели минеральных порошков различного происхождения и рекомендованы к применению наиболее приемлемые с учетом больших объемов выхода в виде отходов исходного сырья-пыль-уноса цементных заводов, зола-уноса ТЭС и металлургических шлаков [1, 3, 4, 5, 6].

Для проведения исследований нами были отобраны пробы из этих отходов и вторичных продуктов с целью определения их свойств для последующего доведения до требований ГОСТ 9128-84 по гранулометрическому составу.

Физические и механические свойства исходного сырья приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1 – Цементная пыль Амвросиевского цементного завода

Размер частиц, мк	30–50	20–30	15–20	10–15	5–10	3–5	3
Содержание, % по массе	12	25	38	8	8	2	7

Таблица 2 – Зола-уноса Старобешевской ТЭС

Размеры отверстий сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	< 0,14
Частные остатки на ситах, %	14,9	37,9	17,4	7,5	6,5	15,7

Истинная плотность – 2 620 кг/м³; насыпная плотность – 700 кг/м³; начало схватывания через 1,5 часа; конец схватывания через 5,6 часов; цементная пыль обладает большой удельной площадью поверхности – 6 000...10 000 см²/г и содержит минералы портландцементного клинкера – алит, белит, трехкальциевый алюминат и четырехкальциевый алюмоферрит, влияющие на твердение цементной пыли.

Средняя плотность – 800...1 500 кг/м³; истинная плотность – 1 700...3 000 кг/м³; водопоглощение 1,0...2,7 % по объему; содержание оксидов: SiO₂ – 42,5 %, Al₂O₃ – 23 %, Fe₂O₃ – 21,4 %; суммарное количество CaO и MgO – 5,7 % по массе.

Доменный шлак Донецкого металлургического завода

Для проведения исследований был отобран основной доменный шлак, прошедший стадию силикатного распада. Об этом можно судить по растрескавшимся кускам и распаду в шлаковую муку.

Содержание оксидов: SiO₂ – 36,7 %, Al₂O₃ – 9,4 %, Fe₂O₃ – 0,6 %, CaO – 44,24 %, MgO – 2,44 %, MnO – 3,23 %, SO₃ – 3,8 % по массе; модуль активности – 0,24; модуль основности – 1,02. Средняя плотность – 2 300...2 800 кг/м³; истинная плотность – 2 900...3 140 кг/м³; водопоглощение плотного шлака – 0,8...2,8 %, по объему.

Известняк Докучаевского месторождения

Средняя плотность – 2 630 кг/м³; истинная плотность – 2 680 кг/м³; марка щебня по дробимости в цилиндре – 800...1 000; износ в полочном барабане – 26,9 % по массе; пористость – 1,2 % по объему; водопоглощение – 0,7...1,2 % по объему.

Для доведения исходного сырья до значения требуемых показателей по гранулометрическому составу для минерального порошка известняк фракции 0...2,5 мм, основной доменный шлак фракции 0...2,5 мм и золу-унос ТЭС фракции 0...2,5 мм измельчали в лабораторной мельнице до степени дисперсности, приведенной в таблице 3.

Содержание в асфальтобетонных смесях минерального порошка 10 % по массе. Образцы из мелкозернистых асфальтобетонных смесей типа Б с приведенными в таблице 2 минеральными порошками формовали по стандартной методике на битуме БНД 60/90 с расходом 5,8...7,0 % сверх 100 % минеральной части. Результаты испытаний образцов приведены в таблице 4.

ВЫВОДЫ

1. Анализируя приведенные в таблице 4 значения показателей качества, можно отметить, что асфальтобетоны с минеральными порошками из различных материалов незначительно отличаются

Таблица 3 – Зерновые составы минеральных порошков

Зерновой состав % по массе, не менее:	Материалы			
	Основной шлак	Зола-уноса	Цементная пыль	Известняк
1	2	3	4	5
1	2	3	4	5
Мельче 1,25 мм	100	100	100	100
Мельче 0,315 мм	90	90	100	90
Мельче 0,071 мм	72	70	92	70

Таблица 4 – Физические и механические свойства асфальтобетонов с минеральными порошками из различных материалов

Показатели свойств	Минеральный порошок			
	Цементная пыль	Зола-уноса ТЭС	Доменный шлак	Известняк
Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре: 0 °С 20 °С 50 °С				
	10,1	9,0	11,1	9,3
	3,63	4,28	5,6	4,3
	1,44	1,42	1,8	1,4
Водонасыщение, % по объему	2,34	2,38	2,50	2,5
Набухание, % по объему	0,3	0,34	0,4	0,5
Средняя плотность, кг/м³	2 340	2 360	2 360	2 340
Коэффициент водостойкости	0,91	0,95	0,94	0,95
Содержание битума, % по массе	7,1	6,0	7,2	7,0

по прочностным показателям. Наиболее прочный асфальтобетон на минеральном порошке из доменного шлака сказывается наличие в шлаке большого содержания оксидов СаО и MgO, что наблюдается и для асфальтобетонов с золой-уноса.

2. Главным критерием возможности использования цементной пыли в качестве минерального порошка является суммарное содержание щелочных соединений, которое согласуется с определенным количеством водорастворимых соединений, содержание которых, вероятно, может отразиться на водоустойчивости, что подчеркивает необходимость проведения испытаний асфальтобетонов на длительную водостойкость. Кроме того, вследствие высокой дисперсности, цементная пыль подвержена выдуванию. Для предотвращения этого целесообразна предварительная обработка пыли органическим вяжущим, вязкость и количество которого следует назначать в зависимости от степени дисперсности пыли.

3. Зола-уноса тонкодисперсный порошок, в состав которого входят кварц в виде трещиноватых зерен неправильной формы, полевой шпат-зерна угловатой формы, стеклоподобное вещество, углестое вещество и др. Наличие в золе этих частиц обуславливает хорошую уплотняемость за счет уменьшения трения не шероховатых поверхностей частичек при уплотнении. Расход битума уменьшается на 1 % по массе.

4. Асфальтобетон на минеральном порошке из активного доменного шлака по своим показателям выгодно отличается особенно по пределу прочности при сжатии при 50 °С. Более высокая прочность при этой температуре должна обеспечить сдвигустойчивость покрытия. Производство минеральных порошков из активных доменных шлаков сдерживается сложностью технологии отделения шлаковой муки от общего массива шлака в отвале.

5. Качественные показатели асфальтобетонов с принятыми для исследования минеральными порошками удовлетворяют требованиям ГОСТ 9128-84 к I и II марке для климатических условий Донецкой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ястребова, Л. Н. Исследование свойств минеральных порошков и их влияние на свойства асфальтового бетона [Текст] / Л. Н. Ястребова // Исследование органических материалов и физико-механических свойств асфальтовых смесей. – М. : Дориздат, 1949. – С. 82–105.
2. Тарасенко, Л. П. Использование отходов промышленности в строительстве сельских дорог [Текст] / Л. П. Тарасенко. – М. : Транспорт, 1973. – 65 с.
3. ГОСТ 9128-84. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия. – Взамен ГОСТ 9128-76 ; введ. 1985-01-01. – М. : Госкомитет СССР по делам строительства, 1984. – 25 с.
4. Гиржель, А. М. Тяжелый бетон с добавкой золы-уноса [Текст] / А. М. Гиржель, В. Г. Брагинский, В. И. Романов // Бетон и железобетон, 1986. – № 5. – С. 39–40.
5. Опыт применения металлургических шлаков для дорожного строительства [Текст] / Главдорстрой СССР. – М. : Автотрансиздат, 1959. – 30 с.
6. Доля, А. Г. Эффективное использование вторичных ресурсов Донбасса в дорожном строительстве [Текст] / А. Г. Доля, Р. А. Доля. – Харьков : НТМТ, 2013. – 170 с.

Получено 12.02.2018

А. Г. ДОЛЯ, Р. К. ПОПОВ, Д. В. СЕВЕРИН, А. О. ТЕРЕЩЕНКО,
А. В. КАТЕРИНИНА

ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНИХ ПОРОШКІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ ОТРИМАННЯ НА
ВЛАСТИВОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Наведено основні фізичні і механічні властивості відходів і вторинних продуктів промисловості в якості вихідного сировинного матеріалу для виробництва мінерального порошку; визначені якісні показники асфальтових бетонів, що містять мінеральні порошки з доменного шлаку, золи-виносу теплових електростанцій, пилу оберткових печей цементних заводів: міцність при стисненні за температур 0, 20, 50 °С, водонасичення, набухання. У висновках і рекомендаціях встановлені фактори, що найбільш впливають на властивості асфальтобетону.

Ключові слова: мінеральний порошок, цементний пил, зола-виносу ТЕС, доменний шлак, асфальтобетон, карбонатна гірська порода, міцність, водонасичення, набухання.

ANATOLIY DOLYA, ROMAN POPOV, DMITRIY SEVERIN, ANDREY
TERESHCHENKO, ANASTASIA KATERININA

INFLUENCE OF MINERAL POWDERS OF A DIFFERENT NATURE ON THE
PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The basic physical and mechanical properties of secondary waste and chemical products as the starting raw material for the production of mineral powder are given; quality indicators asphalt concrete comprising mineral powders of blast furnace slag, fly ash of thermal power stations, dust rotary kilns of cement plants: compressive strength at temperatures of 0, 20, 50 °C, water saturation, and swelling are determined. In the conclusions and recommendations, factors that have a decisive influence on the properties of asphaltic concrete have been specified.

Key words: mineral powder, cement dust, fly-ashes of thermal power plants, blast furnace slag, asphalt concrete, carbonate rock, strength, water saturation, swelling.

Доля Анатолий Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Попов Роман Константинович – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Северин Дмитрий Витальевич – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Терещенко Андрей Олегович – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Катеринина Анастасия Вячеславовна – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Доля Анатолий Григорович – кандидат технических наук, профессор кафедры автомобильных дорог и аэродромов ДООУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Попов Роман Костянтинович – магистрант ДООУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Северин Дмитро Віталійович – магистрант ДООУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Терещенко Андрій Олегович – магистрант ДООУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Катериніна Анастасія Вячеславівна – магистрант ДООУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Dolya Anatoliy – Ph. D. (Eng.), Professor; Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: application of processed raw materials in road building.

Popov Roman – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: use of secondary resources in road construction.

Severin Dmitriy – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: use of secondary resources in road construction.

Tereshenko Andrey – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: use of secondary resources in road construction.

Katerinina Anastasia – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: use of secondary resources in road construction.

СОДЕРЖАНИЕ

БРАТЧУН В. И., БЕСПАЛОВ В. Л., ЖЕВАНОВ В. В., НАРИЖНАЯ О. Н., БУГАЕВ В. А., КАЧКИНА А. Ю., БУКИАШВИЛИ Ю. В. Вяжущие свойства отсева дробления отвальных мар- теновских шлаков и их активация химическими добавками	5
СОБОЛЬ О. В., ШАЖКО Я. В., ОЖЕГОВА Л. Д. Парный рост кристаллов в водных растворах неорганических кристаллогидратов	11
БРАТЧУН В. И., СТАВЦЕВ В. В., РОМАСЮК Е. А., ДЕМЕШКИН В. П., ЧИЧИГИН М. В. Измерение упругой деформации асфальтобетонных образцов-балочек с применением емкостно- го датчика	16
ГУЛЯК Д. В., СМЕРНОВА Д. В. Использование отходов горного производства для совершен- ствования составов асфальтополимербетона	25
БЕСПАЛОВ В. Л., ПАШКОВСКИЙ П. С., ЧИТАЛАДЗЕ А. Ю., САМОЙЛОВА Е. Э., ГРОЗЕНКО А. М., ТРИШКИН Р. В. Об использовании техногенного сырья в составе модифици- рованных асфальтобетонов повышенной долговечности	32
ЗАЙЧЕНКО Н. М., ЛАХТАРИНА С. В., ЕГОРОВА Е. В., МАРТЫНОВА В. Б., КИЦЕНКО Т. П. Влияние дополнительной воды затворения на показатели полной усадки высо- копрочных легких бетонов	41
ЛЕВЧЕНКО В. Н., БРЫЖАТЫЙ Э. П., ШЕЛИХОВА Е. В., НЕВГЕНЬ Н. А., ЗАВЯЛОВ В. Н. Методические подходы к проведению исследований по определению эксплуатационных расхо- дов и потерь от коррозии строительных конструкций	48
НАГОРНАЯ Н. П. Регрессионные модели при анализе зависимости товарооборота торгового предприятия хозяйственными товарами от товарооборота строительных материалов и изделий	56
ЛОЙКО Д. П., КИБЗУН В. Н. Теоретические представления об адгезии полимерных смесей к пористым структурам различного строения	61
ЗАГОРОДНЯЯ А. В., ВОЛЧКОВ А. Н., ПШЕНИЧНЫХ О. А. О целесообразности модифици- рования нефтяных битумов дорожных асфальтобетонов	66
САМОЙЛОВА Е. Э., МОИСЕЕНКО С. В. Оценка величины поверхностного натяжения груп- повых химических компонентов битума	71
КОЧЕРГИН Ю. С., САМОЙЛОВА Е. Э., ПОПОВА О. С. Вязкоупругие свойства эпоксидных полимерных материалов, наполненных молотым карбонатом кальция	76
ТРИНКЕР А. Б. Об инновационных технологиях проектирования и строительства энергетиче- ских сооружений	88
ЕФРЕМОВ А. Н., КОНЕВ О. Б. Долговечность мелкозернистых прессованных шлакощелочных бетонов на основе жидкого стекла	97
БАРБО А. С., ВРЖЕЩ Д. В., ПАВЛЕНКО А. А., РЕШЕТНИКОВ А. С., СТУКАЛОВ А. А., БОРОДАЙ Д. И. Исследование физико-механических свойств отсева дробления известняка с целью использования в дорожном строительстве	101
БРАТЧУН В. И., НАРИЖНАЯ О. Н., СТУКАЛОВ А. А., УРУТИН К. А. Наблюдение десольва- тации асфальтенов при нагреве битумов	108
ДОЛЯ А. Г., ПОПОВ Р. К., СЕВЕРИН Д. В., ТЕРЕЩЕНКО А. О., КАТЕРИНИНА А. В. Влия- ние минеральных порошков различной природы получения на свойства асфальтобетона	114

ЗМІСТ

БРАТЧУН В. І., БЕСПАЛОВ В. Л., ЖЕВАНОВ В. В., НАРИЖНА О. М., БУГАЄВ В. М., КАЧКІНА А. Ю., БУКІАШВІЛІ Ю. В. В'язучі властивості відсіву подрібнення відвальних мартенівських шлаків і їх активація хімічними добавками	5
СОБОЛЬ О. В., ШАЖКО Я. В., ОЖЕГОВА Л. Д. Парний ріст кристалів у водяних розчинах неорганічних кристалогідратів	11
БРАТЧУН В. І., СТАВЦЕВ В. В., РОМАСЮК Є. О., ДЕМЄШКІН В. П., ЧИЧИГІН М. В. Вимірювання пружної деформації асфальтобетонних зразків-балочок із застосуванням ємнісного датчика	16
ГУЛЯК Д. В., СМІРНОВА Д. В. Використання відходів гірничого виробництва для вдосконалення складу асфальтополімербетонів	25
БЕСПАЛОВ В. Л., ПАШКОВСЬКИЙ П. С., ЧІТАЛАДЗЕ Г. Ю., САМОЙЛОВА О. Е., ГРОЗЕНКО О. М., ТРИШКІН Р. В. Про використання техногенної сировини в складі модифікованих асфальтобетонів підвищеної довговічності	32
ЗАЙЧЕНКО М. М., ЛАХТАРИНА С. В., ЄГОРОВА О. В., МАРТИНОВА В. Б., КІЦЕНКО Т. П. Вплив додаткової води затворювання на показники повної усадки високоміцних легких бетонів	41
ЛЕВЧЕНКО В. М., БРИЖАТИЙ Е. П., ШЕЛІХОВА О. В., НЕВГЕНЬ М. О., ЗАВЯЛОВ В. М. Методичні підходи до проведення досліджень щодо визначення експлуатаційних видатків і втрат від корозії будівельних конструкцій	48
НАГОРНА Н. П. Регресійні моделі при аналізі залежності товарообігу торговельного підприємства господарськими товарами від товарообігу будівельних матеріалів і виробів	56
ЛОЙКО Д. П., КІБЗУН В. М. Теоретичні уявлення адгезії полімерних сумішей з пористими структурами різної будови	61
ЗАГОРОДНЯ А. В., ВОЛЧКОВ О. М., ПШЕНИЧНИХ О. О. Про доцільність модифікування нафтових бітумів дорожніх асфальтобетонів	66
САМОЙЛОВА О. Е., МОІСЕЄНКО С. В. Оцінка величини поверхневого натягу групових хімічних компонентів бітуму	71
КОЧЕРГІН Ю. С., САМОЙЛОВА О. Е., ПОПОВА О. С. В'язкопружні властивості епоксидних полімерних матеріалів, наповнених меленим карбонатом кальцію	76
ТРІНКЕР А. Б. Про інноваційні технології проектування та будівництва енергетичних споруд	88
ЄФРЕМОВ О. М., КОНЄВ О. Б. Довговічність дрібнозернистих пресованих шлаколужних бетонів на основі рідкого скла	97
БАРБО О. С., ВРЖЕЩ Д. В., ПАВЛЕНКО А. О., РЕШЕТНИКОВ О. С., СТУКАЛОВ О. А., БОРОДАЙ Д. І. Дослідження фізико-механічних властивостей відсіву подрібнення вапняку з метою використання в дорожньому будівництві	101
БРАТЧУН В. І., НАРИЖНА О. М., СТУКАЛОВ О. А., УРУТІН К. О. Спостереження десольватації асфальтенів при нагріванні бітумів	108
ДОЛЯ А. Г., ПОПОВ Р. К., СЕВЕРІН Д. В., ТЕРЕЩЕНКО А. О., КАТЕРИНІНА А. В. Вплив мінеральних порошоків різної природи отримання на властивості асфальтобетону	114

CONTENTS

BRATCHUN VALERY, BESPALOV VITALY, ZHEVANOV VIACHESLAV, NARYGNAYA OLGA, BUGAEV VIKTOR, KACHKINA ANASTASIA, BUKIASHVILI JULIA. Knitting Properties of Screening of Crushing of Open Hearth Slag and their Activation by Chemical Additives	5
SOBOL OKSANA, SHAZHKO YAROSLAV, OZHEGOVA LARISA. Crystals Pair Growth in Water Solutions of Inorganic Crystalline Hydrates	11
BRATCHUN VALERY, STAVTSEV VALERY, ROMASYUK EVGENY, DEMESCHKIN VALENTIN, CHICHIGIN MIKHAIL. Measuring the Elastic Deformation of Asphalt-Concrete Beams with the use of a Capacitive Sensor	16
GULYAK DENIS, SMIRNOVA DARIA. Investigation of the use of Mineral Waste Waste for Improvement of Asfaltopolymerbeton Compositions	25
BESPALOV VITALY, PASHKOVSKIY PETR, CHITALADZE ANNA, SAMOYLOVA ELENA, GROZENKO ALEKSEJ, TRISHKIN ROMAN. The use of Man-Made Materials in the Composition of Modified Asphalt Concrete Increased Durability	32
ZAICHENKO MYKOLA, LAHTARYINA SERGEY, EGOVA ELENA, MARTYNONOVA VITA, KITSSENKO TATYANA. Influence of the Extra Water Additional to the Total Shrinkage of High-Strength Lightweight Aggregate Concrete	41
LEVCHENKO VICTOR, BRYZHATY EDUARD, SHELIKHOVA ELENA, NEVGEN NIKOLAI, ZAVIALOV VIACHESLAV. Methodical Approaches to the Research for Determining Maintenance Charges and Corrosion Losses of Building Structures	48
NAGORNA NINA. Regression Models in the Analysis of the Dependence of Trade Turnover of a Commercial Enterprise with Household Goods on the Turnover of Building Materials and Products	56
LOYKO DMITRY, KIBZUN VALENTINA. Theoretical Concepts of Adhesion Polymer Blends with Porous Structures of Different Structure	61
ZAGORODNYAYA ANASTASIA, VOLCHKOV ALEXANDER, PSHENICHNIY OLEG. The Characteristic of Structure Modified Polymeric and Bituminous Binder in Asphalt Concrete Taking into Account Regional Features of Donbass	66
SAMOYLOVA ELENA, MOISEYENKO SVETLANA. Estimation of the Surface Tension of Group Chemical Components of Bitumen	71
KOCHERGIN YURIY, SAMOYLOVA ELENA, POPOVA OKSANA. Viscoelastic Properties of Epoxy Resin Materials Filled with Ground Calcium Carbonate	76
TRINKER ALEXANDER. On Innovative Technologies for the Design and Construction of Power Structures	88
YEFREMOV ALEXANDER, KONEV OLEG. Durability of the Fine-Grained Pressed Slag Concrete on the Basis of Liquid Glass	97
BARBO ALEXANDER, VRZHESHCH DMITRIY, PAVLENKO ARTEM, RESHETNIKOV ALEXANDER, STUKALOV ALEKSANDR, BORODAY DENIS. Investigation of Physical and Mechanical Properties of Limestone Crushing Screening in Order to use in Road Constructing	101
BRATCHUN VALERY, NARYGNAYA OLGA, STUKALOV ALEKSANDR, URUTIN KONSTANTIN. Observation of Desolvation of Asphaltenes During Bitumen Heating	108
DOLYA ANATOLIY, POPOV ROMAN, SEVERIN DMITRIY, TERESHCHENKO ANDREY, KATERININA ANASTASIA. Influence of Mineral Powders of a Different Nature on the Properties of Asphalt Concrete	114