

ВІСНИК
ДОНБАСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ



Випуск 2011-1(87)

**СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ
МАТЕРІАЛИ**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
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 2011-1(87)

СУЧАСНІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

Макіївка 2011

Засновник і видавець

Міністерство освіти і науки України

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації КВ № 9643

видано 02 березня 2005 року Державним комітетом телебачення і радіомовлення України

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

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

Друкується за рішенням вченої ради
Донбаської національної академії будівництва і архітектури
Протокол № 5 від 31.01.2011 р.

Редакційна колегія:

Горохов Є. В., д. т. н., професор (головний редактор);

Мущанов В. П., д. т. н., професор (відповідальний редактор);

Корсун В. І., д. т. н., професор (технічний редактор);

Братчун В. І., д. т. н., професор (відповідальний редактор випуску);

Зайченко М. М., к. т. н., доцент (відповідальний секретар);

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

Левін В. М., д. т. н., професор;

Петраков О. О., д. т. н., професор;

Вировий В. М., д. т. н., професор;

Вознесенський В. А., д. т. н., професор;

Золотарьов В. О., д. т. н., професор;

Білошенко В. О., д. т. н., с. н. с.;

Руденко Н. М., д. т. н., с. н. с.

Коректори М. А. Мовчан, Л. І. Чернишова, О. М. Лебедєв
Програмне забезпечення С. В. Гавенко
Комп'ютерне верстання А. С. Виновет

Підписано до друку 21.02.2011 Формат 60х84 1/8. Папір багатофункціональний офісний.

Друк різнографічний. Умов. друк. арк. 24,87. Тираж 300 прим. Заказ 083-11.

Адреса редакції і видавця

Україна, 86123, Донецька область, м. Макіївка, вул. Державіна, 2,

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

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

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

http://donnasa.edu.ua/ru/publishing_house/vestnik

Постановою Президії ВАК України від 09.06.1999 р. № 1-05/7 журнал внесено до переліку наукових фахових видань із технічних наук

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

© Донбаська національна академія
будівництва і архітектури, 2011

УДК 678.686

О. С. ПОПОВА^а, Е. Э. САМОЙЛОВА^б, Ю. С. КОЧЕРГИН^а, Т. И. ГРИГОРЕНКО^с

^а Донецкий национальный университет экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского, г. Донецк.

^б Донбасская национальная академия строительства и архитектуры.

^с ГП «Украинский государственный научно-исследовательский институт пластических масс», г. Донецк

ВИНИЛОКС — ЭФФЕКТИВНЫЙ РАЗБАВИТЕЛЬ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Представлены результаты исследования влияния винилокса, представляющего собой высокоактивный бифункциональный мономер 2-(винилокси)-этоксиметилоксиран, в качестве разбавителя эпоксидных композиций. Показано, что винилокс обеспечивает более высокий разбавляющий эффект по сравнению с традиционным разбавителем — крезилглицидиловым эфиром марки УП-616. Методом дифференциальной сканирующей калориметрии установлено, что добавка винилокса приводит к увеличению теплового эффекта и температуры начала реакции отверждения эпоксидной композиции. Зависимости прочности при растяжении, модуля упругости и адгезионной прочности при отрыве от концентрации винилокса имеют экстремальный характер с максимумом свойств при содержании разбавителя 5...10 масс. ч. Деформация при разрыве, работа разрушения, прочность при сдвиге клеевых соединений монотонно растут во всем изученном диапазоне концентраций винилокса, а температура стеклования монотонно снижается с ростом содержания разбавителя. Результаты исследования динамо-механических свойств указывают на значительное увеличение динамического модуля упругости в стеклообразном состоянии полимера при введении винилокса. Эффект связан с образованием дополнительных химических и физических связей между ингредиентами системы за счет их большей подвижности в присутствии винилокса.

винилокс, разбавитель, вязкость, эпоксидная композиция, деформационно-прочностные, адгезионные свойства, дифференциальная сканирующая калориметрия, динамо-механический анализ

Актуальность темы. В технологии эпоксидных композиций разбавители применяются главным образом для снижения вязкости систем. При этом некоторые типы разбавителей в отвержденной композиции выполняют функцию модификатора, в определенных пределах регулируя физико-механические и эксплуатационные свойства [1, 2].

По химическому строению и активности относительно эпоксидных смол и отвердителей разбавители можно разделить на три типа [1]:

- 1) нереакционноспособные;
- 2) реакционноспособные, содержащие эпоксидные группы;
- 3) реакционноспособные, содержащие неэпоксидные функциональные группы.

Как правило, нереакционноспособные (например, дибутилфталат) разбавители при низких концентрациях оказывают незначительное влияние на физико-механические свойства. По мере повышения концентрации разбавителя обычно ухудшаются свойства отвержденной системы. При этом часть разбавителя может выделяться в процессе отверждения, что приводит к увеличению усадки и ухудшению адгезии.

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

С целью регулирования вязкости и физических свойств полимеров могут быть использованы ди- или полиэпоксидные реакционноспособные разбавители. При этом такие разбавители обычно снижают температуру тепловой деформации отвержденных систем.

Наибольшей разбавляющей способностью обладают моноэпоксидные разбавители. Кроме того, они, как правило, повышают жизнеспособность композиций, улучшают их смачивающую способность и дают возможность увеличить количество вводимого наполнителя. В то же время моноэпоксидные разбавители отличаются повышенными летучестью и токсичностью, что в значительной мере ухудшают санитарно-гигиенические и экологические условия работы с композициями, в которых они присутствуют.

Поэтому поиск новых представителей этого класса соединений представляет несомненный интерес. В этом плане большой интерес вызывает высокоактивный бифункциональный мономер 2-(винилокси) этоксиметилоксиран (техническое название «винилокс») [3, 4]. Это стабильная нетоксичная жидкость, которая может быть легко очищена перегонкой до требуемой степени чистоты.

Целью исследования является изучение влияния высокоактивного бифункционального мономера 2-(винилокси) этоксиметилоксиран (техническое название «винилокс») на комплекс технологических, физико-механических и адгезионных свойств эпоксидных композиций в сравнении с широко применяемым на практике крезилглицидиловым эфиром марки УП-616.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования стали эпоксидный олигомер — промышленная диановая смола марки Epikote-828 (содержание эпоксидных групп 22,6 %, вязкость при 25 °С 12–14 П·с), разбавители 2-(винилокси) этоксиметилоксиран (техническое название «винилокс») и крезилглицидиловый эфир марки УП-616.

Совмещение смолы с разбавителями проводили при комнатной температуре. Содержание разбавителей варьировали от 0 до 20 масс. ч. на 100 масс. ч. ЭО. Отверждение композиций проводили диэтилен-триамином ДЭТА по режимам 22 °С / 240 ч (I — холодное отверждение) и 22 °С / 240 ч + 120 °С / 3 ч (II — отверждение с термообработкой). Разрушающее напряжение при растяжении (σ_p) и деформацию при разрыве (ϵ_p) измеряли на динамометре типа Поляни [5] при скорости растяжения $3,8 \cdot 10^{-5}$ м/с. Модуль упругости (E) рассчитывали по наклону начального участка кривой σ – ϵ . Мерой работы разрушения (A_p) служила площадь под кривой растяжения. Температуру стеклования (T_g) определяли при постоянной растягивающей нагрузке 1 МПа на приборе, описанном в [5]. Прочность при сжатии ($\sigma_{сж}$) определяли по ГОСТ 4651-82. Адгезионную прочность при сдвиге (τ_b) и отрыве ($\sigma_{отр}$) определяли по ГОСТ 14759-69 и ГОСТ 14760-69. Динамические механические характеристики (динамический модуль упругости E', модуль потерь E'', тангенс угла механических потерь $\tan \delta$) измеряли на установке ДМА 983 термоаналитического комплекса DuPont 9900. На блоке Dual Sample 912 этого же комплекса методом дифференциальной сканирующей калориметрии определяли теплофизические свойства (температуру начала реакции T_n , максимальной скорости реакции T_m и тепловой эффект реакции Q).

Молекулярную массу участка цепи между узлами сшивки M_c рассчитывали по величине модуля высокоэластичности, измеренного при температуре $T = T_g + 50$ К (где T_g — температура стеклования), по формуле [1]:

$$M_c = 3\rho RT/E_{B,3}, \quad (1)$$

где R — универсальная газовая постоянная,
T — абсолютная температура,
 ρ — плотность полимера.

Плотность узлов химической сетки n_c рассчитывали по формуле:

$$n_c = \rho / M_c.$$

Вязкость композиций определяли с помощью вискозиметра ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм и на вискозиметре ВПЖ-2.

Поскольку главная функция разбавителей понижать вязкость эпоксидных смол, была исследована зависимость вязкости композиций от содержания винилокса и УП-616.

Видно (рис. 1), что винилокс обладает большей разбавляющей способностью, о чем свидетельствуют меньшие значения вязкости во всем изученном диапазоне концентраций разбавителей.

Методом динамической сканирующей калориметрии установлено (рис. 2, 3), что добавка разбавителей приводит к увеличению теплового эффекта реакции, а сама реакция в присутствии разбавителей начинается при более высокой температуре (табл. 1). В большей мере это присуще композициям, содержащим винилокс. Более весомо влияние разбавителей на температуру стеклования отвержденных систем. При этом во всем исследованном интервале концентраций разбавители, особенно винилокс, оказывают пластифицирующее влияние на эпоксидную матрицу, образованную базовой рецептурой (Epikote-828+ДЭТА).

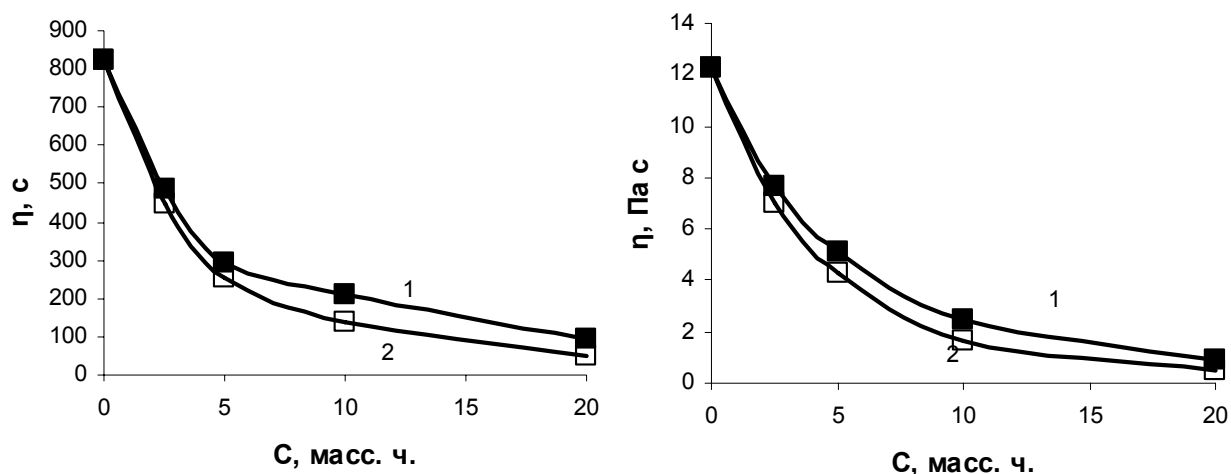


Рисунок 1 — Зависимость вязкости эпоксидных композиций от содержания разбавителей: УП-616 (1) и винилокса (2); а — условная вязкость, б — динамическая вязкость.

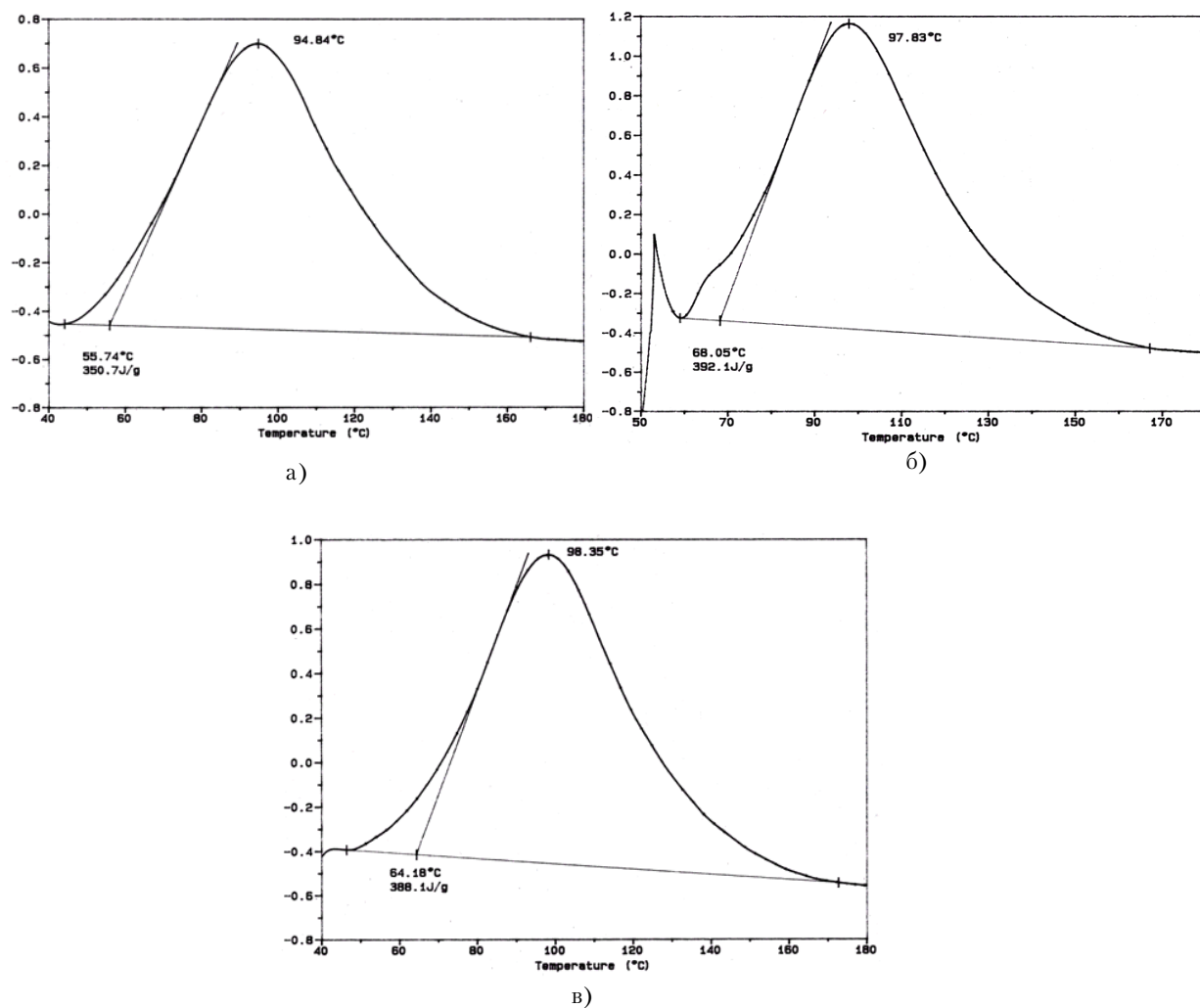


Рисунок 2 — Зависимость теплового потока от температуры в процессе отверждения базовой композиции Epikote-828 + ДЭТА (а) и содержащей 20 масс. ч. винилокса (б) и УП-616 (в).

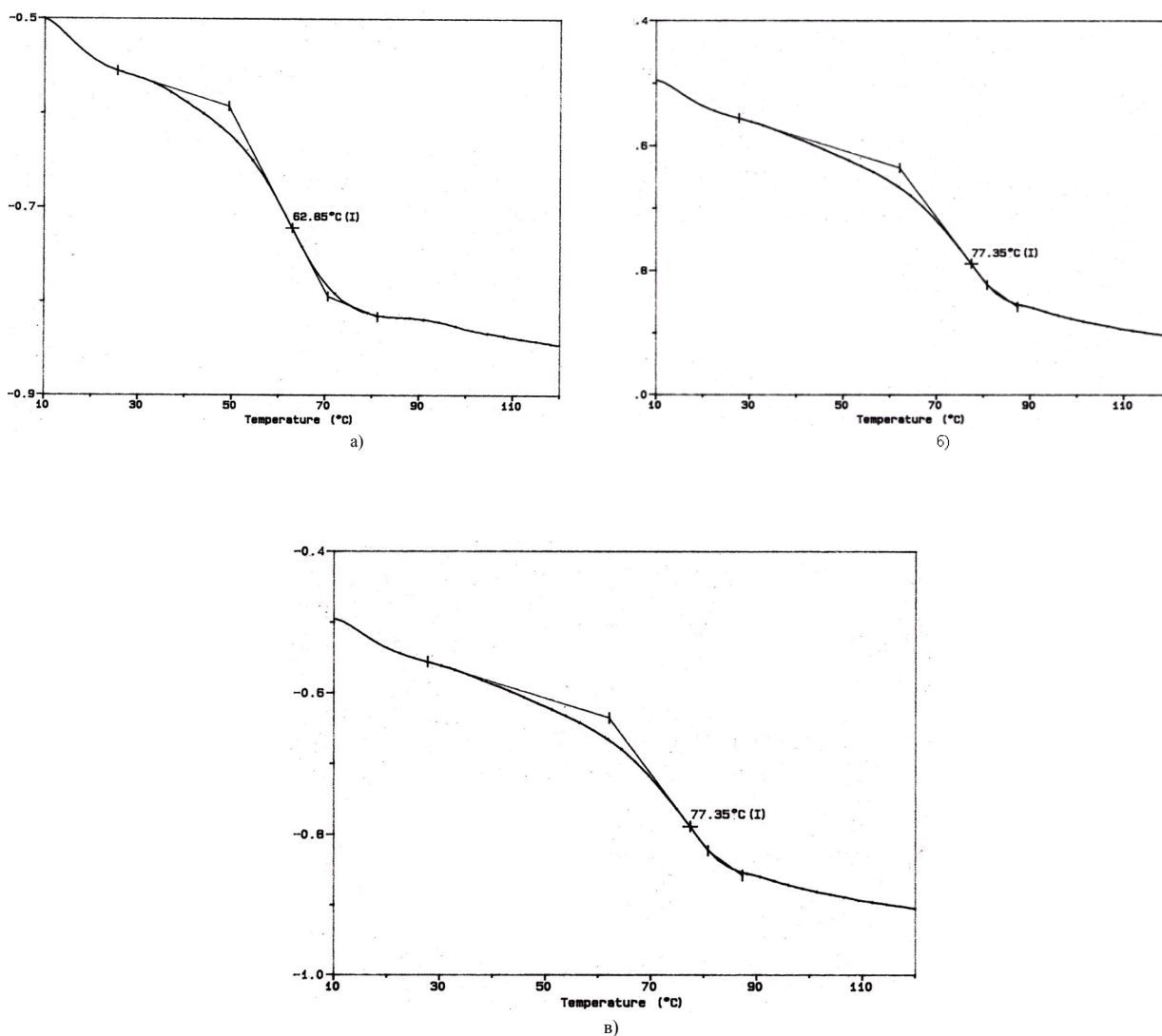


Рисунок 3 — Зависимость теплового потока от температуры для отвержденных базовой композиции Epikote-828 + ДЭТА (а) и смесей, содержащих 20 масс. ч. винилокса (б) и УП-616 (в).

Таблица 1 — Влияние разбавителей на теплофизические свойства эпоксидных полимеров

Рецептура, масс. ч	Тепловой эффект реакции, Q, Дж/г	Температура начала реакции T_c^H , °C	Температура максимальной скорости реакции, T_m , °C	Температура стеклования, T_g , °C
Epikote-828-100 ДЭТА - 12	350,7	55,74	94,84	100,86
Epikote-828-100 Винилокс - 20 ДЭТА - 12	392,1	68,05	97,83	62,85
Epikote-828-100 УП - 616 ДЭТА - 15	388,1	64,18	98,35	77,35

Таблица 2 — Влияние разбавителей на свойства эпоксидных полимеров

Показатели свойств	Концентрация разбавителя, масс. ч. ¹⁾								
	Винилокс					УП - 616			
	0	5	10	15	20	5	10	15	20
Прочность при растяжении, σ_p , МПа	<u>44</u> ²⁾	<u>55</u>	<u>60</u>	<u>55</u>	<u>48</u>	<u>47</u>	<u>50</u>	<u>52</u>	<u>51</u>
	58	65	71	76	70	66	66	63	60
Деформация при разрыве, ε_p , %	<u>2,1</u>	<u>2,4</u>	<u>2,8</u>	<u>3,1</u>	<u>3,8</u>	<u>1,9</u>	<u>2,3</u>	<u>2,4</u>	<u>2,3</u>
	3,0	3,4	4,1	4,1	4,3	3,0	3,0	2,8	2,4
Модуль упругости, E, ГПа	<u>0,98</u>	<u>1,1</u>	<u>1,5</u>	<u>1,3</u>	<u>1,0</u>	<u>0,99</u>	<u>1,4</u>	<u>1,31</u>	<u>0,98</u>
	1,25	1,3	1,55	1,55	1,48	1,2	1,5	1,43	1,39
Работа разрушения, A _p , кДж/м ²	<u>0,55</u>	<u>0,79</u>	<u>1,00</u>	<u>1,02</u>	<u>1,06</u>	<u>0,54</u>	<u>0,69</u>	<u>0,75</u>	<u>0,72</u>
	1,04	1,75	1,75	1,81	1,80	1,19	1,17	1,06	0,86
Прочность при сжатии, $\sigma_{сж}$, МПа	<u>93</u>	<u>98</u>	<u>105</u>	<u>104</u>	<u>101</u>	<u>105</u>	<u>112</u>	<u>118</u>	<u>120</u>
	116	116	118	116	112	115	124	127	128
Температура стеклования, T _с , °C	<u>56</u>	<u>56</u>	<u>54</u>	<u>51</u>	<u>46</u>	<u>56</u>	<u>55</u>	<u>53</u>	<u>49</u>
	106	105	101	89	57	106	102	99	68
Прочность при отрыве клеевых соединений, $\sigma_{отр}$, МПа	<u>21,2</u>	<u>26,3</u>	<u>24,6</u>	<u>21,2</u>	<u>17,5</u>	<u>22,3</u>	<u>23,1</u>	<u>23,0</u>	<u>22,7</u>
	28,6	38,8	39,5	37,9	36,5	36,4	35,7	33,1	30,8
Прочность при сдвиге клеевых соединений, τ_c , МПа	<u>9,9</u>	<u>17,4</u>	<u>19,7</u>	<u>20,5</u>	<u>21,1</u>	<u>16,3</u>	<u>19,3</u>	<u>20,9</u>	<u>21,4</u>
	15,8	21,7	23,5	25,7	26,5	23,0	22,8	22,9	22,4

¹⁾ на 100 масс. ч. эпоксидной смолы;²⁾ в числителе — отверждение по режиму I; в знаменателе — по режиму II.

В то же время, как следует из данных таблицы 2, зависимость механических и адгезионных свойств и температуры стеклования от концентрации разбавителей не для всех параметров является монотонной. Для ряда характеристик (прочность при растяжении, модуль упругости, прочность при отрыве) наблюдается экстремальная зависимость с образованием максимумов для разных параметров при различных содержаниях разбавителя. Вместе с тем ряд параметров (деформация при разрыве, работа разрушения, прочность при сдвиге клеевых соединений для винилокса), прочность при сжатии и прочность при сдвиге клеевых соединений (для УП-616) монотонно растут с увеличением содержания разбавителя. Температура стеклования, наоборот, монотонно убывает.

При анализе динамо-механических свойств, представленных в табл. 3, следует обратить внимание на следующие экспериментальные факты. Видно, что введение разбавителей приводит к заметному увеличению динамического модуля упругости в стеклообразном состоянии. Особенно, значителен эффект для винилокса. Это можно объяснить образованием дополнительных связей между молекулами системы за счет большей их подвижности в присутствии разбавителя.

После термообработки динамический модуль упругости (E') снижается, что особенно заметно для базового полимера, содержащего УП-616. По-видимому, такое поведение связано с тем, что дополнительные поперечные сшивки, образующиеся в отвержденной системе в результате воздействия повышенных температур, препятствуют более плотной упаковке подвижных элементов макромолекулярной цепи. Это приводит к уменьшению межмолекулярного взаимодействия и, как следствие, падению модуля.

Как видно из табл. 3, модуль высокоэластичности, измеренный при температуре $T_c + 50$ °С, уменьшается с введением разбавителей, что особенно заметно для образцов, подвергнутых термообработке.

При добавлении разбавителя молекулярная масса участков цепи между узлами сшивки M_c повышается, а плотность химической сетки ρ_c , наоборот, понижается по сравнению с базовым образцом.

Пластифицирующее действие разбавителей находит свое отражение в ощутимом снижении температур T_c^n (температура начального участка перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое), T_c^k (температура конечного участка перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое), $Ttg\delta_m$ (температура максимума тангенса угла механических потерь) и $T_{E'm}$ (температура максимума модуля потерь).

В то же время значение модуля потерь E'' у образцов, содержащих разбавители, выше, а величина $Ttg\delta_m$, наоборот, ниже, чем у базового полимера.

ВЫВОДЫ. Результаты проведенного исследования показывают, что винилокс может быть с успехом использован в эпоксидных композициях в качестве активного монофункционального разбавителя, обеспечивающего больший разбавляющий эффект и лучшие экологические, санитарно-гигиенические, физико-механические и адгезионные свойства в сравнении с традиционными разбавителями.

Таблица 3 – Влияние разбавителей на динамические механические свойства эпоксидных полимеров

Наименование показателей свойств	Базовый полимер ¹⁾	Разбавитель	
		Винилокс	УП-616
Динамический модуль упругости E' , ГПа, при 25°C	<u>1,53²⁾</u> 1,14	<u>2,52</u> 2,50	<u>2,12</u> 1,42
Модуль высокоэластичности $E_{в.э}$, МПа	<u>16,15</u> 55,74	<u>14,71</u> 26,43	<u>12,90</u> 32,01
Молекулярная масса участка цепи между узлами сшивки M_c , кг/кмоль	<u>650,6</u> 231,2	<u>695,7</u> 401,5	<u>813,7</u> 328,1
Плотность сетки поперечных связей ρ_c , кмоль/м ³	<u>1,69</u> 4,75	<u>1,58</u> 2,74	<u>1,35</u> 3,35
Температура начального участка перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое, T_c^H , °C	<u>67,1</u> 117,2	<u>45,5</u> 59,8	<u>57,2</u> 68,8
Температура конечного участка перехода из стеклообразного состояния в высокоэластическое, T_c^K , °C	<u>76,8</u> 139,5	<u>64,7</u> 80,8	<u>71,6</u> 94,9
Максимальное значение тангенса угла механических потерь $\tan \delta_m$	<u>1,2050</u> 0,6262	<u>0,9223</u> 0,5204	<u>0,9719</u> 0,5138
Температура $T_{\tan \delta_m}$, °C	<u>78,31</u> 139,80	<u>66,26</u> 80,48	<u>72,87</u> 95,09
Максимальный модуль потерь, E'' , МПа	<u>284,1</u> 139,7	<u>326,5</u> 259,5	<u>303,7</u> 156,9
Температура $T_{E''m}$	<u>73,41</u> 132,80	<u>58,92</u> 73,10	<u>66,46</u> 84,58

¹⁾ смола Epikote-828 – 100 масс. ч. + отвердитель ДЭТА – 12 масс. ч.;

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ли Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Ли Х., Невилл К. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
2. Хозин В. Г. Усиление эпоксидных полимеров / Хозин В. Г. – Казань: изд-во ПИК «Дом печати», 2004. – 446 с.
3. Trofimov B. A. A new strategy in the synthesis of epoxy resins / Trofimov B. A., Nedolya N. A. // Reviews on heteroatom Chem. (Japan). – 1993. – Vol. 9. – 205–209 p.
4. Станкевич В. К. Технологические аспекты получения винилокса – нового перспективного мономера и полупродукта / В. К. Станкевич, Б. А. Трофимов, Л. Е. Белозеров // ВКН: Расширенные тезисы докладов всесоюзной конференции «Современные проблемы химической технологии». Т.3. «Новые направления в комплексной переработке природного органического сырья». – Красноярск, 1986. – С. 272–273.
5. Малкин А. Я. Методы измерения механических свойств полимеров / А. Я. Малкин, А. А. Аскадский, В. В. Коврига. – М.: Химия, 1978. – 336 с.
6. Перепечко И. И. Акустические методы исследования полимеров / И. И. Перепечко. – М.: Химия, 1973. – 296 с.

Получено 23.12.2010

О. С. ПОПОВА ^а, О. Е. САМОЙЛОВА ^б, Ю. С. КОЧЕРГИН ^а, Т. І. ГРИГОРЕНКО ^с
 ВІНІЛОКС – ЕФЕКТИВНИЙ РОЗРІДЖУВАЧ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ
^а Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, ^б Донбаська національна академія будівництва і архітектури, ^с ДП «Український державний науково-дослідний інститут пластичних мас»

Представлені результати дослідження впливу вінілокса, що представляє собою високоактивний біфункціональний мономер 2-(вінілокси)-етоксिमетілоксиран, у якості розріджувача епоксидних композицій. Показано, що вінілокс забезпечує більш високий, розбавляючий ефект у порівнянні з традиційним розріджувачем – крезилгліциділовим ефіром марки УП-616. Методом диференціальної скануючої калориметрії встановлено, що добавка вінілокса приводить до збільшення теплового ефекту і температури початку реакції відвердження епоксидної композиції. Залежності міцності при розтягу, модуля пружності та адгезійної міцності при відриві від концентрації вінілокса мають екстремальний характер з максимумом властивостей при вмісті розріджувача 5–10 масс. ч. Деформація при розриві, робо-

та руйнування, міцність при зрушенні клейових сполук монотонно ростуть у всьому дослідженому діапазоні концентрацій винилокса, а температура склування монотонно знижується з ростом складу розріджувача. Результати дослідження динамо-механічних властивостей свідчать про значне збільшення динамічного модуля пружності в склоподібному стані полімеру при введенні винилокса. Ефект пов'язаний з утворенням додаткових хімічних і фізичних зв'язків між інгредієнтами системи за рахунок їх більшої рухливості в присутності винилокса.

вінілокс, розріджувач, в'язкість, епоксидна композиція, деформаційно-міцнісні, адгезійні властивості, диференціальна скануюча калориметрія, динамо-механічний аналіз

O. S. POPOVA^a, E. E. SAMOYLOVA^b, U. S. KOCHERGIN^a, T. I. GRIGORENKO^c
VINILOX IS EFFICIENT DILUENT OF EPOXY COMPOSITIONS

^a Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Trade Economy, ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^c State-Owned Enterprise «Ukrainian State Research Institute of Plastics», Donetsk

The results of research of the effect of vinyllox being a high-efficient bifunctional monomer of 2-(vinyllox)-etoxymethylxyran as a diluent of epoxy compositions have been presented in the paper. Vinyllox has been demonstrated to provide more profound diluting effect in comparison with a conventional diluent – cresyl glycedine ether of UP-616. The differential scanning calorimetric method has determined that vinyllox addition gives rise the thermal effect and temperature of reaction onset of the epoxy composition hardening. The strength dependences at tension, modulus of elasticity and adhesion strength at breaking-off vinyllox concentration have got an extreme effect with maximum of properties at the diluent proportion 5–10 mass per hour. Breakage strain, destruction operation, shear strength of adhesive joints constantly rise during the whole investigated rate of vinyllox but the glass transition temperature constantly decreases with elevation of diluent proportion. The findings of the investigations of dynamic and mechanical properties point at the considerable increase of dynamic modulus of elasticity at the glass structural state of a polymer during vinyllox injection. The effect is connected with the formation of the additional chemical and physical bonds due to their greater mobility at vinyllox presence.

vinyllox, diluent, stringiness, epoxy composition, deformation and strength, adhesive properties, differential scanning calorimetry, dynamic and mechanical analysis.

Попова Оксана Сергіївна – асистент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського. Наукові інтереси: модифікація епоксидних клейових композицій, що спрямована на підвищення їх споживчих, у тому числі фізико-механічних і адгезійних властивостей.

Самойлова Олена Едуардівна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Прикладна екологія і хімія» секції прикладної хімії, старший науковий співробітник ДП «УкрДержНІПластмас». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів.

Кочергін Юрій Сергійович – доктор технічних наук, професор кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. Наукові інтереси: технологія полімерних композиційних матеріалів.

Григоренко Тетяна Іллівна – кандидат технічних наук, зам. директора з наукової роботи ДП «УкрДержНІПластмас». Наукові інтереси: технологія полімерних композиційних матеріалів.

Попова Оксана Сергеевна – аспирант кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ДонНУЭТ им. М. Туган-Барановского. Научные интересы: модификация эпоксидных клеевых композиций, направленная на повышение их потребительских, в том числе физико-механических и адгезионных свойств.

Самойлова Елена Эдуардовна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Прикладная экология и химия» секции прикладной химии, старший научный сотрудник ГП «УкрГосНИИпластмасс». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов.

Кочергин Юрий Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ДонНУЭТ им. М. Туган-Барановского. Научные интересы: технология полимерных композиционных материалов.

Григоренко Татьяна Ильинична – кандидат технических наук, зам. директора по научной работе ГП «УкрГосНИИпластмасс». Научные интересы: технология полимерных композиционных материалов.

Oksana S. Popova – a postgraduate student of the Merchandising Technique and Nonfood Consumer Goods Examination Department the Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Trade Economy. Research interests: modification of epoxy adhesive compositions oriented to the increase of their consuming, including physical and mechanical and adhesion properties.

Elena E. Samoylova – a Ph.D. (Engineering), a senior lecturer of the Applied ecology and chemistry Department, Applied Chemistry Section, senior researcher of the State-Owned Enterprise «Ukrainian State Research Institute of Plastics». Research interests: physical and chemical investigations of polymer composition materials.

Uriy S. Kochergin – a D. Sc. (Engineering), a Professor of the Merchandising Technique and Nonfood Consumer Goods Department of the Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Trade Economy. Research interests: technology of polymer composition materials.

Tatiana I. Grigorenko – a Ph. D. (Engineering), a deputy director on research of the State-Owned Enterprise «Ukrainian State Research Institute of Plastics». Research interests: technology of polymer composition materials.

УДК 665.775:665.772

В. В. ГОНЧАРЕНКО, Є. О. РОМАСЮК

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДОРОЖНІХ БІТУМІВ ШЛЯХОМ ЇХ МОДИФІКАЦІЇ ВТОРИННИМ ПОЛІЕТИЛЕНОМ ВИСОКОГО ТИСКУ

На основі теоретичних та експериментальних досліджень була доведена можливість поліпшення якості нафтових дорожніх бітумів шляхом введення гранул вторинного поліетилену високого тиску. Отримане таким шляхом модифіковане в'язуче характеризується підвищеними температурами переходу у в'язко-пластичний стан без зниження своєї деформаційної здатності.

бітум, полімер, вторинний поліетилен високого тиску, модифікація, фізико-механічні властивості

Вступ.

Одним з факторів, що визначає довговічність дорожнього асфальтобетону, є якість органічного в'язучого, що використовується. Це пов'язано з тим, що взаємозв'язок між складовими компонентами асфальтобетону здійснюється через прошарки вільного або структурованого бітуму. Останнім часом до якості нафтових дорожніх бітумів висуваються все більш жорсткі вимоги, які стосуються, насамперед, їх деформаційних та міцнісних властивостей, які визначають і деформаційно-міцнісні характеристики асфальтобетону [1, 2].

Виходячи з принципу, згідно з яким якість асфальтобетону визначається, головним чином, якістю бітумних в'язучих, дорожники — практики і дослідники багатьох країн прийшли до висновків, що звичайні бітуми доцільно замінювати бітумами, модифікованими полімерами (БМП).

Для поліпшення властивостей нафтових дорожніх бітумів в їх склад додають полімерні добавки різного типу (термоеластоласти, термоласти, терполімери та ін.), які знижують температурну чутливість, розширяючи їх інтервал пластичності, підвищують адгезійну та когезійну міцність, додають їм еластичність [3]. Але основна причина, що стримує їх широке використання в Україні, це їх висока вартість. Тому актуальним питанням стає пошук добавок, які не зменшували би позитивного ефекту від модифікації, з одного боку, та були б дешевими, з іншого.

В даній роботі наведені результати досліджень нафтового бітуму, модифікованого вторинним поліетиленом високого тиску (ПЕВТ), отриманим у вигляді гранули після переробки відходів поліетиленової продукції.

Мета роботи. Теоретичне й експериментальне обґрунтування отримання бітумо-полімерного в'язучого шляхом введення в бітум вторинного поліетилену високого тиску, з покращеним комплексом фізико-механічних властивостей.

Аналіз виконаних досліджень. При використанні в якості модифікаторів органічних в'язучих матеріалів полімерів передбачається, що такі цінні якості, як міцність, теплостійкість, пластичність, здатність до пружних і високоеластичних деформацій при низьких температурах в певній мірі передадуться в'язучому матеріалу [3, 4].

Аналіз відомих способів приготування бітумів, модифікованих полімерами [3–5], показує, що всі вони передбачають, як правило, підвищену температуру процесу приготування (150–200 °С) і інтенсивне перемішування компонентів. Процес змішування при високій температурі бітуму з полімерами будь-якої хімічної природи протікає в дві стадії — емульгування розм'якшеного полімеру в рідкому бітумі і подальше часткове (набухання) або повне розчинення [3, 4]. Глибина процесу

диспергування полімеру в бітумі за інших однакових умов визначається хімічною природою і молекулярною масою полімеру, хімічним складом бітуму, а також співвідношенням компонентів у в'язучому [3–5].

Основною задачею при модифікації бітуму ПЕВТ є підбір такої кількості полімеру, залежно від в'язкості вихідного бітуму, при якій у в'язучому сформується оптимальна структура, що представлена просторовою полімерною сіткою. Це є одним з основних факторів утворення бітумополімерних в'язучих [5]. При введенні полімеру в бітум, відповідно до [5], відбувається утворення конденсаційно-коагуляційної структури у в'язучому: коагуляційна за рахунок Ван-дер-Вальсових зв'язків між асфальтенами бітуму, конденсаційна — за рахунок відносно міцних зв'язків, що виникають в результаті взаємодії вільних полімерних радикалів системи при перемішуванні. В бітумополімерному в'язучому повинно виникнути зміцнення бітуму полімером за рахунок, з одного боку, відділення слабо конденсованої ароматики, а, з іншого, — утворення самостійної або сполученої просторової сітки з поліетилену адсорбційно пов'язаних з асфальтенами бітуму [5]. При цьому частина дисперсійного середовища бітуму буде переведена окремими фрагментами просторової полімерної сітки в адсорбційно-сольватний стан. Все це повинно змістити температуру переходу у в'язко-пластичний стан БМП в область більш високих позитивних температур.

Основна частина. Для підтвердження висловлених теоретичних передумов і експериментальної перевірки можливості поліпшення властивостей бітуму шляхом модифікування його полімером, в роботі використовували гранули вторинного поліетилену високого тиску (ПЕВТ) — продукту переробки відходів поліетиленової продукції Донецького підприємства ВАТ «ДПА» [6]. Основні фізико-хімічними показники ПЕВТ, що використовувався для отримання БМП, наведено у таблиці 1.

Вторинний поліетилен високого тиску являє собою подрібнену гранулу діаметром 3–5 мм сірого кольору. Гранула виготовлена на дисковому грануляторі зі стренговим різанням з виробничих відходів.

Таблиця 1 — Фізико-хімічні показники ПЕВТ

Вид поліетилену	Щільність, г/см ³	Температура плавлення, °C	Модуль пружності, МПа	Межа текучості при розтягуванні, МПа	Відносне подовження, %
ПЕВТ	0,913-0,914	102-105	100-200	7-17	100-800

У якості в'язучого матеріалу прийняті нафтові дорожні бітуми Кременчуцького НПЗ марок БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200 та бітум з пенетрацією 236 × 0,1 мм у відповідності до [7]. Основні показники якості бітумів наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 — Показники якості прийнятих нафтових дорожніх бітумів

Найменування показника	Одиниці виміру	Пенетрація при температурі 25 °C, 0,1 мм			
		62	91	136	236
Температура розм'якшення по "KiK"	°C	48	45	41,5	36
Розтяжність (25 °C)	см	63	71	88	> 100
Температура крихкості	°C	-20	-24	-29	-32
Еластичність (25 °C)	%	28	26	24	24
Індекс пенетрації	-	-1,22	-1,08	-0,82	-1,22

Модифіковане органічне в'язуче одержували шляхом сполучення ПЕВТ з нафтовим дорожнім бітумом у лабораторній мішалці. ПЕВТ рівномірно вводили в судину з бітумом при температурі 160–170 °C. Судину розташовували у змішувач, нагрітий до температури 170 °C та вмикали двигун з лопатевою мішалкою. Число обертів двигуна складало 1250 об/хв.

Модифіковане в'язуче виготовлялося відповідно до вимог [8] протягом 1,5 години при постійній температурі 170–175 °C. Отримане таким шляхом в'язуче було однорідним за всім об'ємом.

При модифікації органічного в'язучого вторинним поліетиленом вивчався вплив масової концентрації ПЕВТ на його стандартні показники якості.

На рис. 1 наведена залежність пенетрації бітумів різних марок при температурі 25 °C від концентрації ПЕВТ в ньому. При введенні в бітум ПЕВТ до 5 % спостерігається зменшення пенетрації бітумів у 1,5–2,0 рази. Таке збільшення в'язкості бітуму свідчить про високу структуруючу дію поліетилену, що дозволяє перевести його у більш в'язку марку бітуму, модифікованого полімером. Співвідношен-

ня значень пенетрації для бітумів марок БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200 та бітуму з пенетрацією $236 \times 0,1$ мм, без полімеру та з полімером відповідно 1,96, 2,22, 2,88 и 2,03. Це узгоджується з тенденцією, встановленою для БМП [9] та пояснюється кращими умовами розчинення полімерів в бітумах з більшим вмістом масел.

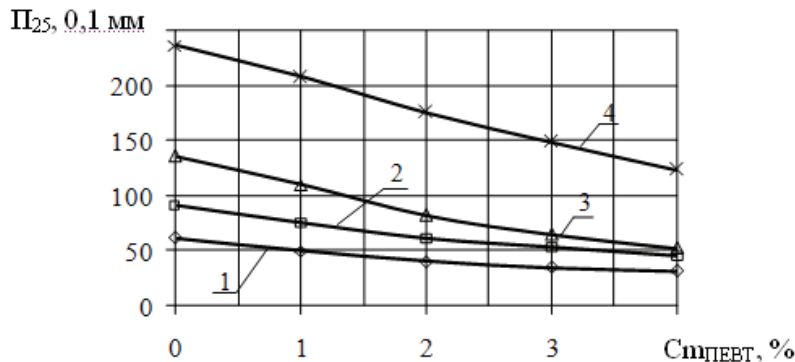


Рисунок 1 — Залежність пенетрації при 25 °С БМП різної в'язкості в залежності від концентрації ПЕВТ:
1 — $62,0 \times 0,1$ мм; 2 — $91,0 \times 0,1$ мм; 3 — $136,0 \times 0,1$ мм; 4 — $236,0 \times 0,1$ мм.

Температура розм'якшення модифікованого органічного в'язучого підвищується зі збільшенням кількості полімеру та зростає при 4 % ПЕВТ на 10 °С (рис. 2). Це свідчить про зміщення температури переходу БМП у в'язкопластичний стан в область більш високих позитивних температур і, як наслідок, зменшення температурної чутливості при високих позитивних температурах.

Введення ПЕВТ у кількості до 4 % призводить до поступового зменшення величини розтяжності органічного в'язучого при температурі 25 °С. Цей факт є негативною ознакою впливу вторинного поліетилену на якість бітуму, тому що зниження цього показника свідчить про зменшення когезійної міцності в'язучого [2]. Причина такої залежності розтяжності БМП від кількості поліетилену може бути пов'язано з тим, що поліетилен володіє значно меншою пластичністю, особливо при невисоких температурах, що і відображається на зниженні даного показника (рис. 3).

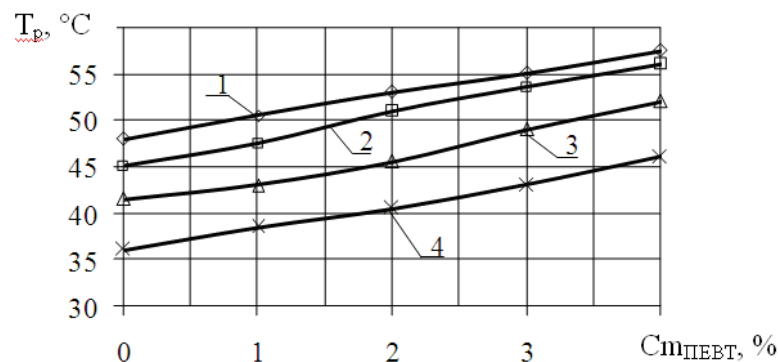


Рисунок 2 — Залежність температури розм'якшення БМП різної в'язкості в залежності від концентрації ПЕВТ:
1 — $62,0 \times 0,1$ мм; 2 — $91,0 \times 0,1$ мм; 3 — $136,0 \times 0,1$ мм; 4 — $236,0 \times 0,1$ мм.

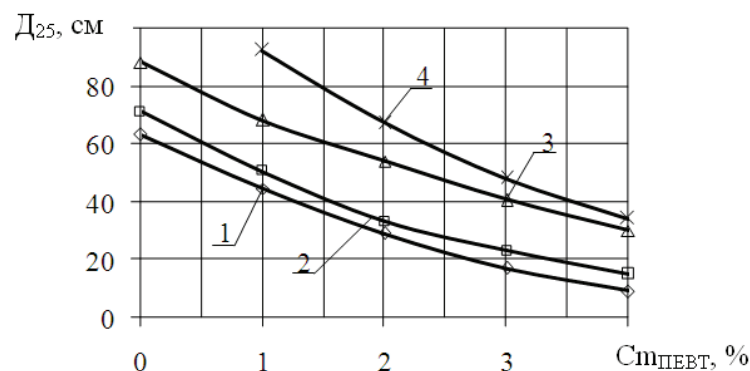


Рисунок 3 — Розтяжність БМП різної в'язкості при температурі 25 °С в залежності від концентрації ПЕВТ:
1 — $62,0 \times 0,1$ мм; 2 — $91,0 \times 0,1$ мм; 3 — $136,0 \times 0,1$ мм; 4 — $236,0 \times 0,1$ мм.

У той же час позитивним явищем є збільшення еластичності БМП при введенні ПЕВТ у бітум, однак при концентрації поліетилену більше 4 % приріст еластичності в'язучого уповільнюється, а у більш в'язких системах взагалі поступово падає. Це пов'язано з тим, що система «бітум - ПЕВТ» перенасичується полімером і кількості масел в бітумі вже стає недостатньо для розчинення і переведення поліетилену у лінійні конформації, що забезпечують підвищення еластичності всієї системи в цілому (рис. 4).

Температура крихкості бітуму при вмісті в ньому поліетилену до 2 % залишається практично незмінною для всіх досліджуваних типів в'язучого. Подальше збільшення кількості поліетилену до 4 % призводить до зниження цього показника на 7–8 °С (рис. 5). У зв'язку з цим можна передбачити, що оптимальна кількість поліетилену у БМП повинна бути в межах 2–3 % залежно від в'язкості вихідного в'язучого.

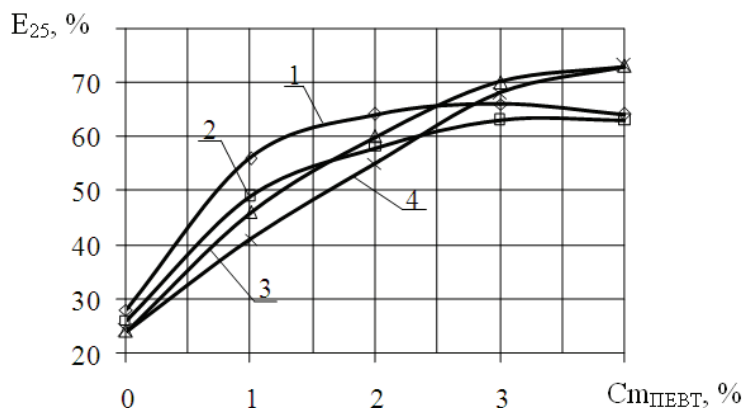


Рисунок 4 — Залежність еластичності БМП при температурі 25 °С від концентрації та початкової penetрації: 1 – 62,0×0,1 мм; 2 – 91,0×0,1 мм; 3 – 136,0×0,1 мм; 4 – 236,0×0,1 мм.

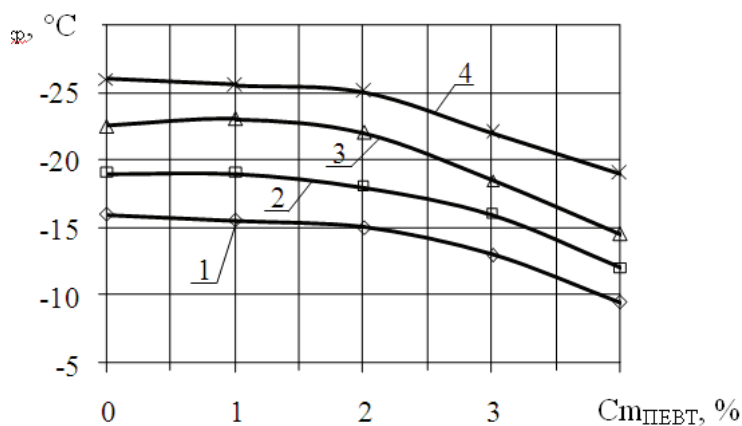


Рисунок 5 — Залежність температури крихкості БМП різної в'язкості від концентрації ПЕВТ та початкової penetрації: 1 – 62,0×0,1 мм; 2 – 91,0×0,1 мм; 3 – 136,0×0,1 мм; 4 – 236,0×0,1 мм.

Висновки: виконані експериментальні дослідження підтвердили можливість використання поліетилену високого тиску у якості модифікатора нафтового дорожнього бітуму. Введення поліетилену у кількості 4 % дозволяє перевести БМП у більш в'язку марку бітуму з підвищенням температури розм'якшення та еластичності. Експериментально встановлено, що вміст ПЕВТ повинен складати 2–3 %. Збільшення вмісту ПЕВТ більше 3 % не рекомендується, оскільки це спричинить різку структуризацію в'язучого, що призведе до втрати еластичності та зниження температури крихкості. Проте оптимальне концентраційне співвідношення поліетилену у в'язучому, залежно від в'язкості вихідного бітуму, доцільно встановити за допомогою методів експериментально-статистичної обробки даних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ладыгин Б. И. Прочность и долговечность асфальтобетона / Б. И. Ладыгин, И. К. Яцевич. – Минск : Наука и техника, 1972. – 288 с.
2. Дорожно-строительные материалы / [Волков М. И., Борщ И. М., Грушко И. М., Королев И. В.]. – М. : Транспорт, 1975. – 528 с.
3. Золотарев В. А. Битумы, модифицированные полимерами и асфальтополимербетоны / Золотарев В. А. // Дорожная техника. – Харьков, 2009. – С.16–23.
4. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства / [Гохман Л. М., Гурарий Е. М., Давыдова А. Р., Давыдова К. И.]. – М. : Информавтодор, 2002. – 113 с.
5. Гохман Л. М. Исследования деформационной устойчивости асфальтобетона с применением ПБВ (на основе ДСТ) в статическом и динамическом режимах деформирования / Гохман Л. М., Золотарев В. А., Гезенцев Л. Б. // Труды СоюздорНИИ. – 1977. – Вып. 89. – С. 112–134.
6. Воробьев В. А. Технология полимеров / В. А. Воробьев, Р. А. Адрианов. – М. : Высшая школа, 1980. – 303 с.
7. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия : ДСТУ 4044-2001. – К. : Госстандарт Украины, 2001. – 13 с.
8. Приготування, зберігання та застосування бітумів, модифікованих полімерами : ВБН В 2.7-218-185-2004. – К. : Укравтодор, 2004. – 20 с.
9. Золотарев В. А. Технические свойства вязких дорожных битумов с добавками парафиновых восков / Золотарев В. А., Пыриг Я. И., Галкин А. В. // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 2009-1(75). – С. 10–19.

Получено 14.12.2010

В. В. ГОНЧАРЕНКО, Е. А. РОМАСЮК
УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ ПУТЕМ ИХ МОДИФИКАЦИИ
ВТОРИЧНЫМ ПОЛИЭТИЛЕНОМ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ
Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «ДонНТУ», г. Горловка

На основе теоретических и экспериментальных исследований была доказана возможность улучшения качества нефтяных дорожных битумов путем введения гранул вторичного полиэтилена высокого давления. Полученное таким путем модифицированное вяжущее характеризуется повышенными температурами перехода в вязко-пластичное состояние без снижения своей деформационной способности.

битум, полимер, вторичный полиэтилен высокого давления, модификация, физико-механические свойства

V. V. GONCHARENKO, E. A. ROMASYUK
UPGRADING OF ROAD ASPHALT PROPERTIES BY MEANS OF ITS
MODIFICATION BY THE SECONDARY POLYETHYLENE OF HIGH PRESSURE
Horlivka Automobile-Transport and Highway Engineering Institute of the Donetsk National Technical University

The research and investigations have shown the opportunities of the oil road asphalt quality upgrading by means of introduction of the secondary polyethylene granules of high pressure. The modified binder received by such a way is characterized by elevated temperature of transition into the viscosity and plastic state without strain capacity degradation.

asphalt, polymer, secondary polyethylene of high pressure, modification, physical and mechanical properties

Гончаренко Валентин Валентинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг та штучних споруд Автомобільно-дорожнього інституту Донецького національного технічного університету. Наукові інтереси: покращення властивостей органічних в'язучих та бетонів на їх основі.

Ромасюк Євген Олександрович – студент факультету «Автомобільні дороги» Автомобільно-дорожнього інституту Донецького національного технічного університету. Наукові інтереси: покращення властивостей органічних в'язучих та бетонів на їх основі.

Гончаренко Валентин Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования дорог и искусственных сооружений Автомобильно-дорожного института Донецкого национального технического университета. Научные интересы: улучшение свойств органических вяжущих и бетонов на их основе.

Ромасюк Евгений Александрович – студент факультета «Автомобильные дороги» Автомобильно-дорожного института Донецкого национального технического университета. Научные интересы: улучшение свойств органических вяжущих и бетонов на их основе.

Valentin V. Goncharenko – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Road Designing and Engineering Structures Department of the Automobile-Transport and Highway Engineering Institute of the Donetsk National Technical University. Research interests: upgrading of properties of organic binders and types of concrete on their basis.

Evgen A. Romasyuk – an undergraduate of the Department of Highways of the Automobile-Transport and Highway Engineering Institute of the Donetsk National Technical University. Research interests: upgrading of properties of organic binders and types concrete on their basis.

УДК 624.21

А. М. ОНИЩЕНКО, В. Ф. НЕВІНГЛОВСЬКИЙ, О. С. РІЗНИЧЕНКО, М. В. ГАРКУША

Національний транспортний університет, м. Київ

МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОЛІЄСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННІЙ ОСНОВІ

У статті наведено методики, за допомогою яких можна забезпечити зсувостійкість та колієстійкість асфальтобетонного покриття на цементобетонній основі. Наведено схему дії зусиль від колеса транспортного засобу при його гальмуванні. Виконана порівняльна оцінка колієстійкості асфальтобетонів різних гранулометричних типів. Для дослідження були прийняті дрібнозернисті асфальтобетони типів А, Б, а також щебенево-мастиковий асфальтобетон з максимальною крупністю зерен 10 мм. Виявлено, що зі збільшенням вмісту щебеню в складі асфальтобетонів їх стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії підвищується. Результати, що отримані під час випробування, надають можливість більш достовірно підбирати склад асфальтобетонної суміші при проектуванні асфальтобетонного покриття підвищеної стійкості до накопичення залишкових деформацій.

асфальтобетон, колієстійкість, методика оцінки, методика випробування, глибина колії, міцність зчеплення від кількості підґрунтовки

Актуальність проблеми. Колієстійкість асфальтобетону є одним із важливих чинників якості асфальтобетонного покриття. В останні роки як в Україні, так і за кордоном проблема недостатньої колієстійкості асфальтобетонного покриття на цементобетонних основах при високій літній температурі з утворенням колійності, зсувів та напливів є одним із найпоширеніших дефектів, що знижує рівень безпеки руху на автомобільних дорогах. Це також призводить до частих ремонтів та виникнення заторів на дорогах, зменшує пропускну здатність, збільшує собівартість перевезень і призводить до значних економічних збитків.

Підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття на цементобетонних основах до останнього часу, головним чином, досягалося за рахунок застосування багато- та середньощебенистих асфальтобетонів (гранулометричні типи А і Б). Однак ефект підвищення колієстійкості, який забезпечується мінеральним каркасом асфальтобетону, виявився недостатнім для вирішення проблеми накопичення недопустимих зсувних деформацій асфальтобетонного покриття. Альтернативними рішеннями для підвищення колієстійкості асфальтобетону є модифікація бітумів полімерами, що здатні одночасно підвищувати деформативність при низьких температурах та підвищити когезійну міцність при високих температурах, що сприяє підвищенню зсувостійкості асфальтобетону [1–8].

При високих температурах суттєво знижується модуль пружності асфальтобетону, а модуль пружності цементобетонних основ практично не змінюється, що призводить до концентрації напружень та значних горизонтальних зсувних деформацій.

Метою роботи є розробка методик, за допомогою яких можна забезпечити колієстійкість асфальтобетонного покриття на цементобетонній основі.

1. Методика оцінки зчеплення асфальтобетонного покриття на цементобетонній основі.

Дана методика полягає у визначенні когезійної міцності зчеплення гідроізоляційних матеріалів (зчипна підґрунтовка між шарами, а саме: бітумна емульсія; емульсія, модифікована полімерами; бітумні в'язучі; бітум, модифікований полімерами та ін.) з асфальтобетонним покриттям на цементобетонній основі при дії горизонтальних та вертикальних зусиль, що моделює дію зовнішнього навантаження на асфальтобетонне покриття при гальмуванні транспортних засобів згідно зі схемою (рис. 1).

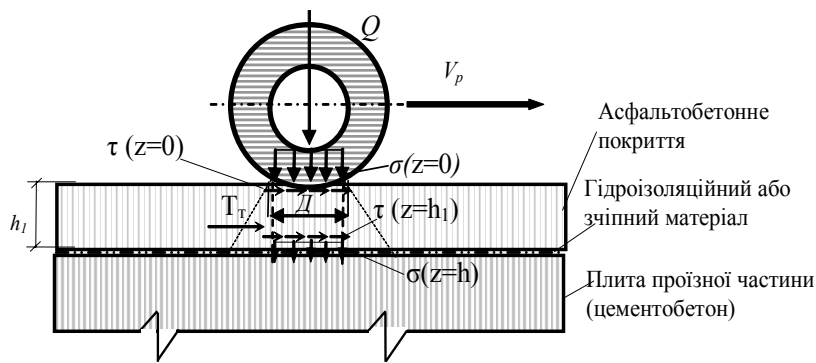


Рисунок 1 — Схема дії зусиль від колеса транспортного засобу при його гальмуванні: Q – вертикальне зусилля, що створює транспортний засіб; T_t – дотичне зусилля на контакті шарів від дії транспортних засобів.

Для забезпечення колієстійкості асфальтобетонних покриттів на цементобетонних основах, необхідно щоб виконувалась умова міцності:

$$[\tau] > \tau_{\max} \quad (1)$$

де $[\tau] = \sigma \cdot f + c$ – для відповідних режимів навантаження обчислюють значення розрахункового допустимого граничного дотичного напруження між асфальтобетоном – підґрунтовкою – цементобетонним покриттям; σ – нормальне напруження, МПа; f – коефіцієнт тертя; c – питоме зчеплення; τ_{\max} – горизонтальне дотичне напруження, що діє від навантаження на границі між асфальтобетонним покриттям та цементобетоном.

2. Методика випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій в асфальтобетонних шарах, що влаштовані на цементобетонних основах.

У статті пропонується методика оцінки теплостійкості асфальтобетону, яка базується на Гамбурзькому методі з певними вдосконаленнями і полягає у випробуванні на колієутворення зразка асфальтобетону, що знаходиться на цементобетонній основі. Зразок випробовують при різних підвищених температурах в результаті циклічного прикладання різного навантаження через жорстке металеве колесо. Тобто, при випробуванні визначається глибина колії в зразку при різних температурах та навантаженнях як основна складова параметра опору накопичення деформації під дією повторювальних навантажень. Разом з цим, урахування схеми (рис. 1), що наведена вище, дозволяє оцінити вплив різних витрат зчипного матеріалу на утворення колії в асфальтобетоні, що знаходиться на цементобетонній основі.

За розробленою методикою випробування кількість циклів має бути такою, щоб зразок не вступав у фазу руйнування, тому що в реальних умовах роботи асфальтобетонне покриття працює на накопичення пластичних деформацій. Саме таким умовам відповідає 4 000 проходів жорсткого колеса [2, 5, 9, 10].

Зразки виготовляються на модернізованому секторному пресі [2, 5, 9, 10], що відтворює умови ущільнення асфальтобетонної суміші середнім та важким котками.

Технологія приготування зразків полягає в наступному: в залежності від температури приготування спочатку нагрівається металева форма в сушильній шафі; потім у нагріту металеву форму укладають цементобетонну плиту, на поверхню якої нанесено підґрунтовку (зчипний матеріал), що визначена у відповідності до схеми (рис. 1), після чого завантажують асфальтобетонну суміш у необхідній кількості за потрібної температури, яку рівномірно розподіляють по довжині та ретельно ущільнюють; ущільнення проводять до одержання коефіцієнта ущільнення не менш 0,98.

По закінченні ущільнення форма з асфальтобетоном охолоджується до температури нижче за +60 °С, розбирається і виймається зразок, який підлягає випробуванню не раніше, ніж через добу після приготування. Схема композиції наведена на рис. 2.

Методику проведення випробувань асфальтобетонних зразків на стійкість до накопичення залишкових деформацій виконують на секторному пресі, переобладнаному таким чином, що замість сектора встановлюється жорстке металеве колесо та пристрій для вимірювання глибини колії (рис. 3) [3–5, 10].

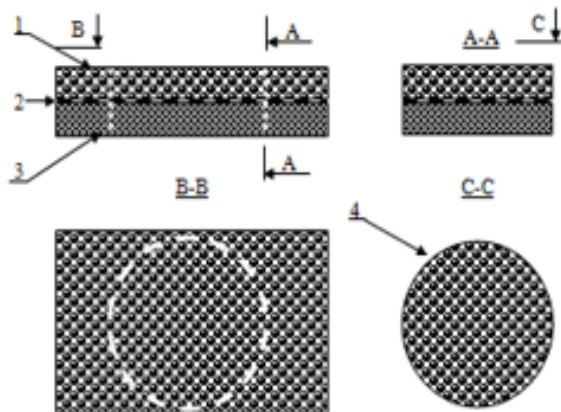


Рисунок 2 – Схема композиції асфальтобетон – зчпний матеріал – цементобетонна плита: 1 – асфальтобетон; 2 – підґрунтовка (зчпний шар); 3 – цементобетонна (залізобетонна) плита; 4 – керн (відбирається для визначення впливу різної кількості підґрунтовки на оцінку зчеплення при зсуві за схемою (рис. 1)) .

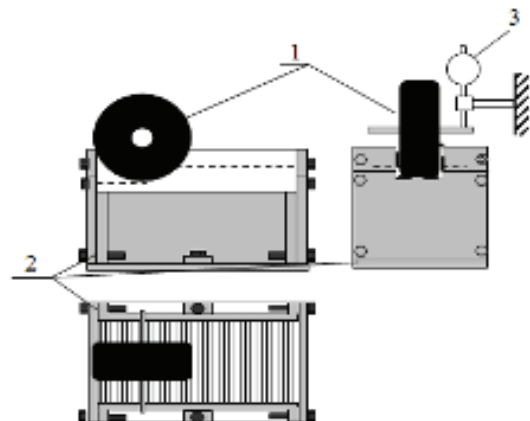


Рисунок 3 – Схема пристрою для проведення випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій: 1 – випробувальне колесо; 2 – металева форма; 3 – датчик деформацій.

Здійснюється циклічне навантаження зразка композиції випробувальним колесом при заданих параметрах навантаження Q на колесо та температурі випробування T . Після виконання встановленої кількості проходів N_k секторний прес зупиняють і проводять виміри величини залишкової деформації у вигляді глибини колії w .

На основі отриманих результатів перевіряють умову показника стійкості до накопичення залишкових деформацій асфальтобетону, що знаходиться на цементобетонній плиті, як суму площ під графічними залежностями $w_{ij} = f(N)$

$$S_w [w_{i,j}(N)] \leq [S_w], \quad (2)$$

де $S_w = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m \int_0^{N_k} w_{i,j}(N) dN$ – показник стійкості до накопичення залишкових деформацій, що встановлюється експериментальним шляхом (методика приведена до $N_k = 5\,000$ циклів);
 i – порядковий номер рівня навантаження;
 j – порядковий номер рівня температури випробування;
 $w_{i,j} = f(N)$ – показник стійкості до накопичення залишкових деформацій асфальтобетону, як сума площ під графічними залежностями;
 $[S_w]$ – граничний стан, що дорівнює $35\,000 \text{ мм}^2$. Встановлено шляхом експериментальних досліджень для асфальтобетонів випробуваних при температурі 50°C .

При виборі асфальтобетону за показником стійкості до накопичення залишкових деформацій слід віддавати перевагу тому складу, що має найменше значення S_w .

Результати випробувань:

Для дослідження були прийняті дрібнозернисті асфальтобетони типів А, Б, а також щебеневомасиковий асфальтобетон з максимальною крупністю зерен 10 мм. Приготування асфальтобетонних сумішей виконувалось з використанням нафтового дорожнього бітуму марки БНД 60/90. По зерновому складу та показникам фізико-механічних властивостей асфальтобетони відповідали вимогам ДСТУ Б В.2.7-119-2003, а також ДСТУ Б В.2.7-127:2006.

Прийняті для дослідження асфальтобетони відрізнялись за фізико-механічними показниками (табл. 1).

Таблиця 1 — Фізико-механічні показники асфальтобетону

Назва показника	Вид асфальтобетону		
	Тип-А	Тип-Б	ЩМА
Середня густина суміші, г/см ³	2,38	2,39	2,37
Водонасичення, % за об'ємом:	2,02	1,79	2,06
Границя міцності при стисканні, МПа, за температури:			
	20 °С 50 °С	4,20 1,42	3,59 1,39

На першому етапі досліджень виготовляли зразки композиції (рис. 2) на секторному пресі згідно з урахуванням різної кількості підґрунтовки між шарами (емульсія катіонна бітумна ЕКБ НБ-45К з витратою: 0,3; 0,6; 0,9; 1,2 л/м²), що дозволило визначити для кожного виду асфальтобетону оптимальну витрату підґрунтовки між шарами композиції (рис. 2) для максимального зчеплення при зсуві згідно з рис. 1. Результати випробувань наведено на рис. 4.

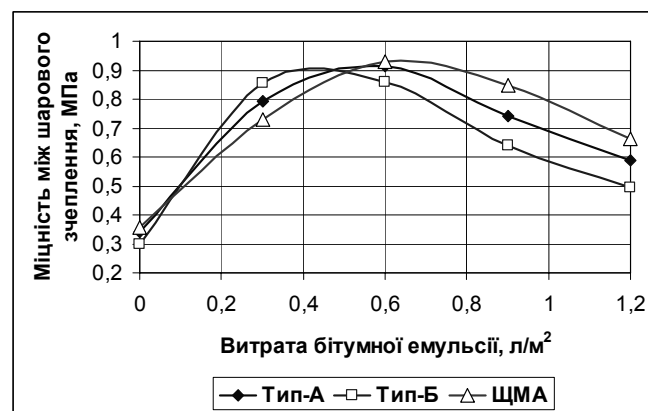


Рисунок 4 — Залежність міцності зчеплення від кількості підґрунтовки.

Результати міцності зчеплення на контакті шарів при зсуві (рис. 4) порівняльних видів асфальтобетону показали, що оптимальна витрата підґрунтовки для асфальтобетону типу А становить: 0,4–0,6 л/м², типу Б 0,3–0,5 л/м²; для ЩМА 0,5–0,7 л/м.

На другому етапі досліджень оцінювали вплив різної кількості підґрунтовки між шарами зразка композиції (рис. 2 та рис. 5 а) та параметрів розмірності зразка (рис. 5, б) на утворення показника колійності досліджуваних асфальтобетонів (рис. 6, 7).

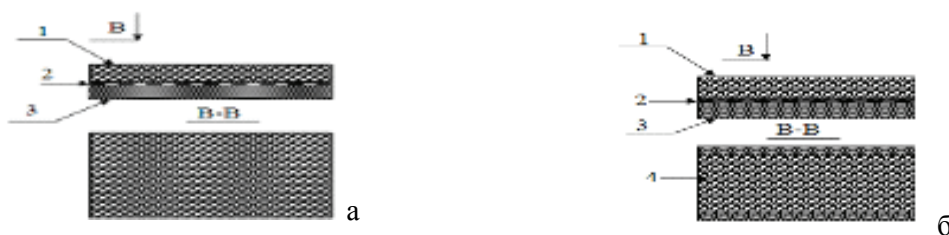


Рисунок 5 – Зразок-композиція: а) зразок композиції для дослідження на колійність: 1 – асфальтобетон; 2 – підґрунтова; 3 – цементобетон; б) зразок композиції для дослідження, який обрізаний по краях: 1 – асфальтобетон; 2 – підґрунтова; 3 – цементобетон; 4 – обрізаний зразок асфальтобетону по краях по одному сантиметру.

Випробування асфальтобетонів здійснювали за допомогою секторного пресу та колієміра (рис. 3) при температурі від 40 до 60 °С та навантаженні на колесо 700 Н.

Результати порівняльних експериментальних досліджень стійкості асфальтобетонів до накопичення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії показують, що із збільшенням кількості проходів колеса глибина колії збільшується у всіх досліджуваних асфальтобетонах. Як видно з рис. 6, після 4 тисяч проходів колеса та при максимальній температурі 60 °С глибина колії в досліджуваних асфальтобетонах не перевищує 5 мм. Серед вказаних асфальтобетонів найменша глибина колії в ЩМА, а найбільша в типу Б.

З приведених на рисунку 7 залежностей видно, що від різної кількості підґрунтовки для всіх досліджуваних видів асфальтобетону змінюється глибина колії. Дані результати дозволяють визначитись з оптимальними витратами підґрунтовки між шарами зразка композиції (рис. 2, 5), а саме для типу А 0,5 л/м², типу Б 0,4 л/м²; для ЩМА 0,6 л/м, що відповідає отриманим результатам (рис. 4) міцності зчеплення від кількості підґрунтовки при зсуві за схемою (рис. 1). Також в роботі оцінювали вплив параметрів розміру зразків-композиції (рис. 5) на утворення колії (рис. 8).

Із результатів дослідження (рис. 8) видно, що параметри розмірів зразків композиції суттєво впливають на показник колійності. А саме зразок-композиція (асфальтобетон типу А – підґрунтовка (оптимальна витрата) – цементобетонна плита), у якого по одному сантиметру обрізані краї асфальтобетону, колійність збільшилась на 6,01 мм, а у необрізаного зразка-композиції – 4,45 мм, що в 1,35 рази менше, у типу Б 1,5 рази, в ЩМА 1,29 рази. Ці результати свідчать про те, що необхідно враховувати параметри розмірів, які впливають на показник колійності.

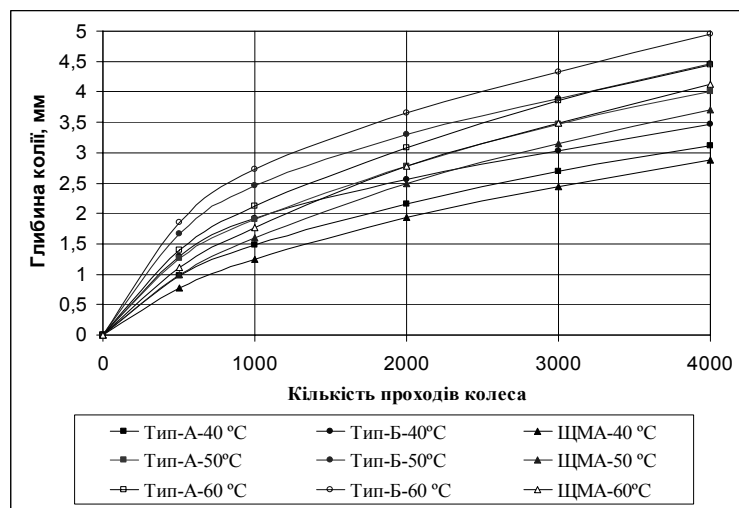


Рисунок 6 — Залежність глибини колії від кількості проходів колеса в асфальтобетонах різних гранулометричних типів при температурах 40, 50, 60 °С.

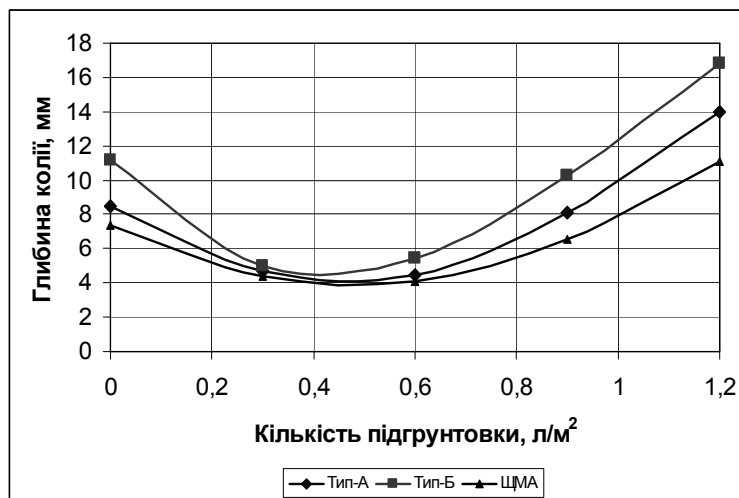


Рисунок 7 — Залежність глибини колії від кількості підґрунтовки в асфальтобетонах різних гранулометричних типів після 4 000 проходів колеса (при температурі випробувань 60 °С).

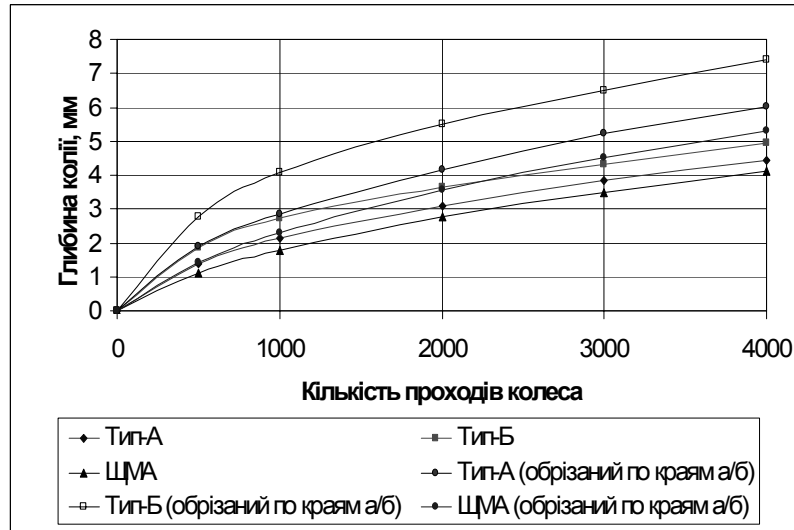


Рисунок 8 — Залежність глибини колії від 4 000 проходів колеса в асфальтобетонах різних гранулометричних типів, а також обрізаних асфальтобетонних зразків (рис. 6 а, б) різних гранулометричних типів, що влаштовані на цементобетонній плиті (при температурі випробувань 60 °С).

На основі отриманих експериментальних досліджень (рис. 4, 6–8) проаналізуємо отримані результати щодо наступного: чи відповідають умові стійкості (2) до накопичення залишкових деформацій зразки композиції (рис. 5 а, б, рис.9).

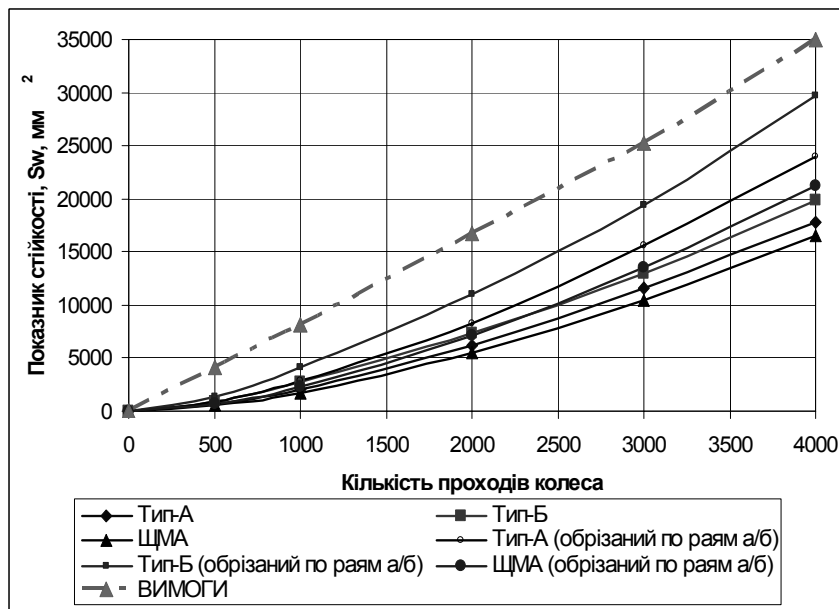


Рисунок 9 — Залежність показника стійкості до накопичення залишкових деформацій в досліджуваних асфальтобетонах (при температурі випробувань 60 °С).

У відповідності до залежності (рис. 9), отримані результати відповідають умові стійкості до накопичення залишкових деформацій в досліджуваних зразках композицій.

Висновок. Аналіз отриманих результатів досліджень показує, що зі збільшенням вмісту щебеню в складі асфальтобетонів їх стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії підвищується. Із усіх досліджуваних асфальтобетонів найбільшою стійкістю до утворення колії характеризується щебенево-мастиковий асфальтобетон. Зсувостійкість зразків композиції (асфальтобетон — підґрунтовка — цементобетон) суттєво залежить від оптимальних витрат підґрунтовки між шарами, кількості проходів колеса та температури. Таким чином, результати, що отримані під час випробування, дадуть можливість більш достовірно вибирати при проектуванні склад асфальтобетону підвищеної стійкості до накопичення залишкових деформацій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві / А. М. Онищенко, В. В. Мозговий, О. О. Жуков [та ін.] // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури. : зб. наук. праць. — 2010. — Вип. 2010—1 (81) — С. 53—60.
2. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи / В. В. Мозговой, А. Н. Онищенко, А. В. Прудкой [и др.] // Дорожная техника и технология. — 2010. — С. 114—128.
3. Експериментальна оцінка колієстійкості асфальтобетону за допомогою лабораторних установок / В. В. Мозговий, А. М. Онищенко, Н. С. Лаптева [та ін.] // Автошляховик України. — 2010. — № 13. — С. 93—101.
4. Оцінка ефективності армування асфальтобетонних шарів підсилення дорожнього одягу синтетичними матеріалами на кільцевому стенді ДНТЦ «Дор'якість» / В. В. Мозговий, Л. А. Мозгова, А. М. Онищенко [та ін.] // Автошляховик України. — 2009. — № 2. — С. 24—27.
5. Мозговий В. В. Оцінка стійкості до колієутворення асфальтобетонного покриття в композиції з полімерним гідроізоляційним матеріалом / В. В. Мозговий, Б. Ю. Ольховий, О. С. Кирієнко // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. — 2008. — Вип. 34 (30). — С. 56—59.
6. Управління якістю по забезпеченню зсувостійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття на мостах / А. М. Онищенко, В. В. Мозговий, В. Ф. Невінгловський [та ін.] // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. — 2010. — Вип. 38. — С. 88—98.
7. Методика оцінки ефективності зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриттям на мостах / А. М. Онищенко, В. В. Мозговий, О. О. Жуков [та ін.] // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. — 2009. — Вип. 34. — С. 67—73.
8. Поздняков М. К. Разработка метода оценки сопротивляемости асфальтобетона колееобразованию / М. К. Поздняков, Н. В. Быстров // Сборник статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона. — М., 2010. — № 3. — С. 7—17.
9. Пути обеспечения устойчивости к колееобразованию асфальтобетонного покрытия мостов / А. Н. Онищенко, В. В. Мозговой, А. С. Резниченко, В. Ф. Невингловский // Приоритетные направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: качество, комфорт, безопасность. — Минск, 2010. — № 4. — С. 104—115.
10. Оцінка колієстійкості асфальтобетону за допомогою лабораторних установок / А. М. Онищенко, В. В. Мозговий, О. О. Жуков [та ін.] // Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. — Х., 2010. — № 2. — С. 212—217.

Отримано 21.12.2010

А. Н. ОНИЩЕНКО, В. Ф. НЕВИНГЛОВСКИЙ, О. С. РИЗНИЧЕНКО, М. В. ГАРКУША

МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОЛЕЕСТОЙКОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННОЙ ОСНОВЕ

Национальный транспортный университет, г. Киев

В статье приведены методики, с помощью которых можно обеспечивать сдвигостойкость и колеестойкость асфальтобетонного покрытия на мостах. Приведена схема действия усилий от колеса транспортного средства при его торможении. Выполнена сравнительная оценка колеестойкости асфальтобетонных разных гранулометрических типов. Для исследования были приняты мелкозернистые асфальтобетоны типов А, Б, а также щебенисто-мастиковый асфальтобетон с максимальной крупностью зерна 10 мм. Выявлено, что с увеличением содержания щебня в составе асфальтобетонных их стойкость к накоплению остаточных пластических deformаций в виде колеи повышается. Результаты, которые получены во время испытаний, позволяют более достоверно выбирать при проектировании состав асфальтобетона повышенной стойкости к накоплению остаточных deformаций.

асфальтобетон, сдвигоустойчивость, колеестойкость, методика испытания, глубина колеи, прочность сцепления от количества подгрунтовки

A. M. ONISCHENKO, V. F. NEVINGLOVSKY, O. S. RIZNICHENKO, M. V. GARKUSHA
MAINTENANCE TECHNIQUE OF TRACK RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE
PAVEMENT ON CEMENT CONCRETE BASE

National Transport University, Kiev

The paper gives the techniques providing shear and track resistance of the asphalt concrete pavement on bridges. The circuit design of wheel force during its deceleration has been presented in the paper. Comparison evaluation of track resistance of various grading types of asphalt concrete pavements has been done. Fine-graded asphalt concrete of types A and B, broken stone and mastic asphalt concrete with the maximum coarseness of aggregate of 10 mm have been used for the investigations. It has been revealed, that with the proportion increase of the broken stone in the compound of the asphalt concrete, its resistance to accumulation of residual plastic deformation in the form of a track increases. The findings of the investigations enable to select the asphalt concrete composition of higher resistance to accumulation of residual strains at designing more reliable.

asphalt concrete, shear resistance, track resistance, test procedure, track depth, clutch strength depending on amount under ground

Онищенко Артур Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету. Наукові інтереси: підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів. Розробка рекомендацій щодо підвищення довговічності конструктивних шарів дорожнього одягу з асфальтобетону, модифікованого полімерами.

Невингловський Вадим Федорович – аспірант кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету; директор департаменту дорожнього будівництва ТОВ «ІНТЕКО ІНЖИНІРИНГ». Наукові інтереси: підвищення залишкового ресурсу шарів асфальтобетонного покриття на штучних спорудах за рахунок використання полімерних латексів.

Різніченко Олександр Сергійович – аспірант кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету. Наукові інтереси: забезпечення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на мостах.

Гаркуша Микола Васильович – магістр кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Національного транспортного університету. Наукові інтереси: підвищення колієстійкості дорожнього одягу за рахунок укріплення шарів основи.

Онищенко Артур Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры дорожно-строительных материалов и химии Национального транспортного университета. Научные интересы: повышение долговечности асфальтобетонных слоев за счет использования полимерных латексов. Разработка рекомендаций относительно повышения долговечности конструктивных слоев дорожной одежды из асфальтобетона, модифицированного полимерами.

Невингловский Вадим Федорович – аспирант кафедры дорожно-строительных материалов и химии Национального транспортного университета; директор департамента дорожного строительства ООО «ИНТЭКО ИНЖИНИРИНГ». Научные интересы: повышение остаточного ресурса слоев асфальтобетонного покрытия на искусственных сооружениях за счет использования полимерных латексов.

Ризниченко Александр Сергеевич – аспирант кафедры дорожно-строительных материалов и химии Национального транспортного университета. Научные интересы: обеспечение сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия на мостах.

Гаркуша Николай Васильевич – магистр кафедры дорожно-строительных материалов и химии Национального транспортного университета. Научные интересы: повышение колеестойкости дорожной одежды за счет укрепления слоев основы.

Artur M. Onischenko – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Road and Building Materials and Chemistry Department of the National Transport University. Research interests: increase of durability of asphalt concrete layers due to the application of polymer latex. Development of the advises relatively to the increase of durability of pavement structural layers from asphalt concrete modified by polymer latex.

Vadym F. Nevinglovsky – a postgraduate of the Road and Building Materials and Chemistry Department of the National Transport University, the Manager of the Roadworks Department of INTECO ENGINEERING Ltd. Research interests: increase of operating life of asphalt concrete pavement on engineering structures by means of polymer latex application.

Oleksandr S. Riznichenko – a postgraduate of the Road and Building Materials and Chemistry Department of the National Transport University. Research interests: maintenance of shear resistance of asphalt concrete pavement on bridges.

Mykolay V. Garkusha – a Master of the Road and Building Materials and Chemistry Department of the National Transport University. Research interests: increase pavement track resistance by means of stabilization of the base layers.

УДК 625.046:356.4

**М. К. ПАКТЕР, В. И. БРАТЧУН, В. Л. БЕСПАЛОВ, И. Ф. РЫБАЛКО, В. П. ДЕМЕШКИН, Н. С. КОННОВ,
А. А. СТУКАЛОВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ ДОРОЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ. II. СМОЛЫ ПОЛУКОКСОВАНИЯ

Рассмотрены перспективы получения органических вяжущих веществ для дорожного строительства (ДОВ) на основе смол полукоксования твердых горючих ископаемых (ТГИ) низкой степени метаморфизма. Приведены сведения о составе этих смол и рассмотрены проблемы, связанные с получением качественных ДОВ на их основе. Предложены способы, направленные на решение этих проблем: стабилизация качества и повышение стойкости к различным видам старения, модификация (включая использование реакционноспособных олигомеров) и пластификация (включая использование активных разбавителей). Обоснована и подтверждена расчетом перспективность использования таких органических вяжущих в качестве ДОВ взамен нефтяных битумов.

дорожные органические вяжущие, окисленные битумы, сланцевые битумы, сланцевая смола, буроугольная смола, полукоксование, твердые горючие ископаемые

Введение. Полукоксование – второй по значимости и доступности процесс термической переработки твердых горючих ископаемых (ТГИ) с целью получения органических продуктов (после высокотемпературного коксования каменных углей).

В предыдущем сообщении рассмотрены перспективы получения высококачественных дорожных органических вяжущих (ДОВ) на основе смолы высокотемпературного коксования каменных углей [1]. Данное сообщение посвящено перспективам получения ДОВ из смол полукоксования различных ТГИ (т.н. первичных смол).

Полукоксование – процесс термической переработки ТГИ при высоких температурах без доступа воздуха, обычно – в интервале температур 500–550 °С, иногда – при 700–750 °С [2]. При этом получают пирогенетическую (подсмольную) воду, первичные газ и смолу, а также полукокс. Аппаратурно-технологическое оформление процесса достаточно хорошо разработано.

Сырьевая база процесса полукоксования гораздо шире и дешевле, чем высокотемпературного коксования: слабоспекающиеся и некокующиеся каменные угли, молодые виды твердых топлив (торф, бурые угли). Области применения первичного газа и полукокса хорошо известны [2].

Поэтому мы сосредоточимся на перспективе получения ДОВ из первичных смол.

I. Выход и состав первичных смол. В табл. 1 приведен элементный состав таких смол по данным [3]. Здесь же для сравнения приведены аналогичные данные для традиционных ДОВ [1, 4]. Как видно из таблицы 1, первичные смолы близки по элементному составу к нефтяным маслам, т. е. возможность получения из них ДОВ, близких к окисленным битумам, вполне реальна.

Действительно, по элементному составу буроугольная смола близка к тяжелым нефтям. Она характеризуется большой концентрацией высокомолекулярных парафинов (до 19 %), растворенных в более легких фракциях, сравнительно невысоким содержанием асфальтенов (3–6 %) и почти полным отсутствием карбоидов, т. е. представляет продукт, аналогичный нефтяному гудрону.

Особенно подробно исследовано полукоксование горючих сланцев [5–7], в частности, Поволжья и Карпат, хотя и за рубежом этой проблеме уделялось внимание [8, 9].

Таблица 1 — Результаты анализа первичных смол различного происхождения и традиционных ДОВ

Наименование продукта	Плотность при 20°C, г/см ³	Содержание, % по массе						Молекулярная масса (М)
		С	Н	S	N	O	C/H	
Буроугольная полукоксовая смола	0,900	85,30	11,20	1,10	0,60	1,80	7,6	–
Торфяная смола	0,950	78,83	9,79	1,10	1,87	8,71	8,1	–
Древесная смола	1,040	62,28	6,82	0,01	0,02	30,87	9,1	–
Смола полукоксования каменноугольного угля	1,050	82,30	9,10	0,30	0,60	7,70	9,0	–
ДОВ (для сравнения)								
Окисленные битумы	1,01–1,04	–	–	–	–	–	7,3–9,1	–
Масла	0,92–0,97	–	–	–	–	–	7,0–8,1	300–500
Смолы	0,97–1,08	–	–	–	–	–	8,6–9,5	600–800
Асфальтены	1,12–1,14	–	–	–	–	–	12,8–13,3	1000–5000
Дегти каменноугольные	1,20–1,26	–	–	–	–	–	16,5–17,6	–
γ – фракция	1,18–1,28	–	–	–	–	–	15,8–17,3	200–300
β – фракция	1,28	–	–	–	–	–	17,4–18,5	500–600
α – фракция	1,38	–	–	–	–	–	18,0–24,0	700–800

Таблица 2 — Выход и состав первичных смол

Показатель	Из торфа	Из бурого угля	Из каменного угля	Из сланца
Выход на сухое топливо, % по массе	5-9	6-10	7-12	До 18
Плотность, г/см ³	0,95-1,05	0,9-1,0	0,96-1,08	0,95-1,0
Фенолы, % масс.	15-22	10-20	20-35	До 25
Органические кислоты, % масс.	1,5-2,0	0,1-0,15	–	
Органические основания, % масс.	1,0-3,5	0,8-1,4	До 2,5	0,2-0,5
Нейтральные вещества, % масс.	40-60	До 65	40-60	До 65
Твердый парафин, % масс.	3,8	7-19	4-6	–

Описано получение сланцевой смолы при полукоксовании горючих сланцев Прибалтийского месторождения (генераторный процесс) [10]. Выход смолы на технологический сланец составляет 13–16 %. Особенностью полученной смолы является высокое содержание в ней непредельных и кислородсодержащих веществ (в виде гидроксильной и карбонильной групп).

Соединения, содержащие карбонильную группу в количестве 30–40 %, находятся во всех фракциях смолы (нейтральные кислородсодержащие вещества).

Гидроксилсодержащие вещества представлены преимущественно различными фенольными производными. Нейтральные кислородсодержащие соединения и фенолы, выделенные из высококипящих фракций смолы, в основном, представлены одноядерными органическими циклами с большим числом заместителей. В фенолах обычно два атома углерода замещены гидроксильными группами, один – алкильной цепью ($C_6...C_9$) и один – замещен на метильную или этильную группу [11].

В табл. 2 приведен состав первичных смол согласно [2]. Описано выделение ценных веществ из этих смол (фенолы, основания, органические кислоты) и получение бензина, дизтоплива, парафинов и др., а из сланцевой смолы – также производство мягчителей резины, присадок к топливам и маслам, пластификаторов поливинилхлорида, резины и т. д.

Однако наличие в этих смолах непредельных соединений, термически нестабильных восков (легко разлагаются при 270 °C), легко окисляемых фенолов свидетельствует о том, что они должны легко перерабатываться в ДОВ методом окисления кислородом воздуха. Такой опыт имеется для окисления сланцевой смолы [2, 12–13], включая ее окисление до битума перед последующим получением электродного кокса – основного продукта ее переработки, а также с целью получения лаков и дорожных битумов [13].

Высокая склонность сланцевой смолы к осмолению вследствие повышенного содержания кислородсодержащих соединений также свидетельствует в пользу перспективности такого подхода к ее использованию.

Известны технологические приемы, позволяющие повысить выход первичной смолы: уменьшение размера частиц ТГИ, повышение температуры и скорости нагрева. Так, для рурского каменного угля выход смолы и пека при медленном (1 К/мин) и быстром (существенно выше 1 К/мин) нагреве составил (в г/кг угля) [2, с. 64]:

Таблица 3 — Результаты выхлопа смолы и пека

Продукт	Нагревание	
	Медленное	Быстрое
Смола	112,0	187,0
Пек	16,7	86,0

О влиянии скорости нагревания на некоторые характеристики смолы полукоксования в вышеописанном эксперименте можно судить по данным, приведенным в табл. 4 [2, с. 65].

Как видно из табл. 4, увеличение скорости полукоксования позволяет не только повысить выход смолы и пека, но и значительно ее утяжелить при сокращении степени ароматичности, содержания фенолов и оснований, сокращении обуглероживания ($C/H=11,65$ и $11,96$, соответственно).

Таблица 4 — Влияние скорости нагревания на качество смолы полукоксования

Показатели	Быстрое нагревание	Медленное нагревание
Плотность при 20°C, кг/м ³	1140	1007
Элементный состав, %		
С	82,39	88,50
Н	7,07	7,40
N	1,14	1,20
S	1,89	1,40
O	7,51	1,50
Групповой состав, %		
парафины	2,30	7,14
олефины	2,86	3,85
ароматические углеводороды	16,12	33,11
в том числе		
однокольчатые	1,52	5,27
двухкольчатые	3,86	5,73
трехкольчатые	6,22	6,55
четырекольчатые	2,85	9,27
пятикольчатые	0,48	0,40
Фенолы	14,10	25,92
Основания	0,28	2,46
Остаточный пек	64,60	27,70

II. Получение дорожных битумов окислением первичных смол

Как следует из вышеприведенных данных, состав первичных смол позволяет получить из них ДОВ путем традиционного термоокисления кислородом воздуха с использованием предназначенных для этого окислительных установок.

Этот процесс хорошо изучен и реализован в промышленном масштабе [5, 13–16] применительно к сланцевой смоле, химический потенциал которой хорошо изучен [5–9, 10–13, 17, 18]. Сланцевые битумы выгодно отличаются от нефтяных высокой адгезией к поверхности минеральных материалов, что связано с наличием большого количества фенолов, кислот, альдегидов, кетонов и других кислородсодержащих соединений, которые обуславливают их высокую поверхностную активность.

Однако до сих пор применение сланцевых вяжущих для производства асфальтовых смесей изучено недостаточно, хотя принято считать, что по своим свойствам они занимают промежуточное положение между нефтяными битумами и каменноугольными дегтями.

Хорошо известны недостатки сланцевых вяжущих [14–16]: повышенная скорость старения, пониженная водоустойчивость, меньший интервал пластичности (по сравнению с нефтяными битумами).

Они опасны при производстве асфальтовых смесей по традиционной горячей технологии (температура вспышки 120–140 °С).

Вследствие интенсивного старения при длительном нагреве в процессе подготовки, производства и транспортирования происходит снижение качества асфальтовых смесей и дорожных покрытий на сланцевых битумах.

На сланцевых битумах не удастся получить устойчивые эмульсии, а использование извести в качестве твердого эмульгатора и вовсе невозможно из-за образования водонерастворимого фенолята кальция [15].

Существенный недостаток сланцевых битумов – их высокая токсичность: в них на два порядка выше содержание канцерогенных углеводородов, чем в нефтяных битумах, при их нагреве выделяются фенолы, оксиды азота, серы и др., что неприемлемо с экологических позиций и по соображениям охраны труда [19].

Как показано в работе [20], склонность к старению, пониженный интервал пластичности (повышенная хрупкость) связаны с характером процесса окисления сланцевой смолы, который, вместе с тем, идентичен окислительным превращениям нефтяных гудронов.

В табл. 5 приведено изменение молекулярных масс сланцевого битума и его групповых компонентов при окислении по данным работы [20, с. 68].

Таблица 5 — Изменение молекулярной массы сланцевых битумов и групповых компонентов в зависимости от глубины окисления

Температура окисления, °С	Время окисления, ч	Молекулярная масса			
		Битум	Масла	Смолы	Асфальтены
230	0,0	251	240	330	412
	2,0	283	281	340	495
	6,0	370	292	374	686
	7,0	436	304	425	886
	8,0	540	324	440	1230
250	0,5	326	270	373	658
	2,0	310	316	412	654
	3,0	359	320	444	795
	4,0	676	346	495	1604
	5,0	712	360	495	2028

Сравнивая данные табл. 5 с соответствующими данными для нефтяных битумов (табл. 1), можно отметить, что молекулярная масса смол, ответственных за когезию и эластичность, для сланцевых битумов ниже, чем для нефтяных. Т. е. сланцевые битумы нуждаются в модификации полимерами, как это принято и для нефтяных битумов [4, 21], что согласуется с ранее отмеченными недостатками [13] – хрупкостью и низкой стабильностью.

В табл. 6 приведены показатели сланцевых битумов (пенетрация $P_{25} \cdot 0,1$ мм и температура размягчения T_p , °С), полученных при различных температурах окисления [20, с. 69]. Как видно из табл. 6, для битумов с $T_p \geq 40$ °С повышение длительности и глубины окисления сопровождается уменьшением пенетрации. В то же время битумы с $T_p = 33...35$ °С характеризуются повышенной пенетрацией, что

связано с их обогащением продуктами реакций деструкции. Т. е. процесс получения сланцевых битумов должен подвергаться оптимизации с целью достижения требуемого результата, а сами битумы – стабилизации после их получения.

Расход воздуха на окисление варьируется в широких пределах (объемная скорость $(150 \dots 450 \text{ ч}^{-1})$) и сильно влияет на скорость процесса формирования битума, однако почти не сказывается на качественных характеристиках битума [20].

В табл.7 приведены свойства битумов, полученных из суммарной и обесфеноленной сланцевой смолы. Серьезных преимуществ в обесфенолировании, судя по табл. 7, не наблюдается. В то же время для обоих вариантов можно отметить нестабильность, вызванную изменением пенетрации после определения потери массы (160°C , 5 ч). Т. е. в сланцевом битуме остаются достаточно летучие компоненты, и должны быть разработаны технологические приемы для их удаления (по сути, для стабилизации битума).

Однако битумы, полученные из обесфеноленной сланцевой смолы, характеризуются более высокой эластичностью и термоокислительной стабильностью [20, с. 74]. Это обусловлено тем, что при окислении фенолов и их производных образуются свободные радикалы (в т. ч. стабильные), что отражается как на качестве битума (см. выше о пенетрации), так и на его стабильности (технологической, эксплуатационной и при хранении).

Таблица 6 – Влияние температуры окисления сланцевой смолы на показатели полученных битумов

Температура окисления, $T_p, ^\circ\text{C}$	Пенетрация (0,1мм) при $T_p (^\circ\text{C})$					
	33	35	40	50	60	70
180	176	130	81	35	15	4
200	168	146	73	27	10	1
230	290	183	60	12	3	0
250	260	95	40	10	0	0

Таблица 7 – Свойства битумов, полученных из исходной (суммарной) и обесфеноленной сланцевой смолы

Сырье	Температура окисления, $T_p, ^\circ\text{C}$	Пенетрация, 0,1 мм	Остаточная пенетрация после определения потери массы, %	Потеря массы (160°C , 5 ч), %
Суммарная смола	40	61	50,8	1,3
	50	11	48,6	1,1
	60	3	51,3	1,1
	80	0	-	0,8
	90	0	-	0,6
Обесфеноленная смола	40	96	60,1	1,5
	50	28	67,6	1,3
	60	17	63,4	1,1
	80	4	65,0	1,0
	90	3	70,6	0,8

III. Стабилизация и модификация окисленных битумов

В процессе рассмотрения технологии и свойств битумов, полученных окислением сланцевых смол (раздел 2), следует отметить две проблемы: повышенное содержание летучих веществ при некоторых режимах окисления (1) и пониженная молекулярная масса смол (2).

Обе проблемы взаимосвязаны и обусловлены составом сырья (прежде всего, наличием фенолов) и радикальным механизмом реакций окисления [20, 22].

Именно с этими проблемами связано низкое качество этих битумов как ДОВ, ограниченные возможности их применения в этом качестве [14, 15] и то, что сведения о поведении сланцевых битумов в дорожных покрытиях противоречивы [13, 15].

Третья проблема – экологической безопасности (см. р. 2) – также немаловажна, однако мы ее рассмотрели ранее применительно к каменноугольным дегтям [1] и здесь рассматривать не будем.

Учитывая сходство составов смол полукоксования ТГИ (раздел 1), можно предположить, что применительно и к другим ДОВ на их основе проблемы (1) и (2) будут также иметь место и должны быть здесь рассмотрены.

3.1. Стабилизация битумов

Поскольку наличие летучих веществ обусловлено радикальными процессами, проблема не сводится к удалению летучих веществ и стабилизации показателей битума (T_p , P_{25}). Наличие стабильных радикалов понижает технологическую и эксплуатационную устойчивость битумов и органобетонов к старению.

Автор монографии [20] предложил и успешно опробовал в промышленных условиях стабилизацию свойств сланцевых битумов с использованием специального технологического приема – «дозревания». В этом случае процесс окисления смолы проводят при высокой температуре и расходе воздуха ($230\text{ }^{\circ}\text{C}$, 200 ч^{-1}) до образования битума с T_p на $5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже требуемой.

А стабилизацию полученного битума проводят при температурах ниже $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при подаче в реактор небольшого количества воздуха (30 ч^{-1}). При этом резко увеличивается скорость рекомбинации радикалов за счет переноса реакционных центров и уменьшения пространственных затруднений.

Результаты анализа показали, что стабильность битума при этом значительно повышается и по этому показателю равнозначна нефтяному (табл. 8) [20, с. 133–139].

Таблица 8 – «Дозревание» сланцевых битумов ($160\text{ }^{\circ}\text{C}/5\text{ ч}$)

Битум	T_p , $^{\circ}\text{C}$	T_p , $^{\circ}\text{C}$ (после определения потери массы)	$P_{25}\cdot 0,1\text{ мм}$	$P_{25}\cdot 0,1\text{ мм}$ (после определения потери массы)	Остаточная пенетрация, % от исходной	Потери массы, %
В атмосфере аргона						
До выдержки	37,0	40,5	100	54	54	1,5
После выдержки	43,1	48,0	58	32	55,1	1,4
В атмосфере воздуха						
До выдержки	25,1	40,0	138	74	53,6	1,8
После выдержки	42,0	44,9	47	38	80,9	1,1

Однако, процедура «дозревания» достаточно громоздка и длительна. Учитывая, что радикальные и радикально-цепные механизмы играют ведущую роль в процессах термоокислительного, фотохимического, радиационного старения и механической деструкции [22, с. 21 и сл.] и не в полной мере исключаются применением технологии «дозревания», должна быть рассмотрена в качестве альтернативы или дополнения традиционная стабилизация вяжущих против старения введением ингибиторов-акцепторов свободных радикалов [1, с. 239 и сл.].

Наиболее распространенные ингибиторы обрывают кинетическую цепь окисления за счет реакции радикалов RO_2 с молекулой ингибитора **ИН** [22, с. 239 и сл.].



К ингибиторам этого типа относятся фенолы, нафтолы, первичные и вторичные амины, аминокфенолы и ряд других соединений со слабо связанным атомом водорода.

Чтобы подавить разветвление кинетических цепей, надо разрушить гидроперекиси, которые образуются в реакции (1), то есть требуется ввести добавки (X), разрушающие их по молекулярному или ионному механизму [22, с. 230 и сл.]:



К таким добавкам относятся сульфиды, дисульфиды, фосфиты. Гидроперекись при этом восстанавливается до спирта [22, с. 258 и сл.].

В то же время остающиеся в битуме летучие компоненты, которые обуславливают его нестабильность в процессе получения асфальтобетонов и их эксплуатации за счет испарения, могут быть удалены известными и хорошо освоенными приемами с использованием процессов и аппаратов химической технологии.

Наиболее простой и дешевый процесс – отгонка летучих веществ с водяным паром [23]. Существуют и другие процессы, позволяющие успешно решать эту проблему: тепловые (выпаривание) и массообменные (азеотропная ректификация, молекулярная дистилляция, экстракция [24, 25]).

3.2. Модификация и пластификация битумов

Здесь речь пойдет о преодолении второй проблемы в технологии получения ДОВ окислением первичных смол ТГИ (см. выше), что связано с невысокой молекулярной массой битумных смол, полученных из такого сырья, а следовательно, с их пониженными вяжущими свойствами.

Частично эта проблема решается подавлением нежелательных радикальных реакций (см. раздел 3.1), частично ее можно решить углублением конденсационных процессов (см. табл. 5 и 4).

Но эти приемы приводят к резкому снижению пенетрации (см. табл. 6–8).

Таким образом, при мягких условиях окисления вяжущие свойства битумов будут хуже, чем у нефтяных, а при «дозревании» и жестких условиях окисления пенетрация полученных битумов будет слишком низкой (что с технологической точки зрения и вследствие высокой температуры хрупкости (T_{xp}) неприемлемо).

Но способы преодоления этих недостатков хорошо разработаны. Это модификация полимерами и пластификация маловязкими нелетучими жидкостями [4, 21, 26].

В табл. 9 продемонстрированы оба эти приема применительно к стабилизированным сланцевым битумам с высокой и низкой пенетрацией – Б (2.1) и Б (2.2) [20].

Здесь же для сравнения приведены показатели свойств для битума и битумо-полимерных вяжущих (БПВ) [4, 27].

Действительно, модификация Б (2.1) 3%-ми СБС позволит получить из сланцевой смолы качественное вяжущее Б (3.1) с показателями между БНД 90/130 и БПВ 60/90.

А пластификация Б (2.2) 10%-ми индустриального масла И-40А позволит получить вяжущее Б (4.1) – аналог БНД 90/130, но с более высокими эластическими свойствами и трещиностойкостью.

Т. е. с учетом возможностей процессов окисления первичных смол (табл. 6 и 7), модификации и пластификации продуктов окисления (табл. 9) можно воспроизвести весь ассортимент существующих ДОВ, а при необходимости – и превзойти их качество.

3.3. Модификация битумов реакционноспособными олигомерами (PCO)

Модификация битумов, полученных окислением первичных смол, введением PCO открывает поистине безграничные возможности для направленного изменения свойств таких вяжущих.

Это, прежде всего, связано с химсоставом исходных смол (табл. 2 и 4) и продуктов их окисления [20]: наличие фенолов и карбоновых кислот обеспечит протекание реакций этих компонентов смол и битумов с эпоксидными и изоцианатными группами, а наличие свободных радикалов и перекисей в продуктах окисления первичных смол – с ненасыщенными олигомерами (полиэфирами, фуранами и т. д.).

Возможно и прямое превращение фенолов первичных смол в фенолальдегидные или фенольноинденовые олигомеры [28] с последующим их взаимодействием с PCO и т. д.

Представление о модификации битумов изоцианатами дает работа [29].

Мы же рассмотрим модификацию сланцевых битумов длинноцепочными эпоксидными смолами и активными эпоксидными разбавителями.

Фенолы сланцевых смол обычно содержат две гидроксильные группы [11]. Но и продукты окисления монофункционального фенола бифункциональны, как это показано в работе [20, с. 37]:

Таблица 9 – Вяжущие вещества из окисленной и стабилизированной сланцевой смолы [Б (2)], битум (БНД 90/130) и битумополимерные вяжущие (БПВ)

Обозначение вяжущего	Состав вяжущего	Показатели свойств вяжущего						Литературный источник
		Т _р , °С	П ₂₅ ·0,1мм	П ₀ ·0,1мм	D ₂₅ , см	Эластичность, %	Т _{хр} , °С	
Б (1.1)	БНД 90/130	47	96	33	68	–	–21	[4, табл. 10.10].
Б (1.2)	БНД 90/130	41	91	22	42	12	–19	[27].
Б (2.1)	Сланцевый битум	43,6	140	(≤41) ⁵	(≤67) ⁵	–	(≥–23) ⁵	[20, с.138].
Б (2.2)	Сланцевый битум	66,0	16	(≤8) ⁵	(≤20) ⁵	–	(≥–17) ⁵	[20, с.138].
Б (3.1)	Б (2.1) + 3% СБС	(60) ¹⁾	(97) ²⁾	(≤54) ⁵	(≤38) ⁵	(≤82) ⁵	(–21) ⁵	[4, с.199-201].
Б (4.1)	Б (2.2 + 10% И-40А	(40) ³⁾	(96) ⁴⁾	(≤27) ⁵	(≤68) ⁵	–	(≥–27) ⁵	[4, с.199-201].
Б (5.1)	Б (1.1) + 3% СБС	63	53	27	69	86	–21	[4, табл. 10.10].
Б (6.1)	Б (1.1) + 6% СБС	91	50	–	–	98	–27	[4, табл. 10.10].
Б (7.1)	Б (1.2) + 4% ТЭП	55	60	20	35	73	–26	[27].

¹⁾ Интерполяция по табл. 10.10 [4]: Т_р (3.1) = Т_р (2.1) + [Т_{р(БПВ)} – Т_{р(БНД)}] (Для БНД 130/200) = 43,6° + [59° – 43°] = 59,6° ≈ 60 °С.

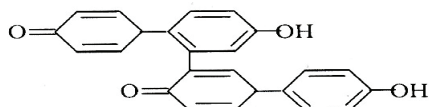
²⁾ Аналогично примечанию (1): П₂₅ (3.1) = 140 – (96–53) = 97 (0,1 мм). В этом случае логичней взять более близкий к Б (2.1) вариант (БНД 90/130).

³⁾ По рис. 10.36, кривая (2) [4].

⁴⁾ П_{25·(n)} = П_{25·(и)} + 8 n = 16 + 8 · 10 = 96; формула составляет по рис. 10.36 [4].

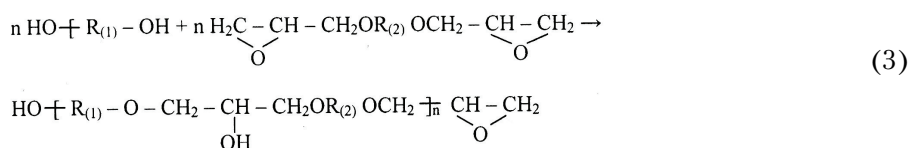
Здесь n – количество пластификатора, %; П₂₅ с индексами (n) и (и) – пенетрация вяжущего, пластифицированного индустриальным маслом И – 40А и исходного.

⁵⁾ Оценка показателей выполнена сравнением Т_р и П₂₅ вяжущих Б (2) с соответствующими показателями для наиболее подходящих марок БНД или БПВ (см. примечания (1) и (2)).



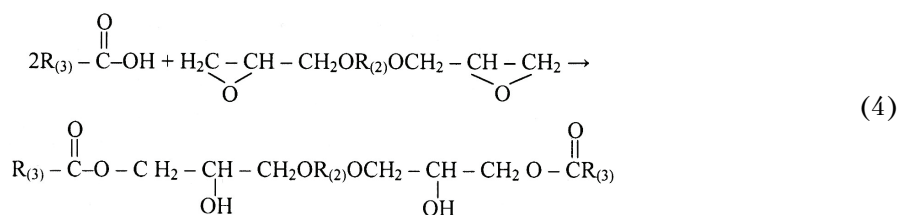
(обозначим HO–R₍₁₎–OH)

Для бифункционального эпоксидного олигомера $(\text{H}_2\text{C}-\text{HC}-\text{H}_2\text{CO}-\text{R}_{(2)}-\text{OCH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2)$ и стехиометрического соотношения реагентов получим олигомерный модификатор:



При наличии хотя бы одного фенольного гидроксильного в молекулах битумных смол или в дисперсных частицах α-фракции сланцевых битумов будет происходить их сшивание по реакции (3) с образованием сложной молекулы, при наличии двух фенольных гидроксильных – сшивание с образованием полимерной цепи, при наличии трех и более – сетки, в узлах которой будут находиться упомянутые носители фенольного гидроксильного [30].

При взаимодействии карбоновых кислот с эпоксидным олигомером образуется олигомер с относительно короткой цепью:



Однако при наличии нескольких карбоксилов в молекулах кислых битумных смол или в частицах α – фракции будет происходить формирование полимерной сетки, как это описано выше.

Разумеется, в реальной системе процесс будет протекать сложнее вследствие случайного характера взаимодействий (3) и (4) с учетом соотношения реагентов и их реакционной способности.

Использование вместо эпоксидных смол активных разбавителей позволит решать, наряду с задачей модификации, и задачу технологической пластификации битума (см. раздел 3.2).

Учитывая, что в процесс модификации вовлекается вещество битума и формируется пространственная химическая сетка, можно ожидать, что расход эпоксидного олигомера для достижения тех же результатов, что и при модификации полимером (СБС, ТЭП – см. табл. 9), будет заметно меньше, а некоторые параметры таких вяжущих и асфальтобетонов на их основе будут существенно превосходить достигнутые с использованием линейных полимеров (например, сопротивление разрыву [21] для битума и расширение зоны линейной вязкоупругости [31] для асфальтобетона).

IV. Асфальтобетоны на битумах из первичных смол

Как видно из табл. 5, 6 и 8, битумы из сланцевых смол с лихвой перекрывают диапазон температуры размягчения и пенетрации, предусмотренный ДСТУ 4044 [32] для вязких нефтяных дорожных битумов (БНД 40/60 БНД 130/200).

Вместе с тем в качестве дорожных вяжущих используют жидкие сланцевые битумы или со средними T_p .

В СССР выпускали вязкие и жидкие (марки 20/35, 35/70, 70/130, 130/200, 160/250, 250/330) сланцевые битумы [43].

Учитывая сказанное и известные зависимости прочности асфальтобетона от T_p и Π_{25} вяжущего [33, с. 164], можно заключить, что из сланцевых смол возможно получить вяжущие, для которых будут достигнуты прочностные показатели R_{20} асфальтобетонов, предусмотренные ДСТУ Б.В.2.7-119 [34]. В работе [35] этот подход продемонстрирован соответствующим расчетом.

Однако, с учетом выше отмеченных недостатков сланцевых вяжущих (раздел 2), преимущество следует отдать модифицированным битумам (раздел 3). В пользу такого подхода свидетельствует предпочтение, которое отдается холодным асфальтобетонам [36] и использованию сланцевого битума в качестве добавки при регенерации асфальтобетона [14].

С учетом сказанного, вышеуказанные расчеты [35] выполнены для асфальтобетонов на вяжущих, приведенных в табл. 9. Эти расчеты базируются на экспериментальных данных для связующего Б(7.1) [27]. Чтобы иметь возможность сравнивать расчет с этими экспериментальными данными, определена удельная поверхность (S_m) минеральных материалов (ММ) для асфальтобетона Б(7.1) при условии, что фактическая толщина пленки битума (δ_ϕ) равна толщине структурированных слоев ($\delta_{стр}$ – рассчитывали по величине Π_{25}).

Полученное значение $S_m = 357,8 \text{ см}^2/\text{г}$ использовали в расчетах для остальных асфальтобетонов.

При том же предположении ($\delta_\phi = \delta_{стр}$) из зависимости $R_p = f(R_{стр})$ (здесь R_p – расчетную прочность бетона приняли равной экспериментальной $R_{20} = 4,2 \text{ МПа}$, прочность структурированных слоев нашли по Π_{25} из [27], как и в работе [35], результат приведен в табл. 9: $R_{стр} = 2,03 \text{ МПа}$) нашли $K_y \cdot K_{пов} = 2,07$.

Здесь K_y – коэффициент уплотнения (принят $K_y = 1,4$ для щебенистого бетона), а $K_{пов}$ – коэффициент шероховатости поверхности бетона, по которой идет разрушение – рассчитан ($K_y = 1,48 \approx 1,50$ соответствует 20 % щебня в ММ).

Эти значения K_y и $K_{пов}$ использованы в расчетах R_p остальных бетонов.

Ориентировочная оценка значений R_0 и R_{50} произведена, исходя из предположения, что они соотносятся с R_{20} так же, как это имеет место для приведенных в работе [27] экспериментальных данных:

$$\text{для битумов} \quad R_{oi} = \left(\frac{R_0}{R_{20}} \right)_{Б(1,2)} \cdot R_{20i} = 2,56 \cdot R_{20i}, \quad R_{50i} = \left(\frac{R_{50}}{R_{20}} \right)_{Б(1,2)} \cdot R_{20i} = 0,23 \cdot R_{20i};$$

$$\text{для БПВ} \quad R_{oi} = \left(\frac{R_0}{R_{20}} \right)_{Б(7,1)} \cdot R_{20i} = 2,45 \cdot R_{20i}, \quad R_{50i} = \left(\frac{R_{50}}{R_{20}} \right)_{Б(7,1)} \cdot R_{20i} = 0,33 \cdot R_{20i}.$$

Результаты сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Прочность асфальтобетонов и характеристика структурированных слоев вяжущего

Обозначение вяжущего	Расход вяжущего (Б), % к ММ	$\delta_{\text{ф}}$, мкм	$\delta_{\text{стр}}$, мкм	$R_{\text{стр}}$, МПа	Прочность асфальтобетона, МПа			Источник
					R_0	R_{20}	R_{50}	
Б(1.2)	5,0	-	-	-	8,2	3,2	0,73	[16]
Б(1.2)	5,0	1,370	1,227	1,79	8,2	3,2	0,73	Расчет ³⁾
Б(2.1)	4,2	1,146	1,146	1,18	6,2	2,44	0,56	Расчет
Б(2.2)	5,6	1,524	1,524	2,40	12,8	4,98	1,14	Расчет
Б(3.1)	4,6	1,264	1,264	1,75	8,9	3,62	1,19	Расчет
Б(4.1)	4,6	1,267	1,267	1,75	9,3	3,63	0,83	Расчет
Б(5.1)	5,1	1,395	1,395	2,10	10,7	4,35	1,43	Расчет
Б(6.1)	5,1	1,405	1,405	2,12	-	4,38	-	Расчет
Б(7.1)	5,0	-	-	-	10,3	4,2	1,38	[16]
Б(7.1)	5,0	1,370	1,370	2,03	10,3	4,2	1,38	Расчет ³⁾
БНД 40/60...	5-6 (А) ¹⁾	А-3...А-6 ²⁾			н.б. 12,0/10,0	н.м. 2,5/2,2	н.м. 1,1/1,0 (А)	[9]
БНД 130/200	6-7,5 (В)	А-6 (Донецкая область)			н.б. 11,0/9,0	н.м. 2,6/2,4	н.м. 1,2/1,1 (А)	

¹⁾ Тип гранулометрии.

²⁾ Дорожно-климатический район.

³⁾ Значение R_{20} рассчитано, R_0 и R_{50} приняты по [27].

Как видно из таблицы 10, асфальтобетоны на исходных сланцевых битумах не в полной мере удовлетворяют требованиям ДСТУ Б.В. 2.7–119–2003 [9] по R_{50} – Б(2.1) и R_0 – Б(2.2). Хотя технология позволяет получить вяжущие с более приемлемыми значениями P_{25} (раздел 2), мы считаем модификацию этих битумов полимерами более предпочтительной для улучшения эксплуатационных характеристик дорожного покрытия.

Бетон на модифицированном битуме Б (3.1) полностью удовлетворяет требованиям ДСТУ по значениям предела прочности при температурах 0...50 °С.

Бетон на пластифицированном битуме Б (4.1) не соответствует требованиям ДСТУ к R_{50} , т. е. его надо модифицировать полимером или уменьшить степень пластификации.

Следовательно, сланцевые битумы так же, как и другие битумы на основе первичных смол, имеют высокий потенциал в качестве ДОВ при условии соблюдения требований к их технологии, стабилизации и модификации (см. раздел 3).

Выводы.

1. Проанализированы литературные данные по составу смол полукоксования различных твердых горючих ископаемых. Рассмотрены проблемы, связанные с получением на их основе вяжущих веществ для дорожного строительства.

2. Предложены подходы к решению этих проблем, позволяющие получить окислением смол полукоксования ТГИ полноценные заменители нефтяных битумов: регулирование технологии окисления и введения добавок, сводящих к минимуму наличие свободных радикалов, удаление летучих веществ (т. е. приемы повышения стабильности вяжущих); приемы модификации битумов полимерами (включая использование реакционноспособных олигомеров) и их пластификации низковязкими нелетучими жидкостями (инертными – типа минеральных и синтетических масел – и реакционноспособными – типа активных эпоксидных разбавителей).

3. Обоснована и подтверждена расчетами перспективность использования таких битумов в качестве вяжущих веществ для асфальтобетонов, удовлетворяющих требованиям ДСТУ Б.В.2.7–119–2003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перспективы получения дорожных органических вяжущих на основе твердых горючих ископаемых. I. Коксохимическое сырье / М. К. Пактер, В. И. Братчун, В. Л. Беспалов [и др.] // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. — 2010. — Вип. 2010–1 (81). — С. 22–33.
2. Печуро Н. С. Химия и технология синтетического жидкого топлива и газа / Н. С. Печуро, В. Д. Капкин, О. Ю. Песин. — М. : Химия, 1986. — 352 с.
3. Юркевич Я. Углекислотная химия / Я. Юркевич, С. Росинский. — М. : Металлургия, 1973. — 360 с.
4. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів : [навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл.] / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов. — Макіївка–Харків : ДонНАБА, 2006. — 302 с. — ISBN 5-7763-0351-6.
5. Прелатов В. Г. Термические процессы переработки горючих сланцев для получения энергоносителей и ценных сераорганических соединений : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.17.08 / В. Г. Прелатов. — Саратов, 2002. — 189 с.
6. Прелатов В. Г. Экспериментальное исследование процессов полукоксования сланцев Поволжья / В. Г. Прелатов // Проблемы эффективного использования энергоносителей и низкосортных топлив в промышленности : Материалы междунар. конф. / СГТУ. — Саратов, 1998. — С. 7–8.
7. Каширский В. Г. Горючие сланцы Поволжья и их значение для развития экономики Саратовской области / В. Г. Каширский. — Саратов : СГТУ, 2002. — 54 с.
8. Соо К. М. Состояние и тенденции развития сланцеперерабатывающей промышленности за рубежом / К. М. Соо, Г. А. Чехонина. — М., 1990. — 64 с.
9. Горючие сланцы — альтернативный источник топлива и сырья. Фундаментальные исследования. Опыт и перспективы : материалы междунар. н.-т. конф. / СГТУ. — Саратов, 2007. — 168 с.
10. Зеленин Н. И. Химия и технология сланцевой смолы / Н. И. Зеленин, В. С. Файнберг, К. Б. Чернышева. — Ленинград : Химия, 1968. — 250 с.
11. О составе сланцевых фенолов / Ю. Лилле, М. Пехи, Л. Биттер [и др.] // Изв. АН ЭССР. — 1973. — Т. 22. — С. 16–18.
12. Апостолов С. А. Окисление сланцевой смолы / С. А. Апостолов // Тр. СЗПИ. Химия и технология. — 1975. — № 32. — С. 41–44.
13. Гельфанд С. И. Дорожный битум из прибалтийских сланцев / С. И. Гельфанд, М. А. Зелейщиков. — М. : Химия, 1950. — 180 с.
14. Евтеева С. М. Технология регенерированного асфальта с дисперсным сланцевым битумом : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.05. / С. М. Евтеева. — Саратов, 2009. — 194 с.
15. Першин М. Н. Сланцевые вяжущие в дорожном строительстве / М. Н. Першин, М. Ф. Никишина. — М. : Транспорт, 1981. — 151 с.
16. Лункин В. Н. Производство дорожного битума при переработке сланцев Поволжья / В. Н. Лункин, А. М. Чертынов. — Саратов : СГТУ, 1999. — 50 с.
17. Ребана К. К. Проблемы комплексного использования горючих сланцев / К. К. Ребана // Вестн. АН СССР. — 1983. — № 12. — С. 19–24.
18. Прелатов В. Г. Пиролиз смолы высокосернистого сланца / В. Г. Прелатов, В. Г. Каширский // Сланцевая промышленность. Информ. сер. 1. — 1989. — № 2. — С. 5–6.
19. Евгеньев И. Е. Автомобильные дороги в окружающей среде / И. Е. Евгеньев, Б. Б. Каримов. — М. : ООО «Трансдорнаука», 1977. — 287 с.
20. Апостолов С. А. Научные основы производства битумов / С. А. Апостолов. — Ленинград : Лен. ун-т, 1988. — 168 с. — ISBN 5-288-00090-5.
21. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве : монография / под общ. ред. д.т.н. В. А. Золотарева, д.т.н. В. И. Братчуна ; Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (С8) ; Перевод изд. с фр. д.т.н. В. А. Золотарева, инж. Л. А. Беспаловой. — Харьков : Изд. ХНАДУ, 2003. — 229 с.
22. Эмануэль Н. М. Химическая физика старения и стабилизации полимеров / Н. М. Эмануэль, А. Л. Бучаченко. — М. : Химия, 1982. — 360 с.
23. Сийрде Э. К. Дистилляция (теория, методы расчета) / Э. К. Сийрде, Э. Н. Теаро, В. Я. Миккал. — Л. : Химия, 1971. — С. 79–93.
24. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. — М. : Химия, 1971. — 784 с.
25. Коган В. Б. Азеотропная и экстрактивная ректификация / В. Б. Коган. — Л. : Химия, 1961. — 315 с.
26. Органические вяжущие для дорожного строительства / С. К. Илиополов, И. В. Мардирасова, Б. В. Углова, О. К. Безродный. — Ростов-на-Дону : ООО «Офсет», 2003. — 428 с.
27. Хозин В. Г. Физико-химические основы модификации нефтяных битумов полимерами / В. Г. Хозин, А. В. Мурафа // Науковий вісник будівництва. — 2010. — Вип. 59. — С. 227–233.
28. Карат Л. Д. Термореактивные олигомеры на основе непредельных фракций коксохимических производств / Л. Д. Карат, В. И. Стрельцов, М. К. Пактер // Полимерные материалы на основе эпоксидных смол, фенольных и др. олигомеров. Получение, свойства, применение : сб. научн. тр. / УкрГосНИИпластмасс. — Донецк : ООО «Друк-ИНФО», 2005. — С. 61–67.
29. Кумейко Н. Н. Принципы получения ресурсо- и энергоэкономичных холодных дегтебетонных смесей для устройства покрытий нежестких дорожных одежд с регулируемыми сроками формирования структуры /

- Н. Н. Кумейко // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. — 2010. — Вип. 2010—5 (85), Т. 1. — С. 160—165.
30. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции / Ю. С. Зайцев, Ю. С. Кочергин, М. К. Пактер, Р. В. Кучер. — Киев : Наукова думка, 1990. — 200 с.
 31. Золотарев В. А. О расчетных значениях модулей упругости асфальтополимербетонов / В. А. Золотарев // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. — 2010. — Вип. 2010—5 (85), Т. 1. — С. 73 - 77.
 32. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови : ДСТУ 4044-2001. — [Чинний від 2002-27-07] — К. : Державний стандарт України, 2001. — 10 с.
 33. Аррамбид Ж. Органические вяжущие и смеси для дорожного строительства / Ж. Аррамбид, М. Дюрье. — М. : НТИ Минавтотранс и шоссейных дорог РСФСР, 1961. — 371 с.
 34. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови : ДСТУ Б В.2.7—119—2003. — [Чинний від 2003-07-01]. — К. : Державний стандарт України, 2003. — 32 с.
 35. Беспалов В. Л. Органічні в'язучі на основі другорядних кубових залишків фенолоно-ацетонового виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби» / В. Л. Беспалов. — М.: Макіївка, 2002. — 20 с.
 36. Горнаев Н. А. Холодный асфальт с дисперсным сланцевым битумом / Н. А. Горнаев, Л. В. Никифорова // Проблемы транспорта и транспортного строительства: сб. науч. тр. Ч. 1. / СГТУ. — Саратов, 2005. — С. 90—93.

Отримано 28.12.2010

М. К. ПАКТЕР, В. І. БРАТЧУН, В. Л. БЕСПАЛОВ, І. Ф. РИБАЛКО, В. П. ДЕМЕШКІН,
М. С. КОННОВ, О. А. СТУКАЛОВ
ПЕРСПЕКТИВИ ОДЕРЖАННЯ ДОРОЖНІХ ОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ НА
ОСНОВІ ТВЕРДИХ ГОРЮЧИХ КОПАЛИН. II. СМОЛИ НАПІВКОКСУВАННЯ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуті перспективи одержання органічних в'язучих речовин для дорожнього будівництва (ДОВ) на основі смол напівкоксування твердих горючих копалин (ТГК) із низьким ступенем метаморфізму. Наведені відомості про склад цих смол і розглянуто проблеми, що пов'язані з одержанням якісних ДОВ на їх основі. Запропоновано способи, що спрямовані на вирішення цих проблем: стабілізація якості і підвищення стійкості до різних видів старіння, модифікація (включаючи використання реакційноздатних олигомерів) і пластифікація (включаючи використання активних розріджувачів). Обґрунтовано і підтверджено розрахунками перспективність використання таких бітумів у якості ДОВ замість нафтових.

дорожні органічні в'язучі, окиснені бітуми, сланцеві бітуми, сланцева смола, буровугільна смола, напівкоксування, тверді горючі копалини

M. K. PAKTER, V. I. BRATCHUN, V. L. BESPALOV, I. F. RYBALKO, V. P. DEMESHKIN,
M. S. KONNOV, A. A. STUKALOV
OUTLOOK OF ROAD ORGANIC BINDING MATERIAL MANUFACTURE ON BASE
OF LOW-TEMPERATURE CARBONIZATION RESINS OF LOW DEGREE
METAMORPHISM HARD FUELS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The outlook for the manufacture of organic binding materials has been considered for roadworks (RW) on the base of low-temperature carbonization resins of low degree metamorphism hard fuels. The composition data of such type of the resins has been provided and the problems connected with the manufacture of high-quality roadworks binding materials on the base of the resins have been considered in the paper. The ways directed to the solution of the problems, namely, quality regulation and resistance increase to various types of ageing, modification (including application of reactivity capable oligomers) and plasticizing (including application of active diluents) have been proposed. The long-term effect of the application of such organic binders as binding materials for roadworks instead of oil asphalt has been valid and confirmed with the analytical solution.

road organic binding materials, blown petroleum, shore bitumen, shore tar, lignite tar, low-temperature carbonization, hard fuels

Пактер Михайло Костянтинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів і автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка одержання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування органічних в'язучих і комплексного модифікування мікроструктури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

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

Рыбалко Иван Федотович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

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

Коннов Микола Сергійович – старший викладач кафедри технології, організації та охорони праці в будівництві Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка ефективних складів технологій виробництва бітумноемulsionних паст і мастик для улаштування гідроізоляції.

Стукалов Олександр Анатолійович – магістрант кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорсткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Пактер Михаил Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Братчун Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физико-химическая механика получения технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одягов на основе модифицирования органических вяжущих и комплексного модифицирования микроструктуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

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

Рыбалко Иван Федотович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

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

Коннов Николай Сергеевич – старший преподаватель кафедры технологии, организации и охраны труда в строительстве Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка эффективных составов технологий производства битумноэмульсионных паст и мастик для устройства гидроизоляции.

Стукалов Александр Анатольевич – магистрант кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Mixail K. Pakter – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of efficient procedures and techniques of raw materials processing into the components of composition materials.

Valeriy I. Bratchun – a D. Sc. (Engineering), a Professor, the Chair of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: physicochemical mechanics for manufacturing of easily producible and lasting road concrete for building of structural layers of non-rigid pavement on the base of modification of organic binders and the complex modification of concrete microstructure; development of efficient procedures and techniques of raw materials processing into the components of composition materials.

Vitaliy L. Bespalov – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: synthesis of the organic binders for the production of road-building composition materials used for building of structural layers of non-rigid pavement of lasting motorways.

Ivan F. Rybalko – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of efficient procedures and techniques of raw materials processing into the components of composition materials.

Valentin P. Demeschkin – a senior lecturer of the Heat Engineering, Gas and Heat Supply and Ventilation Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of efficient procedures and techniques of raw materials processing into the components of composition materials.

Nikolay S. Konnov – a senior lecturer of the Production Engineering, Arrangement and Labour Protection in Civil Engineering Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of efficient contents of procedures and techniques of production of bitumen and emulsion pastes and mastics for arrangement of waterproofing.

Aleksandr A. Stukalov – a student of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: manufacture of easy producible and lasting road concrete for building of structural layers of non-rigid pavement on the base of organic binders modification.

УДК 691.16:662

А. В. ГУБАРЬ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

СЕРНЫЙ ШЛАМ – МИНЕРАЛЬНЫЙ ПОРОШОК ДЛЯ ХОЛОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА, ПРИГОТОВЛЕННОГО НА КАТИОННОЙ БИТУМОПОЛИМЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Показано, что минеральный порошок в составе холодного асфальтополимербетона структурирует нефтяной дорожный битум; увеличивает поверхность контактирования между зёрнами песка и щебня; уменьшает тепловое расширение битума и скольжение при торможении транспорта; повышает адгезионные и механические свойства битума; увеличивает плотность минеральной смеси и асфальтополимербетона. В комбинации с органическим вяжущим формирует структурированную непрерывную матрицу в асфальтобетоне. Повышает плотность, водостойкость, морозостойкость и прочность асфальтобетона в области высоких положительных температур. Приведен анализ использования в качестве минеральных порошков техногенных порошкообразных минеральных и органических продуктов. Из литературных источников установлено, что эффективным исходным техногенным сырьём для получения минерального порошка являются серосодержащие материалы и, прежде всего, серный шлам.

холодный асфальтополимербетон, катионная битумополимерная эмульсия, серосодержащие отходы промышленности, серный шлам

Структура асфальтобетона рассматривается принципиально на двух уровнях: макро- и микро. На макроуровне это структура минерального остова, представленного частицами песка и щебня. На микроуровне – структура асфальтовяжущего вещества [1–4]. Важнейшей составляющей обеих подструктур является контактная зона – зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов. Это обусловлено тем, что в плотных бетонах контакты между структурообразующими частицами микро-, мезо- и макроструктуры представлены структурированным органическим вяжущим. Именно адгезионно-когезионно-эластические свойства адсорбционно-сольватных слоев органического вяжущего определяют трещиностойкость, водо- и морозостойкость, усталостную прочность асфальтобетона и другие основные эксплуатационные свойства асфальтобетонных покрытий.

Минеральный порошок (МП) является основной структурообразующей составляющей бетонов на органических вяжущих. В работах П. В. Сахарова, Н. Н. Короткевича, И. М. Борща, Л. С. Терлецкой, С. Я. Шалыт, Л. М. Ястребовой, А. В. Космина и др. [5–11] 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 БВ.2.7-27 в интегральной форме 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 % по объёму 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 65 %. 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 асфальтобетон не будет работать как единая система, теряется монолитность.

ДСТУ Б В.2.7-27 регламентирует показатели качества, в основном МП из карбонатных горных пород, преобладающий заряд поверхности которых положительный (на поверхности МП повышенная концентрация катионов кальция). В свою очередь битумы содержат в своём составе асфальтогеновые кислоты и поэтому известняковые МП интенсивно структурируют битум, возможно даже образование хемосорбционных связей с образованием кальциевых мыл.

Важное значение, как показатель качества минерального порошка, имеет форма зёрен и текстура поверхности. Установлено, что порошки из карбонатных горных пород характеризуются среднеокатанной формой зёрен и имеют шероховатую поверхность. При уплотнении асфальтобетонных смесей они обеспечивают более высокую плотность, чем минеральные порошки, полученные из каменноугольной пыли и сланцевой золы, зерна которых равновеликие и имеют шаровидную форму с гладкой блестящей стекловидной поверхностью [2].

При исследовании минеральных порошков, а, следовательно, и асфальтобетонов центральное место занимает проблема взаимодействия на поверхности раздела фаз «минеральный порошок – органическое вяжущее», так как от прочности адгезионного соединения зависит прочность композиционного материала и его коррозионная стойкость.

В соответствии с адсорбционно-молекулярной теорией адгезии процесс взаимодействия органического вяжущего (сорбента) и твёрдого тела (сорбата) проходит в две стадии: первая – транспортирование молекул адгезива к поверхности МП, чему способствует повышение температуры, пластификация и разжижение органического вяжущего; вторая – молекулярное взаимодействие между сорбентом и сорбатом на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – МП» [12]. Таким образом, взаимодействие органического вяжущего с поверхностью минерального порошка предполагает комплекс процессов при длительном контакте этих материалов, а именно: смачивание органическим вяжущим поверхности минерального порошка; избирательная адсорбция наиболее поверхностно-активных компонентов вяжущего. При этом на поверхности раздела фаз могут происходить и хемосорбция, а также капиллярная диффузия отдельных компонентов битума в поры минерального материала [13–16].

Под действием молекулярных сил на поверхности раздела фаз «минеральный порошок – органическое вяжущее» последнее переходит в структурированное состояние (толщина адсорбционно-сольватного слоя $(3-6) \cdot 10^{-6}$ м. В ориентированном слое выделяют три зоны с характерными структурой и физико-механическими свойствами: твёрдообразную, структурированную и диффузную. Твёрдообразная зона, граничащая с поверхностью МП (толщина не превышает долей микрона), представлена конденсированной ароматикой. Структурированная зона толщиной $(1-2) \cdot 10^{-6}$ м состоит из упорядоченно расположенных высокомолекулярных компонентов органического вяжущего.

Диффузная зона представлена слабым упорядочением высокомолекулярной части вяжущих, переходящей в объёмный битум. Резкого перехода между ориентированным слоем органического вяжущего и вяжущим, находящимся в объёмном состоянии, а также внутри слоя между зонами нет [1–4, 12]. При полном переводе органического вяжущего в ориентированное состояние достигается наибольшая прочность системы.

Интенсивное дорожное строительство нежестких дорожных одежд требует большого количества составляющих бетонных смесей.

При современном уровне материального потребления дорожным строительством значение фактора полноты использования и вовлечения вторичных материальных ресурсов имеет первостепенное значение. Комплексное использование сырья и отходов важно еще и потому, что оно связано с решением проблемы создания безотходных и экологически чистых промышленных технологий [13].

В настоящее время в качестве минеральных порошков изучены как минеральные: лёсс, золы-уноса электростанций, пыль-уноса цементных заводов, доломитовая пыль, распавшиеся металлургические шлаки (доменные, электросталеплавильные, ферросплавные и др.), колошниковая пыль, шлам водоумягчения, фильтр-прессная грязь, содовый шлам, молотые мергели и известняки-ракушечники, флотохвосты, отработанные формовочные смеси, серосодержащие отходы, так и органические: менилитовые сланцы, древесный гидролизный лигнин, кубовые остатки дистилляции фталевого ангидрида, резиновая крошка, битуминозные породы и др. [14–26].

В работах [24–26] показано, что эффективным сырьем для производства минеральных порошков является сера и серосодержащие продукты.

Например, установлено, что при температуре приготовления дегтебетонной смеси ниже 140 °С сера выступает в качестве активного армирующего наполнителя и позволяет повысить плотность бетона за счет кольматирующего эффекта, увеличивает подвижность и удобоукладываемость смеси, снижает температурную чувствительность механических свойств дегтесеробетона. В работе [25] исследовалось влияние технологии приготовления смеси на свойства дегтесеробетона. Изменением порядка введения вяжущего и серного шлама в смеситель можно направленно регулировать структуру дегтесеробетона и его деформационно-прочностные характеристики.

О. Н. Львовым и А. Б. Гезенцевым предложен способ получения серосодержащих минеральных порошков с заданным содержанием серы путем совместного помола отходов производства с высоким содержанием серы (зольный отход фильтрации серы, отходы производства сернистых красителей) с отходами флотации серных руд [24]. Исследование зависимости свойств асфальтобетона от содержания серы в минеральном порошке показывает, что применение минерального порошка с содержанием серы ниже 15 % приводит к снижению прочности асфальтобетона, вследствие пластифицирующего действия серы. По мере роста содержания серы в минеральном порошке наблюдается рост предела прочности асфальтосеробетона при сжатии, особенно, в области высоких температур. Так при содержании серы 40 % $R_{50} = 2,4$ МПа, $R_0 = 11,4$ МПа; для контрольного образца на известняковом минеральном порошке $R_{50} = 1,14$ МПа, $R_0 = 11,5$ МПа. Однако, при увеличении содержания серы свыше 20 % наблюдается некоторое снижение коэффициента длительной водостойкости.

Серосодержащие отходы по происхождению разделяются на следующие основные группы [25]:

- отходы, получаемые в процессе химического производства (серный шлам, пиритные огарки и др.);
- отходы переработки обогащения руд серных месторождений (хвосты флотации);
- отходы, образующиеся при очистке отходящих газов промышленных предприятий.

В качестве минерального порошка холодных асфальтополимерсеробетонных смесей наиболее целесообразно использовать серный шлам (СШ) – отход производства, получаемый в результате очистки серы при производстве серной кислоты, например, на ОАО Концерне «Стирол» со следующими техническими характеристиками: плотность – 1380–1560 кг/м³. Элементный состав: сера – 45–75 %; оксиды кальция – 12–40 %; кремний 4–8 %; железо и марганец 3–7 %; примеси 1–3 % [25].

Молотый шлам, измельченный до тонкости помола минеральных порошков в соответствии с требованиями ДСТУ БВ.2.7-27 характеризуется следующими показателями качества: удельная поверхность 450 м²/кг; плотность – 2 120 кг/м³; средняя плотность под нагрузкой 40 МПа – 1 500 кг/м³; пористость – 29 %; битумоемкость – 58 %.

Катионную битумнополимерную эмульсию, модифицированную Бутоналом NS 198, приготавливают в емкости вертикального типа, оснащенной перемешивающим устройством, которое обеспечивает турбулентность потока вяжущего в месте введения латекса. В нагретую до 90 °С катионную битумную эмульсию вводят Бутонал NS 198 в количестве 3 % SBS по массе к битуму эмульсии. Перемешивание битумополимерной катионной эмульсии осуществляется в течение 30–40 минут.

При объединении компонентов холодной асфальтополимерсеробетонной смеси процессы и явления, возникающие на поверхности раздела фаз, должны зависеть от порядка введения компонентов в асфальтосмеситель. Возможны три схемы последовательности введения компонентов в смеситель: минеральные материалы (щебень, песок, серный шлам) → сухое перемешивание 10 с → катионная битумополимерная эмульсия → перемешивание 30–50 с; минеральный материал (щебень, песок) – битумополимерная эмульсия → перемешивание 30 с → серный шлам → перемешивание 30 с; минеральный материал (щебень, песок) – серный шлам (Т = 80–90 °С) → перемешивание 30 → битумополимерная эмульсия → перемешивание 30 с.

По второй схеме производства холодной асфальтополимерсеробетонной смеси будет достигнута наиболее высокая структурирующая способность серного шлама в составе асфальтополимербетона.

Упрочнение структуры «объемного» битумополимерсерного вяжущего вещества кристаллами серы и на поверхности раздела фаз «битумополимерсерное вяжущее – серный шлам» приведет к смещению в область более высоких положительных температур после распада медленнораспадающейся катионной битумополимерной эмульсии в конструктиве дорожной одежды перехода асфальтополимербетона в вязкопластическое состояние.

Вследствие того, что оптимально структурированное битумополимерное вяжущее (модифицировано стирол-бутадиен-стиролом) характеризуется температурой стеклования минус 25 °С – минус 30 °С [27], то следует ожидать смещения и температуры стеклования асфальтополимербетона в область более отрицательных температур по сравнению с горячими асфальтобетонами.

Значит, холодный асфальтополимербетон будет характеризоваться широким интервалом вязкоупругого поведения, ориентировочно $|-25...-30\text{ }^{\circ}\text{C} \mid + \mid 60...70\text{ }^{\circ}\text{C} \mid = \mid 85...100\text{ }^{\circ}\text{C} \mid$. Снижению температурной чувствительности асфальтополимербетона будет способствовать создание в системе битумополимерного вяжущего вещества непрерывного спектра молекулярно-массового распределения компонентно – макромолекул и надмолекулярных образований SBS, кристаллов и коллоидных частиц серы.

Сопряженная пространственная термофлуктуационная сетка термоэластопласта SBS придаст битумополимерному вяжущему высокую эластичность и релаксационную способность асфальтополимербетону в области отрицательных температур эксплуатации. В связи с тем, что макромолекулы и надмолекулярные образования SBS, а также дисперсные частицы серного шлака будут сорбировать значительную часть углеводородов мальгеновой составляющей органического вяжущего, то, естественно, асфальтополимербетоны, модифицированные латексом Бутонал NS 198, будут иметь меньшую склонность к старению вследствие уменьшения процессов испарения углеводородов с невысокой температурой кипения, избирательной диффузии веществ с малой молекулярной массой в минеральные частицы, а также из-за увеличения энергии активации реакций испарения, полиоксиконденсации масел и смол нефтяного дорожного битума.

Структурированное органическое вяжущее будет иметь более развитые адсорбционно-сольватные слои на поверхности структурообразующих макро- и мезоструктуры асфальтополимербетона и прежде всего на поверхности серного шлака по сравнению с традиционными асфальтополимербетонными смесями (ДСТУ Б В.2.7–119–2003). Вследствие этого можно ожидать, что асфальтополимербетонные смеси должны характеризоваться более широким интервалом уплотнения и меньшей энергоемкостью уплотняемости асфальтополимерсеробетонных смесей. Этому будет также способствовать тиксотропные свойства асфальтополимерного вяжущего вещества и более широкая зона вязкоупругого поведения микроструктуры асфальтополимербетона [28].

Повышенная уплотняемость асфальтополимербетонных смесей приведет к увеличению количества объема замкнутых пор. Высокая плотность асфальтополимербетона будет способствовать меньшему доступу кислорода и воды к вяжущему. Это обусловит устойчивость асфальтополимербетона к старению и агрессивному воздействию воды.

Асфальтополимербетоны должны быть более морозостойки, чем традиционные горячие асфальтобетоны. Это связано не только с особенностями поровой структуры модифицированного асфальтобетона, но и с особенностями напряженного состояния асфальтополимербетона, вызываемого замерзанием и оттаиванием в его порах воды вследствие повышенной эластичности структурных связей.

Наличие сопряженной пространственной полимерной сетки в асфальтополимербетоне обеспечит повышенную деформативность и динамическую устойчивость бетона в области отрицательных температур и одновременно необходимую сдвигоустойчивость при положительных температурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны / И. А. Рыбьев. – М. : Высшая шк., 1969. – 399 с.
2. Дорожный асфальтобетон / Л. Б. Гезенцев, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королёв – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
3. Прочность и долговечность асфальтобетона / Под ред. Ладыгина Б. И. и Яцевича И. К. – Минск : Наука и техника, 1972. – 288 с.
4. Золотарёв В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В. А. Золотарёв. – Х. : Вища шк., 1977. – 116 с.
5. Сахаров П. В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей / 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 // Минеральные порошки для асфальтового бетона / Н. Н. Короткевич. – М. : Дориздат, 1940. – С. 3–67.
7. Ястребова Л. Н. Исследование свойств минеральных порошков и их влияние на свойства асфальтового бетона // Исследование органических материалов и физико-механических свойств асфальтовых смесей / Л. Н. Ястребова – М. : Дориздат, 1949. – С. 82–105.
8. Борщ И. М. Структурообразующая роль минеральных порошков в асфальтовых смесях / И. М. Борщ // Труды ХАДИ. – 1952. – Вып. 17. – С. 105–111.
9. Шалыт С. Я. Влияние активного наполнителя и растворителя на структурно-механические свойства битумов / С. Я. Шалыт, М. В. Михайлов, П. А. Ребиндер // Коллоидный журнал. – 1957. – Т. 19. – С. 244–251.
10. Терлецкая Л. С. Влияние структуры минерального порошка на свойства асфальтобетонной смеси / Л. С. Терлецкая // Труды МАДИ. – 1958. – Вып. 23. – С. 70–74.

11. Космин А. В. Минеральные порошки для асфальтобетона из шлака металлургического марганца / А. В. Космин // Автомобильные дороги. – 1986. – Вып. 5. – С. 157–158.
12. Королёв И. В. Модель строения битумной плёнки на минеральных зёрнах в асфальтобетоне / И. В. Королёв // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – № 8. – С. 63–67.
13. Комплексное использование сырья и отходов / Равич Б. М., Окладников В. П., Лыгац В. М. [и др.] – М.: Химия, 1966. – 288 с.
14. Бусел А. В. Эколого-технологические основы производства и применения дорожно-строительных материалов с использованием техногенных отходов : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.23.05 / Бусел А. В. – Минск, 1996. – 36 с.
15. Братчун В. И. Модифицированные дёгти и дегтебетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. А. Золотарёв. – Макеевка: ДГАСА, 1998. – 226 с.
16. Мінеральні порошки з шлаків станцій нейтралізації сталедрутокатанних заводів / В. І. Братчун, І. Ф. Рибалко, О. І. Повзун, В. Л. Беспалов // Автошляховик України. – 1998. – № 4. – С. 54–46.
17. Борщ И. М. Лёс как минеральный порошок для асфальтобетона : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / И. М. Борщ. – М., 1952. – 25 с.
18. Замниус Ф. К. Минеральный порошок из отходов содовых заводов / Ф. К. Замниус, Н. Ф. Почапский // Автомобильные дороги. – 1979. – № 7. – С. 7–8.
19. Шведова Л. Ф. Активные минеральные порошки из бокситового шлака // Ускорение научно-технического прогресса, повышение производительности труда и качества дорожных работ / Л. Ф. Шведова, С. А. Мантопин. – М., 1981. – С. 75–76.
20. Самодуров С. И. Минеральный порошок из фосфогипса // Применение местных материалов и отходов промышленного производства в дорожном строительстве / С. И. Самодуров, Г. А. Растегаева, И. Ф. Смурыгин. – Л., 1986. – С. 93–98.
21. Бахрах Г. С. Исследование пыли-уноса вращающихся печей цементных заводов как минерального порошка для асфальтобетона : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Г. С. Бахрах. – М., 1968. – 20 с.
22. Рацинский Н. И. Исследование менилитовых сланцев как сырья для производства минерального порошка : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Н. И. Рацинский. – Х., 1969. – 27 с.
23. Сюньи Г. К. Гидролизный лигнин как порошок для дорожных бетонов / Г. К. Сюньи, Т. Ю. Химерик // Автодорожник Украины. – 1977. – № 1. – С. 52–54.
24. Львов О. Н. Асфальтобетон на основе серосодержащих отходов промышленности / О. Н. Львов, Л. Б. Гезенцев // Автомобильные дороги. – 1984. – № 1. – С. 55–61.
25. Веренько В. А. Применение серосодержащих отходов в дорожном строительстве / В. А. Веренько, И. К. Яцевич. – Минск : Полымя, 1985. – 25 с.
26. Деформационно-прочностные характеристики дегтеполимерсеробетонов, содержащих активированные минеральные порошки / В. И. Братчун, С. С. Полищев, Д. В. Братчун, В. В. Полищук // Вестник Донбасской государственной академии строительства и архитектуры. – 1996. – Вып. 96–3(4). – С. 99–105.
27. Органические вяжущие вещества для дорожного строительства / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова, Г. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-на-Дону : ООО «Юг», 2003. – 428 с.

Получено 13.01.2011

А. В. ГУБАРЬ

СІРКОВИЙ ШЛАМ – МІНЕРАЛЬНИЙ ПОРОШОК ДЛЯ ХОЛОДНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ, ВИГОТОВЛЕНОГО НА КАТІОННІЙ БІТУМОПОЛІМЕРНІЙ ЕМУЛЬСІЇ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Показано, що мінеральний порошок у складі холодного асфальтополімербетону виконує наступні функції: структурує нафтовий дорожній бітум; збільшує поверхню контактування між зернами піску і щебеню; зменшує теплове розширення бітуму і ковзання при гальмуванні транспорту; підвищує щільність мінеральної суміші і асфальтобетону. У комбінації з органічним в'язучим формує структуровану безперервну матрицю в асфальтобетоні. Підвищує щільність, водостійкість, морозостійкість і міцність в ділянці високих позитивних температур. Наведено аналіз використання в якості мінеральних порошків техногенних порошкоподібних мінеральних і органічних продуктів. З літературних джерел встановлено, що ефективною вихідною техногенною сировиною для виробництва мінерального порошку є сіркоутримуючі матеріали і, насамперед, сірковий шлак.

холодний асфальтополімербетон, катіонна бітумополімерна емульсія, сіркомісткі відходи промисловості, сірковий шлак

A. V. GUBAR

SULPHURIC SLIME IS MINERAL POWDER FOR COLD-LAID ASPHALT CONCRETE MADE OF CATIONIC AND EMULSIFIED POLYMER ASPHALT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The mineral powder in the composition of cold-laid asphalt polymer-concrete has been appeared to structurize oil road asphalt, increases the engagement surface between sand and crushed stone grains, decreases bitumen heat expansion and slip at transport braking, increases bitumen adhesion and mechanical properties and mineral mix and asphalt polymer-concrete density. The mineral powder forms structural continuous matrix in combination with the organic binder in asphalt polymer-concrete. It also increases density, water resistance, frost resistance of asphalt concrete in the elevated temperature area. The application analysis of processed of powder like and organic products as mineral powders has been cited. The references have revealed the fact that the efficient processed primary raw materials for producing of mineral powder are sulphur bearing materials, and first of all, sulphuric slime.

cold-laid asphalt polymer-concrete, cationic and emulsified polymer asphalt, sulphuric slime

Губарь Антон Викторович – аспирант кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность и долговечность автомобильных дорог.

Губар Антон Вікторович – аспірант кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: надійність та довговічність автомобільних доріг.

Anton V. Gubar – a postgraduate of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: reliability and durability of motorways.

УДК 666.973:691.33

Н. П. НАГОРНАЯ, В. Н. КИБЗУН

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ ВОДОДЕГТЕШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОГО КИРПИЧА

С использованием метода математического планирования эксперимента установлены рациональные концентрационные соотношения в системе «отсев дробления отвального мартеновского шлака (100 м. ч.) – каменноугольный деготь вязкостью $C_{50}^{10} = 0-80$ с (6–8 м. ч.) – вода затворения (13–16 м. ч.) – портландцемент (2–3 м. ч.)». При данном концентрационном соотношении в гидроизоляционном кирпиче формируется комбинированная микроструктура, представленная коагуляционной (контакты между частицами шлака осуществляются через адсорбционно-сольватные слои органического вяжущего) и кристаллизационно-конденсационной (аморфные гидросиликаты и гидроалюминаты кальция).

концентрационные соотношения, отсев дробления отвального мартеновского шлака (ОДСШ), математическое планирование, эксперимент

В работах [1, 2] показана целесообразность использования для производства гидроизоляционного кирпича М 75 вододетгешлаковых смесей на основе отсева дробления отвального мартеновского шлака, твердеющего в естественных условиях. В связи с тем, что совокупность факторов (табл. 1), действующих на активированную портландским цементом М 400 вододетгешлаковую смесь, а именно: содержание в смеси сверх 100 м.ч. шлака: воды X_1 , каменноугольного дорожного дегтя x_2 ($C_{50}^{10} = 77$ с) и портландцемента X_3 , (М 400) является сложным сочетанием, то был применен метод планирования эксперимента, позволяющий оптимизировать составы смесей, которые обеспечивают требуемые физико-механические свойства гидроизоляционного кирпича. Параметры оптимизации приведены в табл. 2. Был использован симметричный композиционный план второго порядка типа B_3 , с уровнями варьирования -1, 0, +1. Матрица планирования и результаты эксперимента приведены в табл. 3, 4 [3].

Для выбранных планов эксперимента уравнение регрессии откликов Y_1 , Y_2 и Y_3 имеет вид:

$$\eta = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

где η – отклик; b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – значение коэффициентов;
 $k = 3$ – число факторов.

Планы B_k характеризуются наличием ядра эксперимента, соответствующего ортогональным планам полного факторного эксперимента 2^k и звездных точек. Плечи звездных точек содержат координаты 0 и ± 1 . В центре опытов не проводится. Для планов B_3 проводится из 14 серия опытов.

По результатам всех выполненных опытов были рассчитаны последовательно все коэффициенты регрессии для трех откликов Y_1 , Y_2 и Y_3 (1) по формулам (2–5):

$$b_0 = c_1 \sum_{u=1}^N y_u - c_2 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u; \quad (2)$$

$$b_i = c_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u; \quad (3)$$

$$b_{ij} = c_4 \sum_{u=1}^N (x_i x_j) y_u; \quad (4)$$

$$b_{ii} = c_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u + c_6 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u - c_2 \sum_{u=1}^N y_u, \quad (5)$$

где $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ — вспомогательные константы для выбранного вида плана эксперимента [1] приведены в таблице 5; N — число опытов, $N = 14$.

Таблица 1 — Значение факторов варьирования, действующих на систему (отсев дробления шлака – 100 м.ч.) – каменноугольный дорожный деготь вязкостью $C_{50}^{10} = 77$ с + вода + портландцемент М 400

№ п/п	Код фактора	Физический смысл фактора	Размерность	Интервал варьирования	Уровни фактора		
					-1	0	+1
1.	X_1	Содержание воды по массе сверх 100 м. ч. отсева дробления	м. ч	10	6	16	26
2.	X_2	Содержание дегтя сверх 100 м. ч. отсева дробления	м. ч	3	4	7	10
3.	X_3	Содержание ПЦ по массе сверх 100 м. ч. отсева дробления	м. ч	1	1	2	3

Таблица 2 — Параметры оптимизации состава вододегтешлакового бетона

№ п/п	Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Размерность	Граничные значения параметра оптимизации в возрасте 28 суток (функции отклика)
1.	У1	Коеф. расслаиваемости	%	Не более 15
2.	У2	Предел прочности при сжатии при 20 °С	МПа	Не менее 7,5
3.	У3	Коеф. водостойкости при длительном водонасыщении Квд (14 суток)	—	Не менее 0,9

Таблица 3 — Матрица планирования эксперимента B_3

№ п/п	Значение фактора					
	В кодированных значениях			В натуральных значениях		
	x_1	x_2	x_3	B_v	D_v	P_v
1.	-1	-1	-1	6	4	1
2.	+1	-1	-1	26	4	1
3.	-1	+1	-1	6	10	1
4.	+1	+1	-1	26	10	1
5.	-1	-1	+1	6	4	3
6.	+1	-1	+1	26	4	3
7.	-1	+1	+1	6	10	3
8.	+1	+1	+1	26	10	3
9.	-1	0	0	6	7	2
10.	+1	0	0	26	7	2
11.	0	-1	0	16	4	2
12.	0	+1	0	16	10	2
13.	0	0	-1	16	7	1
14.	0	0	+1	16	7	3

Таблица 4 – Результаты эксперимента для системы «отсев дробления отвального мартеновского шлака (100 м.ч.) – каменноугольный дорожный деготь вязкостью $C_{50}^{10} = 77$ с + вода + портландцемент М 400»

№ п/п	Значение параметра оптимизации в возрасте 28 суток бетона естественного твердения											
	Y_1'	Y_1''	Y_1'''	\bar{Y}_1	Y_2'	Y_2''	Y_2'''	\bar{Y}_2	Y_3'	Y_3''	Y_3'''	\bar{Y}_3
1.	1	1	1	1	1,7	1,9	1,8	1,8	0,64	0,64	0,58	0,62
2.	59	68	62	62	2,2	2,3	2,7	2,4	0,58	0,58	0,61	0,59
3.	2	2	2	2	3,2	3,1	2,7	3,0	0,66	0,67	0,71	0,68
4.	79	81	74	78	3,3	3,2	3,1	3,2	0,64	0,62	0,63	0,63
5.	1	1	1	1	3,9	4,4	4,3	4,2	0,66	0,65	0,61	0,64
6.	62	57	64	61	3,5	3,6	3,8	3,7	0,54	0,63	0,69	0,62
7.	2	2	2	2	5,0	5,5	5,1	5,2	0,72	0,71	0,67	0,7
8.	77	73	81	77	3,9	4,0	3,5	3,3	0,79	0,81	0,86	0,82
9.	1	1	1	1	5,5	5,2	5,8	5,3	0,60	0,62	0,61	0,61
10.	68	67	63	66	4,7	4,9	5,1	4,9	0,75	0,72	0,75	0,74
11.	8	7	6	7	4,2	4,3	4,7	4,4	0,79	0,80	0,75	0,78
12.	9	10	8	9	5,0	4,6	4,5	4,7	0,94	0,95	0,90	0,93
13.	12	10	8	9	7,5	7,7	7,6	7,6	0,89	0,92	0,89	0,90
14.	6	10	11	9	9,2	8,6	8,3	8,7	0,94	0,90	0,92	0,92

Таблица 5 – Вспомогательные константы для планов типа B_k

Число коэффициентов b_{ii} в уравнении	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
3	0,40625	0,15625	0,1000	0,12500	0,5
2	0,34610	0,19230			0,5
1	0,25000	0,25000			0,5
Число коэффициентов b_{ii} в уравнении	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
3	-0,0937	0,63738	0,31623	0,35355	0,63742
2	-0,1154	0,58830			0,62016
1	-0,1500	0,5000			0,59161

Для определения доверительных интервалов коэффициентов регрессии был использован следующий алгоритм. Так как все опыты дублированы три раза, то определение средней дисперсии опыта рассчитывали по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{g=1}^3 (y_{ug} - \bar{y}_u)^2}{(n-1)N}, \quad (6)$$

где $n = 3$ – количество дублей;
 y_{ug} – значение отклика Y при дублировании,
 \bar{y}_u – среднее значение Y в опыте $u = 1, 2, 3, \dots, N$.

Прежде чем использовать формулу (6), проводим проверку на однородность ряда дисперсии в серии опытов. При однородном дублировании эту проверку проводят по критерию Кохрена. Для этого была рассчитана дисперсия эксперимента в каждой точке относительно среднего значения по формуле:

$$S_{yu}^2 = \frac{\sum_{g=1}^3 (y_{ug} - \bar{y}_u)^2}{(n-1)}. \quad (7)$$

Наблюдаемое значение критерия Кохрена определялось по формуле:

$$G_{набл} = \frac{S_{yu \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_{yu}^2}, \quad (8)$$

где $S_{yu \max}^2$ — максимальная дисперсия опыта. Критическое значение критерия Кохрена выбрано из таблиц $G_{кр}(\alpha = 0.01, f = 2, N = 14) = 0.4049$ и оно для всех откликов одинаковое. Если $G_{набл} < G_{кр}$, то ряд дисперсии по всем опытам однородный. Для всех наблюдаемых откликов выполняется условие однородности (таб. 6).

Дисперсию оценок коэффициентов регрессии рассчитывали и соответствующие им среднеквадратические ошибки по формулам:

$$\left. \begin{aligned} S_{b_0} &= c_7 S_y; \\ S_{b_i} &= c_8 S_y; \\ S_{b_{ij}} &= c_9 S_y; \\ S_{b_{ii}} &= c_{10} S_y. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где c_7, c_8, c_9, c_{10} — вспомогательные константы для выбранного вида плана эксперимента приведены в таблице 5. Результаты расчетов коэффициентов уравнений регрессии представлены в таблице 6. При использовании симметричных композиционных планов второго порядка типа B_3 , как и других не ортогональных планов, появляются особенности в статистическом анализе полученных результатов, заключающиеся в следующем. После расчета доверительных интервалов для коэффициентов регрессии по формуле (10) и сравнения их с абсолютным значением коэффициентов, исключать из модели без пересчета остальных коэффициентов можно только статистически незначимые коэффициенты b_i, b_{ij} . При исключении любого из коэффициентов b_0, b_{ii} остальные коэффициенты их дисперсии следует пересчитывать заново по формулам (2), (5), (9). При этом учитывается количество оставшихся статистически значимых коэффициентов при x_i^2 .

Так были пересчитаны для $\ln Y_1$ b_{33} , для Y_3 b_{11}
Уравнения регрессии (10,11,12) имеют вид:

$$\ln Y_1(x_1, x_2, x_3) = 2,04 + 1,97 \cdot x_1 + 0,21 \cdot x_2 - 0,12 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,16 \cdot x_3^2; \quad (11)$$

$$Y_2(x_1, x_2, x_3) = 7,23 + 0,71 \cdot x_3 - 2,1 \cdot x_1^2 - 2,7 \cdot x_2^2 + 0,9 \cdot x_3^2; \quad (12)$$

$$Y_3(x_1, x_2, x_3) = 0,89 + 0,051 \cdot x_2 - 0,21 \cdot x_1^2. \quad (13)$$

Формулы перехода от кодированных значений к натуральным значениям факторов:

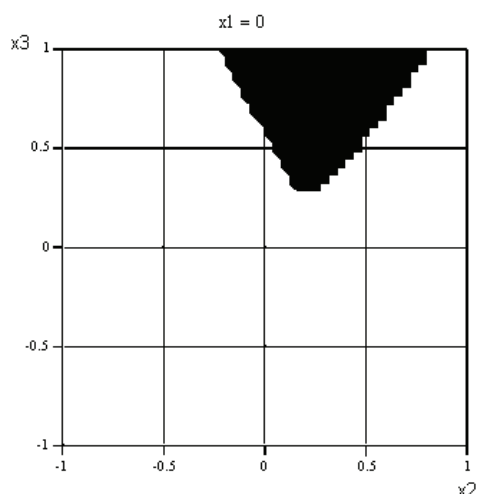
$$X_1 = 16 + 10 \cdot x_1; \quad X_2 = 7 + 3 \cdot x_2; \quad X_3 = 2 + x_3. \quad (14)$$

Таблица 6 – Коэффициенты регрессии для откликов $\ln Y_1$, Y_2 , Y_3 .

	Для $\ln Y_1$		Для Y_2		Для Y_3	
		статистически значимые		статистически значимые		статистически значимые
b0	2,0365038	2,0365	7,225	7,225	0,88875	0,88875
b1	1,974187	1,97419	-0,2	-0,2	0,015	0
b2	0,210013	0,21001	0,29	0,29	0,051	0
b3	-0,002916	0	0,71	0,71	0,028	0
b12	-0,115475	-0,1155	-0,225	-0,225	0,015	0
b13	-0,003645	0	-0,4	-0,4	0,0225	0
b23	0,00042	0	-0,175	-0,175	0,02	0
b11	0,0617063	0	-2,1192	-2,1192	-0,21271	-0,2127
b22	0,0384463	0	-2,6692	-2,6692	-0,03271	0
b33	0,1641013	0,1641	0,9308	0,9308	0,022289	0

Уравнения регрессии проверены на адекватность и удовлетворяют критерию Фишера ($F_{\text{набл.}} = 2,21; 1,42; 1,424$; корреляционное отношение 0,999, 0,94, 0,994; средний процент отклонения составляет 8 %; 6,7 %; 6,8 % соответственно).

Области оптимальных значений факторов в кодированных переменных приведены на рис. 1.

**Рисунок 1** – Область оптимальных составов.

Анализ уравнений регрессии с учётом их геометрической интерпретации (рис. 1) свидетельствует о том, что прочность гидроизоляционного кирпича в зависимости от количества воды затворения и каменноугольного дёгтя в смеси имеет экстремальный характер. При увеличении содержания воды в смеси более 18 м. ч. возрастает как пористость бетона (из-за испарения «свободной» воды), так и гидростатическая реакция воды при формировании гидроизоляционного кирпича. При содержании воды менее 14 м. ч. в смеси не обеспечивается необходимая степень упаковки минеральных частиц в бетоне в процессе уплотнения. К тому же не все гидрофильные участки частиц шлака покрыты водой, которая необходима для гидратации гидравлически активных минералов сталеплавильного шлака.

Содержание воды в вододетешлаковой смеси (ВДШС) свыше 18 м. ч. приводит к резкому росту коэффициента расслаиваемости смеси во время транспортирования (уравнение регрессии 10) к прессу для формирования гидроизоляционного кирпича. Это обусловлено снижением водоудерживающей способности смеси, так как при содержании воды более 18 м. ч. уменьшаются силы капилляр-

ного взаємодія і частку води не утримується в структурі ВДШС – «гравітаційна вода». При формуванні гідроізоляційного цеглики фізично зв'язана вода віджимається з бетону і дійсне вміст води в свіжоотформованому цеглику становить 9–10 м. ч.

Аналогічні екстремальні залежності характеризують межу міцності шлакового бетону від вмісту каменного вугільного дьогтю. При підвищенні вмісту дьогтю в ВДШС до 6–8 м. ч. зростає зв'язність системи внаслідок кращої ущільнюваності системи і відбувається оптимальне упрочнення міжфазного контактного шару в результаті утворення фенолатів і крезолатів кальцію, а також структуризації органічного зв'язуючого гідратними новоутвореннями.

З збільшенням концентрації каменного вугільного зв'язуючого в суміші вище оптимальної (6–8 м. ч.) зростає вміст «вільного», об'ємного зв'язуючого, зменшується кількість конденсаційно-кристалізаційних контактів і, навпаки, зростає кількість коагуляційних. Міцність гідроізоляційного цеглики зменшується.

Таким чином, при співвідношенні компонентів в вододегтешлаковій суміші: відсів дроблення отвалного мартенівського шлаку – 100 м. ч. – вода затвердіння 13–16 м. ч.; каменного вугільного дьогтю $C_{50}^{10} = 60–80$ з 6–8 м. ч.; портландцемент – М 400 – 2–3 м. ч. в гідроізоляційному цеглику формується оптимальна структура бетону.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Денисова Н. П. Утворення вологого дьогтешлакового каменю в процесі його приготування / Н. П. Денисова // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2002. – Вип. 7. – С. 398–403.
2. Денисова Н. П. Вплив компонентного складу і технології виготовлення цегли з дьогтешлакового каменю на його міцнісні властивості / Н. П. Денисова // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2001. – Вип. 5. – С. 285–291.
3. Братчун В. І. Техногенна сировина для виробництва будівельних матеріалів / В. І. Братчун, В. Л. Беспалов, Н. П. Денисова // Збірник наукових праць Українського державного університету водного господарства та природокористування. – Рівне, 2003. – Вип. 9. – С. 201–207.
4. Оптимізація складів вододегтешлакових сумішей для виробництва гідроізоляційного цеглику / В. І. Братчун, Н. П. Денисова, А. Н. Бачурин, С. С. Поливцев // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2003. – Вип. 2003–1(38). – С. 54–59.
5. Фізико-хімічна механіка будівельних матеріалів / В. І. Братчун, В. О. Золотарьов, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов. – Макіївка : ДонНАБА, 2006. – 303 с.

Получено 15.12.2010

Н. П. НАГОРНА, В. М. КІБЗУН
ОПТИМІЗАЦІЯ СПОЛУК ВОДОДЕГТЕШЛАКОВИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ЦЕГЛИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського

З використанням методу математичного планування експерименту встановлено раціональні концентраційні співвідношення в системі «відсів подрібнення відвального мартенівського шлаку (100 м. ч.) – кам'яновугільний дьгот $C_{50}^{10} = 50–80$ з (6–8 м. ч.) – вода утвору (13–16 м. ч.) – портландцемент (2–3 м. ч.)». При даному концентраційному співвідношенні в гідроізоляційній цеглі формується комбінована мікроструктура, представлена коагуляційною (контакти між частинками шлаків здійснюються через адсорбційно-сольватні шари органічного зв'язуючого) і кристалізаційно-конденсаційною (аморфні гідросилікати і гідроалюмінати кальцію).

концентраційні співвідношення, відсів дроблення відвального мартенівського шлаків (ОДСШ), математичне планування, експеримент

N. P. NAGORNYA, V. N. KIBZUN

COMPOSITION OPTIMIZATION OF WATER TAR SLAG MIXERS TO CARRY OUT PRODUCTION OF WATERPROOF BRICKS

Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade

The rational concentration relations in the system «breaking screening of dumping open-hearth slag (100 mph) – coal tar with the stringiness $C_{50}^{10} = 50 - 80$ s (6–8 mph) – mixing water (13–16 mph) – Portland cement (2–3 mph)» have been determined by the method of mathematical design of experiment. At the given concentration relation, the combined microstructure has been formed in the waterproof bricks. It has been represented by a coagulating agent (the contact between slag grains are conducted via the absorbed and solvated layers of the organic binders) and a crystallizing and condensing agent (amorphous hydrosilicates and calcium aluminate hydrates).

concentration relations, breaking screening of dumping open hearth slag (BSDOHS), mathematical design, experiment

Нагорна Ніна Павлівна – кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Кібзун Валентина Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Наукові інтереси: розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини у компоненти композиційних матеріалів.

Нагорная Нина Павловна – кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Кибзун Валентина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Nina P. Nagornya – a Ph. D. (Engineering), a senior lecturer of the Merchandise Technique and Examination of Nonfood Consumer Goods Department of the Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade. Research interests: development of efficient techniques of raw material processing into components of composition materials.

Valentina N. Kibzun – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Merchandise Technique and Examination of Nonfood Consumer Goods Department of the Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade. Research interests: development of efficient techniques of raw material processing into components of composition materials.

УДК 620.169

С. И. ЧУРСИН, В. Г. ВЕШНЕВСКАЯ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА

Дан анализ способов повышения долговечности тяжелых бетонов с учетом условий эксплуатации и физико-механических свойств. Приведен анализ различных факторов влияний на прочность бетона на технологической стадии. Изучены факторы, наиболее существенно влияющие на прочностные свойства бетонов при длительных и многократно повторяющихся воздействиях. Приводятся данные о влиянии добавок-гидрофобизаторов на свойства бетонов.

состав бетона, активность цемента, факторы влияния, температура; влажность; структура порового пространства; увлажнение-высушивание; замораживание-оттаивание; набухание-усадка; гидрофобизация поверхности, деструкция, долговечность

Повышение эффективности и качества конструкций из бетона связано с решением многих вопросов, в том числе рациональным использованием свойств материалов, эффективными технологическими процессами, повышением долговечности сооружений с учетом особенностей работы строительных конструкций в эксплуатационных условиях.

Известно, что долговечность бетонов зависит, прежде всего, от технологических особенностей – состава бетонной смеси, точности дозирования и интенсивности, и длительности перемешивания, коэффициента уплотнения и режимов параметров тепловлажностной обработки, с одной стороны, а с другой стороны – от условий эксплуатации изделий: температуры, влажности, вида и концентрации агрессивных газов, наличия защиты и ее эффективности.

Анализ технологических процессов показывает, что в наибольшей степени на физико-механические свойства бетонов влияют вода и цемент. Технический расчет состава бетона предусматривает определенные ограничения, что дает возможность приблизительно вычислять количество компонентов бетонной смеси с последующей их корректировкой. Так, для обеспечения необходимой удобоукладываемости рекомендуется увеличить количество воды на 2–4 % при температуре окружающей среды более 26 °С. В целом любая компенсация воды в результате процессов испарения, вытекания, взаимодействия с глинистыми веществами приводит к снижению прочности бетона. Цемент, как известно, с течением времени теряет свою активность примерно 3–5 % в месяц, что также приводит к снижению прочности бетона [4].

Как фактор, точность дозирования цемента ($\pm 2\%$) тоже оказывает влияние особенно при работе дозирующих аппаратов на минусовых допусках. Потеря прочности бетона может составлять около 5 %.

Для бетонов с повышенными требованиями по морозостойкости и долговечности предъявляются особые требования к качеству применяемых материалов и составу, а также к прочности и объему вовлеченного воздуха. В соответствии с требованиями по морозостойкости величина вовлеченного воздуха должна быть в пределах 4–6 % и достигается за счет применения пластифицирующих, воздухововлекающих и газообразующих добавок. Общий объем пор составляет 40–50 л/м³ [4]. При этом потеря прочности бетона на 1 % пористости достигает 5 %.

Учитывая все факторы возможного снижения прочности бетона на технологическом этапе, необходимо принятие мероприятий, компенсирующих потерю прочности бетона за счет обеспечения условий дальнейшего твердения (эксплуатационный этап).

Таким образом, вода как компонент является ключевым веществом как на технологическом, так и на эксплуатационном этапах, и находясь в порах затвердевшего бетона, выполняет двойную функцию: с одной стороны, обеспечивает конструктивный процесс в результате гидратации вяжущего вещества (обычно характеризуется увеличением прочности во времени) и, с другой стороны, – деструктивный, в случае циклических воздействий замораживания – оттаивания и высушивания – увлажнения и др. Так, при замораживании возникают внутренние напряжения бетона при переходе воды в лед (сопровождается увеличением объема на 9 %), которое зависит от размеров пор, капилляров и микрокапилляров. Особенно в микрокапиллярах вода под влиянием адсорбционных сил изменяет свои свойства, что приводит к снижению температуры перехода воды в лёд.

Рассматривая фактор линейного температурного расширения или сужения, следует отметить его специфическую роль. Так, в период оттаивания из-за различия коэффициентов линейного расширения льда и минералов в бетоне возникают растягивающие усилия, под воздействием которых также образуются микротрещины, что приводит к деструкции.

Образование трещин при увлажнении – высушивании бетона объясняется появлением внутренних растягивающих усилий в силу неравномерного распределения воды, что характеризуется набуханием. В процессе высушивания наблюдается такое явление как усадка, что сопровождается уменьшением размеров и вызывает, опять таки, растягивающие напряжения [2].

Считается, что циклическое увлажнение и высушивание является одним из наиболее разрушительных воздействий на бетон. При этом наиболее неблагоприятные сочетания напряжений в бетоне наблюдаются при естественной карбонизации и систематическом увлажнении.

Таким образом, для обеспечения долговечности железобетонных и бетонных конструкций необходимо обеспечивать защиту от действия воды и других агрессивных сред за счет различных способов, и прежде всего, на технологическом этапе – введением в состав бетонной смеси специальных добавок.

Как известно, важнейшим способом защиты бетона от коррозии является создание бетона с бездефектной структурой и устойчивыми новообразованиями, получаемыми на стадии технологических процессов его изготовления [5].

Наиболее эффективным и перспективным методом является модифицирование бетона, которое заключается во введении в бетон небольших количеств веществ, изменяющих его свойства по окончании технологического этапа.

Модифицирование предполагает выполнение всех конструктивных и технологических мероприятий по защите изделий от увлажнения и сопутствующей коррозии при дальнейшей эксплуатации за счет гидрофобизации внутренней поровой структуры бетона, а также наружной поверхности.

Для гидрофобизации поверхности достаточно образования на ней одного слоя не смываемых молекул модификатора. Монослои образования на поверхности пор, при контакте материала с водой, обеспечивают достаточный защитный эффект. Увеличение количества модификатора в порах материала существенно изменяет его поровое пространство. Модифицирование материала заполнением его порового пространства другим материалом (импрегнирование) часто сопровождается гидрофобизацией поверхности пор, однако его основной эффект – увеличение непроницаемости материала для жидких сред за счет закупоривания (кольматации) сквозных пор бетона [2].

При поверхностной гидрофобизации бетона следует учитывать, что при интенсивном воздействии атмосферных факторов в гидрофобизированном слое происходит фото- и термоокислительные процессы, разрушающие покрытие. Поэтому гидрофобизация внутренней поверхности пор и капилляров материалов значительно увеличивает долговечность бетонов.

Предполагается, что в результате импрегнирования и гидрофобизации внутренней поверхности за счет уменьшения радиуса сквозных пор снижается фильтрация воды через затвердевшую структуру бетона. Для гидрофобизации бетона наиболее широко используются водорастворимые кремнийорганические материалы – метилсиликонат натрия, этилсиликонат натрия, водонерастворимые в воде – полиэтилгидросилоксан, а также органические вещества с высоким водоотталкивающим эффектом [4].

При пропитке бетона кремнийорганическими соединениями на стенах пор и капилляров адсорбируются, а затем химически взаимодействуют с оксидами и гидрооксидами металлов, входящих в состав минералов бетона. В результате образуется мономолекулярная пленка, в которой силоксановая

связь «кремний – кислород» ориентирована к поверхности минерального вещества, а органический радикал – в противоположную сторону, что создает гидрофобную поверхность и изменяет физико-химические условия по отношению к воде, в том числе и для коррозионных процессов бетона.

При модифицировании бетона методом пропитывания необходимо учитывать то, что на границе пропитанного и непропитанного слоев при изменении влажности и степени карбонизации бетона вследствие разницы их усадочных деформаций возникают напряжения. Растрескивание бетонных образцов вызывается концентрацией напряжений в плоскости, соединяющей пропитанную и непропитанную части бетона [2, 3].

Для бетонов, твердеющих при повышенной температуре в качестве гидрофобной добавки, целесообразно использовать термопластичные органические материалы, не изменяющие свойств новообразований. При выборе материала гидрофобизатора необходимо учитывать механизм образования защитного покрытия. Предполагается, что эффект гидрофобизации бетона будет вызван образованием водоотталкивающих плёнок на внутренней поверхности пор и закупорки мелких капилляров. Для этого был использован органический материал с высоким водоотталкивающим эффектом – технический парафин, инертный материал с температурой плавления 63 °С.

Предварительные исследования показали, что добавку парафина лучше всего вводить в бетонную смесь в тонкодисперсном состоянии. Эта добавка, находясь в твердом виде, практически не оказывает влияния на удобоукладываемость бетонной смеси и набор прочности при небольших температурах (до 55 °С). После окончания ТВО образцы бетона подвергали нагреву в термостате до температуры 130–150 °С. После охлаждения, полученные таким образом, бетоны подвергали различным исследованиям.

В процессе изготовления образцов было замечено, что бетоны, не подвергавшиеся термическому воздействию, практически не отличаются от бетонов без добавки. Модифицированные бетоны, наоборот, более интенсивно набирали прочность, особенно после водонасыщения, значительно медленнее насыщались водой и медленнее деформировались в процессе усадки – набухания.

В качестве исходного состава бетона был принят рядовой бетон марки М 200–300 с водопоглощением в пределах 4–7 %.

Главной задачей исследований являлось исследование влияния гидрофобизирующей добавки на водопоглощение, прочность, температурные и усадочные деформации. Приведенные на рис. 1 и рис. 2 результаты свидетельствуют об эффекте гидрофобизации бетона.

Таким образом, полученные результаты подтверждают целесообразность использования добавок – гидрофобизаторов. Следует отметить, что уменьшение скорости фильтрации влаги в структуре модифицированного бетона заметно уменьшают усадочные деформации бетона и существенно увеличивают показатели прочности. Прирост прочности бетона таков, что вполне обеспечивает компенсацию возможного недобора на технологическом этапе. Проведенные исследования также подтвердили возможность увеличения срока службы (долговечность) бетона и конструкций на его основе в реальных условиях эксплуатации.

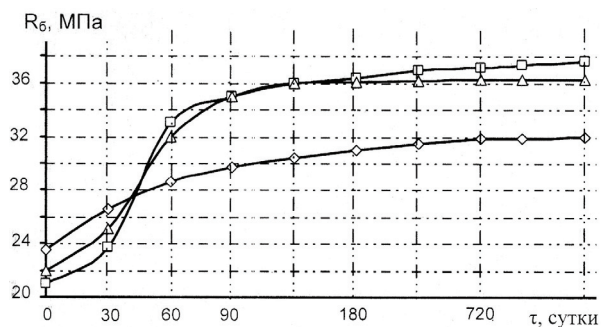


Рисунок 1 – Предел прочности бетона при сжатии после ТВО: \diamond – бетон без добавки; Δ – бетон с 0,75 % добавки; \square – бетон с 1,5 % добавки.

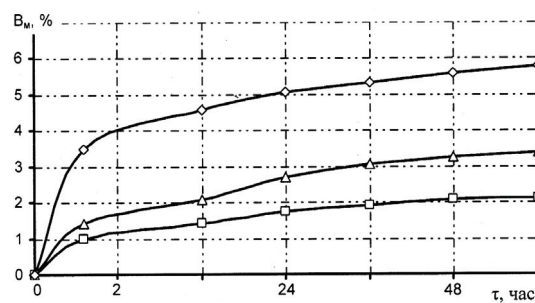


Рисунок 2 – Водопоглощение бетона с гидрофобизирующей добавкой: \diamond – бетон без добавки; Δ – бетон с 0,75 % добавки; \square – бетон с 1,5 % добавки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шестоперов С. В. Технология бетона / С. В. Шестоперов. — М. : Высшая школа, 1977. — 432 с.
2. Удачкин И. Б. Защита ячеистых бетонов от коррозии / И. Б. Удачкин, Г. Г. Александров. — К. : Будівельник, 1982. — 780 с.
3. Гидрофобизация / А. А. Пашенко, М. Г. Воронков, А. Н. Михайленко [и др.]. — К. : Наук. думка, 1973. — 345 с.
4. Производство сборных железобетонных изделий / [Г. И. Бердичевский, А. П. Васильев, Л. А. Малинина и др.]; под ред. К. В. Михайлова, К. М. Королева. — [2-е изд.]. — М. : Стройиздат, 1989. — 447 с.
5. Гоц В. І. Бетони і бетонні розчини: підручник / В. І. Гоц. — К. : ТОВ УВПК «ЕксОб», КНУБА, — 2003. — 472 с.

Получено 18.12.2010

С. І. ЧУРСІН, В. Г. ВЕШНЕВСЬКА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОНУ Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Дано аналіз способів підвищення довговічності важких бетонів з урахуванням умов експлуатації і фізико-механічних властивостей. Наведено аналіз різних факторів впливу на міцність бетону на технологічній стадії. Вивчені фактори, що найбільш суттєво впливають на міцнісні властивості бетонів при тривалих і багаторазових повторюваних впливах. Наводяться дані про вплив добавок-гідрофобізаторів на властивості бетонів.

склад бетону, активність цементу, фактори впливу, температура, вологість; структура порового простору; зволоження-висушування; заморожування-відтавання; набрякання-усадка; гідрофобізація поверхні, деградація, довговічність.

S. I. CHURSIN, V. G. VESHNEVSKA PROCESSING ASPECTS OF CONCRETE DURABILITY Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The analysis of the methods of durability increase of heavy-weight concrete with regard to operation conditions and physical and mechanical properties has been provided in the paper. The analysis of various factors of effect to the strength of concrete on processing stage has been brought. The factors essentially effecting on the strength properties of concrete at protracted and multiple repeated actions have been studied. The data of the effect of the water-repelling agents on the concrete properties have been given.

composition of concrete, cement activity, effect factors, temperature, humidity, structure of porous space, humidification – drying, freezing – thawing, swelling – shrinkage, surface water-repellency treatment, destruction, durability.

Чурсін Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Вешневська Вікторія Геннадіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Чурсин Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Вешневская Виктория Геннадиевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка сырья в компоненты композиционных материалов.

Sergey I. Chursin – a Ph D. (Engineering), an Assistant Professor of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: raw materials processing into components of composition materials.

Victoriya G.Veshnevskaya – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: raw materials processing into components of composition materials.

УДК 691.32

А. А. ШИШКИНА

Криворожский технический университет

ПЕНОБЕТОНЫ ДЛЯ РЕМОНТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Приведены результаты исследования пористости и прочности ячеистого бетона, предназначенного для ремонта зданий и сооружений, на основе модифицированного цемента за счет использования добавки, представляющей собой комплекс, состоящий из железосодержащего вещества, эфиров или солей высших жирных кислот и полиспирта. Исследования проведены в процессе изучения нескольких систем, которые отличаются видом и содержанием компонентов. Показано влияние каждого из компонентов добавки, которая применялась для модификации цемента, и установлен механизм этого влияния. Так, показано, что введение в состав пенобетона только компонента, содержащего железо, приводит к увеличению прочности пенобетона. Это же явление наблюдается и при введении в состав пенобетона только полиспирта. Введение же эфиров высших жирных кислот практически не приводит к увеличению прочности бетона. Однако совместное введение в состав пенобетона вещества, содержащего железо, полиспирта и эфира высшей жирной кислоты приводит к значительному увеличению прочности пенобетона без увеличения его плотности.

прочность, бетон, добавка, железо, состав, плотность, эфир, полиспирт, цемент

За годы эксплуатации конструкции зданий и сооружений подвергались многократному воздействию окружающей среды, что снизило эксплуатационные свойства материалов, из которых изготовлены строительные конструкции и, как следствие, сами здания.

Помимо этого, строительные конструкции существующих зданий и сооружений проектировались на основе норм, которые уже не отвечают современным требованиям по теплопроводности и требуют, при ремонте конструкций, выполнения конструктивных мероприятий по ее уменьшению. Особо остро стоит вопрос стыков в жилых домах панельного или блочного типа. Недостаточно совершенная конструкция стыков и продолжительная их эксплуатация привела к изменению свойств герметизирующих материалов и, как следствие, увеличению тепловых потерь из внутренних помещений зданий. Это вызывает необходимость достаточно часто производить ремонт стыков панелей или стеновых блоков, чаще всего, применением дорогостоящих уплотняющих материалов.

Таким образом, при реконструкции зданий и сооружений необходимо предусматривать мероприятия по уменьшению теплопроводности как стеновых конструкций, так и стыков между этими конструкциями.

В настоящее время известна технология уменьшения теплопотерь зданий путем создания теплоизолирующего слоя на поверхности стеновых конструкций этих зданий. Чаще всего для этих целей используются теплоизолирующие материалы в виде плит, которые наклеиваются, либо на внешнюю, либо на внутреннюю поверхность стеновых конструкций. При этом возникает необходимость гидроизоляции утепляющего слоя, который чаще всего выполнен из высокогигроскопичного материала. Это обуславливает высокую степень материальных затрат на реконструкцию здания. Кроме этого остается необходимость создавать плотные и надежные стыки между плитами утеплителя.

Одним из эффективных материалов, обладающих низкой теплопроводностью, являются пористые бетоны. Однако известные пористые бетоны обладают недостаточной прочностью и повышенным водопоглощением, что ограничивает их применение для ремонта строительных конструкций.

Поэтому вопрос получения пористых бетонов, обладающих достаточно высокой прочностью при сжатии при низких теплопроводности и водопоглощении, представляет большой научный и практический интерес, а его решение в настоящее время актуально.

Одним из методов повышения пористости бетона является применение поверхностно-активных, в частности, воздухововлекающих добавок [3]. Данные добавки уменьшают количество и размер крупных пор в бетоне, образующихся в результате водоотделения, диспергируют крупные поры в большое количество мелких и этим, в конечном итоге, способствуют понижению теплопроводности и повышению водонепроницаемости бетона. Все гидрофобнопластифицирующие добавки в той или иной степени обладают способностью некоторого воздухововлечения. Важно при этом отметить, что роль добавок заключается не столько во введении воздуха в бетон, сколько в преобразовании неравномерно распределенных в бетоне крупных воздушных пор во множество мелких воздушных пузырьков сферической формы диаметром 50–250 мк. Бетоны с воздухововлекающими добавками, в отличие от бетонов без этих добавок, имеют поры меньших размеров, отличающиеся к тому же разобшенностью, вследствие чего обладают более высокой водонепроницаемостью и морозостойкостью при меньшем капиллярном подсосе и более низкой гигроскопичностью.

Создание поровой структуры бетона путем поризации цементного камня в настоящее время осуществляется либо использованием пен, либо газообразователей [1, 2].

Таким образом, одним из способов поризации бетонов является введение в их состав гидрофобнопластифицирующих и воздухововлекающих добавок в количествах, обеспечивающих образование в них воздушных пор общим объемом до 12 %. Такой способ получения пористых бетонов является наиболее удобным, поскольку технология приготовления их сохраняется обычной. Другим способом приготовления пористых бетонов является введение в состав бетонной смеси предварительно приготовленной пены. Наконец, третий способ приготовления пористых бетонов заключается во введении в их состав газообразующих добавок, вызывающих вспучивание бетонной смеси до начала схватывания. При втором и третьем способах общий объем воздушных пор в легких бетонах может быть доведен до 25 %.

Следовательно, применение пористых бетонов позволит получить эффективное защитное покрытие строительных конструкций зданий предприятий от энергетических воздействий внешней среды.

С учетом известного представления [5] о цементном камне как о дисперсной системе, состоящей из матрицы (продуктов гидратации портландцемента) и включений (пор), на основе анализа известных данных установлено, что получение ремонтного бетона, обладающего пониженной теплопроводностью и высокой прочностью сцепления с бетоном ремонтируемых конструкций, возможно путем введения в портландцемент комплексной добавки, представляющей собой систему «минеральный комплекс на основе железа – пенообразователь – стабилизатор».

Целью настоящей работы является определение некоторых свойств пенобетонов для зданий с целью повышения их теплотехнических свойств.

В исследованиях применяли портландцемент ОАО «Кривой Рог цемент» М400, комплексную добавку, состоящую из железосодержащих горных пород Криворожского месторождения (железосодержащий минеральный комплекс), пенообразователя, эфира непредельной (олеиновой) кислоты полиспирта (стабилизатор). Цементное тесто готовили путем смешивания его компонентов в лабораторной мешалке.

Изучаемая дисперсная система «цемент – железосодержащий минеральный комплекс – стабилизатор – пенообразователь» рассматривалась с учетом исследования влияния каждой ее составляющей на остальные и на всю систему в целом.

На основании этого рассматриваемая дисперсная система была условно разделена на дисперсные системы более низкого уровня (входящие в состав этой системы) нескольких видов:

- 1 – «цемент – железосодержащий минеральный комплекс»;
- 2 – «цемент – стабилизатор»;
- 3 – «цемент – пенообразователь»;
- 4 – «железосодержащий минеральный комплекс – стабилизатор»;
- 5 – «железосодержащий минеральный комплекс – пенообразователь»;
- 6 – «система 1 – стабилизатор»;
- 7 – «система 1 – пенообразователь».

Дисперсной системой самого низшего уровня была принята дисперсная система «цемент - железосодержащий минеральный комплекс», которая осуществляет формирование каркаса остальных дисперсных систем.

Варьируемыми факторами в экспериментах были приняты соотношения компонентов в подсистеме и содержание подсистемы низшего уровня в подсистеме высшего уровня или в исследуемой системе. Управляемыми факторами в исследованиях были приняты: прочность при сжатии, прочность сцепления с бетоном и плотность исследуемых дисперсных систем.

Система 1. В условиях эксперимента введение в портландцемент железосодержащего минерального комплекса в количестве 25...30 % от массы системы при твердении в нормальных условиях приводит к увеличению ее прочности на 15...20 %. Плотность и прочность сцепления с бетоном системы практически не зависит от содержания в ней железосодержащего минерального комплекса. Механизм формирования свойств данной системы достаточно изучен и описан [4, 5].

Система 2. В условиях эксперимента введение в портландцемент стабилизатора – смеси эфиров олеиновой кислоты и полиспирта в количестве до 0,1 % повышает прочность при сжатии. При этом увеличение прочности при сжатии и прочности сцепления с бетоном достигает 200 % (табл. 1).

Таблица 1 – Свойства поризованного цементного камня

Количество стабилизатора, %	Пористость, %		Прочность при сжатии, МПа	Прочность сцепления с бетоном, МПа
	общая	открытая		
-	23,6	12,1	2,5	0,2
0,05	23,1	12,0	2,6	0,3
0,10	28,9	18,8	4,2	0,7

Это можно объяснить исходя из природы примененного стабилизатора. При гидратации портландцемента в объеме системы образуются ионы Ca^{2+} , которые гидролизуют эфиры олеиновой кислоты и полиспирты, приводя к образованию олеатов и глицератов кальция. При этом наличие у молекул эфира непереломной высшей (олеиновой) кислоты двух или трех двойных связей обуславливает соединение посредством ионов кальция двух ее молекул. Этот процесс несколько подобен процессу полимеризации, протекание которого обеспечивает соединение молекул непереломной кислоты в макрокомплексы, которые выполняют роль микроанкеров системы, повышая этим ее прочность при сжатии и прочность сцепления с бетоном. Данные положения согласуются с выводами [5].

Система 3. В условиях эксперимента введение в портландцемент пенообразователя приводит к снижению прочности при сжатии, прочности сцепления с бетоном и плотности системы. Прочность цементного камня в возрасте 28 сут. оказывается незначительной. В возрасте 90 сут. прочность данного материала незначительно повышается, однако такой временной интервал формирования прочности не позволяет применять данную систему при реконструкции зданий.

Система 4. В условиях эксперимента система «железосодержащий минеральный комплекс – стабилизатор» обладает способностью твердеть и набирать прочность в нормальных условиях, которая достигает 25 МПа. Прочность сцепления данной системы с бетоном достигает 10 МПа. Однако плотность полученного материала остается достаточно высокой и составляет 1700...2000 кг/м³.

Это можно объяснить исходя из природы примененного стабилизатора. В рассматриваемой системе присутствуют ионы Fe^{2+} , которые способствуют гидролизации эфиров олеиновой кислоты, приводя к образованию олеатов железа. При этом наличие у молекул эфира непереломной высшей (олеиновой) кислоты двух или трех двойных связей обуславливает соединение посредством ионов железа двух или трех ее молекул, а также образованию глицератов железа. Этот процесс подобен процессу полимеризации, протекание которого обеспечивает соединение молекул непереломной кислоты в макрокомплексы, которые и обеспечивают приобретение нею прочности при сжатии и прочности сцепления с бетоном. Данные положения согласуются с выводами [5].

Система 5. В условиях эксперимента система «железосодержащий минеральный комплекс – пенообразователь» практически не обладает способностью твердеть и набирать прочность в нормальных условиях. Прочность сцепления данной системы с бетоном также практически отсутствует. Однако плотность полученного материала достаточно невысокая и составляет 300...1000 кг/м³. Это объясняется тем, что в данной системе не образуются новые вещества, которые обладают вяжущими свойствами, поэтому система не обладает прочностью.

Система 6. В условиях эксперимента введение в систему 1 стабилизатора – смеси эфиров олеиновой кислоты и полиспирта в количестве до 0,1 % практически не приводит к изменению плотности. Однако значительно повышает прочность при сжатии (до 500 %). При этом увеличение прочности сцепления с бетоном составляет 200 % и достигает 0,8 МПа. Плотность же системы остается практически неизменной. Это объясняется тем, что в систему «железосодержащий минеральный комплекс – стабилизатор» вводится гидравлически активное вещество – цемент, которое обеспечивает повышение прочности системы.

Система 7. В условиях эксперимента введение в систему 1 пенообразователя приводит к снижению прочности при сжатии, прочности сцепления с бетоном и плотности системы.

Система «цемент – железосодержащий минеральный комплекс – стабилизатор – пенообразователь». В условиях эксперимента совместное введение в систему 1 пенообразователя и стабилизатора приводит к увеличению прочности при сжатии и прочности сцепления, а также снижению плотности получаемого цементного камня по сравнению с цементным камнем, полученным на основе дисперсных систем низшего уровня (входящих в данную систему). Это объясняется тем, что железосодержащий минеральный комплекс приводит к вспениванию стабилизатора. В процессе газообразования и после завершения этого процесса в стенках сформировавшихся пор образуются продукты взаимодействия железосодержащего минерального комплекса и стабилизатора. Это приводит к формированию, в получаемом цементном камне, замкнутых пор, стенки которых с внутренней стороны пор покрыты прочными пленками олеата железа, а внутренние слои стенок сформированы из продуктов гидратации цемента в присутствии железосодержащего минерального комплекса.

Выводы. Проведенные исследования показали, что введение в цемент комплексного порообразователя, представляющего собой систему «железосодержащий минеральный комплекс – стабилизатор – пенообразователь» при использовании в качестве стабилизатора смеси эфиров олеиновой кислоты и полиспирта, приводит к улучшению прочностных и адгезионных свойств получаемого цементного камня и снижению теплопроводности за счет увеличения общей пористости. Кроме того, уменьшение количества открытых пор в получаемом цементном камне будет способствовать снижению проницаемости бетона, что повысит его эксплуатационные свойства и обеспечит надежную теплоизоляционную защиту существующих жилых и общественных зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородская Р. М. Безавтоклавный газозолошлакобетон / Р. М. Бородская, Б. П. Данилов. – К. : Госстройиздат УССР, 1964. – 78 с.
2. Кевеш П. Д. Газобетон на пергидроле/ П. Д. Кевеш, Э. Я. Эршлер. – М. : Госстройиздат, 1961. – 86 с.
3. Симонов М. З. Основы технологии легких бетонов/ М. З. Симонов. – М. : Стройиздат, 1973. – 584 с.
4. Шишкин А. А. Бетоны на основе шламов обогащения железных руд и щелочного компонента: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Шишкин Александр Алексеевич. – Кривой Рог, 1990. – 177 с.
5. Шишкин А. А. Специальные бетоны для усиления строительных конструкций эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред : дис. докт. техн. наук : 05.23.05 / Шишкин Александр Алексеевич. – Кривой Рог, 2003. – 336 с.

Получено 21.12.2010

О. О. ШИШКІНА

ПІНОБЕТОНИ ДЛЯ РЕМОНТУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Криворізький технічний університет

Приведені результати дослідження пористості і міцності комірчастого бетону, призначеного для ремонту будівель і споруд, на основі модифікованого цементу за рахунок використання комплексної добавки, що складається з речовини, що містить залізо, ефірів або солей вищих жирних кислот і поліспирту. Дослідження проведені в процесі вивчення декількох систем, які відрізняються виглядом і вмістом компонентів. Показаний вплив кожного з компонентів добавки, яка застосовувалася для модифікації цементу, і встановлений механізм цього впливу. Так, показано, що введення до складу пінобетону лише компонента, що містить залізо, призводить до збільшення міцності пінобетону. Це ж явище спостерігається і при введенні до складу пінобетону лише поліспирту. Введення ж ефірів вищих жирних кислот практично не призводить до збільшення міцності бетону. Проте спільне введення до складу пінобетону речовини, що містить залізо, поліспирту і ефіру вищої жирної кислоти призводить до значного збільшення міцності пінобетону без збільшення його щільності.

міцність, бетон, добавка, залізо, склад, щільність, ефір, поліспирт, цемент

A. A. SHISHKINA

FOAM CONCRETE FOR MAINTENANCE OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Krivoy Rog Technical University

The findings of investigations of porosity and strength of cellular concrete designed for the maintenance of buildings and constructions on the base of the modified cement due to application of additive being the complex of the agent containing iron, esters or higher fatty acids salts and polyalcohol have been presented. The investigations have been conducted during the study of several systems distinguishing with the form and the content of the components. The effect of each component additive used for the cement modification has been revealed and the mechanism of the effect has been determined. The investigations have revealed that making only a component containing iron of foam concrete causes the foam concrete strength augmentation. The same phenomenon has been observed at making only polyalcohol the part of foam concrete content. The injection of esters of higher fat acids practically does not result in strength augmentation of concrete. But the compatible injection of an agent containing iron, polyalcohol and higher fatty acid ester into the foam concrete content causes the considerable foam concrete strength augmentation without its density increase.

strength, concrete, additive, iron, content, density, ester, polyalcohol, cement

Шишкіна Олександра Олександрівна – асистент кафедри технології будівельних виробів, матеріалів і конструкцій Криворізького технічного університету. Наукові інтереси: будівельні матеріали і вироби.

Шишкина Александра Александровна – ассистент кафедры технологии строительных изделий, материалов и конструкций Криворожского технического университета. Научные интересы: строительные материалы и изделия.

Aleksandra A. Shishkina – a teaching fellow of the Procedures and Techniques of Building Products, Materials and Structures Department of the Krivoy Rog Technical University. Research interests: building materials and products.

УДК 691.32

А. Ю. АДАМОВ, А. А. ШИШКИН
Криворожский технический университет

ГАЗОБЕТОНЫ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЖЕЛЕЗИСТЫМИ ЦЕОЛИТАМИ

Приведены результаты исследований свойств газобетона, модифицированного минерально-органической добавкой, состоящей из цеолитов на основе железа и полиспирта. Показано влияние каждого компонента добавки на такие основные свойства газобетона, как прочность при сжатии. При этом установлено, что при добавлении полиспирта в газобетон прочность последнего при сжатии вначале увеличивается, а при достижении определенного предела содержания полиспирта прочность газобетона при сжатии начинает уменьшаться. Следовательно, доказано, что данная зависимость имеет оптимум. Следовательно, при определенном содержании полиспирта прочность газобетона будет максимальной. Это же явление наблюдается и при введении в состав газобетона цеолитов на основе железа. Доказано, что примененная комплексная минерально-органическая добавка обеспечивает повышение прочности при сжатии газобетонов.

комплексная добавка, бетон, температура, прочность, содержание, зависимость, железо, цеолит

На строительные конструкции промышленных зданий и сооружений, расположенных вблизи тепловых аппаратов, влияет окружающая среда, изменяя физико-механические свойства материалов, из которых изготовлены эти конструкции, и, как следствие, уменьшает их долговечность. Это приводит к необходимости предусматривать, при реконструкции зданий и сооружений, мероприятия по повышению их долговечности путем снижения температурного влияния окружающей среды.

Кроме того, одним из важнейших факторов, которые определяют стоимость эксплуатации зданий и сооружений, является величина расходов на поддержку в них необходимого температурного режима. Строительные конструкции существующих зданий и сооружений запроектированы на основе норм, которые уже не отвечают современным требованиям по теплопроводности и требуют, при ремонте или восстановлении конструкций, выполнения конструктивных мероприятий по ее уменьшению.

Одним из эффективных материалов, которые имеют низкую теплопроводность и могут использоваться для защиты железобетонных конструкций от тепловых воздействий окружающей среды, являются пористые бетоны. Однако они не имеют достаточной прочности при сжатии, что ограничивает их применение для ремонта и восстановления строительных конструкций с целью повышения их теплотехнических свойств.

Поэтому задача получения пористых бетонов, которые имеют достаточно высокую прочность при сжатии при использовании поризаторов невысокой стоимости, представляет значительный научный и практический интерес, а ее решение актуально.

Основными свойствами пористого бетона, которые характеризуют его качество, является прочность и деформативность при определенной плотности. Одним из недостатков неавтоклавных пористых бетонов на основе портландцемента является их относительно высокая усадка, которая является следствием химической (контракции) и физической усадки цементного камня. В результате на ранней стадии гидратации портландцемента происходит уменьшение линейных размеров изделий, изготовленных из пористого бетона. Вследствие этого, необходимо влиять на усадочные явления, происходящие на начальной стадии твердения цемента [4]. Испарение воды из пористого бетона, в результате чего происходит его физическая усадка, например, можно уменьшить введением в

его состав полиспиртов [4]. Контракцию можно уменьшить введением железосодержащего вещества, так как в данном случае образуются минералы, которые содержат значительное количество химически связанной воды [5], что, как следствие, уменьшает контракцию.

Прочность пористого бетона зависит от прочности материала межпоровых перегородок, которая, в свою очередь, зависит от марки цемента, водотвердого отношения, качества заполнителя.

В настоящее время существует два основных вида пористых бетонов: пенобетоны и газобетоны, которые отличаются методом получения поровой структуры и, как следствие, возможностями влиять на их свойства.

Так, в газобетонах, чаще всего, отсутствуют ПАВ, или их доля очень мала, потому для улучшения физико-механических свойств таких бетонов целесообразнее осуществлять модификацию их структуры за счет изменения свойств межпоровых перегородок. Так, например, как показано в работах [4, 5], введение в состав портландцементных композиций железосодержащих веществ уже само по себе приводит к повышению степени гидратации цемента, а, следовательно, и конечной прочности получаемого композита.

В то же время известно, что использование как естественного, так и искусственного цеолита для модификации разных вяжущих систем позволяет улучшать их физико-механические свойства [2–5]. Однако при этом свойства цементно-песчаных растворов, которые получают на данных модифицированных вяжущих, ухудшаются, что не позволяет применять данный метод модификации и требует доработки [5].

Необходимо отметить, что в указанных работах [2–5] приведены исследования свойств бетонов, растворов и вяжущих веществ с использованием алюминатных цеолитов. В то же время в работах [1, 5] установлена возможность получения искусственного железистого цеолита. Очевидно, что вид основного вещества в цеолите окажет влияние на их свойства и влияние на свойства получаемых с их использованием газобетонов.

В первой группе экспериментов исследовались плотность и прочность пористого цементного камня в зависимости от содержания компонентов комплексной добавки, которая состоит из железосодержащего вещества и полиспирта. Планирование экспериментов проводилось с учетом положений компьютерного материаловедения методом двухфакторного эксперимента. Как переменные параметры приняты величины X_1 – расход полиспирта на 1 000 см³ цементного теста и X_2 – расход железосодержащего компонента на 1 000 см³ цементного теста. Прочность пористого цементного камня определялась путем стандартных испытаний образцов.

Характер влияния полиспирта на прочность вспученного цементного камня похож с характером влияния железосодержащего компонента. При увеличении содержания полиспирта в системе до определенного предела происходит увеличение прочности поризованного цементного камня (рис. 1). А после достижения этого предела прочность поризованного цементного камня начинает уменьшаться.

При этом наибольший прирост прочности поризованного цементного камня происходит при базовом (относительно плана эксперимента) содержании полиспирта и железосодержащего вещества (содержание полиспирта 1 гр/л, содержание железосодержащего вещества – 2 гр/л).

В следующей группе экспериментов исследовали зависимость прочности при сжатии газобетона от содержания в нем железистых цеолитов и методов их получения (табл. 1, 2).

С целью определения влияния искусственного железистого цеолита было изготовлено 13 составов газобетона, один из которых – контрольный не содержал добавки.

Все составы газобетона (за исключением контрольного) были распределены на четыре серии, которые отличались видом искусственного цеолита (соотношением между силикатами натрия и железосодержащим веществом, а составы газобетона их количеством).

Как показали результаты экспериментов (рис. 2), независимо от вида получения искусственных цеолитов введение их в состав газобетона приводит к увеличению его прочности.

Оптимальное содержание искусственного железистого цеолита не зависит от их вида и составляет 0,35...0,40 % от массы цемента. При этом прочность газобетона увеличивается практически в два раза.

Выводы. Выполненными экспериментами и анализом их результатов установлено, что введение в состав газобетона искусственного железистого цеолита приводит к увеличению его прочности при сжатии на 50...90 %.

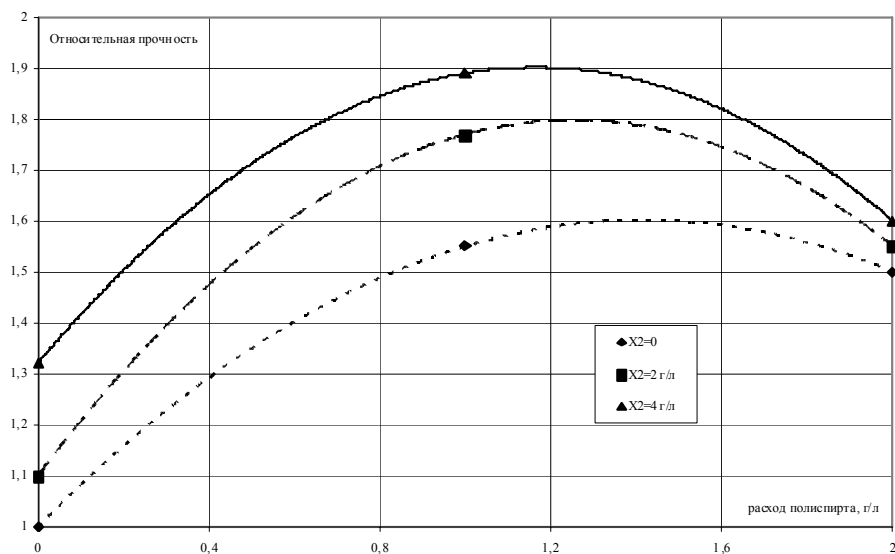


Рисунок 1 — Влияние железосодержащего компонента (X_2) и полиспирта на прочность цементного камня.

Таблица 1 – Параметры, которые изменяются

Параметры	Единицы измерения	Величины
Серия искусственного железистого цеолита	-	00;10; 20; 30
Количество искусственного железистого цеолита в цементе	%	0,5; 0,55; 0,6

Таблица 2 — Соотношение «железосодержащий компонент: силикаты натрия» при получении искусственного цеолита

Шифр серии	Соотношение «железосодержащий компонент: силикаты натрия» при получении искусственного цеолита
00	0
10	1:1
20	1:2
30	1:3

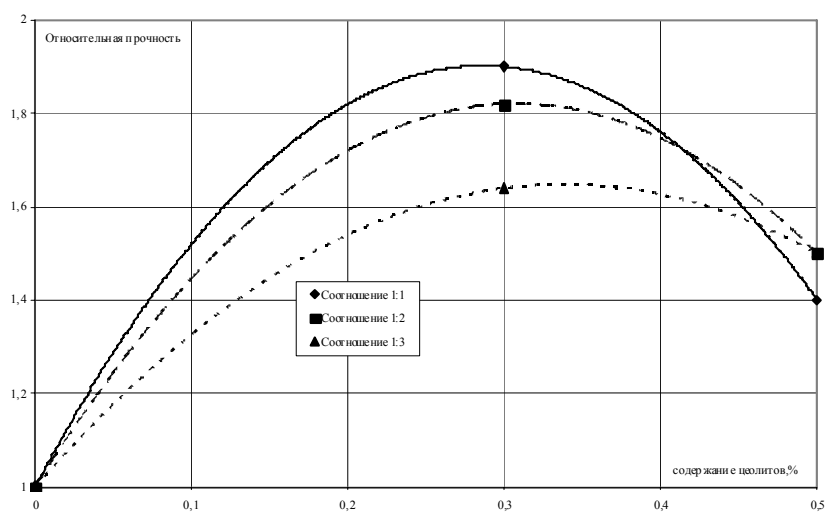


Рисунок 2 — Влияние железистого цеолита на прочность газобетона.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Астахова Н. В. Властивості і технологія бетона, модифікованого залізистими цеолітами : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби» / Астахова Наталія Валентинівна. – Кривий Ріг, 2004. – 173 с.
2. Влияние добавки цеолитов на свойства бетонов / И. Симеонов, Д. Назърски, В. Крумов, Б. Даракчиев. – София : Час. Висш. Ин-т архит. и стр-ва, 1985. – Вып. 2. – С. 67–72.
3. Волкова С. Н. Свойства цементных композиций, наполненных цеолитами / Волкова С. Н., Селяев В. П. // Материалы к 37-у Междунар. семинару «Моделирование и оптимизация в материаловедении МОК'37». – Одесса : Астропринт, 1998. – № 1. – С. 174.
4. Шишкіна О. О. Властивості і технологія пінобетона, модифікованого оксидами заліза : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби» / Шишкіна Олександра Олександрівна. – Кривий Ріг, 2010. – 178 с.
5. Шишкин А. А. Специальные бетоны для усиления строительных конструкций, эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред : дис. докт. техн. наук : 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» / Шишкин Александр Алексеевич. – Кривой Рог, 2003. – 336 с.

Получено 17.12.2010

А. Ю. АДАМОВ, О. О. ШИШКІН
ГАЗОБЕТОНИ, МОДИФІКОВАНІ ЦЕОЛІТАМИ ІЗ ЗАЛІЗА
Криворізький технічний університет

Приведені результати досліджень властивостей газобетону, модифікованого мінерально-органічною добавкою, що складається з цеолітів на основі заліза і поліспирту. Показаний вплив кожного компонента добавки на такі основні властивості газобетону, як міцність при стискуванні. При цьому встановлено, що при додаванні поліспирту в газобетон міцність останнього при стискуванні спочатку збільшується, а досягши певної межі вмісту поліспирту міцність газобетону при стискуванні починає зменшуватися. Отже, доведено, що дана залежність має оптимум. Отже, при певному вмісті поліспирту міцність газобетону буде максимальною. Це ж явище спостерігається і при введенні до складу газобетону цеолітів на основі заліза. Доведено, що застосована комплексна мінерально-органічна добавка забезпечує підвищення міцності при стискуванні газобетонів.

комплексна добавка, бетон, температура, міцність, вміст, залежність, залізо, цеоліт

A. U. ADAMOV, A. A. SHISHKIN
AERATED CONCRETE MODIFIED BY FERROUS ZEOLITE
Krivoy Rog Technical University

The results of investigations aerated concrete properties modified by mineral and organic additive consisting of the zeolite on the base of iron and polyalcohol have been presented. The effect of each additive component to such principle aerated concrete properties as compressive strength has been illustrated. It has been determined that the polyalcohol addition into aerated concrete at first increases its strength at compression and at the definite limit attainment of polyalcohol content, the aerated concrete strength starts to decrease at compression. Thus, the given dependence has been proved to have optimum. So, aerated concrete strength will be maximum at the certain polyalcohol content. The same phenomenon has been observed at the injection of the zeolite on the base of iron into the aerated concrete content. The applied complex mineral and organic additive has been proved to provide strength at the aerated concrete compression.

complex additive, concrete, temperature, strength, content, dependence, iron, zeolite

Адамов Артур Юсупович – аспірант кафедри технології будівельних виробів, матеріалів та конструкцій Криворізького технічного університету. Наукові інтереси: будівельні матеріали та вироби.

Шишкін Олександр Олексійович – д.т.н., професор, зав. кафедри технології будівельних виробів, матеріалів і конструкцій Криворізького технічного університету, чл.-кор. Академії гірничих наук України. Наукові інтереси: будівельні матеріали і вироби.

Адамов Артур Юсупович – аспирант кафедры технологии строительных изделий, материалов и конструкций Криворожского технического университета. Научные интересы: строительные материалы и изделия.

Шишкин Александр Алексеевич – д.т.н., профессор, зав. кафедрой технологии строительных изделий, материалов и конструкций Криворожского технического университета, чл.-кор. Академии горных наук Украины. Научные интересы: строительные материалы и изделия.

Artur U. Adamov – a postgraduate of the Procedures and Techniques of Building Products, Materials and Structures Department of the Krivoy Rog Technical University. Research interests: building materials and products.

Aleksander A. Shishkin – a D. Sc (Engineering), a Professor, the Chair of the Procedures and Techniques of Building Products, Materials and Structures Department of the Krivoy Rog Technical University. A Corresponding Member of the Mining Engineering of Ukraine. Research interests: building materials and products.

УДК 666.94.014

В. В. ПУНАГИН

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика
В. Лазаряна.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ГИДРОСИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ В АКТИВИРОВАННОЙ ЦЕМЕНТНОЙ СИСТЕМЕ

Представлены результаты исследований связи между химическими, морфологическими и механическими свойствами гидросиликатов кальция в активированной цементной системе бетона. Показано, что модифицирование цементной системы приводит к изменению механизма гидратации силикатов кальция как основных структурообразующих минералов. Установлено, что повышению прочности активированных гидросиликатов кальция способствует снижение их основности, которое означает высокую степень полимеризации в гидросиликатах.

цементная система, активация, гидросиликаты кальция, полимеризация, прочность.

Современные требования к бетону для высотных монолитных зданий как основному конструктивному строительному материалу становятся особенно жесткими. Без современных технологий модификации монолитного бетона, обеспечивающих необходимую стойкость и долговечность, в высотном строительстве не обойтись [1, 2].

Обобщая накопленный опыт совершенствования технологии бетонов, можно сделать вывод, что оптимизация свойств бетона возможна при повышении вяжущего потенциала цемента и химической эффективности микронаполнителя совместно с развитием высокого пластифицирующего эффекта в модифицированной цементной системе [3, 4].

Модифицирование цементной системы приводит к изменению механизма гидратации силикатов кальция как основных структурообразующих минералов. Поэтому целью исследований является изучение связи между химическими, морфологическими и механическими свойствами гидросиликатов кальция в активированной цементной системе бетона. При этом важно определить степень их полимеризации, характеризующую процесс гидратации.

Как известно [5], исходный силикат под воздействием метаноловой хлорной кислоты преобразуется в свободную кремневую кислоту, содержащую анион, который находится в силикате. После добавления подкисленного раствора парамолибдата немедленно образуется комплекс кремнемолибденовой кислоты, который определяется либо непосредственно спектрофотометрическим методом, либо титрованием кислоты хинолиновой солью [5]. Так как зависимость между логарифмом концентрации непрореагировавшей кремневой кислоты в растворе и временем реакции является линейной, то при постоянных условиях эксперимента каждая из кремневых кислот характеризуется определенным тангенсом угла наклона, что позволяет их идентифицировать.

Несмотря на то, что точное соотношение между скоростью комплексообразования и количеством связей $\text{Si} - \text{O} - \text{Si}$ установить сложно, однако можно приблизительно оценить степень полимеризации образующихся кремневых кислот.

При исследовании активированных цементных систем с силикатами различной степени полимеризации скорость комплексообразования описывается нелинейной кривой, которая может быть разделена на столько линейных участков, сколько компонентов находится в цементной системе.

Так как каждый линейный участок характеризуется тангенсом угла наклона, зависящего от степени полимеризации силиката кальция, то экстраполяцией линейных участков до нулевого времени можно определить как вид, так и количество гидратных новообразований.

В процессе гидратации C_3S в активированной цементной системе исходная ортосиликатная система стремится превратиться в гетерогенную систему с постоянно возрастающей степенью полимеризации. Опытами установлено, что в процессе гидратации изменяется характер кривых комплексобразования, особенно в начальный период. Это означает, что средняя степень полимеризации возрастает в большей мере, чем степень полимеризации структур, уже достаточно полимеризованных, вследствие постепенного уменьшения структур с низкой степенью полимеризации вплоть до полного их исчезновения. Это явление объясняется стремлением структур с низкой степенью полимеризации к объединению в комплексы с более высокой степенью полимеризации.

С кинетической точки зрения процесс гидратации силикатов кальция в активированной цементной системе заключается в образовании гидросиликатного геля, содержащего как высокополимеризованные компоненты, количество которых возрастает в процессе гидратации, так и низкополимеризованные компоненты, стремящиеся повысить степень полимеризации. Изменение средней степени полимеризации структур гидросиликатов в активированной цементной системе свидетельствует о том, что этот параметр является существенной характеристикой процесса. Он, очевидно, непосредственно связан с механической прочностью, которая, как известно, возрастает в процессе протекания реакции.

Эти результаты подтверждают возможность использования указанного метода для исследования механизма влияния двух наиболее распространенных химически активных компонентов, вводимых с целью регулирования процесса твердения и получения высоких прочностей на ранних стадиях твердения, особенно при низких температурах – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и $CaCl_2$. В процессе исследований определены прочность при сжатии образцов из активированной системы ($B/C = 0,5$); кинетика и степень гидратации силикатов кальция; состав жидкой фазы в исследуемой системе (степень пересыщения CaO); изменение площади поверхности гидратируемой системы; степень полимеризации силикатов кальция.

C_3S pripravляли обжигом в течение 30 ч при температуре 1 500 °C стехиометрической смеси осажденного $CaCO_3$ и очищенного кремнезема. Количество свободного CaO , присутствующего в продукте после обжига, составляло 0,2 %. Полученный C_3S измельчали в шаровой мельнице до удельной поверхности 250 м²/кг.

В табл. 1 представлены значения степени гидратации образцов из C_3S в течение 28 сут.; на рис. 1 – дифференциальные значения степени гидратации образцов из C_3S .

Таблица 1 — Степень гидратации образцов из C_3S с различными химическими добавками

Силикаты с различными добавками	Степень гидратации, %, в возрасте, сут					
	0,5	1	3	7	14	28
-	8,2	17,3	29,1	37,4	44,2	52,3
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	33,2	43,4	54,1	57,3	63,6	67,7
$CaCl_2$	38,3	62,2	72,4	74,3	75,6	77,2

Как следует из приведенных данных, наибольшей степенью гидратации характеризуется активированное тесто C_3S с $CaCl_2$, причем эта система также характерна наибольшей скоростью гидратации. В процессе активации C_3S с введением $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в количестве 3...5 % наблюдалось ускорение ранней гидратации C_3S , степень гидратации увеличивается на 47...53 % по сравнению с контрольными образцами в зависимости от содержания гипса (см. рис. 1). На этом основании можно отметить, что хлористый кальций стимулирует процесс гидратации, особенно в первые 24 ч.

Особый интерес представляет изменение удельной площади поверхности системы C_3S в присутствии $CaCl_2$ во времени (см. табл. 1). Определение удельной поверхности новообразований при гидратации активированного C_3S в присутствии $CaCl_2$ показало значительное ее возрастание по сравнению с исходным C_3S , что облегчает диффузию воды через гель, чем объясняется увеличение скорости гидратации. Значения удельной поверхности гидратированного C_3S с хлористым кальцием и без него уменьшаются по мере прохождения гидратации, однако по различным законам.

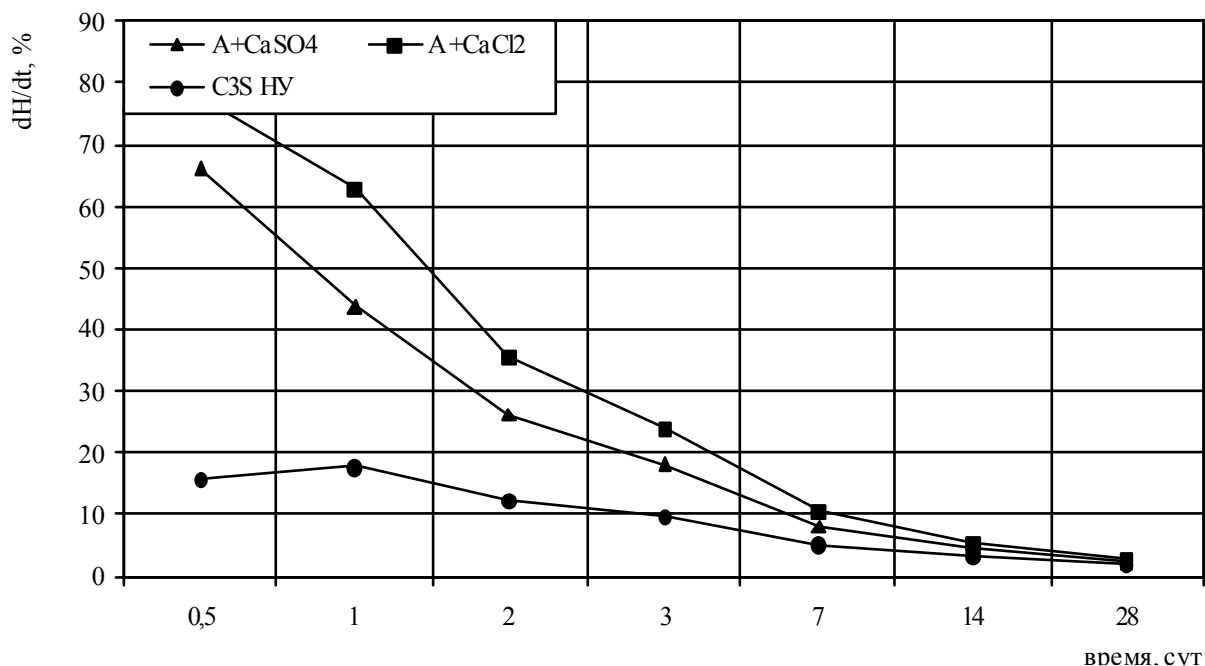


Рисунок 1 — Дифференциальная степень гидратации трехкальцевого силиката в присутствии различных химических добавок.

Экспериментально установлена зависимость состава гидросиликатов от удельной поверхности в процессе гидратации (рис. 2). Для сравнения исследованы мономинералы C_3S и C_2S , гидратированные в нормальных условиях и активированные в присутствии $CaCl_2$. Как видно из рис. 2, активация способствует образованию гидросиликатов меньшей основности, сопровождаясь развитием удельной поверхности. Обработкой опытных данных установлена экспоненциальная зависимость основности гидросиликатов кальция от удельной поверхности новообразований. Для образцов мономинералов, твердевших в нормальных условиях, увеличение удельной поверхности наблюдалось в течение суток для C_3S , что соответствовало 17 % степени гидратации, сопровождаясь повышением основности новообразований.

При анализе результатов рентгенофазового анализа активированных силикатных систем установлено изменение интенсивности линий гидроксида кальция, что свидетельствует о содержании изоморфно входящих элементов в структуру силикатов. Анализ изменения интенсивности дифракционных максимумов позволяет непосредственно определить положение примесных атомов в активированных силикатных структурах, а также обнаружить появление вакансий и контролировать процессы их упорядочения. Подтверждением отмеченного являются результаты инфракрасной спектроскопии, демонстрирующие постоянное смещение полос поглощения в область более высоких волновых чисел, что свидетельствует о процессе полимеризации SiO_4 -тетраэдров, снижающем основность гидросиликатов кальция с повышением прочности связей в структуре. Количество сложных радикалов увеличивается за счет возрастающего перехода островных силикатов ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) в ленточные ($CaCl_2$).

Существенное начальное увеличение прочности системы при сжатии согласуется с увеличением количества образующегося геля при тех же сроках гидратации (табл. 2).

Таблица 2 — Удельная поверхность активированного C_3S с химическими добавками

Силикаты с различными добавками	Удельная поверхность, m^2/g , в возрасте, сут						
	0,1	0,5	1	3	7	14	28
-	137	180	198	209	218	229	233
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	147	227	242	244	251	256	260
$CaCl_2$	152	250	256	267	292	298	302

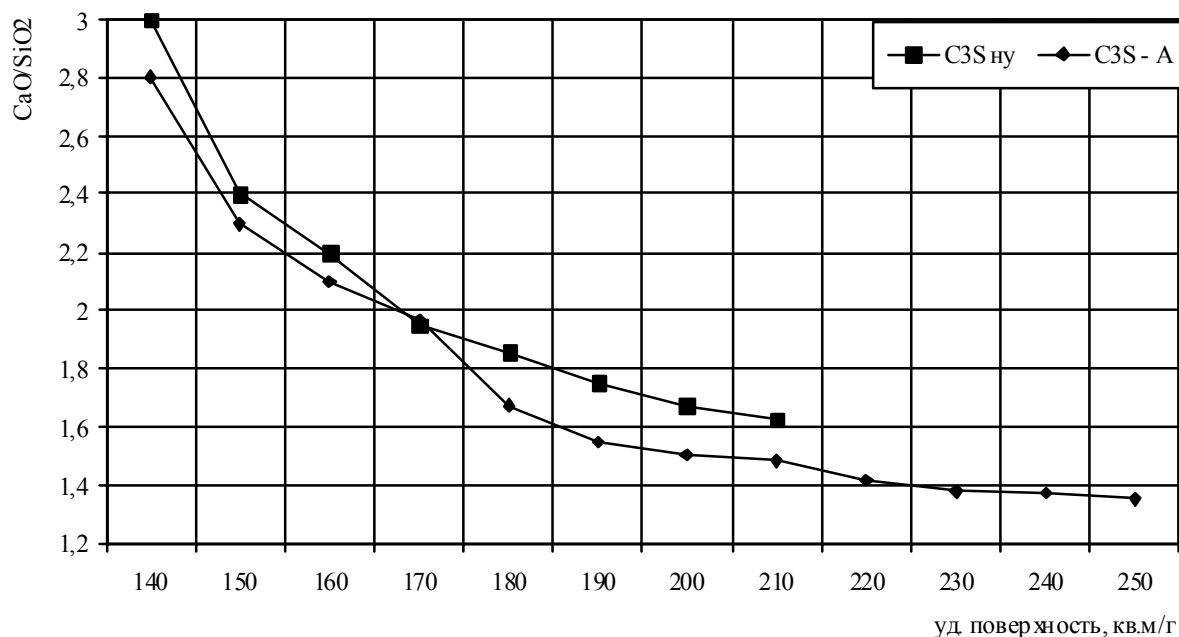


Рисунок 2 — Изменение состава и удельной поверхности и гидросиликатов в процессе гидратации.

Экспериментальными исследованиями состава жидкой фазы при гидратации силикатов кальция не установлено сколько-нибудь значительное выделение кремнезема из гидросиликатного геля, что подтверждает возможность существования включений иона SO_4^{2-} в виде твердого раствора внедрения в гидросиликатный гель. Внедрение ионов SO_4^{2-} в кристаллическую решетку гидросиликата кальция приводит к увеличению объема основной структуры, в результате чего образуется большое количество геля. При этом для сохранения условия электронейтральности наблюдается отток ионов Ca^{2+} в жидкую фазу, где в присутствии аморфизованного кремнезема образуется дополнительное количество гидросиликатного геля. Ускорение процесса гидратации наблюдается до полного связывания ионов SO_4^{2-} , затем скорость процесса снижается.

Различие между ионами, встраиваемыми в структуру гидросиликатного геля, приводит к изменению расположения ионов в структуре, выражающемуся макроскопически в изменении удельной площади поверхности, прирост которой имеет максимальные значения в возрасте до 1 сут (см. табл. 2).

Экспериментально установлено, что одна и та же степень гидратации C_3S в нормальных условиях и активированного C_3S в присутствии $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ достигается в течение различного времени, т. е. прочность при одинаковой степени гидратации в последней системе ниже, чем в первой (табл. 3). Это можно объяснить образованием большого количества геля в гидратированной системе при наличии гипса, поскольку возрастание прочности активированной системы C_3S с $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ обусловлено только количественным, а не качественным влиянием геля. На основании полученных данных можно сделать вывод, что гипс действует как ускоритель процесса гидратации C_3S , модифицируя количество образуемого геля, однако отрицательно влияет на его качество.

При исследовании микроструктуры активированного C_3S с введением различных химических добавок во всех случаях наблюдались морфологические изменения С-С-Н с одновременным уменьшением общего объема пор. Характер зависимости общего объема пор от степени гидратации активированного C_3S со всеми химическими добавками качественно аналогичен подобной зависимости для контрольного образца, несмотря на структурные изменения, наблюдаемые в некоторых случаях в С-С-Н (табл. 4).

Выводы. Установлено, что повышению прочности активированных гидросиликатов кальция способствует снижение их основности, которое означает высокую степень полимеризации в гидросиликатах.

При введении $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ при активировании C_3S прочность увеличивается в результате постоянного и значительного увеличения содержания гидросиликатного геля, на количество которого, однако, противоположным образом влияет уменьшение степени полимеризации структуры. Напротив, действие хлорида кальция на кинетику процесса гидратации силикатов кальция проявляется как в увеличении содержания геля, так и в улучшении его качества.

Таблица 3 — Прочность активированного C_3S с химическими добавками

Силикаты с различными добавками	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут				
	1	3	7	14	28
-	25,4	38,1	49,7	54,6	82,7
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	34,2	52,7	59,8	64,9	96,2
$CaCl_2$	72,4	97,3	128,2	137,8	146,9

Таблица 4 — Структура пор в активированных силикатных системах

Силикаты с различными добавками	Суммарная пористость, cm^3/g	Распределение пор по радиусам, %			
		$>10^{-6} m$	$10^{-7}-10^{-6} m$	$10^{-8}-10^{-7} m$	$4 \cdot 10^{-9}-10^{-8} m$
$CaCl_2$	0,022	4,9	18,7	31,6	44,8
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	0,024	16,6	33,4	27,2	22,6
-	0,095	19,7	46,1	22,9	11,3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов Ю. М. Новому веку — новые бетоны / Ю. М. Баженов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. — 2000. — № 2. — С. 10—11.
2. Collepardi M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC / M. Collepardi // Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering, 2003: Proc. — Milan (Italy), 2003. — P. 1—8.
3. Баженов Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны : [науч. изд.] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. — М. : Изд-во АСВ, 2006. — 368 с.
4. Батраков В. Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В. Г. Батраков // Строительные материалы. — 2006. — № 10. — С. 4—7.
5. Funk H. Structure of Portland Cement Paste and Concrete / H. Funk, R. Frydrych // The Third National Concrete and Masonry Engineering Conf., S. K. Ghosh, ed., National Concrete and Masonry Engineering Conference, 1995: Proc. — San Francisco (USA), 1995. — P. 67—79.

Получено 24.12.2010

В. В. ПУНАГІН

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ГІДРОСИЛІКАТІВ КАЛЬЦІЮ В АКТИВОВАНІЙ ЦЕМЕНТНІЙ СИСТЕМІ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Представлені результати досліджень зв'язку між хімічними, морфологічними й механічними властивостями гідросилікатів кальцію в активованій цементній системі бетону. Показано, що модифікування цементної системи призводить до зміни механізму гідратації силікатів кальцію як основних структуроутворюючих мінералів. Встановлено, що підвищенню міцності активованих гідросилікатів кальцію сприяє зниження їх основності, що означає високий ступінь полімеризації в гідросилікатах.

цементна система, активація, гідросилікати кальцію, полімеризація, міцність

V. V. PUNAGIN

FEATURES OF STRUCTURAL FORMATION OF CALCIUM HYDROSILICATES IN ACTIVATED CEMENT SYSTEM

Dnepropetrovsk National university of rail-freight traffic of name of academician Lazarian

The findings of investigations of bonds between chemical, morphological and mechanical properties of calcium hydrosilicates in activated cement system of concrete have been presented in the paper. The cement system modification has been shown to cause the change of mechanism of hydration of calcium silicates as the principle structure forming minerals. The strength increase of activated calcium hydrosilicates has been determined to promote to decrease of their basicity meaning the higher degree of polymerization in hydrosilicates.

cement system, activation, calcium hydrosilicates, polymerization, strength

Пунагін Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, докторант Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Наукові інтереси: технологія монолітного бетону.

Пунагин Владимир Владимирович — кандидат технических наук, доцент, докторант Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Научные интересы: технология монолитного бетона.

Vladimir V. Punagin – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Academician Lazaryan Dnepropetrovsk National University of Railway Transport. Research interests: production of cast-in-place concrete

УДК 621.643.25.002.2

В. Н. ПИЛИПЕНКО

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЫ БЕТОНА

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния способов уплотнения бетонной смеси на процессы структурообразования модифицированной цементной матрицы бетона. Показано, что виброударно-импульсное гиперуплотнение бетонной смеси с деструктивными процессами в отношении частиц цемента сводится к созданию зародышей будущих гидросиликатов кальция, а вся система активирована гидроксильными группами, которые при затворении вяжущего энергично взаимодействуют с водой за счет донорно-акцепторных связей.

физическая модификация, структурообразование, цементная матрица

Существует много примеров, доказывающих, что даже самое обычное растирание в ступке приводит к энергетическим изменениям поверхности материала, который подвергается диспергированию [1, 2]. Например, в результате тонкого диспергирования кварца наблюдается его частичная аморфизация, изменяется растворимость, поверхностная энергия [3]. При измельчении мусковит переходит в вермикулит, нефелин — в альбит. Иногда механическая активация цементного теста вызывает коренные структурные изменения, связанные с полным разложением минералов (например, киноварь HgS разлагается с образованием металлической ртути), ярозит-алунит ($\text{KNaFe}_3[\text{SO}_4](\text{OH})_6$) при измельчении в течение 20 мин разлагается с образованием $\beta - \text{Fe}_2\text{O}_3$.

Явление механической активации изучается разными физико-химическими методами, в том числе и методом инфракрасной спектроскопии [4, 5].

Целью настоящей работы является исследование физического модифицирования цементной матрицы бетона на процессы структурообразования кристаллогидратов клинкерных минералов портландцементов различных заводов Украины. Модифицирование бетонной смеси осуществлялось в процессе виброударно-импульсного гиперуплотнения.

Для записи ИК-спектров образцы цементной матрицы модифицированного бетона дополнительно растирали в агатовой ступке, смешивали с бромистым калием и запрессовывали в таблетку. В качестве образцов сравнения использовали пробы, растертые в агатовой ступке. Запись спектров производили на приборе СПЕКОРД 75 ИР в диапазоне $400-4\,000\text{ см}^{-1}$.

Из анализа ИК-спектров всех исследованных образцов очевидно (рис. 1, 2), что все виды физического модифицирования влияют на поверхностную структуру исходных материалов. Независимо от способа модифицирования по спектрам можно проследить единую тенденцию: интенсивная карбонизация ($700, 710, 850, 1\,420-1\,480, 1\,783\text{ (см}^{-1})$), адсорбция воды ($1\,650, 3\,400\text{ см}^{-1}$) и протонизация сопровождаются сближением тетраэдров $[\text{SiO}_4]$ и их соединением (конденсацией) с расширением полосы в диапазоне $950-1\,200\text{ см}^{-1}$.

Эти эффекты на крупных частицах замечены в мельчайшей степени. По результатам поставленных экспериментов при виброударно-импульсном гиперуплотнении бетонной смеси гидравлическая активность клинкерных минералов обоих цементах выше, чем при виброуплотнении.

По данным ИКС при виброударно-импульсном гиперуплотнении кристаллогидратных новообразований получается больше, чем при других способах уплотнения бетонной смеси.

Следовательно, природа модифицирования цементной матрицы бетона частично заключена в тех структурных изменениях, которые фиксируются на ИК-спектрах поглощения.

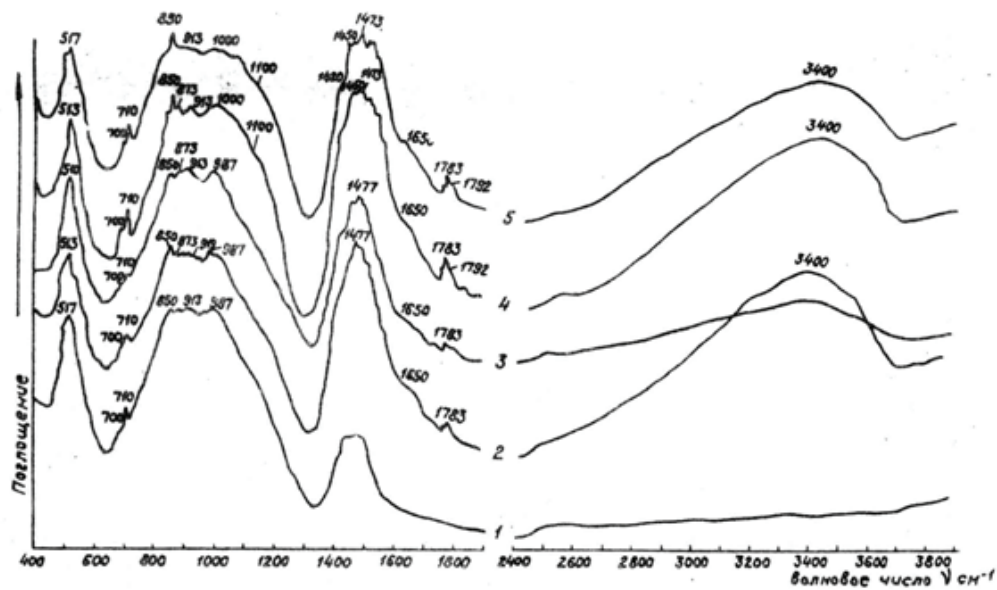


Рисунок 1 — ИК-спектры поглощения портландцемента ПЦ П/А-Ш-400 ООО «Цемент Донбасса»: 1 — образец истерт в ступке; 2 — виброуплотнение; 3, 5 — виброударно-импульсное гиперуплотнение (В/Ц_{ост}, соответственно, 0,20 и 0,22); 4 — виброуплотнение с вакуумированием.

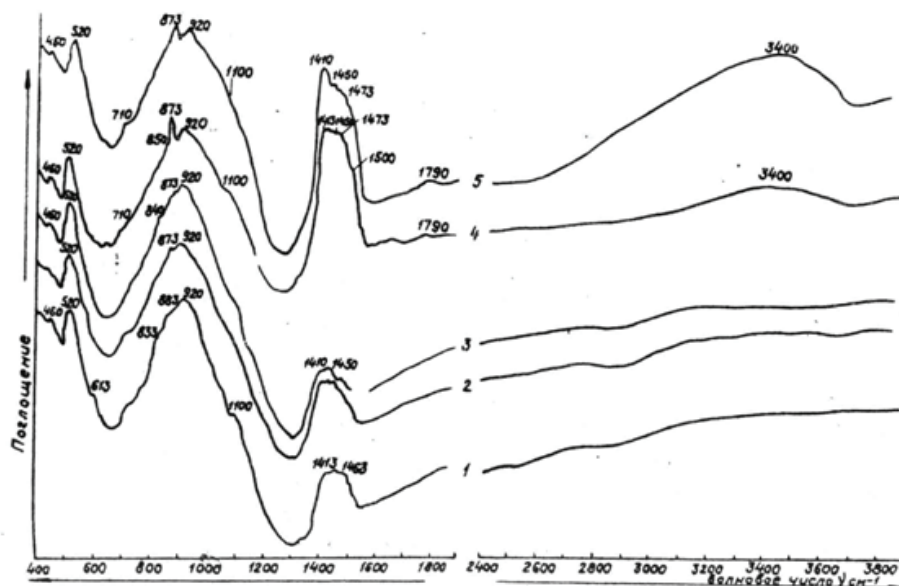
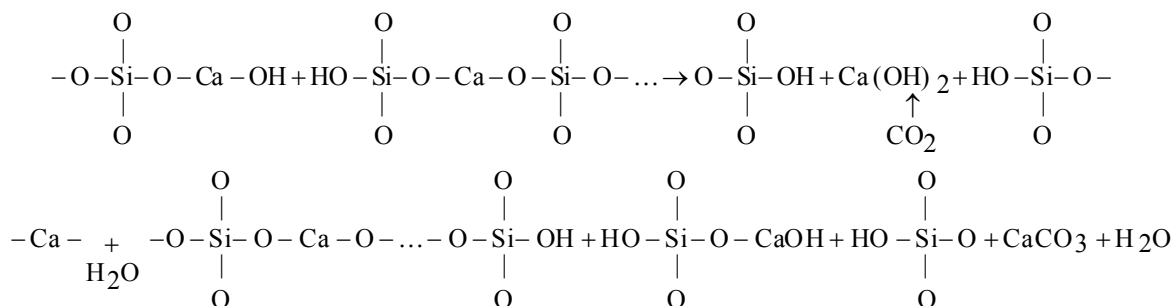


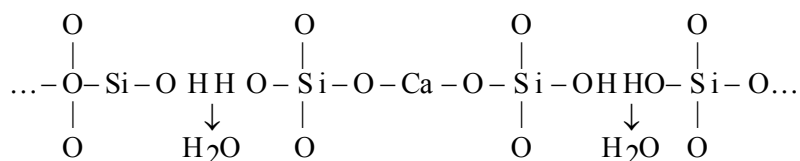
Рисунок 2 — ИК-спектры поглощения портландцемента П/Б-Ш-400 ООО «Кривой Рог Цемент»: 1 — образец истерт в ступке; 2 — виброуплотнение; 3, 5 — виброударно-импульсное гиперуплотнение (В/Ц_{ост}, соответственно, 0,20 и 0,22); 4 — виброуплотнение с вакуумированием

Как отмечалось выше, все продукты при любом виде уплотнения карбонизированы, причем характер полосы поглощения карбонат-иона позволяет говорить о том, что карбонизируется гидроксид кальция. Можно предположить, что при модифицировании цементной матрицы происходит разрыв химических связей в цепочке $\equiv \text{Si} - \text{O} - \text{Ca} - \text{O} - \text{Si} \equiv$ ортосиликата ($\equiv \text{Si} - \text{O} - \text{Ca} - , - \text{O} - \text{Si} \equiv$) с насыщением последних за счёт ближайшего окружения

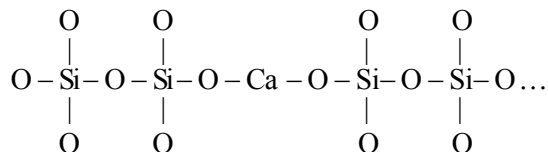


Поскольку интенсивность карбонатных полос велика, то, вероятно, реакция разрыва цепочки $\equiv \text{Si}-\text{O}-\text{Ca}-\text{O}-\text{Si} \equiv$ очень представительна. Активно модифицирующаяся система (соударения быстро перемещающихся частиц, сближение их на больших скоростях, повышение температуры в точках соударений) представлена частицами-обломками, которые «подходят» друг к другу разными концами.

Вполне вероятно, что происходит сближение частиц, имеющих силанольные окончания:



Происходит образование цепочек типа



в которых связь $\text{Si}-\text{O}$ в изолированных тетраэдрах (структура ортосиликатов) короче и имеет полосу поглощения, расположенную в коротковолновой области спектра ($> 1\,000\text{ см}^{-1}$). Следовательно, появление в спектрах интенсивных полос в области $1\,000\text{--}1\,200\text{ см}^{-1}$ можно объяснить конденсацией кремнекислородных тетраэдров (см. рис. 1).

Известно, что гидросиликаты кальция в основе своей структуры имеют полимеризованную цепочку из кремнекислородных тетраэдров. Нам представляется, что при механическом диспергировании происходит такая деструкция, при которой образуются зародыши гидросиликатов.

Следует отметить, что процесс конденсации кремнекислородных тетраэдров при различных способах модифицирования цементной матрицы бетона может идти не только в направлении образования цепочек, но и сеток из кремнекислородных тетраэдров. Этим можно объяснить увеличение плотности цементной матрицы (по данным электронно-микроскопических исследований) при виброударно-импульсном гиперуплотнении, чем при виброуплотнении с вакуумированием, так как число конденсированных кремнекислородных тетраэдров в первом случае выше (по данным ИКС).

Изменение длины связи $\text{Si}-\text{O}$ в тетраэдрах $[\text{SiO}_4]$ может происходить не только в результате объединения их в сетки и цепочки, но и за счёт образования силанольных групп $\equiv \text{Si}-\text{OH}$.

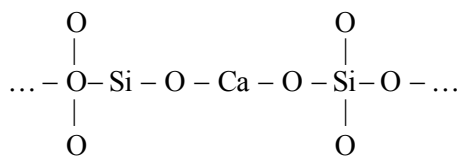
Валентные колебания (ν_{as}) $\text{Si}-\text{O}$ связи в таких группах, а также деформационные колебания гидроксила этих групп имеют полосы поглощения в области $950\text{--}1\,000\text{ см}^{-1}$.

Следовательно, интенсивность полос в этой области обусловлена наложением колебаний от $\text{Si}-\text{O}$ связей в цепочке $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ в силанольной группе $\text{Si}-\text{OH}$ и деформационных колебаний OH силанольной группы. Отнести поглощение в этой области только к силанольным группам нельзя, так как наблюдаются еще изменения в области $450\text{--}500\text{ см}^{-1}$, где расположена полоса деформированных колебаний $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$.

Интенсивная широкая полоса в области $3\,200\text{--}3\,700\text{ см}^{-1}$ свидетельствует о том, что диспергированные образцы адсорбируют воду (наблюдается также и полоса деформационных колебаний $1\,650\text{ см}^{-1}$). Неоднородность полосы валентных колебаний (ν) OH служит доказательством присутствия в образце структурных гидроксильных групп (в силанольных группах).

Таким образом, на основании анализа инфракрасных спектров поглощения можно предложить следующую схему структурных превращений, происходящих при физической модификации бетонной смеси.

1. Происходит разрыв связей



с образованием силанольных групп $\equiv \text{Si} - \text{OH}$ и гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, который карбонизируется по реакции $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

2. В результате соударений на больших скоростях в точке соприкосновения тонкодисперсных частиц, где повышается температура, возможно объединение их по концевым силанольным группам с образованием цепей и сеток из кремнекислородных тетраэдров.

Выводы. Установлено, что, с одной стороны, физическое модифицирование цементной матрицы бетона с деструктивными процессами в отношении частиц цемента сводится к созданию зародышей будущих гидросиликатов кальция, с другой стороны, вся система активирована гидроксильными группами, которые при затворении вяжущего энергично взаимодействуют с водой за счет донорно-акцепторных связей.

Все эти явления ярче выражены при виброударно-импульсном гиперуплотнении, поэтому физическая активация приводит и к большей химической активации, чем при виброуплотнении с вакуумированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соломатов В. И. Ресурсосберегающая технология бетона / В. И. Соломатов, М. К. Тахиров, В. К. Ханин. – Ташкент : Мехнат, 1990. – 239 с.
2. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / Батраков Владимир Георгиевич. – М. : Технопроект, 1998. – 768 с.
3. Келли А. Высокопрочные материалы / Келли А. ; [пер. с англ. С. Т. Милейко]. – М. : Мир, 1986. – 256 с.
4. Mechanical Properties of Modified Reactive Powder Concrete / S. Collepardi, L. Coppola, R. Troli, M. Collepardi // the Fifth Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI Publication SP – 173, 1997: Proc. – Roma (Italy), 1997. – P. 1–21.
5. O'Neil E.F. Reactive Powder Concrete: A Very-High-Performance Concrete Material / E. F. O'Neil // Corps of Engineers Structural Engineering Conf; H.W. Jones, and B.D. Fehl, eds. U.S. Army Corps of Engineers Engineering and Construction Directorate, 1995: Proc. – San Antonio (USA), 1995. – P. 1195–1204.

Получено 23.12.2010

В. М. ПИЛИПЕНКО

ВПЛИВ ФІЗИЧНОГО МОДИФІКУВАННЯ НА ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЦЕМЕНТНОЇ МАТРИЦІ БЕТОНУ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Представлені результати експериментальних досліджень впливу способів ущільнення бетонної суміші на процеси структуроутворення модифікованої цементної матриці бетону. Показано, що виброударно-імпульсне гіперущільнення бетонної суміші з деструктивними процесами відносно часток цементу зводиться до створення зародків майбутніх гидросиликатів кальцію, а вся система активована гідроксильними групами, які при замішуванні в'язучої речовини енергійно взаємодіють з водою за рахунок донорно-акцепторних зв'язків.

фізична модифікація, структуроутворення, цементна матриця

V. N. PILIPENKO

IMPACT OF PHYSICAL MODIFICATION ON STRUCTURAL FORMATION OF CEMENT MATRIX OF CONCRETE

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The results of research of the impact of concrete mix compaction methods on the processes of structural formation of modified cement matrix of concrete have been presented in the paper. The vibrant impulsive hyper compaction of the concrete mix with destructive processes regarding cement particles has been shown to reduce to the nuclei production of the next calcium hydrosilicates and all the system is activated with the hydroxyl groups which interact with water energetically by means of donor and impurity bonds at the mixing concrete ingredients with water and the binder.

physical modification, structural formation, cement matrix.

Пилипенко Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розробка способів підвищення корозійної стійкості бетонних і залізобетонних конструкцій, що працюють в агресивних середовищах.

Пилипенко Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: разработка способов повышения коррозионной стойкости бетонных и железобетонных конструкций, работающих в агрессивных средах.

Volodimir M. Pilipenko – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorway Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: development of methods of corrosion resistance increase of concrete and reinforced concrete structures operating in corrosive media.

УДК 621.382.34

В. И. ТИМЧЕНКО, В. А. СОРОКА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ШИРОКОЗОННЫЙ ФОТОДЕТЕКТОР НА ОСНОВЕ АЛМАЗНОЙ ПЛЕНКИ

В данной работе проведен анализ оптических свойств алмазной поликристаллической пленки (АПП) для использования ее в качестве фотодетектора в широком спектральном диапазоне. Разработаны контакты, которые не создают на границе раздела дополнительных энергетических барьеров. Получена спектральная зависимость фотопроводимости АПП в интервале длин волн от 400 до 2 000 нм. Определено, что электрические свойства пленок характеризуются учетом не только объемной, а также поверхностной составляющей проводимости, причем последняя, как минимум, на порядок больше. Выяснено, что для понижения вклада межкристаллитных барьеров необходимо использование высокого напряжения между контактами и применения импульсного монохроматического облучения. Определены диапазоны генерации носителей с квадратичной и линейной рекомбинацией, которые связаны непосредственно с наличием участков релаксированной поверхности (111) 1×1 $E_1 = 0,6$ эВ и реконструированной поверхности (111) 2×1 $E_2 = 1,4$ эВ. На основе анализа спектральной зависимости фотоотклика алмазной поликристаллической пленки установлена связь смещения максимумов с температурой источника излучения. Предлагается использование АПП для мониторинга излучения в широком спектральном диапазоне.

алмазная поликристаллическая пленка, фотодетектор, квантовая эффективность, фотоотклик

Детекторы, изготовленные на основе алмазов, могут найти применение для дистанционного измерения температуры, контроля и автоматизации пламени авиационных и космических аппаратов, в звездной астрономии и в космических и военных системах [1, 2]. Широкое применение таких детекторов сдерживается ценой природных алмазов и недостаточной воспроизводимостью свойств и размеров синтетических. Получение алмазных поликристаллических пленок и нанопорошков [3, 4] снимает вопросы повторяемости характеристик и стоимости, но создают проблему поглощения в видимом диапазоне контролируемого спектрального излучения. Влияние света в видимом диапазоне на фотоотклик весьма нежелательно. В основном это поглощение обусловлено развитой структурой «поверхностных центров» на собственно поверхности пленок и границах раздела кристаллитов [5, 6]. Необходимая для устранения этого недостатка идентификация дефекта невозможна без дополнительных исследований ввиду сложного характера спектра [7].

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния интенсивности облучения на электрофизические свойства и параметры фотоприемников, которые разработаны на основе алмазных поликристаллических пленок (АПП) с планарной металл-диэлектрик – металл (МДМ) структурой.

1. Методика эксперимента

Образцы фотодетектора были получены на нелегированной поликристаллической алмазной пленке (АПП), выращенной на кремниевой подложке. Исходная пленка с подложкой приклеивалась к пластине из оргстекла с помощью клея на основе дихлорэтана. Для устранения влияния подложки (как блокирующего контакта на границе раздела) на физические свойства АПП алмазную пленку отделили от подложки. Для этого кремниевая подложка растворялась в смеси кислот $HF : HNO_3$. В результате были получены образцы пленок с гладкой поверхностью со стороны подложки. Электрические контакты между алмазной пленкой и предварительно вваренными в пластину изолятора металлическими токовводами формировались перемычками из аквадага.

Для успешного применения устройств на алмазных пленках основным требованием является разработка соответствующих омических контактов, которые не создают дополнительных барьеров на границе раздела. Омический контакт к алмазу может быть создан материалами с работой выхода $\sim 4,5$ эВ. Используемый нами поликристаллический углерод (аквадаг) соответствует данным требованиям. Конструкция МДМ фотодетектора с планарной структурой расположения контактов приведена на рис. 1.

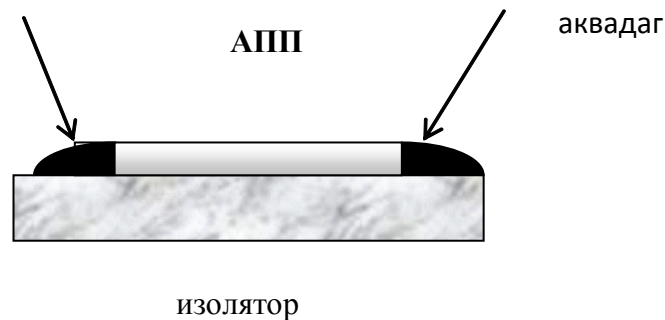


Рисунок 1 — Конструкция фотодетектора.

Готовый к исследованию образец помещался в специальную камеру, содержащую окна для ввода монохроматического излучения. Камера изготовлена так, что образец и элементы электронных измерительных систем защищались от воздействия внешних постоянных и переменных электромагнитных полей, и в том числе, от внешнего рассеянного света. Импульсное монохроматическое излучение в интервале от 400 до 2 000 нм фокусировалось кварцевой линзой на поверхности образца, площадью 4,5 мм². В качестве источника излучения использовались лампы с вольфрамовой нитью накаливания с мощностью 400 Вт со сплошным спектром излучения.

2. Полученные результаты и обсуждение

Процесс протекания тока в широкозонных полупроводниках чаще всего имеет сложную динамику зависимости от напряжения, которая проявляется в том, что в различных интервалах напряженности электрических полей ток нелинейно изменяется с изменением приложенного внешнего поля. Механизмы проводимости АПП нами исследовались при различных внешних условиях [8]. Определено, что электрические свойства пленок характеризуются учетом не только объемной, а также поверхностной составляющей проводимости, причем последняя, как минимум, на порядок больше. Проблема учета барьерного механизма электропроводности через границы зерен АПП рассмотрена в работе [9], где выяснено, что для понижения вклада межкристаллитных барьеров необходимо использование высокого напряжения между контактами и применения импульсного монохроматического облучения. Воль-амперные характеристики АПП, полученные под воздействием модулированного облучения в интервале полей до 5,5 кВ/см, обеспечивали линейную зависимость тока от напряжения.

Под воздействием монохроматического модулированного облучения на поверхности пленки появляются неравновесные носители заряда, что приводило к увеличению электропроводности образца фотодетектора на основе АПП. Полученная спектральная зависимость фототока АПП в видимом и ближнем ИК диапазонах, показанная на рис. 2, имеет сложный вид и чувствительна к таким внешним воздействиям, как температура источника, интенсивность падающего излучения, напряженность электрического поля и т. д.

Интенсивность излучения регулировалась изменением температуры нити накала источника и измерялась стандартным люксметром Ю-116 (интенсивность в среднем увеличилась в 2,5 раза). При увеличении интенсивности света максимум фототока смещается в сторону более коротких длин волн.

Проведенный анализ формы спектра фототока АПП в видимой и ближней ИК области показывает, что её вид обусловлен двумя основными факторами: зонной структурой самого материала и характеристиками источника излучения.

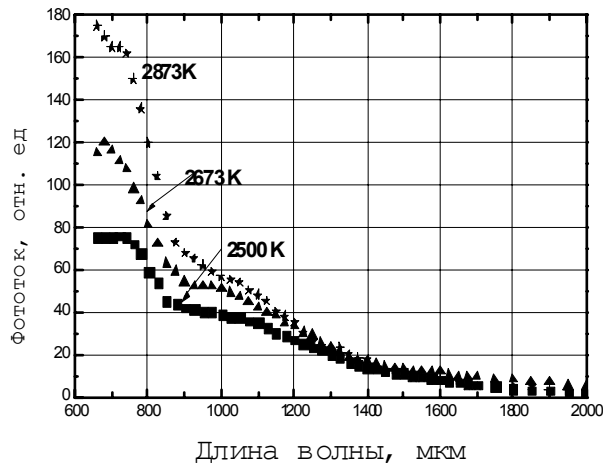


Рисунок 2 — Спектральная зависимость фототока АПП при различных интенсивностях облучения.

Анализируя спектральные характеристики алмазной пленки, с точки зрения учета параметров источника облучения, можно рассматривать квантовую эффективность фототока как функцию энергии потока фотонов, спектральная зависимость которой приведена на рис. 3. Под величиной квантовой эффективности следует понимать отношение общего числа носителей, собранных на контактах, к общему числу фотонов, попадающих на площадку поверхности образца между электродами.

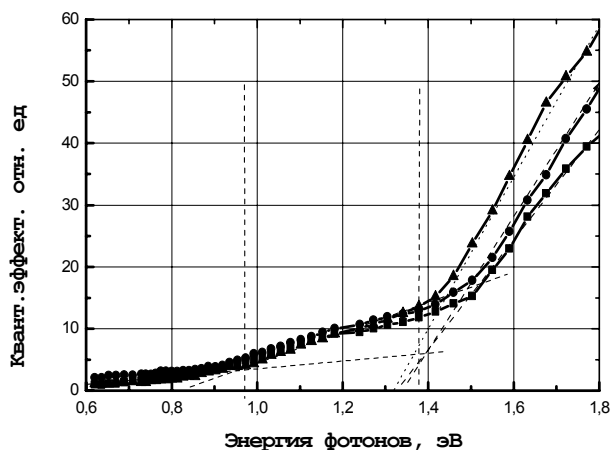


Рисунок 3 — Спектральная зависимость квантовой эффективности.

Видно, что полученный график содержит три прямолинейных участка. Их проявление можно объяснить различными механизмами генерации носителей под действием света. Это, вероятно, и связано с генерациями неравновесных носителей двух типов с квадратичной и линейной рекомбинацией [10]. Причем области генерации в АПП пространственно распределены случайно. Первый механизм с квадратичной рекомбинацией носителей проявляется в длинноволновой части спектра (0,6–0,9 эВ), второй обнаруживается при воздействии квантов с энергиями до 1,4 эВ, а третий действует при энергиях квантов (1,4–2,0 эВ). Начиная с энергии фотонов 1,4 эВ в фотодетекторе из АПП в коротковолновой области спектра действуют два параллельных канала генерации неравновесной проводимости с квадратичной и линейной рекомбинацией носителей.

Пороги генерации $E_1 = 0,6$ эВ и $E_2 = 1,4$ эВ известны и совпадают с установленными в [6] существованием участков релаксированной поверхности (111) 1×1 $E_1 = 0,6$ эВ и реконструированной поверхности (111) 2×1 $E_2 = 1,4$ эВ.

Известно, что изменение свойств поверхности пленки возможно применением метода гидрогенизации. При этом изменятся спектральные характеристики фотодетектора на основе АПП. Такое предположение совпадает с обозрением [11] инактивации уровней 0,6 и 1,4 эВ, после гидрогенизации алмазной пленки при 870 К. Обработанные таким образом алмазные поликристаллические пленки

были предложены авторами для использования мониторинга солнечного излучения. Выявленная пороговая энергия 0,9 эВ, на которую не влияют ни отжиг, ни гидрогенизация связывается с вкладом объема материала пленок.

Обнаруженные особенности в спектрах фотоотклика кроме этого связаны с параметрами источника излучения. На рис. 4. показано изменение положения выявленных максимумов фототока для источников излучения с несколькими яркостными температурами. Причем длинноволновый максимум проявляет большую чувствительность к спектральному распределению потока фотонов. Из полученных экспериментальных результатов определено, что положение максимума фототока, связанного с порогом 0,6 эВ, изменяется на 5 К/нм, а с порогом 1,4 эВ — 15 К/нм.

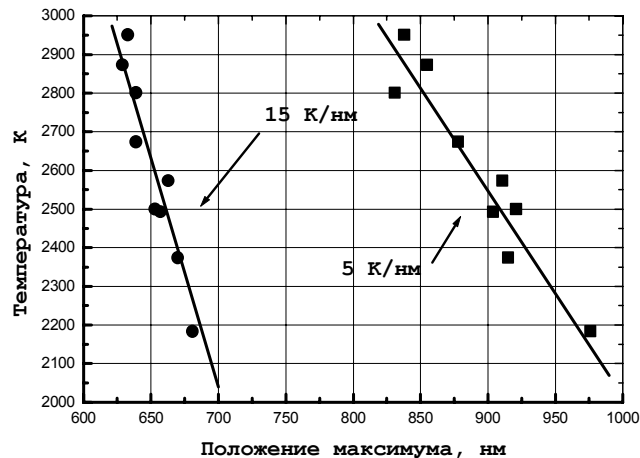


Рисунок 4 — Связь температуры источника излучения с положением максимумов фототока алмазной пленки.

На эффекте смещения максимума фототока может быть изготовлен широкозонный пирометр, чувствительным элементом которого является АПП с планарной МПМ структурой. Такой детектор может регистрировать тепловое излучение в широком оптическом диапазоне (от 0,5 до 3,0 эВ). Излучение, падающее на алмазный фотоприемник, преобразуется в электрический сигнал, который может быть обработан микропроцессором по заданной программе.

Преимущества таких фотоприемников состоят в том, что они могут работать в широком спектральном диапазоне без применения каких-либо фильтров или сеток для понижения плотности потока излучения, падающего на поверхность, в условиях агрессивной среды и без влияния человеческого фактора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Carruthers G. R. The FP-675 far ultraviolet-cameras experiment: observation of the far-UV space environment SPIE / G. R. Carruthers, J. S. Morril, B. C. Dohne and Cristencen // Conf.1794.Ultraviolet Technology IV, July, 1992.
2. Meier R. Ultraviolet spectroscopy and remote sensing of the upper atmosphere / R. Meier // Space Sci. Rev., 58. – 1991. – P. 1.
3. Спицын Б. В. Кристаллизация алмаза методом химической транспортной реакции / Спицын Б. В. // Техника средств связи : Труды 1 международного семинара по алмазным пленкам (30 июня–6 июля 1991), вып. 4. – М., 1991. – С. 4–17.
4. Плесков Ю. В. Синтетический алмаз в электрохимии / Плесков Ю. В. // Успехи химии. – 1999. – Т. 68, № 5. – С. 416–427.
5. Влияние состава ростовой фазы на электрические свойства алмазных пленок / Соколова Г. А., Буйлов Л. Л., Темерецкая И. Г., Лазарева И. О. // Техника средств связи : Труды 1 Международного семинара по алмазным пленкам (30 июня – 6 июля 1991 г.), вып. 4. – М., 1991. – С. 144–147.
6. Бехштедт Ф. Поверхности и границы раздела полупроводников / Бехштедт Ф., Эндерлайн Р. – М. : Мир, 1990. – 475 с.
7. Collins A. T. High-temperature annealing of electron-irradiated type-I diamond/ Collins A. T. // In: Defects and Radiation Effects in Semiconductors: The Institute of Physics Bristol and London, Ser. № 46, – 1979. – P. 327–333.

8. Токий В. В. Аномальная нелинейность ИК- фотопроводимости алмазной поликристаллической пленки / Токий В. В., Тимченко В. И., Сорока В. А. // ФТТ. – 2003. – Т. 45, вып. 4. – С. 600–603.
9. Тимченко В. И. Вклад поверхностных состояний в электроперенос алмазной поликристаллической пленки / Тимченко В. И., Сорока В. А. // Сборник докладов Второй международной периодической научно-практической конференции «Спецпроект – анализ научных исследований». – Днепропетровск, 2005. – С. 66–71.
10. Токий В. В. Аномальна нелінійна фотогенерація носіїв на поверхні алмазу / Токий В. В., Тимченко В. И., Сорока В. О. // Український фізичний журнал. – 2002. – Т. 47, №1. – С. 73–75.
11. Pate V. B. The Diamond Surface Atomic and Electronic Structure / Pate V. B. // Surf. Sci. – 1986. – V. 165. – P. 83–142.

Получено 06.12.2010

В. І. ТИМЧЕНКО, В. П. СОРОКА
ШИРОКОЗОННИЙ ФОТОДЕТЕКТОР НА ОСНОВІ АЛМАЗНОЇ ПЛІВКИ
 Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У даній роботі проаналізована оптична властивість алмазної полікристалічної плівки (АПП) щодо застосування її як фотодетектора у широкому спектральному діапазоні. Розроблені контакти, які не на границі розподілу не утворюють додаткових енергетичних бар'єрів. Отримана спектральна залежність фотопровідності АПП у діапазоні довжин хвиль від 400 до 2 000 нм. З'ясовано, що електричні властивості плівок складаються з об'ємної та поверхневої складової провідності, причому остання, як мінімум, на порядок є більшою. Виявлено, що для зниження вкладу міжкристалітних бар'єрів необхідно застосування високої напруги між контактами та використання імпульсного монохроматичного випромінювання. Виявлено діапазони генерації носіїв з квадратичною та лінійною рекомбінацією, які пов'язані з наявністю релаксованої поверхні $(111) 1 \times 1 E_1 = 0,6$ эВ і реконструйованої поверхні $(111) 2 \times 1 E_2 = 1,4$ эВ. На підставі аналізу спектральної залежності фотовідгуку алмазної полікристалічної плівки (АПП) встановлено зв'язок зміщення максимумів з температурою джерела випромінювання. Пропонується використання АПП для моніторингу випромінювання у широкому спектральному діапазоні.

алмазна полікристалічна плівка, фотодетектор, квантова ефективність, фотовідгук

V. I. TIMCHENKO, V. A. SOROKA
WIDE BAND PHOTODETECTOR ON DIAMOND FILM BASE
 Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The analysis of the optical properties of a diamond polycrystalline film (DPF) for the application as a photodetector in a wide spectral range has been shown in the paper. The contacts not producing additional energy barriers on the interface boundary have been developed. The spectrum of DPF photoconduction in the range of wave-lengths from 400 to 2 000 nm has been obtained. The electrical properties of the films have been determined to be characterized by means of not only with the solid component of conductance but also with the surface one, besides the latter, at the minimum, is by an order of the magnitude greater. It has been found that the high voltage application between the contacts and the pulse monochromatic irradiation use need to decrease the contribution of crystalline barriers. The range of values of generation of carriers with the square-law and linear recombination connected directly with the presence of relaxed surface sections $(111) 1 \times 1 E_1 = 0,6$ eV and refurbished surface $(111) 2 \times 1 E_2 = 1,4$ eV have been determined. On the basis of the spectrum analysis of the diamond polycrystalline film (DPF) photoconductive response, shift connection of peaks with the radiation source temperature has been determined. The application of DPF for radiation monitoring in wide spectrum range has been offered.

diamond polycrystalline film, photodetector, quantum efficiency, photoconductive response

Тимченко Володимир Іванович — канд. фіз.-мат. наук, доцент, завідувач кафедри електротехніки та автоматики Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізика широкозонних матеріалів, оптоелектроніка

Сорока Валентина Панасівна — канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри фізики та фізичного матеріалознавства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізика широкозонних матеріалів, оптоелектроніка.

Тимченко Владимир Иванович — канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники и автоматики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физика широкозонных материалов, оптоэлектроника.

Сорока Валентина Афанасьевна — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики и физического материаловедения Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: физика широкозонных материалов, оптоэлектроника.

Vladimir I. Timchenko – a Ph. D. (Physics and Mathematics), an Assistant Professor and the Chair of the Electrical Engineering and Automatics Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: physics of the wide band materials, optoelectronics.

Valentina A. Soroka – a Ph. D. (Physics and Mathematics), an Assistant Professor of the Physics and Physical Materials Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: physics of the wide band materials, optoelectronics.

УДК 622.333.17:691

Э. Б. ХОБОТОВА, М. И. УХАНЁВА

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Определен минералогический и оксидный состав цементного клинкера с использованием отходов угледобычи. Изучены морфологические особенности поверхности клинкерных частиц. Установлено образование основных минералов цементного клинкера в исследованных образцах. Показаны высокие гидравлические свойства цементного клинкера по системе модулей.

отходы угледобычи, цементный клинкер, минералы, гидравлическая активность

Постановка проблемы. По степени воздействия на биосферу угольная промышленность лидирует среди других отраслей. Утилизация отходов угледобычи как наиболее крупнотоннажных – важная экологическая и экономическая задача. В тоже время использование ресурсного потенциала отходов угольного производства не превышает 7 %. Близость минералогического состава отвальных угольных пород неорганическим строительным материалам позволяет рассматривать терриконы как техногенные залежи полезных ископаемых [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Порода от проведения горных выработок угольных шахт может быть использована в производстве керамики, при строительстве дорог, как заполнители бетона, в производстве вяжущих материалов в качестве корректирующих и активных добавок и т. д. Перспективным направлением промышленного использования отходов угледобычи является производство вяжущих материалов. Актуальность этой проблемы определяется недостатком кондиционного сырья для производства неорганических вяжущих материалов в Украине [1–3].

Отходы угледобычи характеризуются оксидным и минералогическим составом, близким составу глин, что позволяет рассматривать их как замену глинистому компоненту цементного клинкера [4, 5]. Поэтому **целью работы** являлось определение химического и минералогического состава портландцементного клинкера, полученного с использованием отходов угледобычи, и обоснование целесообразности использования данных отходов в цементной промышленности.

Изложение основного материала. Правильный расчёт сырьевой смеси является одним из важнейших условий, обеспечивающих нормальное протекание и полное завершение процессов клинкерообразования при обжиге, а также получение клинкера заданного минералогического состава. Расчёт состава сырьевой смеси проводился согласно рекомендациям [6] по результатам анализа химических составов сырьевых материалов (известняка, отвальной породы, песка, огарков) и заданным характеристикам прогнозируемого состава клинкера (коэффициенту насыщения $KH = 0,91$; силикатному модулю $M_c = 2,5$; глинозёмному модулю $M_{гз} = 1,3$). Состав № 1 сырьевой смеси цементного клинкера рассчитывался на основании отходов угледобычи шахты «Хмельницкая» Луганской обл., а состав № 2 – шахты им. Свердлова Луганской обл. Количественные соотношения исходных сырьевых компонентов и расчётный химический состав портландцементного клинкера приведены в табл. 1.

Спекание отпрессованных из сырьевых смесей образцов проводилось в криптоловой печи при следующих условиях: образец с отходами шахты «Хмельницкая» подвергался спеканию при 1460 °С, после начала плавления проведено быстрое охлаждение; образец с отходами шахты им. Свердлова – спекание при 1400 °С в течение 2 ч., быстрое охлаждение.

Таблица 1 – Состав сырьевой смеси и расчётный химический состав клинкера с использованием отходов угледобычи

Наименование компонента	Содержание компонента, %	
	Состав № 1	Состав № 2
Известняк	77,58	80,25
Отходы угледобычи	10,17	5,78
Песок	9,16	10,36
Огарки	3,09	3,61
Расчётный химический состав клинкера		
SiO ₂	21,70	21,67
Al ₂ O ₃	4,91	4,90
Fe ₂ O ₃	3,77	3,77
CaO	64,72	64,61
MgO	0,17	0,17

Оксидный состав образующегося после спекания цементного клинкера рассчитан на основании элементного состава, определенного методом электронно-зондового микроанализа (EPMA) на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390 LV с системой рентгеновского микроанализа INCA.

Содержание главных оксидов клинкера, участвующих в последующем минералообразовании, в обоих образцах приблизительно одинаково (табл. 2). В образце клинкера с отходами угледобычи шахты им. Свердлова отсутствует сера, что является благоприятным фактором с позиций дальнейшего твердения и устойчивости бетона. При сравнении расчётного оксидного состава клинкера и результатов рентгеновского микроанализа полученных при спекании образцов отмечено, что последние характеризуются более низким содержанием SiO₂ и Al₂O₃ (до 1,2 раза) и повышенным содержанием CaO, Fe₂O₃ (1,3–1,8 раза) и MgO (11,4–14,8 раза).

Таблица 2 – Результаты рентгеновского микроанализа образцов цементного клинкера с использованием отходов угледобычи

Цементный клинкер с отходами угледобычи шахты «Хмельницкая»				Цементный клинкер с отходами угледобычи шахты им. Свердлова			
Элемент	Массовая доля элемента, %	Оксид	Массовая доля оксида, %	Элемент	Массовая доля элемента, %	Оксид	Массовая доля оксида, %
Ca	48,505	CaO	67,869	Ca	49,603	CaO	69,404
Si	8,248	SiO ₂	17,644	Si	8,273	SiO ₂	17,698
Al	2,329	Al ₂ O ₃	4,401	Al	2,138	Al ₂ O ₃	4,04
Mg	1,163	MgO	1,929	Mg	1,520	MgO	2,521
Fe	4,651	Fe ₂ O ₃	6,650	Fe	3,503	Fe ₂ O ₃	5,009
Cr	0,323	Cr ₂ O ₃	0,472	Cr	0,375	Cr ₂ O ₃	0,548
Ti	0,370	TiO ₂	0,618	Ti	0,468	TiO ₂	0,78
S	0,167	SO ₃	0,418	O	34,120		
O	34,243						
Всего	100,0		100,0		100,0		100,0

Оксидный состав образцов цементного клинкера даёт возможность охарактеризовать их с позиций использования в производстве вяжущих материалов. В табл. 3 представлены результаты расчётов отдельных модулей как количественных показателей оксидного состава: модуля основности M_o , силикатного M_c , гидравлического $M_{гидр.}$, глинисто-железистого $M_{г.ж.}$, глинозёмного $M_{гл.}$, а также коэффициента качества КК и коэффициента насыщения КН, рассчитанного различными методами. Согласно расчётным данным, образцы клинкера являются основными ($M_o > 1$). Значения $M_{гл.}$ ниже указанного оптимального интервала для материалов производства портландцемента. Однако другие количественные показатели соответствуют показателям материалов производства вяжущих. А именно: коэффициент качества КК соответствует активной группе материалов ($КК > 1,6$). Величина силикатного модуля M_c практически укладывается в интервал значений для портландцементного клинкера.

Образцы цементного клинкера с отходами угледобычи характеризуются высокими гидравлическими свойствами. Гидравлический модуль $M_{\text{гидр.}}$ достаточно высокий для обоих образцов. Рассчитаны высокие значения КН без учёта поправок на количество СаО, связанное с серным ангидридом SO_3 , и на содержание свободной извести и кремнекислоты, что может быть установлено лишь в процессе производства. Также высоки значения КН по Ли-Паркеру и Кинду-Джангу.

Таблица 3 — Оценка цементного клинкера с отходами угледобычи согласно модульной классификации

Модуль	Значение модулей для клинкера с отходами угледобычи шахт	
	«Хмельницкая»	им. Свердлова
$M_0 = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ [7]	2,43	2,69
$M_c = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ (1,7-3,5) [8]	1,59	1,96
$M_{\text{гидр.}} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ (1,7-2,4) [8]	2,37	2,59
$M_{\text{г.ж.}} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}$ (> 0,49) [9]	0,63	0,51
$\text{КК} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{MnO}}$ [9]	4,21	4,29
$M_{\text{гл}} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ (1,5-2,5) [8]	0,66	0,81
$\text{КН} = \frac{\text{CaO} - (1,65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3)}{2,8\text{SiO}_2}$ (0,85-0,95) [6]	1,18	1,23
$\text{КН} = \frac{\text{КН по Ли-Паркеру}}{100\text{CaO}}$ (85-100) [8] $\frac{2,8\text{SiO}_2 + 1,18\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65\text{Fe}_2\text{O}_3}{100\text{CaO}}$	115,2	120,5
$\text{КН} = \frac{\text{КН по Кинду-Джангу (0,92-0,95) [8]}}{2,8\text{SiO}_2}$ $\frac{\text{CaO} - (1,65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SiO}_2)}{2,8\text{SiO}_2}$	0,93	0,98

Примечание: В скобках указаны оптимальные значения модулей для оксидного состава портландцементного клинкера.

Однако заданные характеристики прогнозируемых составов клинкеров (значения КН, M_c , $M_{\text{гл}}$) не совпадают со значениями, полученными при расчёте по данным рентгеновского микроанализа. Отмечено некоторое повышение КН и значительное снижение M_c и $M_{\text{гл}}$ по сравнению с заданными значениями, что может быть связано с влиянием золы, образующейся при сгорании углистых веществ отходов угледобычи.

Важной характеристикой клинкера является его минералогический состав, определённый методом рентгенофазового анализа. Рентгенофазовый анализ образцов цементного клинкера выполнен на порошковом дифрактометре Siemens D500 в медном излучении с графитовым монохроматором [10]. Поиск фаз выполнен по картотеке PDF-1 [11]. Найдены следующие фазы минералов в образце клинкера с отходами шахты «Хмельницкая» – $54\text{CaO} \cdot 16\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$, Ca_2SiO_4 ларнит, $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$ браунмиллерит, Ca_3SiO_5 , $\text{Ca}_{14}\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)_8$ бредигит, $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Al,Si})_2\text{O}_7$ геленит, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$; в образце клинкера с отходами шахты им. Свердлова – $54\text{CaO} \cdot 16\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$, $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$, $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_2\text{O}_5$, Ca_3SiO_5 ,

Al_2O_3 , $\text{CaAl}_2(\text{Si}_2\text{Al}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ маргарит, Ca_2SiO_4 . Фазы указаны в порядке уменьшения их содержания, то есть основной фазой в обоих образцах является оксид-силикат кальция-магния-алюминия $54\text{CaO} \cdot 16\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$.

Для технологии вяжущих веществ в образцах цементного клинкера важными являются несколько минералов, представляющих основу портландцементного клинкера. Минералы ларнит и бредигит являются β - и α' -формами двухкальциевого силиката. Они входят в состав белита, который при обычных температурах находится в термодинамически неустойчивом состоянии, что объясняет его гидравлическую активность [12]. Получению метастабильных высокотемпературных модификаций C_2S способствовало быстрое охлаждение клинкера и использование шлаковых сырьевых материалов. В случае чистого сырья минералы β - и α' -форм при охлаждении расширяются с образованием более устойчивой при низких температурах решетки γ -модификации C_2S [13].

Соединение $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C_3S), образовавшееся в цементном клинкере, является алитом. В более широком понимании алит представляет собой группу твердых растворов в трёхкальциевом силикате. Обнаруженный состав алита $54\text{CaO} \cdot 16\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgO}$ относится к наиболее распространенным. При обычных условиях алит находится в переохлажденном состоянии и обладает высокой гидравлической активностью, увеличивающейся с ростом количества дефектов структуры, возникающих вследствие наличия примесей в материале. Подобная ситуация наблюдается при использовании отходов производства.

Браунмиллерит и трехкальциевый алюминат – это минералы портландцементного клинкера, обладающие вяжущими свойствами. Гидравлические свойства не проявляют минералы геленит и маргарит, однако они составляют меньшую массовую часть клинкера.

Микрофотографии поверхности частиц цементного клинкера получены на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390 LV. Спеченные частицы цементного клинкера состоят из обломков разной степени окатанности вплоть до сферических (рис. 1). За короткое время спекания зерна не успели хорошо спечься, в результате конгломераты имеют зернистое строение. Отсутствие плотной стекловидной массы больших размеров будет способствовать облегчению помола клинкера. Основным видом пор – это пустоты сложной формы размером 300–500 мкм, образовавшиеся в результате неплотной укладки частиц в процессе агрегирования и испарения капелек воды (рис. 1а).

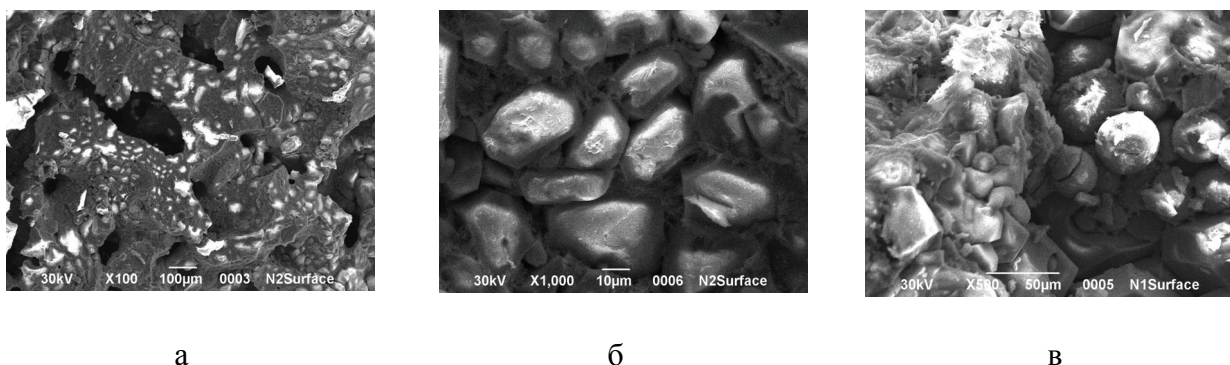


Рисунок 1 – Микрофотографии поверхности частиц цементного клинкера с отходами угледобычи шахт: а, б – им. Свердлова, в – «Хмельницкая» при увеличении а – 100, б – 1 000, в – 5 000.

Агрегирование сыпучей порошкообразной сырьевой смеси определяется многими факторами, среди которых основной является вязкость жидкой фазы. Известно [13], что вязкость жидких клинкерных масс находится в линейной зависимости от глиноземистого модуля $M_{\text{гл}}$ в интервале температур 1 350–1 500 °С. Сырьевые смеси с низким значением $M_{\text{гл}}$, равным 0,64–1,50, характеризуются высокой слипаемостью частиц при низких температурах спекания 1 300 °С, что приводит к образованию крупных зёрен клинкера. Величина силикатного модуля $M_{\text{с}}$ также определяет слипаемость зёрен клинкера, а именно: при $M_{\text{с}}$ равном 1,50–2,09 показатель слипаемости резко возрастает [13], в результате, как недостаток, могут образовываться крупные зёрна клинкера с недостаточно обожженной средней частью. По склонности к агрегированию сырьевые смеси делят на две группы, к первой из которых относятся оба образца цементного клинкера. А именно: при силикатном модуле $M_{\text{с}} < 2$ и

глиноземистом модуле $M_{\text{гл}} < 1,5$ смесь интенсивно агрегируется при 1 300–1 400 °С. В проведенном эксперименте температура не поднималась выше 1 460 °С. Кроме того, независимо от химического состава, слипаемость увеличивается с повышением температуры от 1 300 до 1 500 °С, что связано с увеличением количества расплава.

По форме конгломератов клинкера можно определить преобладающую схему их образования: слипание отдельных гранул за счет появления расплава на их поверхности с последующим уплотнением и увеличением площади поверхности контакта.

Форма сростков кристаллов внутренней части зерен (рис. 1б, в) определяет их принадлежность к определенным минералам. Минерал белит хорошо кристаллизуется при температурах выше 1 500 °С с образованием агрегатов кристаллов призматической и игольчатой формы. На микрофотографиях подобные образования не выявлены. Кристаллы браунмиллерита также имеют призматическую форму. Сростки кристаллов гексагональной формы (рис. 1б) по минералогической природе являются алитом и образуются при длительном пребывании сырьевого материала в зоне высоких температур. Крупнокристаллические структуры обычно появляются при длительном обжиге клинкера [9]. Вместе с тем быстрое охлаждение зерен клинкера также вызвало правильную кристаллизацию минералов.

Еще одним фактором, способствующим правильной кристаллизации алита, является количество расплава, оцениваемое по величине $M_{\text{гл}}$. Уменьшение величины $M_{\text{гл}}$ с 1,28 до 0,32–0,64 [9] приводит к появлению в спеках достаточно правильных гексагональных кристаллов. В рассматриваемых случаях $M_{\text{гл}} \leq 0,81$. Присутствие железистой жидкой фазы приводит к формированию кристаллических разрезов алита округлой формы (рис. 1в).

Углистые частицы отходов угледобычи изначально равномерно распределены в сырьевом материале. В подобных условиях кристаллизация минералов клинкера существенно не меняется [9].

Выводы. Исходя из экспериментальных данных по химическому элементному, оксидному и минералогическому составу цементного клинкера с использованием отходов угледобычи и по совокупности количественных модульных показателей материалов, отходы угледобычи шахт «Хмельницкая» и им. Свердлова можно рекомендовать в производстве портландцементного клинкера вместо глинистого компонента. Перспективой дальнейших исследований в данном направлении является изготовление стандартных образцов из цемента на основе клинкера с использованием отходов угледобычи и их механические испытания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майдуков Г. Л. Эколого-экономический анализ твёрдых отходов угольных предприятий / Г. Л. Майдуков, Б. И. Кислов, М. Е. Григорюк // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 1. – С. 42–48.
2. Парфенюк А. С. Альтернативное решение проблемы твёрдых отходов в Украине / А. С. Парфенюк, С. И. Антонюк, А. А. Топоров // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 4. – С. 36–41.
3. Перспективные направления утилизации отходов добычи и сжигания углей / Буравчук Н. И., Гурьянова О. В., Окорочков Е. П., Павлова Л. Н. // Сотрудничество для решения проблемы отходов. – Х., 2008. – С. 86–88.
4. Уханёва М. И. Химическая оценка отходов угледобычи / М. И. Уханёва, Э. Б. Хоботова // Вісник Харківського національного університету. Серія «Хімія». – 2010. – № 895. – Вип. 18 (41). – С. 260–268.
5. Уханева М. И. Изучение возможности применения отходов угледобычи в производстве строительных материалов / М. И. Уханёва, Э. Б. Хоботова // Проблеми екології. – 2009. – № 1–2. – С. 20–27.
6. Справочник по производству цемента / под ред. И. И. Холина. – М. : Госстройиздат, 1963. – 851 с.
7. Перепилицын В. А. Основы технической минералогии и петрографии / В. А. Перепилицын. – М. : Недра, 1987. – 255 с.
8. Кужварт М. Неметаллические полезные ископаемые / М. Кужварт. – М. : Мир, 1986. – 427 с.
9. Будников П. П. Гранулированные доменные шлаки и шлаковые цементы / П. П. Будников, И. Л. Значко-Яворский. – М. : Госстройиздат, 1953. – 223 с.
10. Бокий Г. Б. Рентгеноструктурный анализ. Т.1. / Г. Б. Бокий, М. А. Порай-Кошиц. – М. : Изд-во МГУ, 1964. – 624 с.
11. JCPDS PDF-1 File // International Committee for Diffraction Data. PA, USA. – 1994.
12. Физическая химия силикатов / [А. А. Пашенко, А. А. Мясников, Е. А. Мясникова и др.]; под ред. А. А. Пашенко. – М. : Высш. шк., 1986. – 368 с.
13. Бутт Ю. М. Портландцементный клинкер / Ю. М. Бутт, В. В. Тимашев. – М. : Стройиздат, 1967. – 303 с.

Получено 11.01.2011

Е. Б. ХОБОТОВА, М. І. УХАНЬОВА

УТИЛІЗАЦІЯ ВІДХОДІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ В ЯКОСТІ СИРОВИНИ
ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Визначено мінералогічний і оксидний склад цементного клінкера з використанням відходів вуглеводобутку. Вивчено морфологічні особливості поверхні клінкерних частинок. Встановлено утворення основних мінералів цементного клінкера в досліджених зразках. Показано високі гідравлічні властивості цементного клінкера за системою модулів.

відходи вуглеводобутку, цементний клінкер, мінерали, гідравлічна активність

E. B. KHOBOTOVA, M. I. UKHANYOVA

MINING WASTE UTILIZATION AS RAW MATERIALS FOR CEMENT
PRODUCTION

Kharkiv National Automobile and Highway University

The mineralogical and oxide composition of cement clinker with mining waste application has been determined. The morphological peculiarities of the surface of the cement clinker particles have been studied. The formation of the principle minerals of the cement clinker in the investigated samples has been established. The excellent hydraulic characteristics of the cement clinker by the modular system have been revealed.

mining waste, cement clinker, minerals, hydraulic activity

Хоботова Єліна Борисівна – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: дослідження властивостей компонентів техногенно зміненого радіаційного фону, дослідження закономірностей розчинення міді та її сплавів у розчинах різного складу, розробка маловідходних технологій.

Уханьова Марина Іванівна – аспірант кафедри хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: дослідження радіаційно-хімічних характеристик компонентів техногенно зміненого радіаційного фону і розробка способів їх утилізації в якості технологічних матеріалів.

Хоботова Элина Борисовна – доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой химии Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: исследование свойств компонентов техногенно изменённого радиационного фона, исследование закономерностей растворения меди и её сплавов в растворах разного состава, разработка малоотходных технологий.

Уханёва Марина Ивановна – аспирант кафедры химии Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: исследование радиационно-химических характеристик компонентов техногенно изменённого радиационного фона и разработка способов их утилизации в качестве технологических материалов.

Elina B. Khabotova – a D. Sc. (Chemistry), a Professor, the Chair of the Chemistry Department of the Kharkiv National Automobile and Highway University. Research interests: investigations of the processed radiation background components, investigations of mechanisms of copper and its alloys dissolution in solutions of various compositions, the development of low-waste process and techniques.

Marina I. Ukhanyova – a postgraduate of the Chemistry Department of the Kharkiv National Automobile and Highway University. Research interests: investigations of radiation and chemical characteristics of the processed radiation background components and the development of the methods of its utilization as manufacturing materials.

УДК 666.92:517.9

В. А. ВОЗНЕСЕНСКИЙ, В. П. ГАВРИЛЮК, Т. В. ЛЯШЕНКО
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ГАЗОСИЛИКАТ С КОМПРОМИССНЫМИ УРОВНЯМИ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ, ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ЭНЕРГОЕМКОСТИ ТВЕРДЕНИЯ

Анализируются результаты вычислительных экспериментов, полученные при итерационном случайном сканировании многофакторных полей свойств газосиликатов в 12 «нормативных блоках» (четыре марки по плотности $D = 500-800$, три класса B по прочности на сжатие). Для каждого блока $\{D, B\}$ определены компромиссно оптимальные уровни трех критериев качества (предела прочности и деформативности при изгибе, коэффициента теплопроводности) и двух показателей энергоемкости автоклавного твердения. В каждом блоке определены значения 9 рецептурно-технологических факторов, обеспечивающие компромиссно оптимальные решения. Для анализа переходов между блоками нормативов использован обобщающий показатель – предел прочности на сжатие $R_c\{D, B\}$ при компромиссно оптимальных в данном блоке уровнях критериев качества. Непрерывными функциями этого показателя удалось описать (с известными рисками) изменения компромиссных значений критериев и факторов во всем диапазоне нормативов $\{D, B\}$. Уровни факторов представляют систему, корреляционные связи в которой позволяют обеспечить их взаимную компенсацию для сохранения компромисса между критериями оптимальности при изменении $R_c\{D, B\}$.

газосиликат, физико-механические свойства, нормативы, рецептурно-технологические факторы, система компромиссных уровней

Введение.

Информация, полученная в комплексном опытно-промышленном исследовании влияния девяти рецептурно-технологических (РТ) факторов на структуру и свойства газосиликата в 80-ых годах совместно кафедрой ПАТСМ ОИСИ и НИПИСилякотобетон МПСМ СССР [1], позволяет поставить и решить ряд нетривиальных задач методами компьютерного строительного материаловедения. В частности, модернизированным методом итерационного случайного сканирования многофакторных РТ-полей свойств проведен поиск РТ-решений, компромиссно оптимальных по критериям качества газосиликата и энергоемкости автоклавного твердения [2, 3].

Цель заключительного этапа исследований – проанализировать влияние нормативных ограничений по плотности газосиликата γ , кг/м³ (по марке D), и прочности на сжатие R_c , МПа (по классу B), на компромиссные уровни критериев оптимальности (предела прочности R_b , МПа, и деформативности ε , мм/м, при изгибе, коэффициента теплопроводности λ , мВт/К·м, энергоемкости) и на комплекс РТ-факторов, обеспечивающих эти условия.

Используются полученные на основе оптимально спланированного эксперимента квадратичные ЭС-модели с 55 эффектами 9 факторов. Это растекаемость растворной смеси, $X_1 = 27 \pm 4$ (см), влажность песка при помоле с известью, $X_2 = 5 \pm 3\%$; удельная поверхность песка, $X_3 = 250 \pm 100$ (м²/кг); изотермическая выдержка в автоклаве, $X_4 = 8 \pm 4$ (час); рабочее давление пара в автоклаве, $X_5 = 1.0 \pm 0.2$ (МПа); расход алюминиевой пудры, $X_6 = 0.07 \pm 0.03\%$ (от массы сухих компонентов); активность смеси, $X_7 = 17 \pm 3\%$; температура воды затворения, $X_8 = 35 \pm 10$ (°C); расход цемента, $X_9 = 10 \pm 10\%$. Построенные на предше-

ствующих этапах [1, 2] многофакторные ЭС-модели пересчитаны: в частности, понижен риск при принятии гипотез о значимости оценок коэффициентов до $\alpha \leq 5\%$, а пределы прочности прологарифмированы для возможности экстраполяции в области пониженной плотности.

Изменения компромиссных оптимумов критериев качества газосиликата при изменении нормативных требований. Комплекс ЭС-моделей (с нормированными $|x_i| \leq 1$) позволял проанализировать свойства газосиликата при каждом из 12 сочетаний требований к плотности γ (4 марки D — 500, 600, 700 и 800) и к пределу прочности на сжатие R_c (для каждой D по 3 класса $B_1 > B_2 > B_3$), с учетом фиксированных в ДСТУ доверительных интервалов. Таким образом в непрерывной двумерной области $\{\gamma, R_c\}$ существования газосиликата образуется 12 прямоугольных подобластей — «нормативных блоков» {D, B}, в каждом из которых находятся свои компромиссно оптимальные решения.

Сравнительный анализ результатов вычислительных экспериментов показал, что наиболее информативной числовой характеристикой — обобщающим показателем для перехода между 12 блоками {D, B} является прочность на сжатие $R_c\{D, B\}$ газосиликата с компромиссно оптимальными для данного нормативного блока уровнями критериев качества (R_b, ε, \dots). Этот логически ясный показатель позволяет описывать изменение компромиссно оптимальных уровней критериев и обеспечивающих их РТ-факторов непрерывными функциями (с известным риском α при проверке гипотез об их достоверности [4]). При $\alpha \leq 0.05\%$ зависимости достоверны, при $\alpha \leq 0.5\%$ практически достоверны, а при $\alpha \approx 0.5\%$ они отражают лишь тенденции связей.

Для каждого {D, B} проводилось по 4 серии вычислительных экспериментов с итерационным случайным сканированием полей R_b, ε и λ . На последнем этапе РТ-координаты x_i определены при решении обратной задачи моделирования [3]. Серия 1 — основная — определение компромиссно оптимальных уровней ($R_b, \varepsilon, \lambda$)_{comp} и обеспечивающих их уровней РТ-факторов (x_1, \dots, x_9)_{comp}. Серии 2—4 — сравнительные — определение индивидуальных оптимумов $R_{b\max}, \lambda_{\min}, \varepsilon_{\max}$ и их РТ-координат.

На рис. 1 показаны изменения оптимумов критериев качества при изменении обобщающего показателя $R_c\{D, B\}$. С его уменьшением снижаются и $R_{b,comp}$ и λ_{comp} . Это достоверно описывается степенными функциями $R_{b,comp} = 0.73(R_c\{D, B\})^{0.638}$ и $\lambda_{comp} = 27.5(R_c\{D, B\})^{0.293}$. Графики не противоречат теории ячеистых структур — темпы роста прочности на растяжение и теплопроводности замедляются с увеличением плотности.

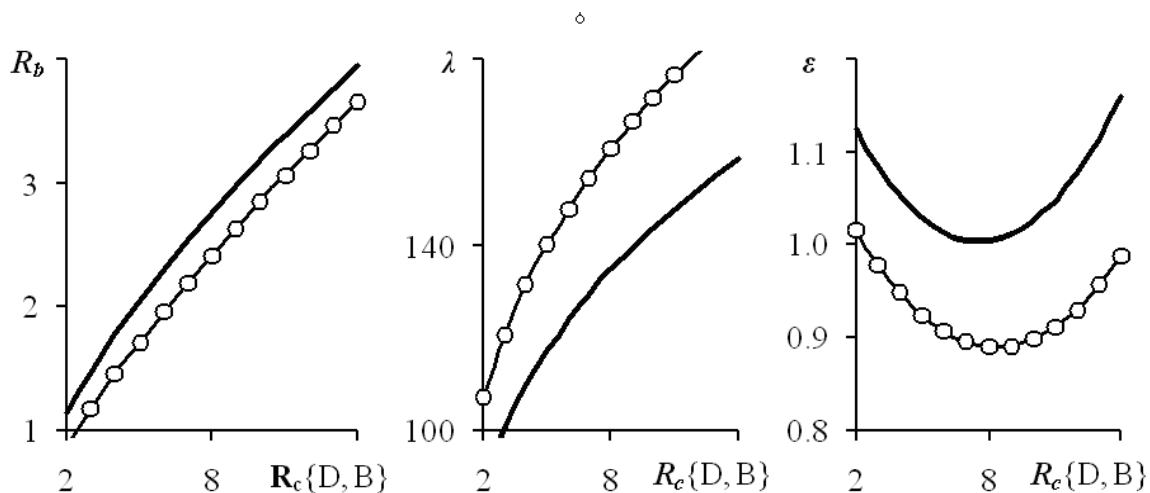


Рисунок 1 — Компромиссные оптимумы критериев качества (—) и их уровни при оптимальном значении другого критерия (○) в зависимости от нормативов.

Если оптимизация проводится индивидуально для этих двух критериев (серии 2 и 4), то подобные кривые располагаются для прочности на изгиб на 4 % выше, а для λ на 4 % ниже компромиссно оптимальных уровней. Такие отклонения позволяют оценить «недобор» при переходе от индивидуальных к компромиссным оптимумам как вполне допустимые.

Однако нередко оптимизация проводится индивидуально для одного критерия, который назначается «базовым». В частности, минимальному коэффициенту теплопроводности соответствуют уровни $x_i\{\lambda_{\min}\}$ и, если их использовать для многокритериальной ситуации, то остальные критерии качества газосиликата могут существенно ухудшиться. Так, показанная на рис. 1 кривая $R_b(x_i\{\lambda_{\min}\})$ проходит ниже компромиссно оптимальной на 9–21 %. Еще больше потери для кривой $\lambda(x_i\{R_{b\max}\})$ – она лежит выше компромиссной на 20–30 %.

Характер кривых λ на рис. 1 объясним, в частности, изменением в блоках {D, B} как общей пористости газосиликата, так и распределения пор по размерам [5].

Верхняя кривая предельной упругой деформации при изгибе (деформативности) на рис. 1 соответствует компромиссно оптимальным РТ-решениям для трех критериев качества, а расположенная ниже на 10–14 % – использованию $x_i\{\lambda_{\min}\}$. Эти параболы отражают лишь тенденции (риск несколько меньше 5 %) изменения ε при смене {D, B}. Но и при таком ограничении их можно признать информативными, поскольку сведения о связи деформативности с γ и R_c (а тем более с комплексом РТ-факторов) весьма ограничены и относятся к отдельным, «точечным» составам.

Кривая $\varepsilon_{\text{comp}}(R_c\{D, B\})$ двуветвевая, отражающая, по-видимому, две конкурирующие тенденции. В правой ее части деформативность увеличивается вместе с ростом плотности и прочности, обусловленных интенсивным формированием уплотненных структур из крупных кристаллов гидросиликатов кальция при повышенной температуре среды в автоклаве. Для газосиликата пониженной плотности и прочности (ниже «нейтрального» диапазона $R_c\{D, B\} = 6\text{--}9$ МПа) обнаруживается вторая тенденция к повышению деформативности. В вычислительных экспериментах $\varepsilon_{\text{comp}}$ газосиликата {500, 1.5} приближается к уровню в блоке {800, 7.5}. Такой феномен может быть связан с тем, что у газосиликатов с пониженными D или B компромисс $R_b, \lambda, \varepsilon$ достигается при уровнях РТ-факторов, формирующих структуру с относительно повышенной вязкостью разрушения.

Влияние нормативных требований на уровни РТ-факторов, обеспечивающие компромиссные оптимумы критериев качества газосиликата. Факторы $(x_1, \dots, x_9)_{\text{comp}}$ изменяются дискретно на 12 уровнях в зависимости от нормативов D и B. Также как и у компромиссных уровней критериев качества их положение в блоках характеризуется обобщающим показателем $R_c\{D, B\}$. Из девяти РТ-факторов достоверные линейные связи с этим показателем и критериями R_b и (или) λ имеют лишь два: количество порообразователя (x_6) и продолжительность изотермической выдержки (x_4).

Однако при компромиссной оптимизации возникает ситуация, принципиально отличная от поиска оптимума по одной многофакторной ЭС-модели, когда каждый фактор можно изменять независимо.

При поиске компромисса методом итерационного случайного сканирования полей нескольких свойств материала на каждом этапе решается обратная задача математического моделирования. Сначала одновременно для всех критериев качества Y активно сокращаются диапазоны допустимых значений $RAV\{Y_j\}$ [2], в которых остается ограниченное число вариантов. Как следствие для этих вариантов становятся известными уровни обеспечивающих их факторов. При этом уровни РТ-факторов оказываются взаимозависимыми случайными величинами. Они представляют систему с внутренними корреляционными связями, обеспечивающими взаимную компенсацию факторов для сохранения компромисса критериев качества при изменении $R_c\{D, B\}$.

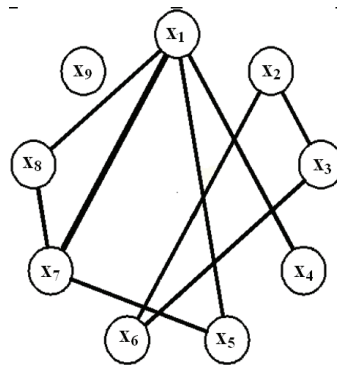


Рисунок 2 – Граф системы компромиссных уровней факторов (толстая линия – риск отсутствия связи $\alpha \leq 0.05\%$, более тонкие – $\alpha \leq 0.5\%$)

Связи в системе уровней $x_{i.comp}$ отражает граф на рис. 2. Показаны только 8 (из 36 возможных) линейных связей, которые можно признать достоверными (риск $\alpha \leq 0.05\%$) и практически достоверными ($\alpha \leq 0.5\%$). Система складывается из трех «слабо связанных» между собой групп: подсистема $x_2 - x_3 - x_6$, подсистема $x_1 - x_4 - x_5 - x_7 - x_8$ и оказавшийся несвязанным фактор x_9 . Как и при анализе влияния нормативов на компромиссные оптимумы R_b , ε и λ , обеспечивающие их значения факторов рассматриваются в зависимости от $R_c\{D, B\}$. При этом нормализованные $-1 \leq x_i \leq +1$ преобразуются в натуральные X_i . Это позволяет логарифмировать факторы, что существенно расширяет веер конкурирующих моделей $X_{i.comp}(R_c\{D, B\})$.

В первой из выделенных подсистем (рис. 3а) приоритетным для структурообразования во всем анализируемом диапазоне $\{D, B\}$, естественно, является содержание алюминиевой пудры X_6 . Изменение компромиссно оптимального уровня этого фактора (рис. 3б) достоверно ($\alpha \leq 0.05\%$) описывается экспоненциальной моделью $X_{6.comp} = 0.036 \cdot \exp(2.89/R_c\{D, B\})$ с коэффициентом детерминации 0.72, то есть почти 3/4 вариации количества порообразователя обусловлено изменением нормативов. Так, переход к газосиликатам с пониженными нормативами D и B требует интенсивного увеличения содержания порообразователя для компромиссного оптимума критериев качества.

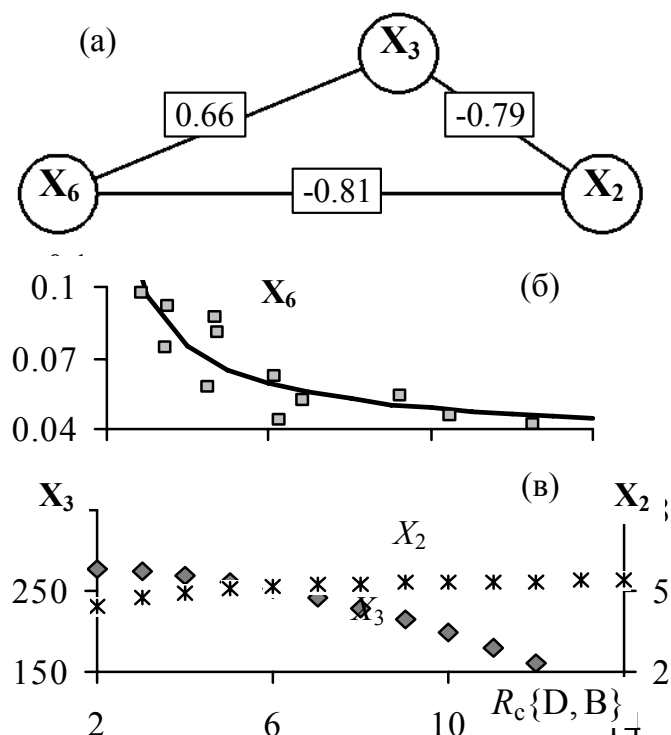


Рисунок 3 – Граф 1-ой подсистемы компромиссных уровней факторов (а) и их изменения (б, в) при изменении нормативных условий.

Кроме этого фактора, достоверно влияющего (как отмечалось выше) на компромиссные уровни R_b и λ , в подсистему входят X_3 и X_2 , влияние которых на критерии качества проявляется через практически достоверные корреляционные связи с X_6 (рис. 3а). Поэтому при увеличении количества порообразователя для сохранения компромисса требуется повышать (в силу значимой положительной корреляции) и тонкость помола песка X_3 . Ее изменение в зависимости от показателя нормативов (рис. 3в) охватывает практически весь исследуемый диапазон этого фактора ($250 \pm 100 \text{ м}^2/\text{кг}$).

В то же время должен изменяться еще один РТ-фактор – влажность песка при помоле с известью X_2 . В зависимости от нормативов эта координата компромисса варьирует в узких пределах (рис. 3в). Однако при увеличении содержания пудры и тонкости помола уровень влажности следует снижать в силу практически достоверной отрицательной корреляции с обоими этими факторами (рис. 3а).

Вторая подсистема уровней факторов, обеспечивающих компромиссные оптимумы в 12 блоках {D, B}, объединяет 5 элементов (рис. 4а). За исключением достоверной связи продолжительности изотермического твердения X_4 (8 ± 4 час) с прочностью R_b эти факторы слабо влияют на критерии качества газосиликата. Особенность X_4 , изменения компромиссного уровня которого показаны на рис. 4б, в том, что именно он в основном определяет энергоемкость автоклавного твердения. Поэтому на заключительной итерации этот фактор использовался как дополнительный критерий оптимальности. Целенаправленная минимизация нормализованного x_4 началась после сокращения диапазонов компромисса критериев R_b , ε и λ ниже 10 % диапазонов их допустимых значений RAV [2] на этом этапе.

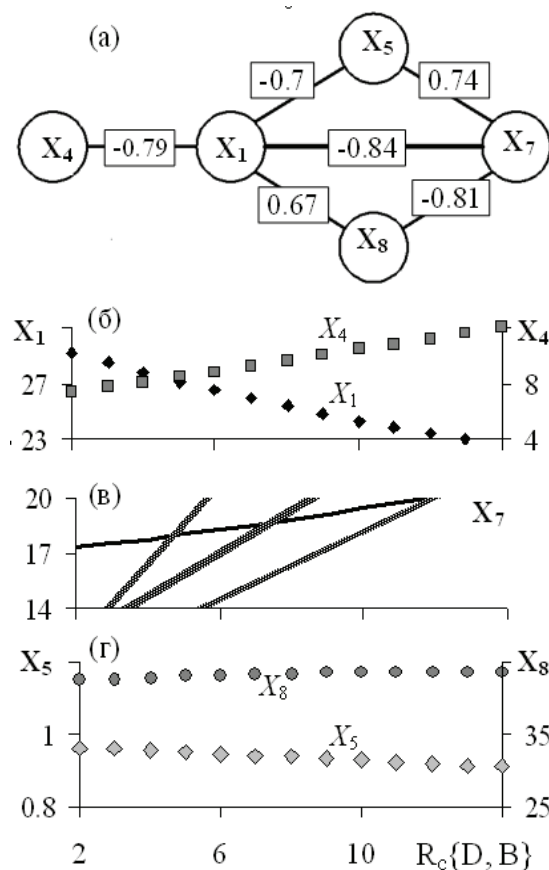


Рисунок 4 – Граф 2-ой подсистемы компромиссных уровней факторов (а) и их изменения (б-г) при изменении нормативных условий.

Сокращение времени изотермической выдержки не меньше разности между средним уровнем $RAV\{x_4\}$ перед минимизацией и конечным компромиссным уровнем $x_{4,comp}$. Это сокращение составляет около 40 мин (в среднем для 12 $\{D, B\}$) при выполнении нормативных требований и компромиссной оптимизации R_b , ε и λ .

Однако минимизация времени твердения должна сопровождаться изменением уровней еще четырех факторов (рис. 4а).

Линейная отрицательная связь между компромиссными уровнями X_4 и X_1 указывает (с риском менее 0.5 %) на необходимость увеличения распыла растворной смеси; параболическая функция (α около 0.5 %) изменения $X_{1,comp}$ показана на рис. 4б. Снижение $R_c\{D, B\}$ сопровождается ростом водосодержания и уменьшением (риск около 5 %) уровней γ , $R_{b,comp}$ и λ_{comp} .

Для остальных трех факторов, X_5 , X_7 и X_8 , линейных связей (значимых при $\alpha \leq 5\%$) с компромиссно оптимальными уровнями критериев качества газосиликата не обнаружено – наблюдаются лишь слабые тенденции.

Активное сокращение времени пребывания газосиликата в автоклаве и увеличение водосодержания смеси влекут ($\alpha < 0.05\%$!) для сохранения компромиссных решений снижение активности смеси X_7 (в интервале 14...20 %), что может способствовать (риск около 5 %) повышению деформативности газосиликата.

Для совокупности 12 нормативных блоков кривая на рис. 4в отражает слабую тенденцию к снижению X_7 с уменьшением $R_c\{D, B\}$. Однако здесь же наблюдается и иная тенденция – внутри каждой дискретной марки D_i активность линейно (без оценки риска) снижается с уменьшением класса по прочности на сжатие $Bi_1 > Bi_2 > Bi_3$. Но при переходе к другой марке D_j происходит скачкообразный практически параллельный сдвиг прямой. Для газосиликата новой марки D_j высший класс B_{j1} вновь получается при верхнем (в пределах эксперимента) уровне активности смеси, а B_{j3} – при нижнем. Эти результаты позволяют отметить, что в условиях компромисса R_b , ε и λ активность смеси мало влияет на марку по плотности D , но определяет класс газосиликата внутри данной марки.

Увеличение водосодержания растворной смеси и уменьшение активности согласовано требуют повышения температуры воды затворения X_8 (в пределах 25...45 °С). График на рис. 4г не позволяет (риск более 20 %) отметить какие-либо тенденции. Однако дополнительный анализ контролируемых технологических параметров доавтоклавного твердения указал на их практически достоверные связи с X_8 . В частности, при увеличении температуры воды затворения удлиняются периоды вспучивания и схватывания [6].

В анализируемую подсистему (рис. 4а) уровней факторов, обеспечивающих компромисс критериев качества газосиликата, входит и давление пара в автоклаве X_5 (1 ± 0.2 МПа). Это вторая характеристика энергоемкости твердения. На последней итерации компромиссной оптимизации x_5 дополнял набор критериев. Аналогично x_4 , фактор x_5 целенаправленно минимизируется; это не противоречит направлениям его линейных связей во второй подсистеме. На рис. 4г показана функция $X_5(R_c\{D, B\})$, учитывающая результаты компромиссной минимизации давления пара. Диапазоны компромисса [2] для x_5 оказались существенно уже, чем у времени твердения x_4 , поэтому удалось дополнительно снизить давление лишь в среднем на 0.02 МПа. Соответствующее снижение температуры среды твердения полезно для реализации слабой тенденции (риск 5–7%) к увеличению деформативности газосиликата.

Обеспечивающий компромисс критериев качества уровень содержания цемента X_9 оказался несвязанным ни с одной из подсистем (рис. 2). В его изменении с уменьшением $R_c\{D, B\}$ прослеживается тенденция к снижению по экспоненциальной функции. Это можно отнести к положительным направлениям, поскольку оно может способствовать (α около 5 %) повышению деформативности.

Заключение. Четыре марки газосиликата по плотности и три класса по прочности на сжатие образуют 12 двумерных «нормативных блоков». В каждом определены компромиссно оптимальные уровни трех критериев качества Y_{comp} и обеспечивающих их девяти РТ-факторов x_{comp} , в том числе двух, характеризующих энергоемкость автоклавного твердения. Для перехода между блоками введен их обобщающий показатель – предел прочности на сжатие при x_{comp} в данном блоке. Изменения Y_{comp} и x_{comp} в зависимости от уровня этого показателя описаны непрерывными функциями (с известными рисками). Уровни девяти x_{comp} образуют систему, внутренние связи в которой обеспечивают их взаимную компенсацию для сохранения компромиссно оптимальных решений.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоклавный газобетон: Десятифакторное квадратичное моделирование (1981-85) и компьютерное материаловедение (2007-08) / Вознесенский В. А., Гаврилюк В. П., Керш В. Я. и др. // Компьютерное материаловедение и прогрессивные технологии: Мат-лы междунар. семинара МОК'47. – Одесса: Астропринт, 2008. – С. 97–104.
2. Вознесенский В. А. Компромиссная оптимизация свойств газосиликата при дискретных равномерно распределенных уровнях девяти рецептурно-технологических факторов / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, В. П. Гаврилюк // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 2009-1 (75). – С. 139–146.
3. Вознесенский В. А. Некоторые обратные задачи компьютерного строительного материаловедения / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, В. П. Гаврилюк // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 2010-5 (85), т. 1. – С. 33–38.
4. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Я. П. Иванов, И. И. Николов. – К. : Будивальник, 1989. – 240 с.
5. Прогнозирование теплопроводности ячеистого бетона по моделям, учитывающим параметры распределения элементов поровой структуры / Вознесенский В. А., Эскуссон К. К., Керш В. Я. и др. // Исследования по строительству. Строительная теплофизика. Долговечность конструкций. – Таллинн : Валгус, 1989. – С. 115–129.
6. Анализ и моделирование влияния рецептурно-технологических факторов на контролируемые параметры структурообразования газосиликата до автоклавной обработки / В. А. Вознесенский, В. П. Гаврилюк, Т. В. Ляшенко, Н. В. Хлыцов // Вісник ОДАБА. – Одеса: Зовнішпресклассервіс, 2010. – Випуск № 38. – С. 108–114.

П о л у ч е н о 21.12.2010

В. А. ВОЗНЕСЕНСЬКИЙ, В. П. ГАВРИЛЮК, Т. В. ЛЯШЕНКО ГАЗОСИЛКАТ З КОМПРОМІСНИМИ РІВНЯМИ ГРАНИЦІ МІЦНОСТІ І ДЕ- ФОРМАТИВНОСТІ ПРИ ЗГІНІ, ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ТА ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТВЕРДІННЯ

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Аналізуються результати обчислювальних експериментів, що отримані при ітераційному випадковому скануванні багатфакторних полів властивостей газосилкату в 12 «нормативних блоках» (чотири марки за густиною $D = 500-800$, три класи B за міцністю на стиск.) Для кожного блока $\{D, B\}$ визначено компромісно оптимальні рівні трьох критеріїв якості (границі міцності та деформативності при згині, коефіцієнта теплопровідності) та двох показників енергоємності автоклавного твердіння. В кожному блоці визначено значення 9 рецептурно-технологічних факторів, що забезпечують компромісно оптимальні рішення. Для аналізу переходів між блоками нормативів використано узагальнюючий показник – границю міцності на стиск $R_c\{D, B\}$ при компромісно оптимальних рівнях критеріїв якості в даному блоці. Неперервними функціями цього показника описано (з відомими рівнями ризику) зміни компромісних значень критеріїв і факторів у всьому діапазоні нормативів $\{D, B\}$. Рівні факторів являють систему, кореляційні зв'язки в якій забезпечують їх взаємну компенсацію для збереження компромісу між критеріями оптимальності при зміні $R_c\{D, B\}$.

газосилкат, фізико-механічні властивості, нормативи, рецептурно-технологічні фактори, система компромісних рівнів

V. A. VOZNESENSKY, V. P. GAVRILIUK, T. V. LYASHENKO
GAS SILICATE WITH COMPROMISE LEVELS OF BENDING STRENGTH AND
DEFORMABILITY, HEAT CONDUCTIVITY AND ENERGY INTENSITY OF
HARDENING

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

The results of the computational experiments obtained in iterative random scanning of multifactor fields gas silicates properties in 12 «standard blocks» (four brands of density $D = 500-800$, three classes B by compression strength) have been analysed. The optimum levels of three quality criteria (ultimate strength and bending deformability, coefficient of heat conductivity) and two energy intensity indices of autoclave hardening have been settled by mutual concession for each block $\{D, B\}$. The values of the 9 composition and process factors providing the compromise optimum solution have been determined at each block. To analyse the transitions between standard blocks, the generalising index – the compression strength $R_c\{D, B\}$ at compromise optimum of the quality criteria in the given block has been used. The continuous functions of this index have enabled to describe (with familiar chances) the changes in compromise values of criteria and the factors in all the standard range of $\{D, B\}$. The levels of the factors represent the system, the correlations of which provide their mutual compensation to keep the compromise between the optimality criteria at variation of $R_c\{D, B\}$.

gas silicate, physical and mechanical properties, specifications, composition-process factors, system of compromise levels

Вознесенський Віталій Анатолійович – доктор технічних наук, професор кафедри «Процеси та апарати в технології будівельних матеріалів» (ПАТБМ) Одеської державної академії будівництва та архітектури (ОДАБА), заслужений діяч науки і техніки України, дійсний член Міжнародної інженерної академії (МІА) і голова Наукової ради з комп'ютерного матеріалознавства МІА. Наукові інтереси: експериментально-статистичне моделювання і комп'ютерне будівельне матеріалознавство.

Гаврилюк Варвара Петрівна – магістр, аспірантка кафедри ПАТБМ ОДАБА. Наукові інтереси: нідздрюваті композити, комп'ютерне матеріалознавство.

Ляшенко Тетяна Василівна – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної та обчислювальної математики і САПР ОДАБА, член-кореспондент МІА, член Наукової ради з комп'ютерного матеріалознавства МІА. Наукові інтереси: математичне моделювання і комп'ютерні технології в дослідженнях будівельних матеріалів.

Вознесенский Виталий Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Процессы и аппараты в технологии строительных материалов» (ПАТСМ) Одесской государственной академии строительства и архитектуры (ОГАСА), заслуженный деятель науки и техники Украины, действительный член Международной инженерной академии (МИА) и председатель Научного совета по компьютерному материаловедению МИА. Научные интересы: экспериментально-статистическое моделирование и компьютерное строительное материаловедение.

Гаврилюк Варвара Петровна – магистр, аспирантка кафедры ПАТСМ ОГАСА. Научные интересы: ячеистые композиты, компьютерное материаловедение.

Ляшенко Татьяна Васильевна – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной и вычислительной математики и САПР ОГАСА, член-кореспондент МИА и член Научного совета по компьютерному материаловедению МИА. Научные интересы: математическое моделирование и компьютерные технологии в исследованиях строительных материалов.

Vitaly A. Voznesensky – a D.Sc. (Engineering), a Professor of the Processes and Devices in Production Engineering of Building Materials Department of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, a Honoured Science and Engineering Worker of Ukraine, a Full Member of the International Academy of Engineering and the Chairman of the Scientific Council on Computing Materials Science. Research interests: experimental and statistical modelling and computing materials science.

Varvara P. Gavriliuk – M.Sc.Eng., a postgraduate of the Processes and Devices in Production Engineering of Building Materials Department of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: cellular composites, computing materials science.

Tatiana V. Lyashenko – a D.Sc. (Engineering), a Professor of the Applied and Computing Mathematics Department of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, a Corresponding Member of the International Academy of Engineering and a Member of the Council on Computing Materials Science. Research interests: mathematical modelling and computer procedures and techniques in the investigations of building materials.

УДК 624.012.45

В. Н. ЛЕВЧЕНКО, Д. В. ЛЕВЧЕНКО, В. Ф. КИРИЧЕНКО

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

МЕТОДЫ РАСЧЕТА СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

По данным научно-исследовательских институтов Украины из общего количества строительных конструкций, выполненных в железобетоне, примерно 25 % эксплуатируются в агрессивных средах. При этом четверть из них в слабоагрессивной среде, где, как правило, не предусматривается защита от коррозии, т. е. конструкции должны быть запроектированы и подготовлены так, чтобы их долговечность обеспечивалась за счет собственной стойкости. В статье предложена методика расчета долговечности строительных железобетонных конструкций.

коррозия, долговечность, надежность, безотказная работа, эффективность, моральный износ, амортизация

Чтобы точно определить показатель долговечности, необходимо как можно больше знать обо всех факторах, которые влияют на срок эксплуатации каждого элемента, имея надежные данные об интенсивности действий каждого из этих факторов на показатели, которые отвечают за предельные состояния (прочность, износ и т. п.). Но даже имея такую информацию, можно найти решение только по одному конкретному элементу. Для сложных конструкций зданий и сооружений в целом очень трудно теоретически рассчитать срок эксплуатации каждого следующего элемента, поскольку нельзя создать идентичные условия для всех строительных элементов. Поэтому за основу расчета целесообразно взять положение статистического распределения сроков эксплуатации большого количества однотипных элементов зданий и сооружений. Чтобы количественно охарактеризовать распределение, используют вероятность всего события, при наступлении которого функция распределения сроков эксплуатации T_x будет иметь значение меньше, чем заданное заранее конкретное значение x . Тогда интегральную функцию распределения записывают

$$F_{(x)} = P(T_x < x). \quad (1)$$

Чтобы рассчитать средний срок эксплуатации элементов зданий и сооружений, берут сумму сроков эксплуатации конструктивных элементов, которые вышли из строя, и относят эту сумму к числу всех обследованных элементов зданий и сооружений.

$$T_x = \sum_{i=1}^n \frac{x_i m_i}{m} \quad (i=1,2,\dots,n), \quad (2)$$

где T_x – средний срок эксплуатации данного элемента (математическое ожидание);
 x_i – конкретный срок эксплуатации этого элемента;
 m_i – число элементов, которые имеют данный срок эксплуатации;
 m – общее количество элементов, которые вышли из строя.

Иногда отношение m_i/m заменяют его приближенным значением P_i , т. е. вероятностью конкретного значения срока эксплуатации. Тогда

$$T_x = \sum_{i=1}^n x_i P_i. \quad (3)$$

Устанавливая сроки ремонта по мере отключения конкретных сроков эксплуатации от их среднего значения, берут дисперсию D_x :

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - T_x)^2 P_i, \quad (4)$$

где x_i – конкретный срок эксплуатации i -го элемента;
 P_i – вероятность конкретного срока эксплуатации.

На практике удобнее пользоваться среднеквадратическим отклонением или стандартом срока эксплуатации

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}. \quad (5)$$

Пределы отклонения сроков эксплуатации от их средних значений определяют неравенством

$$P\left(x_i - T_x \geq Q \leq \frac{D_x}{Q^2}\right), \quad (6)$$

где $Q = x_i - T_x$.

Если выразить Q через среднеквадратические отклонения y , придав им конкретный характер, например, взять $Q = 2\sigma$, то вероятность того, что срок эксплуатации элемента, который нас интересует, отклоняется больше чем на 2σ , составит:

$$P = [(x_i - T_x) \geq 2\sigma] \leq \frac{\sigma^2}{4\sigma^2} = \frac{1}{4}. \quad (7)$$

При $Q = 3\sigma$ получим $P = 1/9$, при $Q = 4\sigma - P = 1/16$ и т. д.

Таким образом, чем больше отклонение конкретного срока эксплуатации от среднего значения, тем меньше оно вероятно. Особенность зданий и сооружений в том, что они состоят из отдельных элементов и инженерных систем, которые, исходя из эксплуатационных качеств, подразделяются на восстанавливаемые и невозстанавливаемые.

Надежность является обязательным свойством для любого элемента здания. Различают параллельное и последовательное соединение элементов конструкций. Например, в крыше, которая состоит из двух элементов – кровельного листа и красильного слоя, соединение этих элементов параллельное, и кровля как конструкция выходит из строя только в случае отказа обоих элементов. Безотказность каждого элемента должна рассматриваться отдельно, поэтому в данном случае может выйти из строя только красильный слой. Только после нарушения водонепроницаемости металлического листа выйдет из строя вся конструкция. При последовательном соединении элементов отказ хотя бы одного из них означает выход из строя конструкции в целом. Например, течь в стыке трубопровода послужит отказом всей системы.

Основное уравнение надежности

$$P_{(t)} = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (8)$$

Функцию $\lambda(t)$ рассчитывают на основе статистических данных при обследовании большого коли-

чества элементов за достаточно долгий промежуток времени. Среднее время безотказной работы определяют по формуле

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (9)$$

Чтобы определить закономерности, которые обуславливают зависимость интенсивности отказа от времени, необходимо обследовать как можно большее количество однотипных элементов. Тогда влияние некоторых доминирующих факторов в общей сложности сужается и не искажает общей закономерности сроков эксплуатации зданий и сооружений. Функция интенсивности отказов, которые наиболее часто встречаются, изображена на рис. 1, где 1 – период приспособления ($0-t_1$); 2 – период нормальной работы (t_1-t_2), когда разброс эксплуатационных свойств незначителен и интенсивность отказов постоянна; 3 – период ускоренного старения и износа элемента, который характеризуется повышением интенсивности отказов. Вероятность отказа элемента за некоторое время t_e , как интегральную функцию распределения сроков эксплуатации, определяют по уравнению:

$$q(t) = 0,5 + F(x), \quad (10)$$

где $x = \frac{(t_e - T_x)}{\sigma}$.

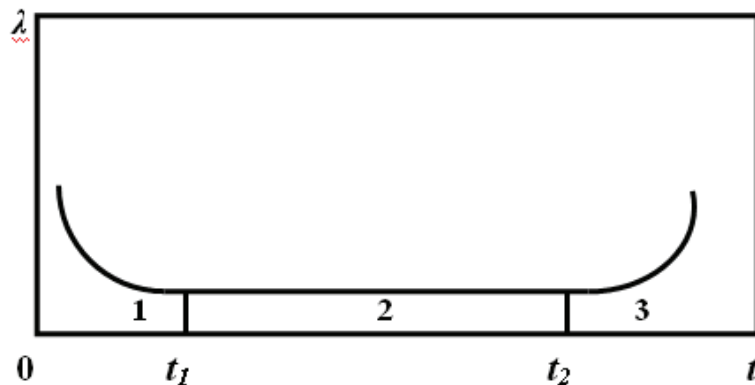


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности отказов λ от времени t .

Поскольку вероятность безотказной работы $P(t) = 1 - q(t)$, то для периода 3

$$P(t) = 1 - q(t) = 0,5 - F(x). \quad (11)$$

Для системы, которая состоит из N последовательно соединенных элементов, вероятность безотказной работы

$$P(t) = \prod_{s=1}^N [0,5 - F(x)]. \quad (12)$$

Имея значения T_x , N и σ по формуле (12), можно определить вероятность работы всей системы за время t_e с учетом только процессов нормального износа и старения материала конструкций. В общем же случае надежность систем зависит от вероятности постепенных и внезапных отказов $P_{n(t)}$ и $P_{p(t)}$. Чтобы определить вероятность отказа элемента в момент t_e с промежутком времени $t_e - t$ вследствие его нормального износа, нужно знать средний срок эксплуатации элемента, т. е. его долговечность T_x

и среднеквадратичное отклонение σ . В период нормальной эксплуатации элементов и систем основное влияние на их надежность имеют внезапные отказы, а в период износа и старения – постепенные.

Если значения σ небольшие, то период нормальной эксплуатации увеличивается и более четко отделяется от периода старения. При больших значениях σ износные отказы охватывают более широкую зону: распределение периодов нормальной эксплуатации и старения затруднительно. Для практики очень важен тот факт, что при большом количестве разнотипных элементов в системе значение σ возрастает, и процесс износа начинает проявляться в начале эксплуатации. Поэтому, рассчитывая надежность сложных систем, их стоит расчленять на узлы. Долговечность сооружений определяется, в частности, сроками эксплуатации основных конструктивных элементов фундаментов, стен, перекрытий, кровель. В зависимости от группы капитальности старений устанавливаются требования к долговечности соответствующих конструкций. Например, для домов, которые принадлежат к первой группе капитальности (со сроком эксплуатации до 150 лет), должны устанавливаться наиболее высокие требования к материалам несущих конструкций как относительно прочности, так и относительно коррозионной стойкости. Фундаменты должны быть каменными, бетонными или железобетонными; стены – каменными, кирпичными, крупноблочными или крупнопанельными; перекрытия – железобетонными. Срок эксплуатации этих конструкций должен быть не ниже, чем нормативный срок эксплуатации всего строения. В то же время для строений одной и той же группы количество ремонтов может быть разным – в зависимости от долговечности отдельных конструкций. Так, если полы в одном из строений первой группы капитальности сделаны из паркета со сроком эксплуатации 50 лет, а в другом – из линолеума со сроком эксплуатации 20 лет, то в первом случае ремонт полов делают лишь три раза (150:50), а во втором – семь раз (150:20).

Итак, можно считать, что основными особенностями, которые следует учитывать, анализируя отказы строительных конструкций, являются: продолжительность сроков эксплуатации, нестационарность потоков отказов, неполнота данным относительно эксплуатации. Особенность эксплуатации несущих строительных конструкций состоит в том, что в случае сбоев их ремонтируют или заменяют, а во время капитальных ремонтов в них заменяют даже исправные элементы.

Рассматривая статистические и вероятностные задачи определения надежностных характеристик, совершают, как правило, простейшие расчеты средних значений сроков эксплуатации конструкций и зданий в целом без учета ремонтных работ и межремонтных сроков эксплуатации. Иногда анализируют средние значения свойства или показателя надежности или, используя методы расчета распределения вероятностей случайных величин, находят среднюю наработку к отказу. Результаты экспериментальных исследований эксплуатационной надежности однотипных конструктивных элементов достаточно точные, но нельзя точно спрогнозировать длительность эксплуатации каждого отдельного строительного элемента. С другой стороны, долговечность относительно большого количества элементов можно прогнозировать с достаточной мерой вероятности, что дает возможность намечать мероприятия для правильной и надежной эксплуатации.

Вероятность отказа конструкций при постепенном их износе является монотонно возрастающей функцией времени. Методика, которая дает возможность установить закономерность увеличения темпов износа конструкций во времени и оценить надежность зданий, заимствована из работы [3]. Эта методика включает в себя определения таких вероятностей:

1. Повреждения строения за время T :

$$\gamma = \lambda_{(T)} \Delta T + 0_{(\Delta T)}, \quad (13)$$

где $\lambda_{(T)}$ – некоторая функция от T ;
 $0_{(\Delta T)}$ – безмерно малая более высокого порядка малости, чем ΔT .

2. Неповрежденные строения $\lambda_{(T)} \Delta T$.
3. Повреждение строения только один раз $\lambda_{(T)} \Delta T$.
4. Повреждение более одного раза $0_{(\Delta T)}$.

При маленьких значениях ΔT можно записать: $\lambda \approx \lambda_{(T)} \Delta T$. Обозначим через $P_{(T)}$ вероятность того, что за время T не было повреждения. После соответствующих превращений получим уравнение:

$$P_{(T)} = e^{-\int_0^T \lambda(t) dt}. \quad (14)$$

Оно является правильным для схемы, в которой предусмотрено постепенное накопление повреждений основных конструкций зданий или сооружений при нормальных условиях эксплуатации. Если же рассматривать стационарные процессы с дискретным временем, то

$$P_{(T)} = e^{-\lambda T}. \quad (15)$$

Выводы. В данной статье рекомендуется методика расчета сроков эксплуатации отдельных конструктивных элементов зданий и сооружений обследуемых объектов. Дана рекомендация по определению среднего времени безотказной работы конструкций, и с достаточной вероятностью определение времени безотказной работы всей системы конструкций зданий или сооружений. Долговечность относительно большого количества элементов можно прогнозировать с достаточной мерой вероятности, что дает возможность намечать мероприятия для правильной и надежной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанов В. И. Экономика повышения долговечности и коррозионной стойкости строительных конструкций / В. И. Агаджанов. – М. : Стройиздат, 1988. – 173 с.
2. Бондарь Л. В. Атмосферная коррозия арматуры в бетоне и ее учет при оценке долговечности железобетонных конструкций : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.23.01 / Л. В. Бондарь. – Полтава, 1998. – 211 с.
3. Руководство по определению экономической эффективности повышения качества и долговечности строительных конструкций / НИИЖБ. – М. : Стройиздат, 1981. – 56 с.
4. Бабушкин В. И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В. И. Бабушкин. – Харьков : Вища школа, Головное изд-во, 1989. – 168 с.
5. Bosoky Gijutes. Corrosion Engineering Journal, 1977, v. 26, №7, p. 401–428.
6. Economic effect of metallic corrosion in the United States. – A report to the congress by the National Bureau of Standards, March, 1978, № 511/1.

Получено 20.12.2010

В. М. ЛЕВЧЕНКО, Д. В. ЛЕВЧЕНКО, В. Ф. КИРИЧЕНКО МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ СТРОКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

За даними науково-дослідних інститутів України із загальної кількості будівельних конструкцій, виконаних у залізобетоні, близько 25 % експлуатуються в агресивних середовищах. При цьому чверть із них у слабоагресивному середовищі, де, як правило, не передбачається захист від корозії, тобто конструкції повинні бути запроектовані і виготовлені так, щоб їхня довговічність забезпечувалася за рахунок власної стійкості. У статті запропонована методика розрахунку довговічності будівельних залізобетонних конструкцій.

корозія, довговічність, надійність, безвідмовна робота, ефективність, моральне зношення, амортизація

V. N. LEVCHENKO, D. V. LEVCHENKO, V. F. KIRICHENKO METHODS OF BUILDING STRUCTURES SERVICE TERMS ANALYSIS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

On the evidence derived from the research institutes of Ukraine, about 25 % structures made of reinforced concrete is operated in corrosive media. In this connection, a quarter of them is operated in a slightly corrosive medium where, as a rule, the corrosion protection is not provided, i. e. the structures are to be designed and made so that their durability should be ensured at the expense of their own resistance. The paper presents the design technique of building reinforced structures durability.

corrosion, durability, reliability, no-failure operation, efficiency, obsolescence, damping

Левченко Віктор Миколайович — кандидат технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної і виховної роботи Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Левченко Дмитро Вікторович — кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Кириченко Володимир Федорович — старший викладач кафедри технології, організації та охорони праці в будівництві Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

Левченко Виктор Николаевич — кандидат технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической и воспитательной работе Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование экономических строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Левченко Дмитрий Викторович — кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры строительного института, кафедра металлических конструкций. Научный интерес: проектирование экономических строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Кириченко Владимир Федорович — старший преподаватель кафедры технологии, организации и охраны труда в строительстве Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: проектирование экономических строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

Victor M. Levchenko — a Ph.D. (Engineering), a Professor, a Vice-Chancellor on Educational and Pedagogic Activities of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: economical building structures design and development of the structural and space and planning conceptions of industrial buildings and engineering structures.

Dmitry V. Levchenko — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Metal Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: economical building structures design and development of the structural and space and planning conceptions of industrial buildings and engineering structures.

Vladimir F. Kirichenko — a senior lecturer of the Processing, Organization and Labour Protection in Civil Engineering Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: economical building structures design and development of the structural and space and planning conceptions of industrial buildings and engineering structures.

УДК 528.48

М. И. ЛОБОВ, А. С. ЧИРВА, А. Н. ПЕРЕВАРЮХА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА И НАДЕЖНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ БАШЕННОГО И МАЧТОВОГО ТИПОВ

Рассмотрены требования по организации геодезических работ при строительстве и эксплуатации металлических башенных и мачтовых сооружений с учетом комплексного влияния воздействующих факторов, что позволяет оптимизировать процессы контроля вертикальности высотных сооружений, их устойчивость и надежность.

геодезия, башенные сооружения, мачтовые сооружения, деформации, крен, изгиб

Введение. Современные сооружения башенного и мачтового типов являются в большинстве случаев инженерными объектами. Мачтовые сооружения значительной высоты, как правило, снабжены для устойчивости оттяжками, а башенные — представляют свободно стоящие конструкции, расположенные на одном или нескольких фундаментах. Высоты таких сооружений превышают размеры основания в несколько раз, поэтому к их надежности предъявляются высокие требования. По функциональному назначению башенные сооружения можно разделить на оборонные, культовые, гражданские и технопромышленные. Жесткие требования предъявляются к устойчивости высотных сооружений связи: под ветровым напором ствол башни, мачты антенных опор ретрансляторов не должен в технических заданиях на проектирование или в инструкциях по их эксплуатации. Перемещение в пространстве башенных сооружений относительно отвесной линии зависит от условий защемления консоли, высот, жесткости и материала изготовления, тогда как мачтовые сооружения удерживаются в вертикальном положении с помощью оттяжек, равномерность натяжения которых обеспечивает их стабильное положение и безаварийную работу. Особое влияние на высотные сооружения оказывают внешние условия (ветер, солнечная радиация, гололед и т. д.), вызывающие изгибы, крены и колебания, которые могут приводить к определенным деформациям, имеющим обратимый и необратимый характер. В настоящее время наиболее изучены железобетонные высотные сооружения и в меньшей мере металлические (комбинированные) башенные и мачтовые сооружения. Характер происходящих деформаций под воздействием различных факторов можно определить геодезическим и методами в процессе испытаний сооружений на стендах или в натурных условиях. Полученные результаты позволяют совершенствовать проектирование таких сооружений, уменьшить их материалоемкость, повысить надежность в процессе дальнейшей эксплуатации и безаварийную работу.

Анализ исследований и публикаций, посвященных решению данной проблемы.

Исследованию данной проблемы посвящены публикации ряда авторов, в которых рассмотрены отдельные вопросы, связанные с обоснованием точности геодезических работ при строительстве и эксплуатации различных высотных сооружений, в основе которых используются основные положения строительной механики, математического моделирования, системного анализа, часто не дающие комплексного решения по данной проблеме [1, 3, 4, 6, 8, 11, 12, 13, 14]. Недостаточное количество публикаций по исследованию мачтовых сооружений, антенно-мачтовых устройств мобильной свя-

зи. В работе [15] наиболее полно рассмотрены задачи по обоснованию точности геодезических измерений с использованием информации о механическом поведении высотных сооружений с позиции строительной механики в виде трехмерных моделей. По мнению авторов [15], в этом случае физическая модель наиболее приближена к реальной конструкции (пластина, балка), которые могут быть реализованы при исследовании деформаций фундаментов геодезическими методами.

Постановка задачи. Качество возведения металлических башенных и мачтовых сооружений характеризуется соблюдением геометрических параметров при сборке, монтаже или строительстве, а также предельным отклонением верха сооружения от вертикальной геометрической оси. До настоящего времени нет четкого определения состояния высотного сооружения, при котором отклонение центра верхнего сечения от вертикальной геометрической оси можно считать креном. Бикташев М. Д. считает креном величину отклонения вследствие неравномерной осадки фундамента [3], хотя изгибы сооружений, происходящие вследствие влияния внешних факторов (ветер, гололед, солнечная радиация), вызывают перемещение верха сооружения, что приводит к перераспределению центра масс, увеличению остаточного изгиба, следовательно, к снижению устойчивости и приносит сооружения. В идеальном случае только абсолютно жесткие сооружения будут иметь крен, обусловленный неравномерной осадкой фундаментов, в остальных случаях устойчивость сооружения будет зависеть от всех влияющих факторов, следовательно, существующие нормативные документы должны это учитывать [12]. Можно согласиться с автором [3], что действительную картину смещений и деформаций высотных сооружений башенного и мачтового типов дадут одновременные геодезические измерения угловыми методами и нивелированием марок, заложенных в фундаменты. В практике проектирования эксплуатации высотных сооружений башенного и мачтового типов принято считать, что они имеют высоко расположенные центры масс, поэтому решающее значение в работе таких сооружений с позиции устойчивости приобретает их крен.

Исследованиями установлено, что деформации высотных сооружений происходят в результате неблагоприятного воздействия на них природных и антропогенных факторов. К первым относят изменения плотности грунтов в основании, вызывающие осадки, пучения, просадки, неравномерный тепловой нагрев, ветровую и гололедную нагрузки. К антропогенным факторам относят влияние строительных нагрузок постоянного и переменного характера, изменение физико-механических свойств грунтов основания вследствие водопонижения или переувлажнения химического закрепления, низкого качества или ошибок изысканий, динамические нагрузки и вибрации от работающих механизмов, воздействие на сооружение различных строительных работ, проводимых вблизи, особенно при точной застройке или прокладке подземных коммуникаций и т. п.

Для определения происходящих деформаций башенных и мачтовых сооружений проводится комплекс геодезических наблюдений с требуемой точностью как с начала строительства, так и при последующей эксплуатации с периодичностью, указанной в нормативных документах или ППГР.

Основными задачами таких наблюдений являются:

- определение деформаций и перемещений конструкций сооружений для современного предупреждения аварийных ситуаций или повышения эксплуатационной надежности;
- выявление и учет деформаций во время технологических процессов;
- изучение закономерности происходящих деформаций с целью их прогнозирования и учета в процессе проектирования башенных и мачтовых сооружений большей высоты. По полученным значениям перемещений вычисляют деформации, напряжения и другие величины, характеризующие прочность и пригодность сооружения к эксплуатации [12].

Изгибы и колебания башенных и мачтовых сооружений носят короткопериодический характер, а остальные виды деформаций — долгопериодический. Исследованиями установлено, что изгибы башенных и мачтовых сооружений от солнечной радиации носят циклический характер с периодом до суток, а от ветровой нагрузки цикличность проявляется в меньшей степени. Время изменения направления и скорости статической части ветрового потока значительно больше периода собственных колебаний ствола сооружения, а динамической составляющей ветрового потока значительно больше периода собственных колебаний ствола, или сопоставимо с ним. Происходит изменение положения верха сооружения в пространстве под действием ветра в течение нескольких минут. Поэтому короткопериодическая составляющая зависит от высоты сооружения, его конструктивных особенностей и будет исключать результаты определения деформаций на величину 15–20 мм [1, 12]. Среднегодовая скорость ветра для умеренных широт и ясных дней приведена в таблице 1 (официальные данные).

Таблица 1 – Средняя скорость ветра по данным метеостанций

H, м	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200
V, м/сек	4,7	6,2	7,1	7,6	7,7	8,1	8,3	8,5	8,7	8,8	9,2

С увеличением высоты это влияние может достигать 50 % эксплуатационного периода, а наиболее вероятные скорости ветра не превышают 5–20 м/сек [8].

Так, перемещение оси Останкинской телебашни от статического воздействия ветра не превышает 150 мм на отметке +300 м, при этом скорость ветра составляла 17–20 м/сек, а перемещение от динамической составляющей не превышало 400 мм [8].

В общем случае смещение верха высотного сооружения башенного и мачтового типов происходит от комплексного влияния следующих факторов:

- собственных колебаний сооружения;
- естественного изгиба оси сооружения;
- изгиба сооружения из-за неравномерного натяжения оттяжек;
- погрешностей строительно-монтажных работ;
- ветрового напора;
- солнечной радиации;
- неравномерной осадки и прогиба оси из-за крана.

Колебания сооружений башенного и мачтового типов могут быть вынужденными, под действием ветра и собственные. В теоретической механике собственные колебания определяются в виде двух составляющих с частотами K_1 , K_2 . Колебания с меньшей частотой K_1 называются главными, а с частотой K_2 – вторым главным колебанием. При колебании с частотой K_1 – ось сооружения отклоняется от отвесной линии в одну и ту же сторону (однозначная эпюра прогиба), при K_2 – ось совершает колебания в области малых перемещений или равновесия, внося определенные ошибки в результаты геодезических измерений.

Изгиб сооружения (необратимый) происходит вследствие перераспределения массы сооружения или перемещения центра тяжести по разным причинам.

При возведении сооружений башенного типа на разных этапах строительства точность соблюдения геометрических параметров регламентируется строительными допусками, а в период эксплуатации – эксплуатационными [3, 4, 5, 6, 9, 12], в виде предельно допустимых отклонений геометрической оси от вертикали, исходя из необходимости соблюдения:

- технологических или архитектурных требований к допустимым величинам в изменении положения конструкции в целом, включая требования по обеспечению нормальной эксплуатации технического оборудования;
- требований к прочности, устойчивости и трещиностойкости конструкций, включая общую устойчивость сооружения [1, 6, 13, 14].

Изгиб башенного сооружения от действия солнечной радиации регламентируется величиной:

$$F_c = 0,005H, \quad (1)$$

где H – высота сооружения (СНиП 3.03.01-87). Для упругой линии геометрической оси влияние солнечной радиации выражается параболической зависимостью вида [3]:

$$Y = \frac{1}{200} \cdot \left(\frac{H_i}{H} \right) \cdot H_i, \quad (2)$$

где H_i – текущая высота сооружения, или по формуле:

$$R = \frac{D}{\alpha_t} \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где R – радиус изгиба ствола, D – диаметр цилиндрического ствола, Δt – разность температуры на солнечной и теневой сторонах сооружения, α_t – коэффициент расширения стали. Это вызовет смещение геометрической оси от вертикали на величину:

$$\Delta Q_p = \frac{\alpha_t \cdot \Delta t \cdot H_i^2}{2D}, \quad (4)$$

а в принятой системе координат:

$$\begin{aligned} X_i &= \Delta Q_p \cdot \cos A_i; \\ Y_i &= \Delta Q_p \cdot \sin A_i; \end{aligned} \quad (5)$$

где $A_i = A_c + 180^\circ - \beta_i$, угол отставания оси сооружения от азимута солнца – A_c , определенный в процессе исследований для данного типа и высоты сооружения [13]. При измерении температуры в основании сооружения необходимо учитывать, что с высотой температура понижается на $0,65^\circ$ на 100 м.

Крен башенного или мачтового сооружения вследствие неравномерной осадки фундамента приводит к изменению положения вертикальной оси относительно отвесной линии с момента её появления. Такое состояние сооружения может быть необратимым и часто приводит к потере устойчивости или аварийной ситуации. При изучении процессов деформации или их прогнозирования необходимо определять скорость и ускорение. Прогнозирование смещения геометрической оси можно осуществлять, используя закон строительной механики, который был применен А. И. Егоровым для обоснования точности геодезических работ при строительстве и эксплуатации дымовых труб на основе напряженно деформированного состояния [10]. Нами при строительстве телебашни был применен более простой метод, когда, определив положение центра сечения на монтажном горизонте Q_i , производилась установка монтажного элемента совмещением нижнего сечения. Центр в верхнем сечении должен быть смещен на величину $Q_{i+1} = Q_i + \Delta Q_i = Q_i + h \tan \nu = Q_i + h \nu'' / \rho''$, где ν – угол наклона монтажного элемента (рис. 1).

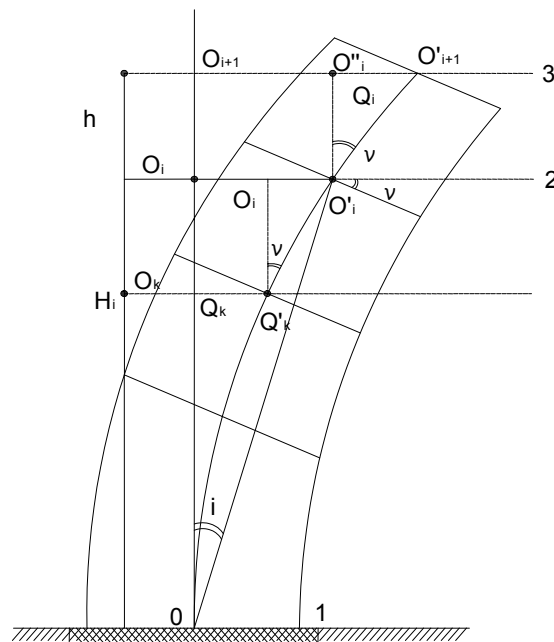


Рисунок 1 – Схема определения положения центра ствола телебашни на монтажном горизонте:

1 – исходный м.г.; 2 – монтажный; 3 – верхнее сечение монтажного элемента.

$$\nu = \frac{Q_k \rho''}{H_k}, \quad (6)$$

где Q_k – смещение оси на предыдущем монтажном горизонте H_k .

Например, при $H_k = 144$ м, $Q_k = 42$ мм получим $\nu = 59''$. Проведенные исследования в процессе строительства Ереванской телебашни показали, что на отметке +144 м величина изгиба достигала 270 мм при разности температур $\Delta t = +12^\circ\text{C}$, что в 8 раз превышало величину допустимого смещения оси, обусловленную погрешностями строительно-монтажных работ. Систематическая погрешность не превышала 0,25 мм/м, которая учитывалась при выносе геометрической оси на монтажный горизонт. Средняя квадратическая погрешность установки монтажного элемента в верхнем сечении равна:

$$m_{Q_{i+1}} = \sqrt{m_{Q_i}^2 + \frac{m_v^2 \cdot h^2}{\rho^2}}. \quad (7)$$

При $m_{Q_i} = 2$ мм, $m_v = 6''$, $h = 6$ м, получим $m_{Q_{i+1}} = 2,01$ мм. Если не учитывать влияние солнечной радиации, то будет допущена погрешность на отметке +150 м, равная $\Delta Q_i = (6000 \cdot 59'')/206265 = 1,7$ мм, а погрешность геодезического контроля после монтажа конструкции в верхнем сечении составит:

$$m_{Q_{i+n}} = \sqrt{m_{Q_i}^2 + m_{\text{прог.}}^2 + m_{\text{дин.}}^2}, \quad (8)$$

где $m_{\text{дин.}}$ – средняя квадратическая погрешность от динамических колебаний.

Общая величина смещения оси от метеорологических факторов определяется по формуле:

$$\Delta Q_i = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{\Delta Q_p^2 + \Delta Q_b^2 - \Delta Q_p \cdot \Delta Q_b \cdot \cos \alpha}, \quad (9)$$

где α – угол, образованный направлениями векторов, а координаты оси определяются по формулам:

$$\begin{aligned} X_i &= \Delta Q_p \cdot \cos A_i + \Delta Q_b \cdot \cos A_j; \\ Y_i &= \Delta Q_p \cdot \sin A_i + \Delta Q_b \cdot \sin A_j; \end{aligned} \quad (10)$$

где $A_j = A_b - 180^\circ$.

В зависимости от продолжительности строительства высотного сооружения, необходимо проводить наблюдения за осадками фундаментов (4–5 циклов в год), особенно это важно для мачтовых сооружений, изменение натяжения оттяжек приведет к значительным деформациям сооружения, а иногда и к разрушению конструкций [13]. Наблюдения выполняются проложением замкнутого нивелирного хода, включающего реперы центрального ствола и анкерных фундаментов или наклонных поясов по методике II–III классов с привязкой к 2–3 реперам государственной нивелирной сети или к исходным глубинным реперам.

Выводы и рекомендации

Рассмотренные в работе требования по организации геодезических работ при строительстве и эксплуатации металлических башенных и мачтовых сооружений позволяют повысить надежность и эксплуатационные качества высотных объектов при условии учета всех воздействующих факторов, влияние которых должно учитываться при расчете точности геодезических измерений. Это позволит оптимизировать процессы измерений геодезического контроля вертикальности высотных сооружений и использовать современные геодезические приборы для обеспечения необходимой точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анненков А. А. Комплексный подход к исследованию деформаций высотных опор ЛЭП в процессе испытаний и эксплуатации : автореф. дис. на соиск. науч. ст. к.т.н. / А. А. Анненков ; КНУБА. – К., 2002. – 16 с.
2. Безухов Н.И. Устойчивость и динамика сооружений / Н. И. Безухов, О. В. Лужин, Н. В. Колкунов. – М. : Высшая школа, 1987. – 320 с.
3. Бикташев М. Д. Башенные сооружения. Геодезический анализ осадки, крена и общей устойчивости положения / М. Д. Бикташев. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 376 с.
4. Войтенко С. П. Метрологический расчет возведения металлических телебашен / Войтенко С. П. // Инженерная геодезия / КНУБА. – 1970. – Вып. 8. – С. 47–53.
5. Волков Э. П. Газоотводящие трубы ТЭС и АЭС / Волков Э. П., Гаврилов Е. И., Дюжих Ф. П. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
6. Геодезические работы при выверке сооружений мачтового и башенного типов : Обзорная информация / ЦНИИГАиК. – М. – Вып. 57. – 1981. – 88 с.
7. Геодезические информационно-измерительные системы для наблюдения за деформациями инженерных сооружений : Обзорная информация / ЦНИИГАиК. – М. – Вып. 65. – 1982. – 76 с.
8. Гусев М. А. Влияние метеорологических факторов на эксплуатацию антенно-мачтовых сооружений / Гусев М. А. // Эксплуатация и контроль антенно-мачтовых и башенных сооружений : сб. материалов науч.-практ. конф. – Рига, 1983. – С. 28–32.
9. Граля А. М. Геодезические работы при монтаже телевизионной вышки / Граля А. М. // ГИК. – 1979. – № 6. – С. 12–13.
10. Егоров А. И. Обґрунтування точності геодезичних робіт при будівництві і експлуатації споруд баштового типу на основі напружено-деформованого стану : автореф. дис. на соиск. уч. степ. к.т.н. / Егоров А. И. ; КНУБА. – К., 2001. – 20 с.
11. Кулешов Д. А. Некоторые задачи и методологические принципы статистического моделирования деформаций оснований сооружений по геодезическим данным / Кулешов Д. А., Гуляев Ю. П. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1976. – Вып. 4. – С. 3–13.
12. Геодезическое обеспечение строительства высотных сооружений на подрабатываемых территориях / Лобов М. И., Соловей П. И., Переварюха А. Н., Чирва А. С. // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2007. – Вип. 2007-5(67). – С. 75–80.
13. Лобов М. И. Применение наземной фотограмметрии и лазерного сканирования для исследования динамического состояния мачтовых сооружений / Лобов М. И., Переварюха А. Н., Чирва А. С. // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2010. – Вип. 2010-3(83). – С. 111–116.
14. Радван М. В. Разработка методов и алгоритмов анализа деформаций высотных сооружений : автореф. дис. на соиск. ученой степ. к.т.н. / Радван М. В. – М., 1992. – 24 с.
15. Чибириков В. К. Общий подход к постановке и решению задач по определению характеристик деформаций инженерных сооружений геодезическими методами / Чибириков В. К., Староверов В. С., Гуляев Ю. Ф. // Инженерная геодезия / КНУБА. – 2010. – Вып. 54. – С. 248–269.

Получено 17.12.2010

М. І. ЛОБОВ, О. С. ЧИРВА, А. М. ПЕРЕВАРЮХА
УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ БУДІВНИЦТВА І НАДІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОТНИХ СПОРУД БАШТОВОГО І ЩОГЛОВОГО ТИПІВ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглянуто вимоги з організації геодезичних робіт при будівництві та експлуатації металевих баштових і щоглових споруд з урахуванням комплексного впливу факторів, що дозволяє оптимізувати процеси контролю вертикальності висотних споруд, їх стійкість і надійність.
геодезія, баштові споруди, щоглові споруди, деформації, крен, вигин

M. I. LOBOV, A. S. CHIRVA, A. N. PEREVARJUHA
TERMS OF QUALITY MAINTENANCE OF CONSTRUCTION AND RELIABLE
OPERATION OF HIGH-RISE STRUCTURES OF TOWER AND MAST TYPES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The requirements on organization of geodetic surveys at the construction and operation of metal tower and mast structures with regard to the complex influence of the affecting factors enabling to optimize processes of the vertical position control of high-rise structures, their stability and reliability have been considered in the paper.

geodesy, tower structures, mast structures, deformation, roll, bend

Лобов Михайло Іванович — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної геодезії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Академік Академії наук Вищої школи України з проблем будівництва. Наукові інтереси: комплексні геодезичні дослідження деформацій висотних споруд баштового типу.

Переварюха Анатолій Миколайович — кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної геодезії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження статичних і динамічних деформацій коливних і обертових об'єктів.

Чирва Олександр Сергійович — аспірант кафедри інженерної геодезії Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження статичних і динамічних деформацій щоглових споруд.

Лобов Михаил Иванович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной геодезии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Академик Академии наук Высшей школы Украины по проблемам строительства. Научные интересы: комплексные геодезические исследования деформаций высотных сооружений башенного типа.

Переварюха Анатолий Николаевич — кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование статических и динамических деформаций колеблющихся и вращающихся объектов.

Чирва Александр Сергеевич — аспирант кафедры инженерной геодезии Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование статических и динамических деформаций мачтовых сооружений.

Michail I. Lobov — a D.Sc.(Engineering), a Professor, the Chair of the Engineering Geodesy Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. An Academician of the Academy of Higher Educational Sciences of Ukraine on the Civil Engineering Problems. Research interests: complex geodetic investigations of strain of high-rise constructions of tower type.

Anatoly M. Perevarjuha — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: investigations of static and dynamic deformation of vibrating and rotating objects.

Alexander S. Chirva — a postgraduate of the Engineering Geodesy Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: investigations of static and dynamic deformation of mast structures.

УДК 666.974.2

А. Н. ЕФРЕМОВ, А. Н. ЛИЩЕНКО

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ШЛАКА И ЗОЛЫ-УНОС ТЭС НА ЖАРОСТОЙКИЕ СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНЫХ ПЕНОБЕТОНОВ

Исследовано влияние добавок молотого шлака и золы-унос ТЭС на жаростойкие свойства портландцементных пенобетонов марок П 400—П 800. Выявлено влияние различных видов золошлаковых отходов ТЭС и их содержания на физико-механические свойства жаростойких ячеистобетонных композиций: прочность при обычной температуре, после сушки и обжига при температуре 800 °С, среднюю плотность, потери массы и линейную усадку пенобетонов. Установлено, что после прогрева при температуре 800 °С пенобетоны с добавками 20 % шлака или золы ТЭС сохраняют 48—75 % исходной прочности, потери массы бетонов после прогрева при 1 000 °С колеблются от 9,11 до 13,65 %. Последние имеют более высокую остаточную прочность, которая составляет 59—75 % от исходной против 48—64 % у бетонов с добавкой шлака ТЭС. Предельная температура применения пенобетонов с золой и шлаком равна соответственно 700 и 800 °С, т. к. при более высоких температурах бетоны растрескиваются из-за чрезмерной усадки, которая при указанных температурах составляет соответственно 3,02—3,48 и 2,80—3,27 %.

жаростойкие портландцементные пенобетоны, шлак и зола-унос ТЭС, физико-механические свойства после прогрева до 1 000 °С

Ячеистый бетон – один из наиболее эффективных теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных общестроительных материалов. Еще более эффективным он может стать при использовании в качестве футеровок и теплоизоляционных слоев в промышленных теплоагрегатах. В этом случае широкое применение дешевого и технологичного ячеистого бетона позволит не только сократить энергозатраты на проведение высокотемпературных процессов, но и продлит их осуществление при более высоких температурах, что технически очень важно, например, при разливе стали.

Анализ известных технологий показывает, что по способу поризации из двух видов ячеистых бетонов для жаростойких и огнеупорных материалов более перспективными являются пенобетоны. В отличие от газобетонов, для поризации которых требуется высокая щелочность смеси, пенобетоны можно изготавливать на основе как глиноземистого, так и высокоглиноземистого цементов. На их основе вспучивание смесей посредством алюминиевой пудры практически невозможно.

В работах [1–2] нами показано, что для температур до 1 000 °С пенобетоны можно изготавливать на портландцементе с добавкой 20–40 % золошлаковых отходов, до температур 1 200 °С глиноземистый цемент с тонкомолотым шамотом, для более высоких температур – глиноземистый или высокоглиноземистый цементы с тонкомолотым техническим глиноземом.

Цель настоящей работы – определить основные физико-механические свойства пенобетонов с примерной средней плотностью 400–800 кг/м³, их зависимость от температуры прогрева в пределах 110–1 000 °С.

Объекты и методы исследований. В исследованиях использовались материалы, характеристика которых приведена в работах [1, 2]. Прочность и потери массы пенобетонов исследовались на образцах-кубах с ребром 7 см. Усадка изучалась на образцах-балочках 4×4×16 см с корундовыми реперами. Все образцы твердели 28 суток в нормальных условиях при температуре 20 °С и перед обжигом просушивались до постоянной массы при температуре 110 °С. Обжиг производился по режиму: нагрев и охлаждение со скоростью 200 °С/ч, выдержка при 800 °С в течение 4 часов.

Для поризации бетонов использовался пенообразователь ПО-6. Бетонные смеси готовились в одну стадию в скоростном смесителе при следующем порядке введения компонентов «вода + пенообразователь, 2–3 минуты перемешивания + сухая смесь компонентов, 2–3 минуты перемешивания». Согласно [3] регулирование средней плотности бетонов производилось изменением текучести смесей и расходом пенообразователя.

Экспериментальные исследования. Интерпретация результатов. Исследования, результаты которых приведены в табл. 1, показывают, что исходная прочность пенобетонов с добавкой шлака ТЭС после сушки на 15–21 % выше, чем аналогичных составов с использованием золы. Однако, после прогрева при температуре 800 °С последние имеют более высокую остаточную прочность, которая составляет 59–75 % от исходной против 48–64 % у бетонов с добавкой шлака ТЭС. С уменьшением средней плотности относительная остаточная прочность бетонов с обеими добавками после прогрева при 800 °С уменьшается.

При понижении средней плотности пенобетонов с обеими добавками увеличиваются потери массы и усадка при сушке (табл. 2). При этом разница в величинах массы испаряемой воды и усадки бетонов с золой и шлаком ТЭС незначительная. Потери воды колеблются в пределах 11,3–16,2 %, а линейная усадка равна 0,42–0,66 %.

Таблица 1 — Составы и текучесть смесей, физико-механические свойства пенобетонов

№ пп	Состав бетонов, % массы			В/Т смеси	Текучесть смеси, см	Плотность после сушки, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа, после прогрева при	
	цемент	шлак	зола				110°С	800°С
1	80	20	-	0,62	18	407	1,21	0,58
2				0,56	26	615	3,43	1,85
3				0,50	34	815	5,66	3,62
4	80	-	20	0,64	18	395	1,02	0,60
5				0,58	26	590	2,84	1,93
6				0,52	34	792	4,90	3,67

Таблица 2 — Потери массы и усадка пенобетонов после сушки при 110 °С

Показатели свойств	Составы бетонов по табл. 1					
	1	2	3	4	5	6
Потери массы, %	15,8	13,6	11,3	16,2	13,9	11,8
Линейная усадка, %	0,64	0,57	0,42	0,66	0,60	0,44

Снижение средней плотности бетонов сопровождается аналогичным увеличением потерь массы и усадки бетонов при прогреве в интервале температур 110–1 000 °С (табл. 3). Наиболее интенсивно потери массы растут в температурных интервалах 110–300 °С и 500–700 °С. После прогрева при 1000 °С общие потери массы пенобетонов со шлаком при средней плотности 407, 615 и 815 кг/м³ равны соответственно 10,03; 9,75 и 9,11 %. Вследствие выгорания остатков органики золы потери массы бетонов с ее использованием существенно выше и составляют 12,27–13,65 %.

Наиболее интенсивный рост огневой усадки пенобетонов наблюдается в температурном интервале 110–700 °С для бетонов с золой и 110–800 °С для бетонов со шлаком. При этом усадка растет с повышением температуры практически прямо пропорционально и составляет для бетонов со шлаком 3,02–3,75 %, для бетонов с золой 2,80–3,27 %, увеличиваясь с понижением средней плотности.

Дальнейший подъем температуры вызывает растрескивание образцов, хотя форму они сохраняют.

Таблица 3 — Зависимость потерь массы (над чертой) и линейной усадки пенобетонов (под чертой) от температуры прогрева, %

Составы бетонов по табл. 1	Температура прогрева, °С						
	110	300	500	600	700	800	1000
1	<u>0</u> 0	<u>3,76</u> 0,81	<u>5,68</u> 1,78	<u>6,52</u> 2,15	<u>8,53</u> 2,60	<u>9,75</u> 3,75	<u>10,03</u> Трещины
2	<u>0</u> 0	<u>3,47</u> 0,75	<u>4,60</u> 1,70	<u>6,35</u> 2,07	<u>7,84</u> 2,48	<u>9,12</u> 3,48	<u>9,75</u> Трещины
3	<u>0</u> 0	<u>3,05</u> 0,70	<u>4,95</u> 1,52	<u>5,42</u> 1,94	<u>7,02</u> 2,22	<u>8,25</u> 3,02	<u>9,11</u> Трещины
4	<u>0</u> 0	<u>3,90</u> 1,15	<u>6,18</u> 2,55	<u>8,32</u> 2,93	<u>11,96</u> 3,27	<u>12,65</u> Трещины	<u>13,65</u> Трещины
5	<u>0</u> 0	<u>3,62</u> 0,98	<u>4,85</u> 2,30	<u>7,05</u> 2,62	<u>11,36</u> 3,12	<u>12,30</u> Трещины	<u>13,32</u> Трещины
6	<u>0</u> 0	<u>3,24</u> 0,73	<u>3,90</u> 2,05	<u>5,92</u> 2,45	<u>10,55</u> 2,80	<u>11,48</u> Трещины	<u>12,27</u> Трещины

Выводы. Установлено, что после прогрева при 800 °С пенобетоны с 20 % золошлаковых отходов сохраняют 48–75 % исходной прочности, потери массы бетонов после прогрева при 1000 °С колеблются от 9,11 до 13,65 %.

Пенобетоны с золой и шлаком могут использоваться до температур соответственно 700 и 800 °С, т. к. при более высоких температурах они растрескиваются из-за чрезмерно высокой усадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ефремов А. Н. Влияние количества добавок золошлаковых отходов ТЭС на жаростойкие свойства портландцементного камня / А. Н. Ефремов, А. Н. Лищенко // Ресурсоекономні матеріали, будівлі та конструкції : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України, Нац. ун-т водного госп-ва та природокористування, Північно-Західне територіальне відділення. — Вип. 20. — Рівне : НУВГП, 2010. — С. 51–56.
- Ефремов А. Н. Влияние добавок шамота и технического глинозема на жаростойкие свойства камня глиноземистых цементов / А. Н. Ефремов, А. Н. Лищенко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури / М-во освіти і науки України, Одеська державна академія будівництва та архітектури. — Вип. №35. — Одеса : Місто майстрів, 2010. — С. 155–161.
- Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона : СН 277-80 / Стройиздат. — М., 1981. — 47 с.

Получено 08.12.2010

О. М. ЄФРЕМОВ, Г. М. ЛІЩЕНКО

ВПЛИВ ДОБАВОК ШЛАКУ ТА ЗОЛИ-ВИНЕСЕННЯ ТЕС НА ЖАРОСТІЙКІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНИХ ПІНОБЕТОНІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Досліджено вплив добавок меленого шлаку та золи-винесення ТЕС на жаростійкі властивості портландцементних пінобетонів марок П 400—П 800. Виявлено вплив золошлакових відходів ТЕС і їх вмісту на фізико-механічні властивості жаростійких ніздрюватобетонних композицій: міцність при звичайній температурі, після сушки та випалу при температурі 800 °С, середню густину, втрати маси та лінійну усадку пінобетонів. Встановлено, що після нагрівання при температурі 800 °С пінобетони з добавками 20 % шлаку або золи ТЕС зберігають 48–75 % вихідної міцності, втрати маси бетонів після прогрівання при 1 000 °С коливаються від 9,11 до 13,65 %. Останні мають більш високу залишкову міцність, яка складає 59–75 % від вихідної проти 48–64 % у бетонів з добавкою шлаку ТЕС. Гранична температура застосування пінобетонів з золою та шлаком становить відповідно 700 і 800 °С, тому що при більш високій температурі бетони розтріскуються через надмірну усадку, яка при вказаних температурах складає відповідно 3,02–3,48 і 2,80–3,27 %.

жаростійкі портландцементні пінобетони, шлак і зола-винесення ТЕС, фізико-механічні властивості після нагрівання до 1 000 °С

A. N. YEFREMOV, A. N. LISCHENKO

IMPACT OF ADDITIVES OF SLAG AND FLY ASH OF STEAM POWER PLANT (SPP)
ON HEAT-RESISTANT PROPERTIES OF PORTLAND CEMENT FOAM CONCRETE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Impact of additives of milled slag and fly ash of SPP on the heat-resistant properties of D400–D800 Portland cement foam concrete has been investigated. The impact of the various types of fly-ash-slag waste and their content on the physical and mechanical properties of heat-resistant Portland cement compositions – strength at ordinary temperature, after drying and burning at the temperature of 800 °C, density, mass losses and linear shrinkage of foam concretes have been revealed. It was established, that after heating at the temperature of 800 °C, the foam concrete with additives of slag and fly ash (20 %) keeps the initial strength and the losses of concrete mass after heating at the temperature of 1 000 °C vary from 9.11 to 13.65 %. The foam concrete is characterized with the higher residual strength of 59–75 % from initial comparing with 48–64 % of the concrete with the additive of SPP slag. The limiting temperature of applied foam concrete with slag and fly ash is 700 °C and 800 °C, accordingly, since at higher temperatures concrete cracks because of high shrinkage which at the pointed temperatures composes accordingly 3,02–3,48 and 2,80–3,27 %.

heat-resistant Portland cement foam concrete, slag and fly ash, physical and mechanical properties after heating up to 1 000 °C

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

Ліщенко Ганна Миколаївна – аспірант, асистент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва та архітектури. Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетони.

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

Лищенко Анна Николаевна – аспирант, ассистент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

Alexander N. Yefremov – a D. Sc. (Engineering), a Professor of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: binders and concrete on the base of industrial waste; heat-resistant concrete.

Anna N. Lischenko – a postgraduate, a teaching fellow of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: heat-resistant binders and concrete

УДК 625.046:356.4

Д. В. ГУЛЯК

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ФАКТОРЫ СТАРЕНИЯ И СТАДИИ НЕОБРАТИМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ

Показано, что необратимые изменения, происходящие в составе и структуре дегтя, дегтевяжущих и дегтебетонов под действием технологических и эксплуатационных факторов, определяются снижением растворяющей способности дисперсионной среды дегтя, потерей легкокипящих фракций, ведущих к дальнейшему структурированию системы, обусловленную полиоксиконденсацией неперелых соединений дегтя, ростом соотношения минерального наполнителя к органическому вяжущему и концентрации мицелл дегтя в результате агрегирования смол и ассоциации углеводородов. Показано влияние минеральных порошков из пористых известняков и кварца на процесс старения асфальтовяжущих веществ.

органическое вяжущее, необратимые изменения, каменноугольный дорожный деготь

Бетонные смеси на органических вяжущих основной материал, использующийся в настоящее время для строительства и ремонта нежестких одежд автомобильных дорог как в Украине, так и за рубежом.

Используемые в дорожном строительстве органические вяжущие в большей степени представлены нефтяными битумами и каменноугольными дегтями.

Одним из широко применяемых дорожно-строительных материалов, который широко использовался с 1950 по 2009 годы в Украине и странах СНГ, являлся дегтебетон, так как сырьевая база для производства каменноугольных вяжущих на два порядка превышает сырьевую базу производства нефтяных битумов [1, 2]. В настоящее время каменноугольные вяжущие широко применяются для укрепления грунтов в районе Чернобыльской АЭС.

По этой причине использование дегтей осуществлялось не только в нижних слоях, но и в покрытиях внегородских дорог III и IV категории. При таком использовании дегтей в достаточной мере проявляется их основной недостаток – повышенная склонность к старению под воздействием внешних факторов, что приводит к снижению трещиностойкости и водостойкости дегтебетонов, и к преждевременному снижению эксплуатационных свойств автомобильных дорог [3].

Известно, что основным из внутренних факторов, определяющим интенсивность старения дегтебетонных смесей и дегтебетонов, является качество дегтя, характеризующееся составом и структурой [3 – 8].

Химический состав каменноугольного дегтя чрезвычайно многообразен. В составе каменноугольных вяжущих насчитывается около 5 000 химических соединений. В настоящее время в его составе идентифицировано около 500 соединений [1, 6].

Каменноугольные дорожные дегти, как и другие органические вяжущие, характеризуются групповым составом. По селективной растворимости в петролейном эфире, толуоле и хинолине выделяют, соответственно, гамма – (γ), бета – (β), альфа – (α) и альфа-1 (α_1) фракции [3, 5].

Исходя из группового состава вышеупомянутых дорожных органических вяжущих, их следует рассматривать как дисперсные системы, которые Р. Н. Трекслер [6] классифицирует как коллоидные.

Каменноугольные дорожные дегти относятся к коллоидным системам, в которых дисперсная фаза представлена конденсированной ароматикой, а дисперсионная среда – смесью углеводородов аро-

матического ряда [7, 9]. Агрегативная устойчивость системы обеспечивается структурно-механическим барьером из поверхностно-активных веществ дисперсионной среды (фенолы, пиридины, тиофены), которые адсорбированы на поверхности частиц дисперсной фазы дегтей [10].

Согласно представлениям Нелленштейна, дегти являются коллоидной системой мицеллярного строения [11]. Каждая мицелла содержит лиофобные частички с ядром — «свободным углеродом» и окружена слоем лиофильных защитных веществ. Устойчивость системы определяется межфазным поверхностным натяжением на границе раздела «среда – мицелла».

Согласно представлениям Л. М. Гохмана, дисперсную фазу дегтя составляют не только вещества не растворимые в толуоле и в петролейном эфире, но и спирто-бензолные смолы [12].

Макк И. [6] считает, что дисперсионная среда дегтей представлена раствором смол в углеводородной среде. Степень объемного наполнения дисперсионной среды смолами и твердыми углеводородами зависит от концентрации дисперсной фазы, температуры кристаллизации и растворяющей способности жидких углеводородов.

Процессы старения в каменноугольных дегтях происходят более интенсивно, чем в битумах. Основными причинами являются более высокое, по сравнению с нефтяными битумами, содержание легкоиспаряющихся компонентов, с молекулярной массой ниже 400, а также ненасыщенные соединения ароматического ряда.

Необратимые изменения, происходящие в составе и структуре дегтя, под действием технологических и эксплуатационных факторов обусловлены снижением растворяющей способности дисперсионной среды дегтя (вследствие испарения компонентов с низкой температурой кипения), вымыванием водорастворимых соединений, смолообразованием под действием радиации и кислорода воздуха. Эти явления приводят к изменению группового состава, снижению пластичности в области отрицательных температур и повышению вязкости дегтя. Происходит формирование жесткого пространственного структурного каркаса из частиц дисперсной фазы. Уменьшается пластичность, повышается температура хрупкости, снижается морозостойкость и водостойкость дегтебетона [13, 14].

Изучение технологического и эксплуатационного старения требует привлечения более глубоких методов анализа, направленных на изучение процессов во внутренней структуре вяжущего. Это даст возможность объяснить полученные ранее закономерности с точки зрения внутримолекулярных изменений в дегтебетоне при его старении.

Согласно [15], реологические характеристики битума под кратковременным действием высоких температур при объединении с минеральными материалами изменяются значительно больше, чем после 19-летнего срока эксплуатации дорожного покрытия при температуре не более 70 °С.

Увеличение времени приготовления, например, асфальтобетонных смесей при оптимальной температуре производства улучшает физико-механические свойства асфальтобетона, особенно если перемешивание происходит в течение первых двух-трех минут [7]. Это обусловлено более равномерным распределением в смеси всех компонентов, рациональным соотношением количества адсорбированного и свободного битума (интенсивное перемешивание снижает количество свободного битума), обеспечивает более равномерное распределение битума на поверхности минеральных частиц.

Текстурные изменения в асфальтобетонном покрытии приводят к перераспределению органического вяжущего, и, как следствие, к уменьшению толщины и сплошности его пленки на частицах минерального материала и увеличению жесткости покрытия.

Старение дегтевяжущих и дегтебетонов подобно старению чистых дегтей и обусловлено потерей легкокипящих фракций, ведущих к дальнейшему структурированию системы, обусловленную как ростом концентрации минерального наполнителя, так и ростом размеров и концентрации мицелл дегтя в результате агрегирования смол и ассоциации углеводородов. При этом кристаллизация ведет к изменению реологического состояния дегтебетонов, повышению температурных переходов от вязко-пластичного к стеклообразному состоянию. Это приводит к снижению скорости релаксации, и, следовательно, росту температуры хрупкости, пластичности и трещиностойкости дегтебетонов.

Старение дегтебетонов сопровождается снижением объема вяжущего в результате испарения, а также уплотнением соединений (при выделении их в фазу), что ведет к возникновению микродефектов структуры и ее пористости. Это приводит к росту диффузии воды под пленку вяжущего и отслаивает её от поверхности минеральных материалов. Диффузия воды в зоне контакта вяжущего с минеральным материалом упрощается при увеличении в адсорбционных слоях водорастворимых полярных углеводородов, склонных также и к испарению, нейтральных углеводородов – в результате их испарения или кристаллизации на поверхности минерального материала [13].

Доминирующей причиной старения органических вяжущих является окисление. Окислительные

процессы происходят в битумах по схеме цепного механизма окисления Баха-Энглера. Под действием температуры, кислорода воздуха и солнечной радиации в смолах и асфальтенах образуются свободные радикалы, которые инициируют появление свободных радикалов в маслах. Свободные радикалы, реагируя с кислородом, образуют перекисные радикалы и гидроперекиси, дальнейшие превращения которых ведут к возникновению высокомолекулярных веществ смешанного характера.

Технологические операции перемешивания битума с минеральными материалами связаны с воздействием на органическое вяжущее высоких температур, вызывающих испарительно-окислительные процессы в битуме (дегте), и, следовательно, приводят к изменению его химического состава и структуры. Поэтому большой интерес представляет изучение влияния разных температур на процессы старения битумов и дегтей.

В работах [17, 18] показано, что использование минеральных порошков из пористых известняков или кварца ускоряет процесс старения асфальтовяжущих веществ. Кварцевые порошки являются катализаторами старения и ускоряют образование в битуме кислородсодержащих веществ с карбоксильной группой, а порошки из плотного известняка замедляют интенсивность старения битумов, тем самым, являясь ингибиторами.

Однако в работе [15] показано, что старение асфальтовяжущих на пористых минеральных порошках характеризуется большей интенсивностью лишь в начальный период, а в дальнейшем происходит с той же скоростью, что и асфальтовяжущих на порошках из плотного известняка.

Исследование старения дегтебетонов в результате прогрева и в естественных условиях показали, что показатели прочности дегтебетонов при сжатии значительно растут. Изменение значений прочности во времени имеют экспоненциальный характер, закономерный для изменения свойств дегтей при прогреве [15, 16].

Использование гранитных материалов в составе дегтебетонных смесей ведет к большему изменению свойств дегтебетонов в результате прогрева, чем при использовании известняковых. В условиях континентального климата, прочность и водостойкость образцов дегтебетона растут к осени и снижаются к весне, т. е. наблюдается цикличность при общем росте прочности во времени.

В результате старения пределы прочности дегтебетонов на растяжение при изгибе ($R_{\text{из}}$) растут, а модули упругости (E^*) — снижаются (при температурах испытания 0, +10 и +20 °C) [16].

При длительном водонасыщении изменение свойств в значительной мере обусловлены природой минеральных материалов, главным образом, природой минерального порошка. Наименее водостойки дегтебетоны при использовании гранитных порошков, а наиболее водостойки при использовании из основных горных пород: известняковых, доломитовых [15]. Длительная водостойкость дегтебетонов на составленных дегтях с использованием каменноугольной смолы ниже, чем при использовании дегтей на основе антраценового масла или окисленных дегтей [19]. Для повышения водостойкости рекомендуется также применять мелкозернистые смеси со средним содержанием щебня (тип В и Б) [16, 19]. Более плотные дегтебетоны характеризуются большей устойчивостью к прогреву и водостойкостью [15, 16].

Водостойкость холодных дегтебетонов после прогрева возрастает и тем больше, чем ниже вязкость дегтя. Такие же закономерности наблюдаются при прогреве горячих дегтебетонов [16].

В то же время в работе [19] показано, что водостойкость горячих дегтебетонов при старении снижается. При старении дегтебетонов происходит упрочнение адгезионных и когезионных связей в результате структурирования вяжущего, рост пористости в результате испарения легкокипящих веществ органического вяжущего, и усадочных явлений из-за уплотнения структурных компонентов дегтя.

Таким образом, старение дегтей влияет на старение дегтевяжущих и дегтебетонов, и в значительной мере зависит от характера взаимодействия вяжущего и минеральной подложки. Также немаловажным является влияние прогрева на рост прочности при сжатии и модуль упругости бетонов, а также снижение прочности после водонасыщения и действия попеременных циклов замораживания-оттаивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брон Я. А. Переработка каменноугольной смолы / Брон Я. А. — М. : Металлургиздат, 1963. — 272 с.
2. Руденская И. М. Перспективы применения каменноугольных продуктов в дорожном строительстве / И. М. Руденская // Труды ГипродорНИИ. — 1975. — Вып. 12. — С. 9–17.

3. Дорожные органические вяжущие как олигомер-полимерные каменноугольные системы / В. И. Братчун, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов [и др.] // Современные проблемы строительного материаловедения: сб. науч. трудов ин-та строит-ва и арх-ры – М. : МГСУ, 2009. – С. 38–46.
4. Колбановская А. С. Дорожные битумы / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
5. Привалов В. Е. Каменноугольный пек / В. Е. Привалов, М. А. Степаненко. – М. : Металлургия. – 1981. – 208 с.
6. Битумные материалы (асфальты, смолы, пеки) / Под ред. А.Д. Хойберга. – М. : Химия, 1974. – 248 с.
7. Братчун В. И. Модифицированные дегти и дегтебетоны повышенной долговечности / В. И. Братчун, В. А. Золотарев. – Макеевка: ДГАСА, 1998. – 226 с.
8. Гун Р. Б. Нефтяные битумы / Гун Р. Б. – М. : Химия, 1978. – 432 с.
9. Братчун В. И. О факторах и этапах старения дегтебетонных смесей и дорожных дегтебетонов / В. И. Братчун, Д. В. Гуляк, В. Л. Беспалов // Ежегодный науч.-техн. сб. «Современные проблемы строительства»: Донецкий ПромстройНИИпроект. – 2009. – Вып. 7 (12). – С. 179–185.
10. Моисеев А. Ф. О свободном углероде каменноугольных дегтей / А. Ф. Моисеев. // ХАДИ. – 1954. – Вып. 17. – С. 64–74.
11. Nellenstain I. F. The Lecture of Congress / I. F. Nellenstain // Roads and road construction. – 1930. – No 2. – P. 100–105.
12. Гохман Л. М. Дополнительные требования к дорожным дегтям / Л. М. Гохман, А. Р. Давыдова // Автомобильные дороги. – 1985. – № 4. – С. 13–14.
13. Коваль А. А. Закономерности старения дегтей, дегтебетонов и пути его замедления: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» / Коваль А. А. – Харьков, 1989. – 26 с.
14. Братчун В. И. О некоторых закономерностях старения бетонных смесей и бетонов на органических вяжущих на примере дегтебетонов / В. И. Братчун, Д. В. Гуляк, В. Л. Беспалов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного ун-та. – Харьков, 2007. – Вып. (40). – С. 59–64.
15. Косьмин А. В. Исследование старения асфальтовяжущих с активированными минеральными порошками / А. В. Косьмин // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – № 2. – С. 74–76.
16. Щербаков И. М. Изменение свойств дегтебетона в процессе старения / И. М. Щербаков, В. В. Алексеев, В. В. Толмачева // Автомобильные дороги. – 1984. – № 3. – С. 15–17.
17. Почапский Н. Ф. Влияние химико-минералогического состава минеральных порошков на старение асфальтового бетона / Н. Ф. Почапский, Л. И. Базжин // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. – 1972. – № 10. – С. 129–133.
18. Соколов Б. Ф. Моделирование эксплуатационно-климатических воздействий на асфальтобетон / Б. Ф. Соколов, С. М. Маслов – Воронеж : Изд-во Воронежского ун-та, 1987. – 103 с.
19. Псюрник В. А. Влияние структурных особенностей дегтебетона на его деформационно-прочностные свойства : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.05, «Строительные материалы и изделия» / В. А. Псюрник. – Харьков, 1984. – 23 с.

Получено 13.12.2010

Д. В. ГУЛЯК

ЧИННИКИ СТАРІННЯ І СТАДІЇ НЕОБОРОТНИХ ЗМІН СКЛАДУ, СТРУКТУРИ І ВЛАСТИВОСТЕЙ ОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Показано, що необоротні зміни, що відбуваються в складі і структурі дьогтю, дьогте-в'яжучих і дьогтебетонів під дією технологічних і експлуатаційних чинників визначаються зниженням розчинювальної здатності дисперсійного середовища дьогтю, втратою легкокиплячих фракцій, ведучих до подальшої структуризації системи, обумовлену поліоксиконденсацією неграничних з'єднань дьогтю, зростанням співвідношення мінерального наповнювача до органічного в'яжучого і концентрації міцел дьогтю в результаті агрегації смол і асоціації вуглеводнів. Показано вплив мінеральних порошків з пористих вапняків і кварцу на процес старіння асфальтов'яжучих речовин.

органічне в'яжуче, необоротні зміни, кам'яновугільний дорожній дьоготь

D. V. GULYAK

AGEING FACTORS AND STAGE OF IRREVERSIBLE CHANGES OF COMPOSITION, STRUCTURE AND PROPERTIES OF ORGANIC BINDERS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The irreversible changes occurring in the compound and structure of tar pitch, tar binders and tar-macadam under the effect of the processing and operation factors have been shown to be determined by decrease of the dissolving power of the tar disperse medium, the loss of light-boiling fractions leading to further system structurization caused by polyoxicondensation of the tar unsaturated compounds, correlation rate of growth of the mineral filler to organic binder and concentration of the tar micelles by the resins aggregation and hydrocarbon association. The impact of the mineral powders of porous limestone and quartz on the ageing process of asphalt binders has been revealed in the paper.

organic binder, irreversible changes, coal road tar

Гуляк Денис В'ячеславович – асистент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: здобуття технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежесткого дорожнього одягу на основі модифікування органічних в'язучих.

Гуляк Денис Вячеславович – ассистент кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

Denis V. Gulyak – a teaching fellow of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: manufacture of easy producible and lasting road concrete for building of structural layers of non-rigid pavement on the base of organic binders modification.

УДК 625.852

С. В. ЕФРЕМОВ, А. С. ЛАПЧЕНКО

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ВЛИЯНИЕ ВОЛОКНА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА

Один из возможных путей повышения качества и долговечности асфальтобетонных покрытий — это применение армирующих волокон как технологических способов управления свойствами асфальтобетона. В предложенной работе предпринята попытка установить эффективность использования этих волокон в асфальтобетоне.

армирующие волокна, асфальтобетон, физико-механические и реологические свойства

Формирование проблемы. Увеличение срока эксплуатации дорожных покрытий из бетонов на органических вяжущих возможно при использовании современных материалов, к которым относятся армирующие волокна. Использование асфальтобетона в дорожном покрытии преследует основную цель — обеспечить функциональные свойства покрытия в течение длительного времени. Эти свойства сводятся в конечном итоге к обеспечению его ровности, сплошности и надежному сцеплению с колесом автомобиля. Функциональные свойства ухудшаются, когда на покрытии образуются: трещины разного происхождения (температурные, старения, усталостные); пластические деформации (волны, наплывы, колеи); выбоины, ямы; обнажение нижнего слоя, как конечная стадия выкрашивания и шелушения покрытия.

Анализ публикаций. Исследователи в Европе [1] и в СССР (прежде всего, Н. В. Горелышев и М. И. Волков) [2, 3] пересмотрели существующие до того взгляды на структуру асфальтобетонов и пришли к выводу, что щебеночный остов может принять на себя сдвигающие нагрузки и предупредить пластическое деформирование покрытия. В результате многочисленных исследований удалось установить, что сдвигоустойчивость асфальтобетона по мере повышения в нем содержания щебня растет до некоторого предела (40—50 % в зависимости от метода испытания), выше которого асфальтобетоны становятся пористыми, что ухудшает их водо-, морозо- и сдвигостойкость [1, 4]. Кроме того, такие асфальтобетонные смеси оказались не технологичными, так как для обеспечения качественного процесса перемешивания требовалось относительно большое содержание битума, который стекал с поверхности каменных материалов, и смесь расслаивалась. По этой причине в последующем, после распада Советского Союза, были приняты новые стандарты в России и Украине. Российский стандарт ограничивает содержание щебня в многощебенистом асфальтобетоне до 60 %, а украинский — до 55 %.

В тоже время исследователи Западной Германии не отказались от идеи разработать сверхщебенистые асфальтобетоны. Результаты их работ привели к созданию щебеночно-мастичных асфальтобетонов (ЩМА), в которых содержание щебня достигает 70 %, а минерального порошка до 13 % [5, 6]. Чтобы обеспечить перемешивание таких смесей и предупредить их расслоение при транспортировке, в них вводят специальные волокна. Эти волокна имеют огромную удельную поверхность, адсорбируют битум, структурируя его до определенного уровня, контролируемого по результатам испытания на стекание [6].

Кроме этого предполагают, что волокна армируют асфальтобетон по типу композитных материалов и цементного фибробетона. Идея асфальтофибробетона, осуществленная в щебеночно-мастичном асфальтобетоне в качестве побочного эффекта, имеет и самостоятельное применение. Для этого

сейчас используют металлические, полимерные волокна, а ранее использовались асбестоволокна [7]. Особенностью ЦМА является относительно низкое отношение порошка к битуму (1,7–1,8), что, наряду с низкой удельной поверхностью минеральных составляющих, приводит к образованию толстых битумных пленок. Это обстоятельство является причиной того, что прочность ЦМА на сжатие, растяжение и сдвиг недостаточно высока. В тоже время его колеестойкость в дорожном покрытии высока из-за каркасности минеральной части.

Цель. Таким образом, одним из способов регулирования свойств асфальтобетона может быть введение армирующего волокна. Целью настоящей работы было определение возможности регулирования физико-механических и реологических свойств многощебенистого асфальтобетона введением полимерных волокон.

Результаты исследования. Объектом исследования служили асфальтобетон и асфальтополимербетон типа А по ДСТУ Б В.2.7-119 с 50 % щебня, как обладающий близкой к максимальной сдвигоустойчивостью под нагрузкой. Пропитанное битумом волокно VIATOR-66 вводили непосредственно в смесь каменных материалов перед введением вяжущего по схеме, принятой для ЦМА. Таким же образом использовано волокно ВА (Фибра) ООО «Спецнаб» (Днепропетровск). В качестве вяжущего принят окисленный битум Кременчугского НПЗ марки БНД 60/90 (Б-1). За счет введения полимера Кратон Д 1192 он переведен в БМП 40/60 (БП-3). Для объективного сопоставления свойств БМП 40/60 (БП-3) и битума равной пенетрации БНД 60/90 (Б-1) был доокислен в лабораторной установке колонного типа при температуре 180 °С до пенетрации 47×0,1 мм (БО-8). Показатели глубины проникания иглы в битум при 25 °С, количество вяжущего, свойства асфальтобетонов и асфальтополимербетонов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства асфальтобетонов

№ смеси	Вид использованного вяжущего	Количество вяжущего, %	Показатели свойств									
			ρ , кг/м ³	W, %	Прочность*, МПа							K_B^{15}
					R_0^3	R_{20}^3	R_{50}^3	R_{50}^{50}	r_{20}^{50}	r_0^{50}	τ_{50}	
1	Б-1 ($\Pi_{25} = 84 \times 0,1$ мм)	5,0	2390	2,10	9,2	4,5	2,10	2,80	1,03	2,80	0,19	0,86
2	БП-3 ($\Pi_{25} = 51 \times 0,1$ мм)	5,2	2400	1,40	10,3	5,1	2,83	3,20	1,14	3,00	0,29	0,89
3	БО-8 ($\Pi_{25} = 47 \times 0,1$ мм)	5,2	2390	1,70	10,7	5,4	3,10	3,43	1,24	3,10	0,22	0,87
4	БО-8 Viator-66 – 0,3 %	5,9	2390	0,40	10,9	6,1	3,23	3,49	1,30	3,20	0,30	0,88
5	БП-3 Viator-66 – 0,3 %	5,5	2380	1,30	10,8	5,2	2,29	3,03	1,24	3,20	0,26	0,91
6	БО-8 Фибра – 0,4 %	5,2	2340	4,20	9,6	6,0	3,15	3,50	1,28	3,21	0,23	0,79
7	БО-8 Фибра – 0,4 %	5,4	2380	2,90	9,8	6,2	3,23	3,64	1,34	3,23	0,26	0,83
8	БО-8 Фибра – 0,4 % Wetfix BE – 0,6 %	5,2	2380	2,90	10,0	6,4	3,45	3,83	1,39	3,28	0,27	
9	БО-8 Фибра – 0,4 % Wetfix BE – 0,6 %	5,4	2390	2,4	10,4	5,0	2,41	2,8	2,2	5,5	0,22	0,90
10	БП-3 Фибра – 0,4 % Wetfix BE – 0,6 %	5,2	2380	2,9	9,6	4,9	1,85	2,61	1,95	5,64	0,18	0,89

* Примечание: ρ – средняя плотность; W – водонасыщение по объему; R_0^3 , R_{20}^3 , R_{50}^3 – прочность на сжатие при 0, 20, 50 °С и скорости деформирования 3 мм/мин; r_{20}^{50} , r_0^{50} – прочность на растяжение (бразильский метод) при 20, 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин; τ_{50} – сдвигоустойчивость при 50 °С; R_{50}^{50} – прочность на сжатие при 50 °С и скорости деформирования 50 мм/мин.

Оценку влияния волокон на асфальтобетон осуществляли по результатам определения показателей, нормируемых ДСТУ Б В 2.7-119-2003, а также по результатам определения прочности на растяжение по образующей, на сдвиг при кручении и реологических характеристик асфальтобетонов по методам ХАДИ.

Введение 0,3 % от массы минеральной части волокна Viatop-66 приводит к незначительному увеличению прочности асфальтобетона (№ 4) на сжатие при 20 °С, и почти к 30 % роста прочности на сдвиг. Прирост других показателей не превышает 10 %. Необходимо отметить, что полученные результаты относятся к смесям, существенно отличающимся по содержанию битума. В случае асфальтополимербетона (№ 5) показатели прочности на растяжении по образующей при высокой скорости деформирования (50 мм/мин) несколько возрастают: при 20 °С от 1,14 МПа до 1,24 МПа (в 1,09 раза), при 0 °С от 3,0 до 3,2 МПа (в 1,07 раза). В тоже время прочность на сжатие и на сдвиг уменьшается. Значения коэффициентов водоустойчивости мало зависят от наличия волокна в обоих рассмотренных случаях. Такое изменение свойств можно объяснить следующими предположениями. Волокна в асфальтобетоне по аналогии с композитными материалами и фиброцементобетонами могли бы выполнять роль арматуры, которая воспринимает растягивающие напряжения. Чтобы выполнять свое назначение, волокна должны иметь хорошее сцепление с матрицей, в данном случае с битумом или асфальтовязующим веществом. Проскальзывание волокон может быть вызвано не только малой адгезией, но и соотношением диаметра и длины волокон. Это особенно важно для систем разной макрозернистости. Имеет значение ориентация волокон, они тем эффективнее, чем большее их количество располагается по направлению растягивающих напряжений. В случае адсорбирующих волокон для ЩМА внимание производителей не акцентируется на конструктивных характеристиках волокон, основное внимание уделяется их адсорбирующей способности.

По отношению к асфальтобетону можно высказать предположения, что эффективность волокна может быть тем выше, чем жестче (прочнее) асфальтобетон, чем лучше сцепление волокна, естественно, большей прочности, с вяжущим (асфальтовязующим), чем более ориентировано волокно в направлении действия растягивающих усилий. Отсюда следует, что в отношении асфальтобетона действие волокна должно быть тем ощутимее, чем ниже температура и чем выше скорость деформирования. Это в некоторой степени подтверждается изменением показателей прочности при растяжении, осуществляемом со скоростью 50 мм/мин как для асфальтобетонов, так и асфальтополимербетонов. При этом можно ожидать, что обычно наблюдаемый максимум на зависимости прочности асфальтобетона от температуры может сместиться в направлении низких температур. Стандартные показатели прочности на сжатие, даже прочность на сжатие при 0 °С, практически не реагирует на присутствие адсорбционного волокна.

Эти результаты хорошо согласуются с общеизвестным фактом, что ЩМА, содержащие адсорбционно-активные волокна для связывания свободного битума имеют очень низкую прочность при испытаниях на сжатие. Согласно данным [8], оптимум вяжущего в асфальтобетоне, в случае применения волокон Viatop-66 на 2 %, выше, чем для асфальтобетона без волокон, а прочность на сжатие при 50 °С на 0,5 МПа меньше.

Влияние типа волокна на прочность ЩМА также рассмотрено в [9]. Сравнение показателей прочности ЩМА, содержащих волокна, с аналогичными показателями обычного асфальтобетона типа А, свидетельствуют в пользу ЩМА (1,63 МПа против 1,2 МПа при 50 °С). Однако это сравнение относится к труднопоставимым системам: ЩМА содержало 15 % минерального порошка, а асфальтобетон — 6,5 %, что привело к ухудшению плотности асфальтобетона типа А (по водонасыщению) в 1,6 раза.

Приведенные здесь результаты поискового эксперимента показали, что адсорбционные волокна, предназначенные для ЩМА, не дают ощутимого эффекта в отношении показателей прочности асфальтобетона. В связи с этим была предусмотрена попытка использовать для армирования асфальтобетона полипропиленовое волокно (фибру).

Использование фибры приводит к разуплотнению асфальтобетона (№ 6) при равном содержании битума (5,2 %), его водонасыщение растет на 2,5 % (более, чем в два раза). Прочность на сжатие при 20 °С увеличивается на 0,6 МПа, но все остальные механические показатели растут в пределах ошибки эксперимента. Тем не менее, это не компенсирует резкого снижения водоустойчивости на 0,08. Такое уменьшение коэффициента длительной водоустойчивости $K_{вод}^{15}$ не может быть связано лишь с повышением водонасыщения. Вероятно, дополнительным обстоятельством такого ухудшения стало слабое сцепление битума с фиброй. Для понижения водонасыщения содержание битума было поднято до 5,4 % (№ 7). Это позволило несколько повысить по сравнению с предыдущим случаем проч-

ность на сжатие при 20 °С на 0,2 МПа, при 50 °С на 0,08 МПа прочность на растяжение при 20 °С на 0,06 МПа, при 0 °С на 0,02 МПа, а сопротивление сдвигу при 50 °С на 0,03 МПа. Все эти результаты свидетельствуют о слабом вкладе принятой в работе фибры в улучшение механических свойств асфальтобетона. В то же время естественное с уменьшением водонасыщения увеличение коэффициента водоустойчивости остается меньшим, чем у асфальтобетона без фибры (на 0,04).

Введение ПАВ в асфальтобетон (№ 8) с 5,2 % битума понижает водонасыщение до 2,9 % (как и за счет повышения на 0,2 % содержания битума). При этом повышается прочность при 20 °С на 0,4 МПа (а по сравнению с асфальтобетоном на чистом битуме на 1 МПа), при 50 °С — на 0,30 МПа (по сравнению с чистым битумом на 0,35 МПа), прочность на растяжение при 20 °С — на 0,11 МПа (а по сравнению с чистым битумом на 0,15 МПа), прочность на сдвиг при 50 °С растет на 0,04 МПа (а по сравнению с чистым битумом на 0,05 МПа). Но наиболее эффективно ПАВ в отношении водоустойчивости асфальтобетона: она приблизилась к значению асфальтобетона с равным содержанием битума без волокна, а по сравнению с асфальтобетоном с равным содержанием битума (5,2 %) и фибры она выросла на 0,06. Отсюда следует, что эффективность фибры может быть обеспечена только при совместном ее использовании с ПАВ. Полная компенсация же потери водоустойчивости за счет повышения содержания битума может привести к утрате преимуществ, касающихся прочностных свойств асфальтобетона.

Армирование фиброй асфальтобетона (№ 7) с 5,4 % БО-8 и введение в него 0,6 % ПАВ (№ 9) несколько понизило водонасыщение и одновременно ухудшило стандартные показатели прочности на сжатие при 20 и 50 °С. В то же время возросла прочность на растяжение при температуре 50 °С и высокой скорости деформирования, которая фактически упрочняет асфальтобетон. Резко увеличилась прочность на растяжение при температуре 0 °С и скорости деформирования при 50 мм/мин. За счет введения ПАВ также повысилась водоустойчивость асфальтобетона, достигнув 0,90 максимального уровня в этой серии испытания.

Совместное введение фибры и ПАВ в асфальтополимербетон (№ 10) с содержанием 5,2 % БП-3 не привело к понижению водонасыщения вероятно в связи с тем, что высокая вязкость армированного асфальто вяжущего требует большей мощности уплотнения. Существенно ухудшились показатели прочности при сжатии. В то же время резко возросла прочность на растяжение при высокой скорости деформирования и температуре 0 °С. Коэффициент водоустойчивости достиг уровня асфальтополимербетона.

Эти результаты подтверждают предложение, касающееся эффективности фибры для асфальтобетонных, предназначенных для работы под высокими нагрузками при низких температурах. В то же время неоднозначность изменения механических свойств с введением фибры в асфальтобетон свидетельствуют о необходимости целенаправленных исследований таких систем.

Проблема недостоверного прогноза поведения асфальтобетона на основе использования нормируемых стандартами Украины и России показателей его качества обсуждается не менее тридцати лет. В странах ЕС и в США достигнут существенный прогресс в разработке и применении методов, основанных, с одной стороны, на фундаментальных законах реологии, а с другой — на принципе приближения их к реальным условиям работы асфальтобетона в дорожной одежде.

В настоящей работе для объективной оценки влияния принятых здесь модифицирующих добавок использован реологический метод. Он заключается в определении температурно-частотных зависимостей модулей упругости, критических деформаций и напряжений, температуры стеклования и вязкопластичности асфальтобетонных в зависимости от вида вяжущего и содержания волокна. Этот метод успешно применяется в Европе и Украине на протяжении более 40 лет [10, 11]. Опыты проводили с использованием вибростенда ХАДИ в диапазоне частот от 0,01 до 40 Гц и температур от 50 до минус 20 °С. Все измерения выполнены в области линейного вязкоупругого деформирования асфальтобетона, т. е. в области прямо-пропорциональной зависимости между напряжениями и деформациями при заданной частоте деформирования.

Введение Viator 66 в асфальтобетон на битуме БО-8 ($P_{25} 47 \times 0,1$ мм) заметно повышает значения модуля упругости при всех температурах (рис. 1, табл. 2), незначительно понижает условную температуру стеклования и коэффициент пластичности, мало сказывается на температуре вязкопластичности и практически не сказывается на значениях критических напряжений и деформаций.

Повышение температуры стеклования асфальтобетона, включающего волокно, может быть связано с его адсорбирующей и структурирующей способностью, подобно тому, что наблюдается при увеличении содержания минерального порошка в асфальтобетоне или уменьшении содержания битума.

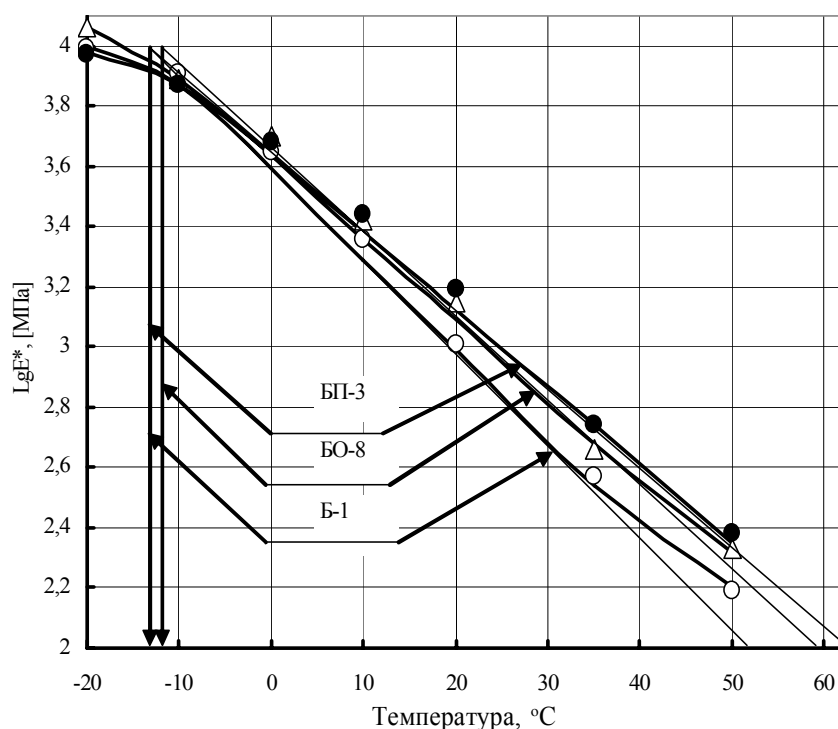


Рисунок 1 – Температурная зависимость модулей упругости асфальто- и асфальтополимербетонов типа А на вяжущих: ○ – Б-1 ($\Pi_{25} = 84 \times 0,1$ мм); △ – БО-8 ($\Pi_{25} = 47 \times 0,1$ мм); ● – БП-3 ($\Pi_{25} = 51 \times 0,1$ мм). Частота деформирования – 0,5 Гц.

Таблица 2 – Реологические характеристики асфальто- и асфальтополимербетонов типа А

Наименование параметра	T, °C	f, Гц	Вяжущее				
			Б-1 5,0 %	БО-8 5,2 %	БП-3 5,2 %	БО-8 + 0,3 % VIATOR 66 5,9 %	БП-3 + 0,3 % VIATOR 66 5,5 %
Комплексный модуль упругости E^* , МПа	-20	0,5	10000	11480	9550	12020	10920
	0	0,5	4470	5010	4790	5620	5260
	+20	0,5	1140	1440	1560	1610	1610
	+50	0,5	160	210	240	260	270
Условная температура стеклования $T_{ст}$, °C	-	0,01	-19	-18	-19,5	-16,0	-19
	-	0,5	-14	-13	-14	-10,0	-12
Коэффициент температурной чувствительности	-	0,01	0,031	0,030	0,028	0,029	0,028
Коэффициент пластичности	+20	-	0,20	0,19	0,20	0,17	0,17
Температура перехода в вязкопластическое состояние $T_{вп}$, °C	-	0,01	44	49	52	51	53
$\sigma_{кр}$, МПа	+20	0,5	0,035	0,06	0,063	0,067	0,065
$\epsilon_{кр} \cdot 10^{-4}$	+20	0,5	0,30	0,41	0,40	0,42	0,40

Наличие волокна в асфальтополимербетоне способствует некоторому повышению значений модулей упругости во всем диапазоне температур, немного понижает коэффициент пластичности и не сказывается на других свойствах. Некоторое снижение усиливающего действие волокна по сравнению с асфальтополимербетоном при этом, вероятно, обусловлено большей вязкостью битумополимерного вяжущего, в котором оно распределено. Эти результаты согласуются с высказанным выше предположением об узко направленном битумоудерживающем эффекте волокон, предназначенных для ЦМА.

Выводы. Введение волокна адсорбента VIATOR 66 в асфальтополимербетонную смесь практически не сказывается на прочностных свойствах из-за повышения вязкости вяжущего за счет полимера. В тоже время прочность асфальтобетона при 20 и 50 °С несколько повышается. Более всего повышается прочность на сдвиг при 50 °С. В тоже время данные по влиянию волокна VIATOR 66 на стандартные показатели свойств асфальтобетонов в значительной степени противоречивы, что, вероятно, связано с несоответствием этих показателей схеме работы волокон в композиционной системе и несоответствием самих волокон структурным особенностям асфальтобетона. Отличительной особенностью действия Viator 66 является то, что его использование практически не ухудшает водоустойчивость асфальтобетона. В тоже время добавка и VIATOR 66 и фибры существенно разуплотняет асфальтобетон. Для обеспечения эффективности фибры в повышении свойств асфальтобетона необходимо компенсировать повышенное водонасыщение и пониженную водоустойчивость за счет повышения содержания вяжущего и использование ПАВ.

Реологические показатели более системно, чем стандартные, отражают влияние рассматриваемых факторов на свойства асфальто- и асфальтополимербетона. При замене битума битумополимерным вяжущим наблюдается повышение значений модулей упругости при положительных температурах, снижение коэффициента температурной чувствительности, повышение температуры перехода в вязкопластичное состояние. В тоже время значение критических напряжений и деформаций, ограничивающих область линейности, для асфальтобетона на битуме и асфальтополимербетона на БМП близкой пенетрации, остаются одинаковыми, хотя по сравнению с асфальтобетоном на исходном менее вязком битуме они существенно увеличиваются.

Введение волокна в битум приводит к заметному увеличению модулей упругости асфальтобетона, особенно при температуре 50 °С, незначительно повышает температуру хрупкости за счет структурирующего эффекта, понижает коэффициент пластичности и повышает температуру перехода в вязкопластичное состояние, практически не влияет на характеристики линейности. В отношении асфальтополимербетона влияние волокна Viator 66 проявляются в меньшей мере.

Совокупность полученных данных свидетельствует о том, что комплексное использование полимеров, поверхностно-активных веществ и правильно выбранного армирующего для повышения прочности при низких температурах волокна может обеспечить существенное улучшение качества асфальтобетона не только по сравнению с асфальтобетоном на исходном битуме, в который вводится полимер, но и по сравнению с асфальтобетоном на битуме, имеющим равную с БМП пенетрацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Les enrobes bitumineux. – Tome 1. – Paris: VISIRE. – 229 p.
2. Горельшев Н. В. Оптимальная структура минерального остова асфальтобетона / Н. В. Горельшев // Материалы работ симпозиума по структуре и структурообразованию в асфальтобетоне. – 1968. – С. 61–75.
3. Волков М. И. Пути повышения качества асфальтобетонных дорожных покрытий / М. И. Волков, В. А. Золотарев // Авторожник Украины, 1967. – С. 25–26.
4. Золотарев В. А. Исследование свойств асфальтобетонов различной макроструктуры : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» / В. А. Золотарев. – Харьков, 1967. – 24 с.
5. Les enrobes bitumineux. – Tome 2. – Paris: VISIRE. – 379 p.
6. Shellenberger K., V.von der Weppen Verfahren zur Bestimmung der Homogemtats – Stabilitat von Splittmastixasphalt // Bitumen, 1. – 1986. – P. 13–14.
7. Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (C8). Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве: [Пер. с франц. д.т.н. В. А. Золотарева, инж. Л. А. Беспаловой; Под общей ред. д.т.н. В. А. Золотарева, д.т.н. В. И. Братчуна]. – Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2003. – 229 с.
8. Соломенцев А. Б. Свойства асфальтовяжущего с добавками Viator 66 и РТЭП / А. Б. Соломенцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009. – № 4. – С. 20–21.
9. Куцина Н. П. Щебеночно-мастичный асфальтобетон на основе технического сырья : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» / Н. П. Куцина. – Белгород, 2007. – 22 с.
10. Huet Ch. Etude par methodes d'impedance du comportement viscoelastique des materiaux hydrocarbones // Theses du Grades d'ingenieur -docteur / Ch. Huet – Paris. – 1963. – 140 p.
11. NFP 98-260-2 Mesure des caracteristique rheologiques des m?langes hydrocarbones. Partie 2. Determination du module complexe par flexion sinusoidale. – 11 p.
12. Золотарев В. А. Реологические свойства асфальтополимербетонов при динамическом режиме деформирования / В. А. Золотарев, В. В. Маляр, А. С. Лапченко // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 1. – С. 10–13.

13. Золотарев В. А. Фундаментальные показатели линейного вязкоупругого деформирования асфальтобетона / В. А. Золотарев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2010. – № 3. – С. 24–27.

Получено 10.12.2010

С. В. ЄФРЕМОВ, А. С. ЛАПЧЕНКО

ВПЛИВ ВОЛОКНА НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ І РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Один з можливих шляхів підвищення якості та довговічності асфальтобетонних покриттів є застосування армуючих волокон як технологічних засобів управління властивостями асфальтобетону. У запропонованій роботі зроблена спроба встановити ефективність використання цих волокон в асфальтобетоні.

армуючі волокна, асфальтобетон, фізико-механічні і реологічні властивості

S. V. YEFREMOV, A. S. LAPCHENKO

FIBER IMPACT ON PHYSICAL AND MECHANICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE

Kharkiv National Automobile and Highways University

One way of upgrading and durability of asphalt concrete pavement is the application of reinforcing fibers as the processes of properties control of asphalt concrete. The paper has tried to set the application efficiency of the fibers in asphalt concrete.

reinforcing fibers, asphalt concrete, physical and mechanical and rheological properties

Єфремов Сергій Всеволодович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів дорожньо-будівельного факультету Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: фізико-механічні властивості та довговічність асфальтобетону з урахуванням впливу на них агресивних середовищ.

Лапченко Артем Сергійович – кандидат технічних наук, науковий співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів дорожньо-будівельного факультету Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: реологічні властивості асфальтополімербетонів при динамічній деформації.

Ефремов Сергей Всеволодович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры технологии дорожно-строительных материалов дорожно-строительного факультета Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: физико-механические свойства и долговечность асфальтобетонов с учётом влияния на них агрессивных сред.

Лапченко Артем Сергеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры технологии дорожно-строительных материалов дорожно-строительного факультета Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: реологические свойства асфальтополимербетонов при динамическом деформировании.

Sergey V. Yefremov – a Ph. D. (Engineering), a senior research worker of the Production Engineering of Road Building Materials Department of the Department of Road Engineering of the Kharkiv National Automobile and Highway University. Research interests: physical and mechanical properties and durability of asphalt concrete regarding impact of corrosive medium on them.

Artem S. Lapchenko – a Ph. D. (Engineering), a research worker of the Production Engineering of Road Building Materials Department of the Department Road Engineering of the Kharkiv National Automobile and Highway University. Research interests: rheological properties of asphalt polymer-impregnated concrete at dynamic deformation.

УДК 666.972: 691.322

С. Н. ТОЛМАЧЕВ, Е. А. БЕЛИЧЕНКО

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ПРОЧНОСТЬ ПРЕССОВАННЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ С УГЛЕРОДНЫМИ КОЛЛОИДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

В статье рассматриваются вопросы влияния углеродных коллоидных частиц на прочность прессованных мелкозернистых цементных бетонов. Установлено оптимальное водотвердое отношение и содержание углеродных коллоидных частиц, обеспечивающее увеличение прочности прессованного цементного камня и цементно-песчаных растворов. Проведены электронно-микроскопические исследования прессованного цементного камня с углеродными коллоидными частицами и без них.

прессованные мелкозернистые бетоны, углеродные коллоидные частицы, прочность, водотвердое отношение, прессованный цементный камень, прессованные цементно-песчаные растворы

Анализ исследований и публикаций.

Исследованиями в области применения наночастиц и частиц коллоидных размеров, как модификаторов структуры, в строительном материаловедении занимаются ряд ученых: Ю. М. Баженов, В. Н. Выровой, П. Г. Комохов, П. В. Кривенко, В. С. Лесовик, А. Н. Плугин, М. А. Саницкий, Л. Г. Филатов. В основном исследования основываются на применении природного нанодисперсного сырья (глины, трепел, опока, туфы, пеплы) или нанодисперсного кремнезема. Следует отметить, что в основе теоретического подхода к синтезу высококачественных строительных материалов на основе использования наночастиц лежат классические представления и закономерности коллоидной и физической химии.

Е. В. Королев [1] считает, что в настоящее время перспективной стратегией развития нанотехнологий является синтез наноструктур. Современные технологии строительных материалов базируются на использовании многокомпонентных высокодисперсных смесей. Такой подход позволяет повысить показатели эксплуатационных свойств строительных композитов. При этом экстремум свойств проявляется в малых диапазонах изменения концентраций компонентов смеси. При отклонении от оптимального значения наблюдается значительное снижение показателей эксплуатационных свойств.

По мнению Е. Н. Прудкова [2] среди перспективных направлений нанотехнологии в строительной отрасли можно выделить: высокодисперсное измельчение исходных материалов (например, наполнители, вяжущие и др.) и наноармирование; активирование воды затворения.

Цели. Проведенный нами литературный анализ показал, что отсутствуют исследования в области применения углеродных наночастиц в технологии цементных композитов, нет определенности в понимании механизма действия углеродных частиц коллоидных размеров (наночастиц) на цементные системы. Поэтому актуальным является выявление механизма и роли углеродных коллоидных частиц (УКЧ) наноуровня в технологии мелкозернистых бетонов. Целью исследований является изучение закономерностей влияния углеродных коллоидных частиц на прочность и процессы структурообразования прессованных мелкозернистых цементных бетонов.

Основной материал. В исследованиях применяли следующие материалы: цемент ПЦ I–500Н Балаклейского цементного комбината, кварцевый песок с модулями крупности $M_{кр} = 1,1...2,4$ карьера Днепропетровской области. Вода для затворения прессованного цементного камня и цементно-песчаных растворов применялась дистиллированная, соответствующая требованиям ГОСТ 23732. Уг-

леродные коллоидные частицы (УКЧ) в виде малоконцентрированной водной суспензии (гидрозоля), концентрация которых составляет 0,9 г/литр. Метод синтеза водной суспензии разработан в Украинском государственном научно-исследовательском углехимическом институте [3]. Прессование образцов-цилиндров размером $d = h = 5$ см осуществлялось при давлении 40 МПа. Образцы твердели в нормальных условиях, предусмотренных для бетона и бетонных изделий, или подвергались тепловлажностной обработки. Применяли стандартные методы определения прочности при сжатии.

Исследования, проведенные ранее [4], позволили определить область критической концентрации мицеллообразования (ККМ) гидрозоля, содержащего углеродные коллоидные частицы. Также была установлена взаимосвязь между областями ККМ и увеличением прочности виброуплотненных цементных систем в условиях естественного твердения и тепловлажностной обработки (ТВО).

Проводились исследования по выявлению влияния УКЧ на прочность прессованного цементного камня и прессованного мелкозернистого бетона после естественного твердения и ТВО.

Исследования прочности прессованного цементного камня при $V/T = 0,1$ показали (рис. 1), что на 3 суток естественного твердения очевидны экстремумы в области содержания УКЧ 0,0045 % и 0,0225 % от массы цемента. Прочность при этих концентрациях возрастает в 1,4 раза и 1,37 раз соответственно по сравнению с контрольным составом. К 28 суткам твердения наблюдается экстремум для содержания УКЧ 0,0225 % от массы цемента, прочность возрастает в 1,3 раза по сравнению с контрольным составом. Дальнейшее увеличение содержания УКЧ приводит к снижению прочности прессованного цементного камня.

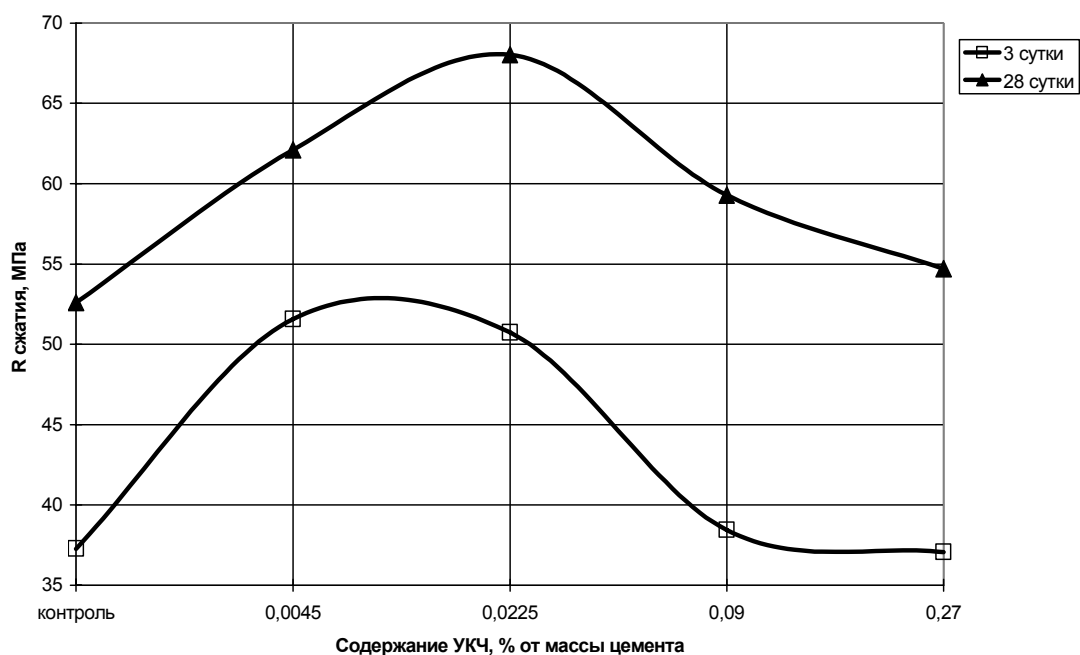


Рисунок 1 — Зависимость прочности прессованного цементного камня естественного твердения от содержания УКЧ.

Проводились исследования по выявлению оптимального водотвердого отношения и оптимального содержания УКЧ прессованных мелкозернистых бетонов состава Ц : П = 1 : 1,5 после ТВО и в условиях естественного твердения.

Очевидно (рис. 2), что оптимальным водотвердым отношением, при котором наблюдается значительное увеличение прочности прессованных мелкозернистых бетонов после ТВО, является 0,085. Для данного водотвердого отношения с увеличением содержания УКЧ до 0,0135 и 0,0225 % от массы цемента прочность увеличивается в 1,47 и 1,53 раза соответственно по сравнению с контрольным составом. Дальнейшее увеличение содержания УКЧ приводит к снижению прочности, и лишь для $V/T = 0,09$ при расходе УКЧ 0,0315 % от массы цемента наблюдается незначительное увеличение прочности.

Аналогичная закономерность наблюдается и для прессованных мелкозернистых бетонов естественного твердения (рис. 3). Оптимальным водотвердым отношением, при котором наблюдаются существенные увеличения прочности, является 0,085 и расход УКЧ 0,0225 % от массы цемента.

Очевидно, что с увеличением содержания УКЧ до 0,0045 % от массы цемента наблюдается снижение прочности для составов с водотвердым отношением 0,08 и 0,085. Дальнейшее увеличение расхода УКЧ до 0,0135 % от массы цемента приводит к резкому увеличению прочности в 1,25 раз для водотвердого отношения 0,085 и 0,09.

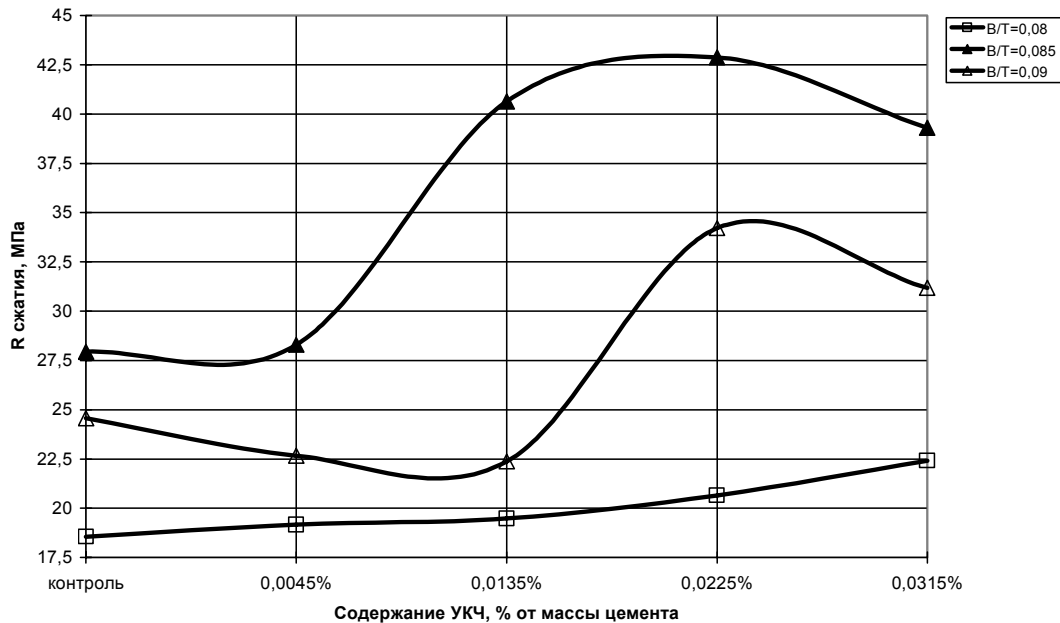


Рисунок 2 — Зависимость прочности прессованных мелкозернистых бетонов от содержания УКЧ после ТВО.

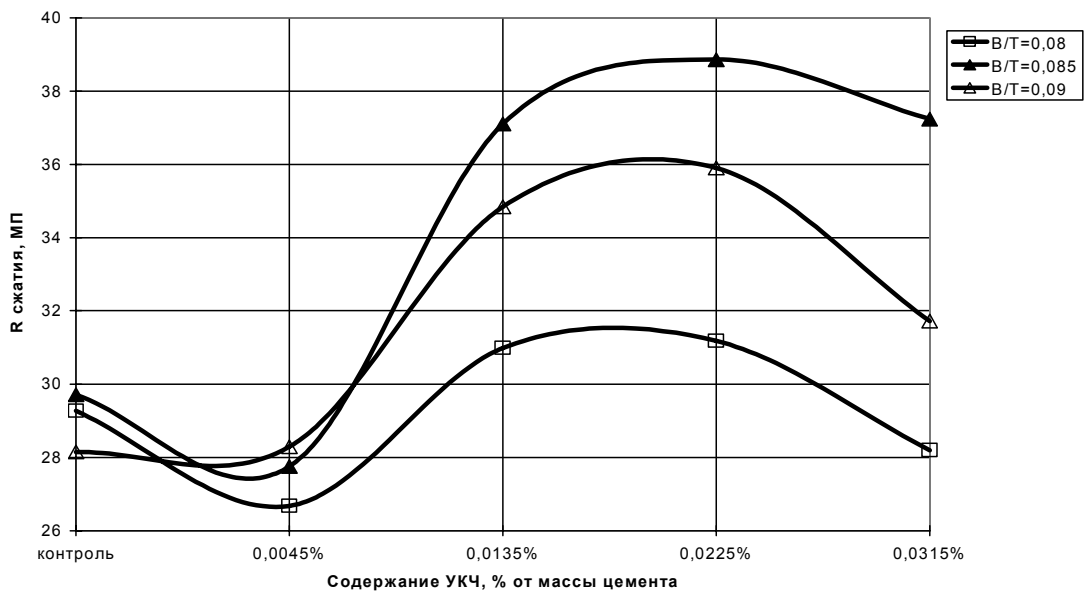


Рисунок 3 — Зависимость прочности прессованных мелкозернистых бетонов от содержания УКЧ в условиях естественного твердения.

Для $V/T = 0,08$ прочность увеличивается незначительно, лишь на 5 %. Для содержания УКЧ 0,0225 % от массы цемента прочность увеличивается в 1,3 раза для $V/T = 0,09$, в 1,32 раза для $V/T = 0,085$. А для $V/T = 0,08$ прироста прочности с увеличением расхода УКЧ не наблюдается. Дальнейшее увеличение содержания УКЧ до 0,0315 % от массы цемента приводит к снижению прочности всех составов.

Увеличение прочности в условиях прессования С.П. Ничипоренко [5] объясняет тем, что при давлении происходит выдавливание гидратных пленок и образование большего количества точечных контактов.

Результаты, полученные нами в ходе исследований прессованных мелкозернистых цементных бетонов, согласуются с результатами, полученными ранее для виброуплотненных цементных бетонов [6]. Было показано, что для цементно-песчаных растворов состава Ц : П = 1 : 3 прочность при сжатии к 28 суткам твердения после ТВО увеличивается на 30 % по сравнению с контрольным составом.

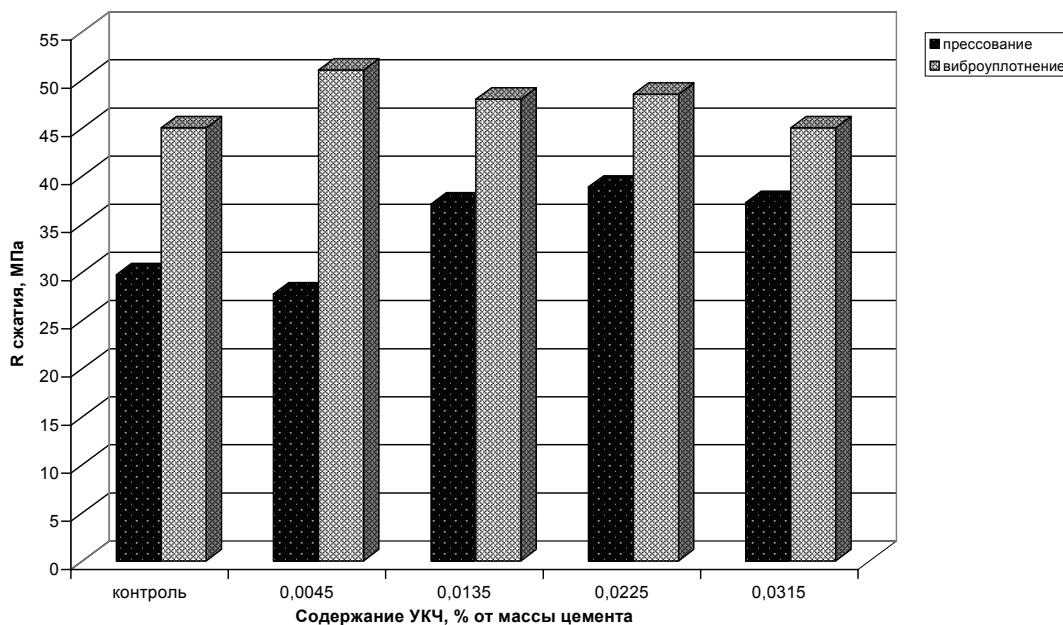


Рисунок 4 — Сравнительная диаграмма технологий изготовления мелкозернистых бетонов составов Ц : П = 1,0 : 1,5.

Установлено (рис. 4), что для виброуплотненных мелкозернистых бетонов естественного твердения при Ц : П = 1,0 : 1,5 наблюдается незначительное увеличение прочности составов с УКЧ по сравнению с контрольным составом. Для прессованных мелкозернистых бетонов естественного твердения при таком же соотношении «вяжущее-заполнитель» наблюдается увеличение прочности на 32 % для составов с расходом УКЧ 0,0225 % от массы цемента по сравнению с контрольным составом.

По мнению В. С. Лесовика [7] наночастицы, равномерно распределенные в цементном тесте, ускоряют процессы гидратации, заполняют поры, что приводит к улучшению микроструктуры и увеличению прочности цементного камня.

Для выявления влияния УКЧ на характер твердения и процессы структурообразования прессованного цементного камня были проведены электронно-микроскопические исследования на растровом электронном микроскопе JSM – 6390.

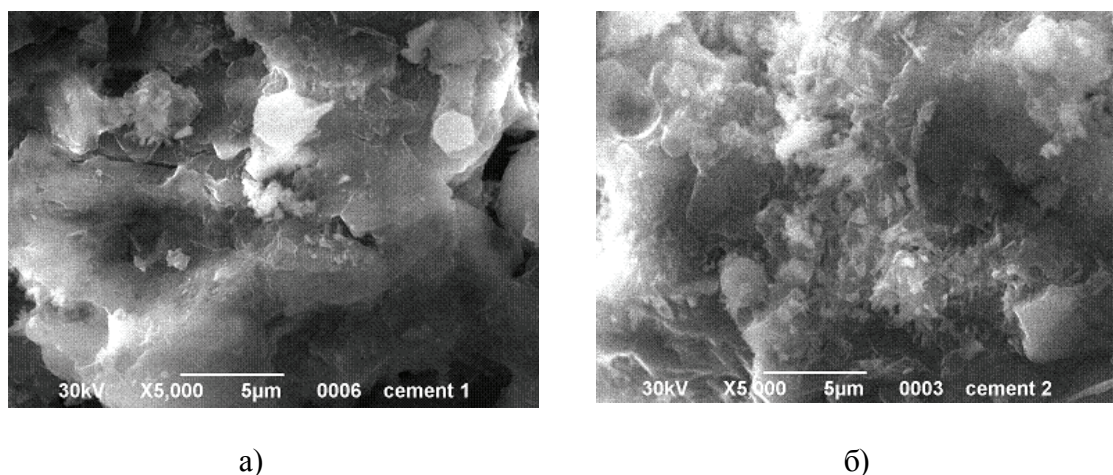


Рисунок 5 — Электронно-микроскопическое изображение прессованного цементного камня: а) контрольный состав, б) состав с содержанием УКЧ 0,0225 % от массы цемента.

Очевидно, что для контрольного состава (рис. 5а) характерна рыхлая крупнокристаллическая структура с хаотическим расположением кристаллических сростков. Присутствуют поры разного диаметра. Для составов с расходом УКЧ 0,0225 % от массы цемента (рис. 5б) характерна мелкокристаллическая структура с более плотными новообразованиями и равномерно распределенными порами меньшего радиуса. Это свидетельствует о большей степени закристаллизованности структуры цементного камня с УКЧ.

Ю. В. Пухаренко с соавторами [8] считают, что одним из механизмов действия наночастиц является смещение химического равновесия. Наночастицы способны влиять на процессы гидратации, т. е. могут вызывать изменение растворимости составляющих фаз гидратирующегося цемента. Коллоидные частицы наноуровня способны замедлять пересыщение ионов Ca_2^+ по отношению к $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Поэтому в начальный период процесс зародышеобразования гидратов сдерживается. Снижение скорости пересыщения Ca_2^+ в жидкой фазе определяет возможность образования кристаллогидратов не только вблизи поверхности цементных зерен, но и в объеме межзернового пространства, который равномерно заполняется кристаллическими новообразованиями. Следствием является изменение поровой структуры цементного камня. При этом объем крупных пор сокращается вследствие перераспределения объема поровой системы в микропоры. Таким образом формируется равномерно распределенная по объему поровая система с меньшим средним радиусом пор.

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования позволили определить оптимальное содержание УКЧ 0,0225 % от массы цемента для прессованного цементного камня естественного твердения.
2. Установлено, что для прессованных мелкозернистых бетонов как естественного твердения, так и после ТВО, оптимальным водотвердым отношением является 0,085 и оптимальным расходом УКЧ — 0,0225 % от массы цемента.
3. Показано, что для прессованных цементных систем существует такая же взаимосвязь между областями ККМ и увеличением прочности, как и для виброуплотненных.
4. Проведенные электронно-микроскопические исследования прессованного цементного камня позволили установить, что структура камня с оптимальным расходом УКЧ 0,0225 % от массы цемента отличается от структуры камня без УКЧ более равномерным распределением пор и меньшим их радиусом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев Е. В. Основные принципы практической нанотехнологии в строительном материаловедении / Е. В. Королев // Нанотехнологии в строительстве : научный интернет журнал. — 2009. — № 1. — С. 66–79. — Режим доступа к журн. : <http://www.nanobuild.ru>.
2. Прудков Е. Н. Нанотехнологии в производстве цементных бетонов / Е. Н. Прудков, М. С. Закуражнов // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии : сб. докл. Междунар. научн.-практич. конф. Ч. 1. / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. — Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2007. — С. 203–206.
3. Зеленский О. И. Виды углеродных наночастиц, выделенных из углей и продуктов его термической переработки / О. И. Зеленский, С. И. Богатыренко, В. М. Шмально // Физико-химические основы формирования и модификации микро- и наноструктур : сб. науч. тр. Междунар. научн. конф. Т. 1 / Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина. — Харьков : Изд-во ХНУ им. В. Н. Каразина, 2009. — С. 66–69.
4. Особенности структурообразования цементных систем с углеродными наночастицами / С. Н. Толмачев, И. Г. Кондратьева, Е. А. Беличенко, С. О. Гридчин // Збірник наукових праць УкрДАСТ. — Харків: УкрДАСТ, 2010. — Вип. 115. — С. 22–27.
5. Структурообразование в дисперсиях слоистых силикатов / Под общ. ред. С. П. Ничипоренко. — К. : Наук. думка, 1978. — 204 с.
6. Толмачев С. Н. Технологические, механические и структурные характеристики цементных систем с углеродными коллоидными частицами / С. Н. Толмачев, Е. А. Беличенко, А. Г. Холодный // Строительные материалы. — № 9. — 2010. — С. 96–100.
7. Лесовик В. С. Нанотехнологии в производстве цемента. Обзор направлений исследования и перспективы развития / В. С. Лесовик, В. В. Строкова, Ф. Е. Жерновой // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии : сб. докл. Междунар. научн.-практич. конф. Ч. 1. / Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. — Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2007. — С. 146–151.
8. Смешанный наноглеродный материал в цементных композитах / Ю. В. Пухаренко, И. У. Аубакирова, В. А. Никитин [и др.] // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. — 2010. — № 10. — С. 16–17.

Получено 10.01.2011

С. М. ТОЛМАЧОВ, О. А. БЕЛІЧЕНКО
МІЦНІСТЬ ПРЕСОВАНИХ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ З
ВУГЛЕЦЕВИМИ КОЛОЇДНИМИ ЧАСТИНКАМИ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У статті розглядаються питання впливу вуглецевих колоїдних частинок на міцність дрібнозернистих цементних бетонів. Встановлено оптимальне водотверде відношення та вміст вуглецевих колоїдних частинок, що забезпечує збільшення міцності пресованого цементного каменю та пресованих цементно-піщаних розчинів. Проведені електронно-мікроскопічні дослідження пресованого цементного каменю з вуглецевими колоїдними частинками та без них.

дрібнозернисті цементні бетони, вуглецеві колоїдні частинки, міцність, водотверде відношення, пресований цементний камінь, пресовані цементно-піщані розчини

S. N. TOLMACHEV, O. A. BELICHENKO
STRENGTH OF PRESSED FINE-GRAINED CEMENT CONCRETE FILLED WITH
CARBON COLLOIDAL PARTICLES

Kharkiv National Automobile and Highways University

The paper deals with the problems of the effect of carbon colloidal particles on the pressed fine-grained cement concrete strength. The optimum water-aggregate ratio and the carbon colloidal particles content providing the strength increase of the pressed cement stone and cement and sand mortars have been fixed. The electronic and microexamination of the pressed cement stone filled with carbonaceous colloidal particles and without them have been conducted.

fine-grained cement concrete, carbon colloidal particles, strength, water-aggregate ratio, pressed cement stone, pressed cement and sand mortars, cement stone, compaction cement-sandy solution, water firm relation

Толмачов Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій дорожньо-будівельних матеріалів ім. М. І. Волкова Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: дослідження закономірностей впливу вуглецевих колоїдних частинок (наночастинок) на міцність і процеси структуроутворення дрібнозернистих бетонів. Виявлення механізму дії вуглецевих колоїдних частинок в технології цементних бетонів.

Беліченко Олена Анатоліївна – аспірант кафедри технологій дорожньо-будівельних матеріалів ім. М. І. Волкова Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: дослідження закономірностей впливу вуглецевих колоїдних частинок (наночастинок) на міцність і процеси структуроутворення дрібнозернистих бетонів. Виявлення механізму дії вуглецевих колоїдних частинок в технології цементних бетонів.

Толмачев Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий дорожно-строительных материалов им. М. И. Волкова Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: исследование закономерностей влияния углеродных коллоидных частиц (наночастиц) на прочность и процессы структурообразования мелкозернистых бетонов. Выявление механизма действия углеродных коллоидных частиц в технологии цементных бетонов.

Беличенко Елена Анатольевна — аспирант кафедры технологий дорожно-строительных материалов им. М. И. Волкова Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: исследование закономерностей влияния углеродных коллоидных частиц (наночастиц) на прочность и процессы структурообразования мелкозернистых бетонов. Выявление механизма действия углеродных коллоидных частиц в технологии цементных бетонов.

Sergey M. Tolmachev — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the M. I. Volkov Production Engineering of Road Building Materials Department of the Kharkiv National Automobile and Highways University. Research interests: investigations of the regularity of the carbon colloidal particles (nanoparticles) on the strength and processes of structurization of the fine-grained cement concrete. Detection of the carbon colloidal particles mechanism in the cement concrete technique.

Olena A. Belichenko — a postgraduate of the M. I. Volkov Production Engineering of Road Building Materials Department of the Kharkiv National Automobile and Highways University. Research interests: investigations of the regularity of the carbon colloidal particles (nanoparticles) on the strength and processes of structurization of the fine-grained cement concrete. Detection of the carbon colloidal particles mechanism in the cement concrete technique.

УДК 625.855.3

В. В. МАЛЯР

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА (АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНА) В ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЕ

В работе проведен анализ напряженно-деформированного состояния работы асфальтобетона различного состава в дорожной конструкции с учетом его физической нелинейности и трения между слоями с использованием метода конечных элементов.

асфальтобетон, асфальтополимербетон, битум, напряженно-деформируемое состояние, конечно-элементная модель

Введение. В работе по исследованию комплексного модуля упругости асфальтополимербетона на вибростенде ХАДИ было отмечено, что при определении области линейной вязкоупругости этого материала критические напряжения и деформации больше, чем у асфальтобетона [3]. Традиционно считается, что эти материалы должны работать в конструкции дорожных одежд без остаточных деформаций и такие характеристики в какой-то степени отвечают за это. В то же время [7] любая автомобильная нагрузка, даже за одно приложение, вызывает пусть и небольшую, но остаточную деформацию. Поэтому, вызывает интерес сопоставление этих критических напряжений с реальными напряжениями, возникающими в асфальтобетонном (асфальтополимербетонном) покрытии автомобильных дорог.

Также представляет интерес учет физической нелинейности асфальтобетона и трения между слоями при определении максимальных растягивающих напряжений, которые могут быть одной из причин разрушения асфальтобетона в дорожной одежде. Использование асфальтополимербетона в верхнем слое усиливает дорожную конструкцию по упругому прогибу и ослабляет ее по критерию прочности.

Для выяснения этих особенностей работы асфальтобетона использован численный метод расчета напряженно-деформируемого состояния (НДС) дорожной конструкции на основе программного комплекса, где математической основой, на которой построен вычислительный аппарат, является метод конечных элементов (МКЭ). Была предложена осесимметричная конечно-элементная модель конструкции дорожной одежды (по аналогии с [8]), поставлена статическая задача расчета НДС в асфальтобетонных слоях дорожной одежды от транспортной нагрузки, учтены физическая нелинейность асфальтобетона и различные условия работы контактов между слоями (контактная задача).

Постановка задачи. В качестве примера расчета была взята конструкция дорожной одежды из ВБН [1] (приложение Л14). Схема конструкции: верхний слой – плотный асфальтобетон (объект исследования); второй слой – пористый асфальтобетон, третий слой – высокопористый асфальтобетон; четвертый слой – гравийно-песчаная смесь; пятый слой – грунт, который опирается на скальную породу.

В расчетах НДС асфальтобетона в покрытии использованы значения кратковременного модуля упругости согласно ВБН [1] и значения, которые получили на вибростенде ХАДИ при гармоническом анализе. Соответствия времени действия импульсной нагрузки 0,1 с и частоты гармонической нагрузки 1,59 Гц были предложены в [5] на основе равенства импульса силы при одинаковом напря-

женном состоянии. Эти данные были подтверждены экспериментально. Также были получены значения модулей упругости для асфальтобетонов (асфальтополимербетонов) различных гранулометрических типов с вяжущими различной консистенции при разной температуре при частоте деформирования 1,59 Гц (или круговой частоте 10 рад/с, как в стандарте Supergrape).

Результаты расчета. В табл. 1 приведены значения максимальных интенсивностей напряжений по Мизесу для мелкозернистого плотного асфальтобетона типа «Б» в рассматриваемой конструкции.

Таблица 1 — НДС асфальтобетона при разных температурах

Параметры	Температура, °С				
	10	20	30	40	50
Максимальная интенсивность напряжений (σ), МПа	0,494	0,406	0,305	0,283	0,286
Прогиб, мм	0,328	0,424	0,538	0,627	0,696

Примечание — температура всех слоев конструкции одинаковая.

Результаты расчета показали, что увеличение жесткости верхнего слоя за счет увеличения модуля упругости асфальтобетона как при охлаждении, так и при увеличении вязкости вяжущего (табл. 2) приводит к увеличению напряжений в этом слое. В принципе, любое увеличение жесткости монолитного слоя на упругом основании, даже за счет увеличения его толщины [4], может приводить к повышению напряжений и снижению прочности дорожной одежды.

Охлаждение всей конструкции с 50 до 10 °С уменьшает ее прогиб почти в 2 раза и увеличивает напряжения тоже почти в 2 раза, прочность асфальтобетона при этом увеличивается примерно в 10 раз. При изменении вязкости вяжущего (уменьшения пенетрации) в асфальтобетоне верхнего слоя прогиб изменяется незначительно, а напряжения в нем возрастают почти в 2 раза.

Таблица 2 — НДС асфальтобетона при температуре 20 °С

Асфальтобетон на битуме марки:	Модуль упругости верхнего слоя, МПа	σ , МПа	σ_k , МПа	σ/σ_k , МПа	Прогиб, мм
БНД 40/60	2600	0,545	0,142	3,8	0,412
БНД 60/90	1800	0,406	0,082	4,9	0,424
БНД 90/130	1200	0,313	0,044	7,1	0,439
БНД 130/200	800	0,278	0,024	11,6	0,455

В табл. 2 приведены значения критических напряжений (σ_k) перехода в область нелинейной вязкоупругости, полученных на вибростенде [3]. При снижении вязкости вяжущего и, возможно, за счет повышения температуры, соотношение σ/σ_k увеличивается. Следствием этого будет большее накопление остаточных деформаций, особенно при высоких эксплуатационных температурах.

Влияние физической нелинейности асфальтобетона на его НДС. Был проведен анализ существующих данных диаграмм напряжение — деформация при разных температурах и схемах (растяжение, сжатие) [9]. На начальных участках деформирования при каждой температуре зависимости растяжения и сжатия совпадают, затем при повышении уровня напряженного состояния они расходятся. Большие напряжения при одинаковом деформировании и, соответственно, прочность асфальтобетона наблюдаются при сжатии. Это традиционно объясняется структурной особенностью асфальтобетона, а именно его коагуляционной структурой. При небольших напряжениях происходит вязкоупругое объемное деформирование, обусловленное деформированием структурированных пленок битума и минерального материала. Дальнейшее повышение напряжения при сжатии приводит к росту числа контактов минерального материала через пленки битума и, возможно, образование в некоторых зонах контактной структуры. Таким образом, существуют предельные напряжения (σ_n), выше которых модуль деформации асфальтобетона различен для сжатия и растяжения.

Если сопоставить напряжения σ , которые имеют место в покрытии при реальной транспортной нагрузке и предельные напряжения σ_n , при которых наблюдается равенство модулей деформации

(рис. 1), то при температурах ниже 30 °С они также меньше предельных. При высоких эксплуатационных температурах (свыше 30 °С) происходит их инверсия.

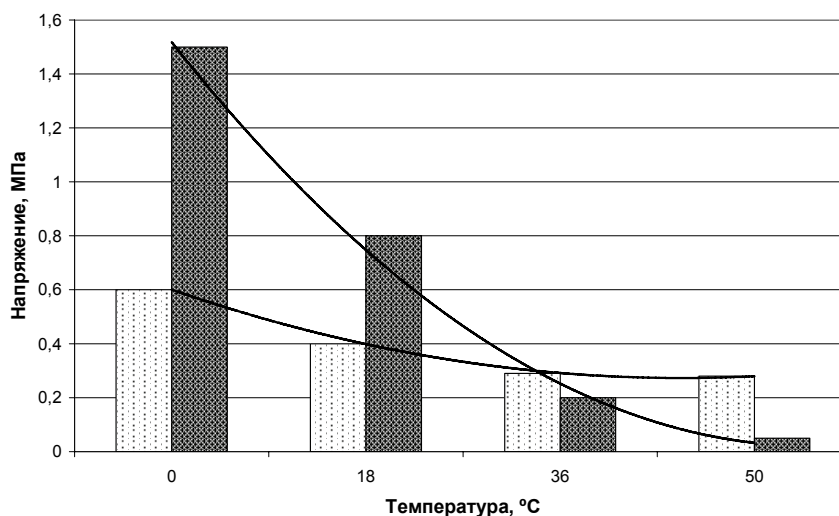


Рисунок 1 — Зависимость интенсивности напряжений в асфальтобетонном слое σ (светлые столбцы) и предельных напряжений σ_l (темные столбцы) от температуры.

Также можно сопоставить значения критических напряжений σ_k с предельными напряжениями σ_l . Эти критические напряжения в зависимости от температуры составляют 0,024...0,142 МПа, что меньше предельных напряжений 0,05...0,6 МПа. Таким образом, значения модуля упругости, определяемые по методике [2] (изгиб консольной балки), корректны по отношению выбора схемы деформирования, т. е. не зависят от схемы НДС. Определение модуля упругости асфальтобетона на маятниковом приборе по методике [1] следует проводить с ограничением уровня напряженного состояния, особенно для высоких температур.

Модуль деформации асфальтобетона, определяемый как тангенс угла наклона касательной к кривой диаграммы напряжение-деформация, не является постоянной величиной и уменьшается по мере роста напряжений. Определение модуля упругости (деформации) асфальтобетона по стандартной методике [1] проводят с нагрузкой равной 20–30 % от разрушающей. Для температуры испытания 0 °С эта нагрузка составляет 1,6–3,0 МПа (принимали 2,0 МПа). Тогда, используя данные [9], можно констатировать тот факт, что даже при расчетной температуре 0 °С до этого уровня напряженного состояния асфальтобетон проявляет физическую нелинейность. При этом значение модуля упругости больше модуля деформации примерно в 4–5 раз. Аналогичные данные приведены в [10], где для температуры 5 °С в зависимости от скорости деформирования можно наблюдать линейную зону не более 1/10 части от значения прочности.

Таким образом, в физической модели асфальтобетона его деформационные свойства при температуре 0 °С на растяжение и сжатие одинаковые, и материал представлен как нелинейно-упругое (полилинейное) тело. Такое описание поведения материала используется для анализа отклика консервативной системы, разгрузка которой происходит по тому же самому пути, что и нагрузка. Для этого вида нелинейности при расчете шаги нагружения могут быть относительно большими.

Для верхнего слоя варьировали значение коэффициента поперечной деформации (от 0,27 до 0,37 при стандартном времени действия нагрузки 0,1 с [6]) и модуль упругости (от 4 500 до 6 000 МПа). Такие изменения возможны при использовании асфальтобетона на модифицированном битуме или на битуме большей вязкости. Также при моделировании были заложены в исходные данные конечно-элементной программы нелинейные свойства асфальтобетона верхнего слоя, т. е. модуль деформации при различных уровнях НДС ($E_1 = f(\sigma)$).

Наибольшие интенсивности напряжений в многослойной конструкции наблюдались в каждом асфальтобетонном слое: в первом слое — в верхней части, во втором и третьем слое — в нижней части. Щебеночный слой и слой грунта рассеивал оставшиеся напряжения. Варьирование значений коэффициента поперечной деформации μ в принятых пределах меняет значение максимальной интенсивности напряжений не более, чем на 20 % (табл. 3).

Таблица 3 – Значения НДС асфальтобетона при температуре 20 °С

Наименование показателя	$E_1 = 4500$ МПа			$E_1 = 6000$ МПа	$E_1 = f(\sigma)$
	$\mu = 0,27$	$\mu = 0,3$	$\mu = 0,37$	$\mu = 0,3$	$\mu = 0,3$
Максимальная интенсивность напряжений, МПа	0,646	0,695	0,767	0,932	1,38
Прогиб, мм	0,311	0,309	0,307	0,303	0,279

Результаты расчета с использованием нелинейной модели асфальтобетона показали (табл. 4, $E_1 = f(\sigma)$), что максимальные напряжения в верхнем слое больше в 2 раза по сравнению с полученными при линейном анализе. Таким образом, использование в расчетах конструкций дорожных одежд модулей упругости (деформации), определенных по стандартной методике [1], занижает расчетные значения напряжения из-за меньших значений E_1 . Поэтому в расчетах необходимо использовать значения нелинейных свойств разных типов асфальтобетонов, в том числе для нижних слоев.

Учет трения между слоями. Наиболее опасный случай работы асфальтобетона в покрытии считается тогда, когда не обеспечивается достаточное сцепление покрытия с основанием. Здесь рассматриваются два варианта: отсутствие трения (гладкий контакт) и сцепленные слои, контакт которых характеризуется модулем сцепления.

Рассмотрена контактная задача в МКЭ, где асфальтобетонные слои сцеплены с основанием, а количественная характеристика трения – это контактная жесткость (коэффициент трения k в законе Амонтона-Кулона). Результаты расчета показали, что при гладком контакте сжимающие напряжения увеличились на 17 %, а растягивающие – на 76 %. Характер распределения напряжений практически не изменился по сравнению с моделью со спаянными слоями.

Изменение растягивающих, сжимающих, касательных напряжений и прогиба при варьировании коэффициента трения показаны на рис. 2.

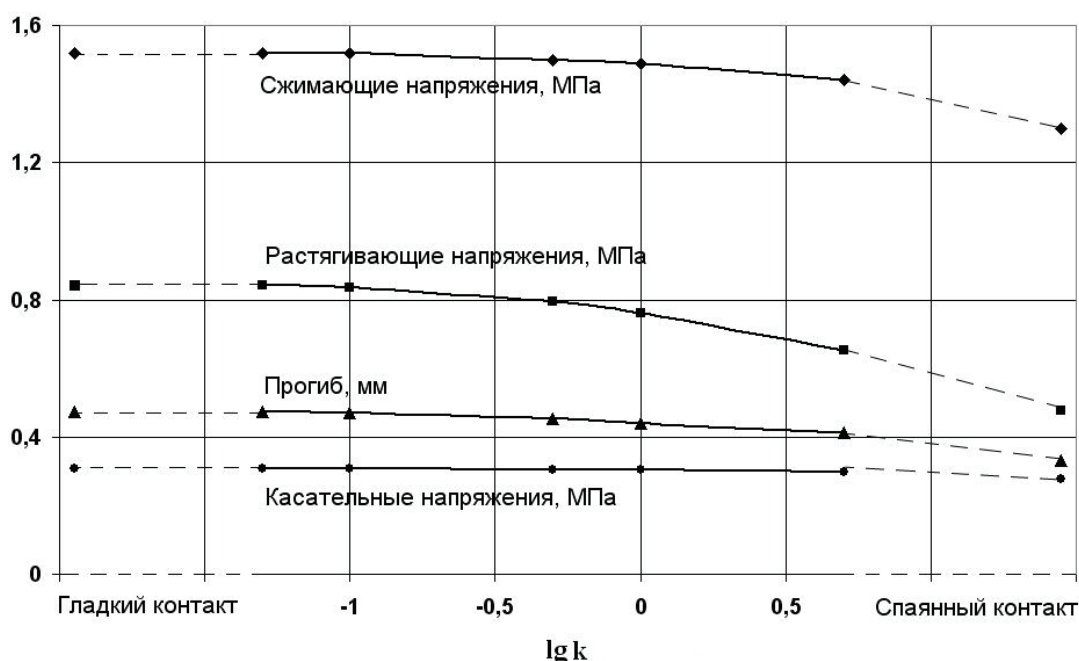


Рисунок 2 – Зависимость напряжений и прогиба от коэффициента трения.

Для верхнего асфальтобетонного слоя наблюдаются наибольшие сжимающие напряжения, которые, как и касательные, незначительно изменяются от того, какой контакт в нижнем (третьем) слое с основанием, в тоже время, для нижнего слоя асфальтобетона растягивающие напряжения меняются существенно. При гладком контакте между первым и вторым слоем было обнаружено появление наибольших растягивающих напряжений в нижней части верхнего слоя под нагрузкой, значения которых достигало 1,06 МПа и с погрешностью 4 % совпало с аналитическим расчетом по ВБН [1].

Использование в верхнем слое вместо асфальтобетона асфальтополимербетона приводит к усилению конструкции по критерию упругого прогиба, но напряжения в конструкции меняются неоднозначно (табл. 4). Так, в верхнем слое сжимающие напряжения увеличиваются в среднем на 15 % и касательные напряжения — на 5 %, а в нижнем слое практически не меняются (независимо от трения в контакте). Расчет по методике [1] при приведении верхних слоев к одному эквивалентному слою дает увеличение растягивающих напряжений в нижнем слое в 1,08 раз.

Таблица 4 – НДС при использовании асфальтополимербетона

Материал верхнего слоя	E_1 , МПа	Спаянные слои				Гладкий контакт				Расчет по [1]
		$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	τ , МПа	ϵ , мм	$\sigma_{сж}$, МПа	σ_p , МПа	τ , МПа	ϵ , мм	
Асфальтобетон	4500	1,30	0,477	0,277	0,333	1,52	0,84	0,308	0,473	0,97
Асфальто- полимербетон	6000	1,49	0,470	0,293	0,325	1,74	0,82	0,320	0,461	1,05

В тоже время критические напряжения в асфальтополимербетоне σ_k по сравнению с асфальтобетоном больше почти в 2 раза [3], что свидетельствует в пользу использования полимерного модификатора для уменьшения остаточных деформаций асфальтобетонного слоя.

Выводы. На основе предложенной КЭ модели дорожной одежды нежесткого типа и аппарата расчета НДС асфальтобетонного покрытия получены результаты вычислений, которые показали, что увеличение жесткости верхнего слоя асфальтобетона за счет повышения его модуля упругости приводит к увеличению интенсивности напряжений в нем. С повышением температуры или снижении вязкости битума в асфальтобетоне соотношение рассчитанных напряжений и критических (перехода в область нелинейной вязкоупругости) увеличивается, что может свидетельствовать о нелинейной работе асфальтобетона, особенно при высоких эксплуатационных температурах.

С изменением температуры и состава асфальтобетона напряжения в верхнем слое от транспортной нагрузки меняются не очень значительно, поэтому одним из основных направлений повышения надежности работы асфальтобетонного покрытия является улучшение свойств самого асфальтобетона, особенно расширения его зоны линейной вязкоупругости, в т. ч. и за счет модификации вяжущего полимером.

Модуль деформации асфальтобетона, определяемый по стандартной методике при температуре 0 °С, ниже модуля упругости примерно в 4–5 раз. Диаграммы напряжение-деформация на этом участке НДС нелинейные. Учет такой нелинейности дает большие значения максимальных напряжений в верхнем слое (в 2 раза) по сравнению с линейным анализом. Занижение значения модуля упругости в расчетах приводит к увеличению запаса общей жесткости конструкции, но при этом фактические напряжения в асфальтобетоне выше.

Установлено, что в многослойной конструкции с применением асфальтобетонов в верхнем слое возникают наибольшие сжимающие напряжения под колесом автомобиля, которые мало меняются в зависимости от того, какой контакт будет между слоями. Растягивающие напряжения, как правило, возникают в нижней части последнего связного слоя и значительно зависят от контактной жесткости. В тоже время, растягивающие напряжения в верхнем слое приведенной типовой конструкции могут проявляться только при гладком контакте под этим слоем. Все эти факторы необходимо учитывать при выборе материала и расчете дорожных одежд нежесткого типа, в т.ч. по критерию допустимого значения растягивающих напряжений в асфальтобетонных слоях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорожній одяг нежорсткого типу : ВБН В.2.3-218-186-2004. — [Чинний від 2005-01-01]. — К. : Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004. — 176 с. — (Відомчі будівельні норми України).
2. Золотарев В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / Золотарев В. А. — Харьков : Вища школа, 1977. — 116 с.
3. Золотарев В. А. Реологические свойства асфальтополимербетонов при динамическом режиме деформирования / В. А. Золотарев, В. В. Маляр, А. С. Лапченко // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2008. — № 1. — С. 10–13.
4. Коган Б. И. О применении точного решения теории упругости для многослойного полупространства к расчету нежестких дорожных покрытий / Б. И. Коган // Труды ХАДИ. — 1958. — Вып. 21. — С. 113–125.

5. Маляр В. В. Определение модуля упругости асфальтополимербетонов для расчета конструкций дорожных одежд / В. В. Маляр, В. А. Псюрник, А. С. Лапченко // Вестник ХНАДУ. — 2008. — Вып. 40. — С. 84–86.
6. Онищенко А. М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів : дис. ... канд. техн. наук / Онищенко Артур Миколайович. — Київ, НТУ, 2008. — 180 с.
7. Радовский Б. С. Методы проектирования состава асфальтобетонных смесей в США / Б. С. Радовский // Дорожная техника. — 2006. — № 7. — С. 68–81.
8. Advanced mechanical testing of polymer modified base course mixes / [A. A. A. Molenaar, M. F. C van de Ven, X. Liu, and others] // Asphalt – Road for Life, Proceedings. May 2008, Copenhagen, Denmark/ — pp 842–853
9. Sollemani P. Etude sur comportement viscoelastique des materiaux Bitumineux par la methode de Fluag : these de docteur-ingenieur / Sollemani P. — Paris. — 1965.
10. Sungo Mun. Continuum Damage Finite Element Modeling of Asphalt Concrete / Sungo Mun, Murthy N. Guddati, Y. Richard Kim // KSCE Journal of Civil Engineering, May 2005. — Vol. 9, № 3, — pp. 205–211.

Получено 15.12.2010

В. В. МАЛЯР

СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНИЙ АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АСФАЛЬТОБЕТОНУ (АСФАЛЬТОПОЛІМЕРБЕТОНУ) В ДОРОЖНЬОМУ ОДЯГУ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

В роботі проведений аналіз напружено-деформованого стану роботи асфальтобетону різного складу в дорожній конструкції з урахуванням його фізичної нелінійності і тертя між шарами з використанням методу скінчених елементів.

асфальтобетон, асфальтополімербетон, бітум, напружено-деформований стан, кінцево-елементна модель

V. V. MALIAR

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESSED AND STRAINED STATE OF ASPHALT CONCRETE (ASPHALT-POLYMER-CONCRETE) IN ROAD PAVEMENT

Kharkiv National Automobile and Highways University

The analysis of stressed and strained state of asphalt concrete of various composition in road structure with regard to its physical nonlinearity and friction between layers with application of finite element analysis has been undergone in the paper.

asphalt concrete, asphalt-polymer-concrete, bitumen, stressed and strained state, finite element model

Маляр Володимир Володимирович – доцент, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, дорожньо-будівельного факультету, кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів. Наукові інтереси: низькотемпературні властивості бітумів і асфальтобетонів, віброреологія.

Маляр Владимир Владимирович – доцент, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, дорожно-строительного факультета, кафедры технологии дорожно-строительных материалов. Научные интересы: низкотемпературные свойства битумов и асфальтобетонов, виброреология.

Volodymyr V. Maliar – a Ph.D. (Engineering), an Assistant Professor and a senior research officer of the Production Engineering of Road Building Materials Department of the Department of Road Engineering of the Kharkiv National Automobile and Highways University. Research interests: low-temperature properties of bitumen and asphalt concrete, vibrorheology.

УДК 691.16:665.7.035.6

А. С. ЛАПЧЕНКО

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПЕНЕТРАЦИИ ВЯЖУЩИХ С МОДУЛЯМИ УПРУГОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ И АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНОВ НА ИХ ОСНОВЕ

В статье предлагается методика расчета модулей упругости асфальтобетонов и асфальтополимербетонов разных гранулометрических типов на битумах, модифицированных полимерами. Предложена формула для определения модулей упругости асфальтобетонов и асфальтополимербетонов различных типов с оптимальным содержанием битума. В ней учитываются особенности битумов, битумополимеров, полимербитумов. Она справедлива в области температур от минус 20 до 50 °С и диапазоне частот деформирования от 0,01 до 40 Гц. Формула учитывает такие параметры: температуру, частоту деформирования, пенетрацию вяжущего, тип асфальтобетона (асфальтополимербетона), коэффициент пластичности.

битум, полимер, асфальтополимербетон, комплексный модуль упругости, пенетрация

Формулировка проблемы.

Асфальтовые бетоны являются композиционными материалами с предельно-концентрированной структурой коагуляционного типа [1]. Наименее прочным элементом такой структуры являются прослойки и пленки жидкости, образующей дисперсионную среду. Поэтому именно свойства вяжущего определяют поведение образованного на его основе композита [2, 3].

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретические зависимости деформирования асфальтобетонов и асфальтополимербетонов от показателей свойств вяжущего исследованы многими учеными: взаимосвязи прочности при сжатии асфальтобетона от пенетрации битума – Дюрье М. [4], Гельмер В. О. [5]; определение предельного сопротивления асфальтобетона растяжению от сопротивления битума растяжению – Радовский Б. С. и Щербаков И. М. [6]. Эти зависимости не получили широкого распространения ввиду наличия одного или нескольких недостатков следующего характера: ограниченного учета влияния структурных факторов на механические свойства асфальтобетонов, отсутствие учета температуры испытания и скоростного параметра деформирования как по отношению к битуму, так и асфальтобетону, физической неоправданности по условию размерности, множества не раскрытых коэффициентов в количественном плане. Еще одним подтверждением зависимости абсолютных значений реологических характеристик от свойств вяжущего является работа Золотарева В. А. [7], где было показано, что модуль упругости асфальтобетонов находится в прямой зависимости, при прочих равных условиях, от модуля сдвига вяжущего.

Цель. На основании установленных закономерностей реологического поведения асфальтополимербетонов и асфальтобетонов различных типов, с оптимальным содержанием битума в широких температурном и частотном диапазонах, необходимо вывести формулу для определения их модулей упругости.

Основной материал. Прогнозирование тенденций изменения модулей упругости асфальтополимербетонов и асфальтобетонов с использованием традиционных показателей свойств вяжущих может быть основано на принципиальной зависимости, установленной в работах Heukelom'a W., Nagos'a E. T., Molenaar'a J. M. M., Gershkoff'a D., Vanelstraet'a A., Teugels'a W. [8, 9, 10], модулей сдвига вяжущих от пенетрации, которая в логарифмических координатах описывается прямой:

$$Lg(G_e^*(T, f)) = k \cdot Lg(\Pi_{25}) + b, \quad (1)$$

где $G_e^*(T, f)$ – комплексный модуль сдвига вяжущего, зависящий от температуры и частоты деформирования, МПа;
 Π_{25} – пенетрация вяжущего при 25 °С, град. пенетрации;
 k – тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс, МПа / град. пенетрации;
 b – числовой параметр зависимости, МПа.

Обобщенное уравнение взаимосвязи между комплексным модулем упругости асфальтобетонов и комплексным модулем сдвига вяжущих в логарифмических координатах на основании зависимости, установленных Золотаревым В. А. [7], можно записать следующим образом:

$$Lg(E_{a\sigma}^*(T, f)) = k' \cdot Lg(G_e^*(T, f)) + b', \quad (2)$$

где $E_{a\sigma}^*(T, f)$ – комплексный модуль упругости асфальтобетона при определенной температуре и частоте деформирования, МПа;
 k' – тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс;
 b' – числовой параметр зависимости, МПа

Подставляя 1 в 2 и принимая $A = k' \cdot k$, $B = b \cdot k' + b'$, получаем:

$$Lg(E_{a\sigma}^*(T; 0,1c)) = A \cdot Lg(\Pi_{25}) + B, \quad (3)$$

где A , МПа / град. пенетрации; B , МПа – числовые параметры зависимости.

Уравнение 3 позволяет определить комплексный модуль упругости асфальтобетона и асфальтополимербетона от пенетрации вяжущего. Температурный фактор, при фиксированной частоте, учитывается параметрами A и B . За базовую частоту принимаем такую, которая соответствует длительности действия прямоугольной нагрузки в течение 0,1 с (ВБН В.2.3-218-186-2004).

Если принять поправочный коэффициент (n), учитывающий тип асфальтобетона, то формула 3 примет вид:

$$Lg(E_{a\sigma}^*(T; 0,1c)) = (A \cdot Lg(\Pi_{25}) + B) \cdot n. \quad (4)$$

Для вывода формулы, учитывающей возможность регулировать частоту деформирования, можно использовать степенное уравнение Иванова-Телегина [11]:

$$\frac{E_{a\sigma}^*(T; 0,1c)}{E_{a\sigma}^*(T, f_x)} = \left(\frac{f_{0,1c}}{f_x} \right)^m, \quad (5)$$

где $E_{a\sigma}^*(T; 0,1c)$ – комплексный модуль упругости асфальтобетона (асфальтополимербетона) при частоте деформирования, соответствующей длительности действия прямоугольной нагрузки в течение 0,1 с, МПа;
 $E_{a\sigma}^*(T, f_x)$ – комплексный модуль упругости асфальтобетона (асфальтополимербетона) при искомой частоте, МПа;
 $f_{0,1c}$ – частота деформирования, соответствующая длительности действия прямоугольной нагрузки в течение 0,1 с, Гц;
 f_x – искомая частота, Гц;
 m – коэффициент пластичности асфальтобетона, МПа/Гц;

Логарифмируя уравнение 5 и подставляя в него 4, получаем:

$$Lg(E_{a\sigma}^*(T; f)) = (A \cdot Lg(\Pi_{25}) + B) \cdot n + m \cdot Lg(f_x) - m \cdot Lg(f_{0,1c}). \quad (6)$$

Гранулометрические составы асфальтополимербетонов, принятых для исследования, отвечают средним полным остаткам мелкозернистых асфальтобетонов типа А, Б, В и Г согласно ДСТУ Б В.2.7-119-2003. Для приготовления битумов, модифицированных полимерами, использо-

вались битумы марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200 и полимеры: термоэластопласты SBS (Kraton D 1101 и Kraton D 1186), термопласт EVA 33-45, терполимер Elvaloy AM, латекс Butonal NS 198. Реологические свойства асфальтополимербетонов и асфальтобетонов определяли на вибростенде ХНАДУ [2].

В работе [12] теоретическим и экспериментальным путем было установлено, что частота деформирования 1,59 Гц в синусоидальном режиме деформирования соответствует времени действия нагрузки в течение 0,1 с при прямоугольном импульсном нагружении.

После подстановки в формулу 6 частоты деформирования при синусоидальном режиме нагружения ($f = 1,59$ Гц), соответствующей длительности действия прямоугольной нагрузки в течение 0,1 с, получаем:

$$Lg(E_{\sigma}^*(T; f_x)) = (A \cdot Lg(\Pi_{25}) + B) \cdot n + m \cdot Lg(f_x) - 0,2 \cdot m \quad (7)$$

Параметры А и В (табл. 1) определялись по зависимостям (рис. 1): А – как тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс; В – как значение функции по оси ординат при аргументе, равном нулю. Коэффициент n (табл. 2) определялся как отношение значения модуля упругости асфальтобетона (асфальтополимербетона) определенного типа к значению модуля упругости асфальтобетона (асфальтополимербетона) типа Б. За базовый был принят тип Б, поскольку на рис. 1 приведены зависимости для этого типа асфальтобетона (асфальтополимербетона). Коэффициент пластичности m (табл. 3) асфальтобетонов и асфальтополимербетонов определялся как тангенс угла наклона прямых к оси абсцисс в логарифмических координатах комплексного модуля упругости от частоты деформирования.

Таблица 1 – Численные значения коэффициентов (А, В)

Температура испытания, °С	Значение коэффициентов	
	А	В
-20	-0,1	4,2
-10	-0,18	4,23
0	-0,33	4,39
10	-0,42	4,37
20	-0,49	4,24
30	-0,66	4,33
40	-0,77	4,32
50	-0,75	4,1

Формула 7 применима для асфальтобетонов и асфальтополимербетонов любых типов с оптимальным содержанием битума. Она учитывает использование битумов, битумополимеров, полимербитумов, подтверждается в области температур от минус 20 до 50 °С и диапазоне частот деформирования от 0,01 до 40 Гц.

Таблица 2 – Численные значения коэффициента (n)

Тип асфальтобетона (асфальтополимербетона)	Значение коэффициента n при температуре °С							
	-20*	-10*	0*	10*	20*	30	40	50
А	1	1,01	0,99	0,965	0,98	0,94	0,89	0,88
Б	1	1	1	1	1	1	1	1
В	1,03	1,035	1,02	1,035	1,02	1,01	0,98	0,95
Г	1,02	1,02	1	1	1	0,985	0,94	0,93

*Примечание: Для асфальтополимербетонов на вяжущем с 7 % SBS коэффициент n умножать: при минус 20 °С и минус 10 °С на 0,99, при 0 и 10 °С на 0,97. Для асфальтополимербетонов на вяжущем с 10 % SBS коэффициент n умножать: при минус 20 °С, минус 10 и 20 °С на 0,97, при 0 и 10 °С на 0,95.

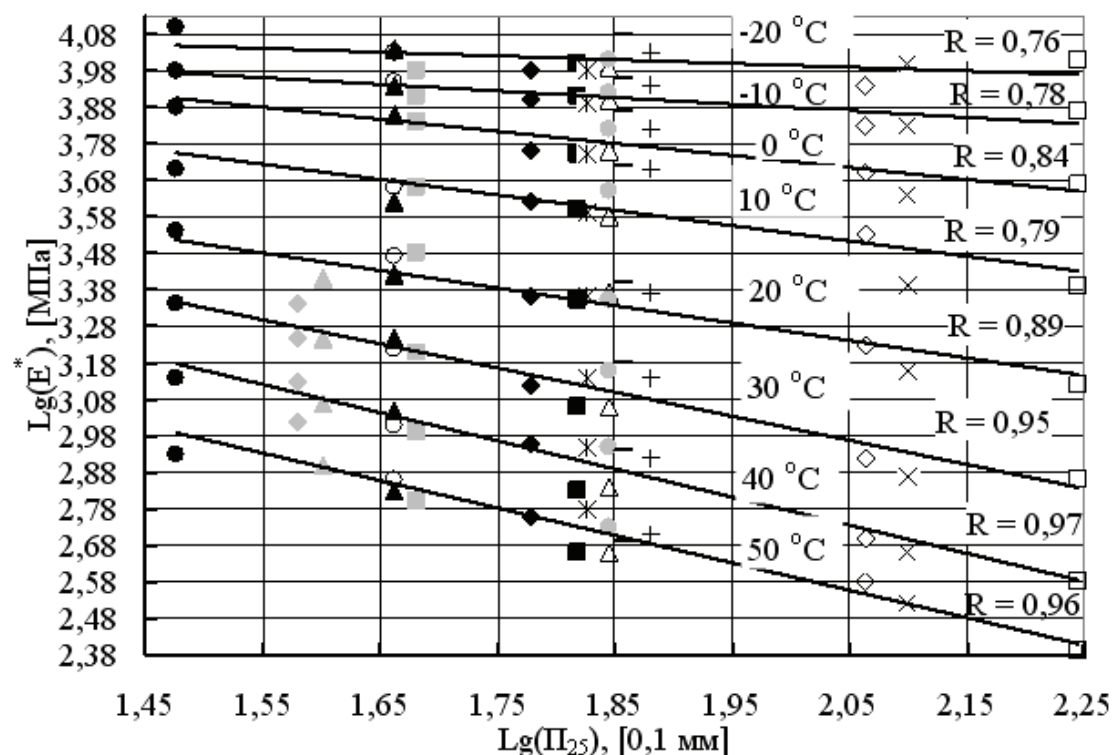


Рисунок 1 – Зависимость комплексного модуля упругости асфальтополимербетонов (E^*) от пенетрации вяжущих (Π_{25}): ○ – БНД 40/60; ● – БНД 40/60 + 3 % Kraton'a D 1101; △ – БНД 60/90; ▲ – БНД 60/90 + 3 % Kraton'a D 1101; ◇ – БНД 90/130; ◆ – БНД 90/130 + Kraton'a D 1101; □ – БНД 130/200; ■ – БНД 130/200 + 3 % Kraton'a D 1101; × – БНД 200/300 + 3 % Kraton'a D 1101; ● – БНД 90/130 + 3 % Kraton'a D 1186; – – БНД 90/130 + 1,8 % Elvaloy'я-AM; * – БНД 90/130 + 3,5 % Butonal'a NS 198; + – БНД 90/130 + 5 % EVA 33-45; ■ – БНД 90/130 + 5 % Kraton'a D 1101; ▲ – БНД 90/130 + 7 % Kraton'a D 1101; ◆ – БНД 90/130 + 10 % Kraton'a D 1101. Частота деформирования 1,59 Гц.

Использование системы коэффициентов, установленных на основе зависимостей модулей упругости от различных факторов, позволяет получить значение модулей упругости с погрешностью, не превышающей 15 % по сравнению с экспериментальным значением (табл. 4). Например: модуль упругости асфальтополимербетона типа Б на БМП с пенетрацией $75 \times 0,1$ мм при температуре 20°C и частоте 1,59 Гц, что соответствует времени действия нагрузки 0,1 с, при использовании коэффициентов $A = -0,42$ МПа / град. пенетрации, $B = 4,37$ МПа, $n = 1$, $m = 0,16$ МПа/Гц равняется 2090 МПа, что на 15 % отличается от предлагаемого расчетного значения.

Таблица 3 – Коэффициент пластичности m

Пенетрация, 0,1 мм	Температура, °C							
	-20	-10	0	10	20	30	40	50
< 40/60	0,07	0,07	0,09	0,13	0,16	0,19	0,18	0,18
40/60	0,06	0,08	0,10	0,13	0,18	0,19	0,19	0,17
60/90	0,07	0,08	0,12	0,16	0,21	0,22	0,21	0,19
90/130	0,08	0,10	0,15	0,18	0,21	0,22	0,21	0,17
130/200	0,04	0,11	0,15	0,20	0,24	0,23	0,21	0,19

Таблица 4 – Расчетные значения кратковременного модуля упругости асфальтополимербетонов

Материал	Марка БМП	Тип	Расчетные значения кратковременного модуля упругости E , МПа, при температуре покрытия, °С				
			0	+10	+20	+30	+40
Асфальто-полимербетон	БМП 40/60-56	А	5470	2870	1950	900	410
		Б	6000	3800	2300	1350	830
		В	6950	5000	2600	1460	720
		Г	6420	3800	2500	1210	570
	БМП 60/90-52	А	4650	2420	1530	640	290
		Б	5100	3200	1800	950	590
		В	5900	4210	2030	1030	510
		Г	5460	3200	1960	850	410
	БМП 90/130-49	А	4100	2040	1230	470	220
		Б	4500	2700	1450	700	450
		В	5210	3550	1640	760	390
		Г	4810	2700	1580	630	310
	БМП 130/200-47	А	3370	1660	930	340	160
		Б	3700	2200	1100	510	320
		В	4280	2900	1240	550	280
		Г	3960	2200	1200	460	220

*Примечание: Значения модулей упругости приведены к времени действия нагрузки 0,1 с.

Выводы. Предложена формула для определения модулей упругости асфальтобетонов и асфальтополимербетонов различных типов с оптимальным содержанием битума. В ней учитываются особенности битумов, битумополимеров, полимербитумов. Она справедлива в области температур от минус 20 до 50 °С и диапазоне частот деформирования от 0,01 до 40 Гц. Формула учитывает такие параметры: температуру, частоту деформирования, пенетрацию вяжущего, тип асфальтобетона (асфальтополимербетона), коэффициент пластичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны / Рыбьев И. А. – М. : Высшая школа, 1969. – 369 с.
2. Золотарев В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / Золотарев В. А. – Харьков : Вища школа, 1977. – 116 с.
3. Королев И. В. Асфальтобетонные покрытия / Королев И. В., Золотарев В. А., Ступицев В. А. – Донецк : Изд-во Донбасс, 1970. – 161 с.
4. Аррамбид Ж. Органические вяжущие и смеси для дорожного строительства / Аррамбид Ж., Дюрье М. – М. : Автотрансиздат, 1961. – 271 с.
5. Гельмер В. О. Исследование свойств каменноугольных дорожных дегтей. Применение каменноугольных дегтей в дорожном строительстве / Гельмер В. О. ; [под ред. А. К. Бируля]. – М. : [б. и.], 1939. – 312 с.
6. Щербаков И. М. Исследование и учет структурно-механических характеристик асфальтобетона при назначении конструкций дорожных одежд (на примере юга Украины) : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Щербаков И. М. – Москва, 1979. – 223 с.
7. Золотарев В. А. Закономерности деформирования и разрушения битумов и асфальтобетонов как основа улучшения и регулирования их свойств : дис. ... докт. техн. наук : 05.23.05 / Золотарев Виктор Александрович. – Москва, 1983. – 575 с.
8. Heukelom W. Une methode ameliee de caracterisation des bitumes par leurs proprietes mecaniaues / Heukelom W. // Bull. Liaison Labo. – 1975. – № 76. – 55–64 p.
9. Nicholls C. Analysis of available data for validation of bitumen tests / Nicholls C. – Brussel : Bitval, 2002. – 213 p.
10. Vanelstraete A. Performance evaluation system for bituminous binders / Vanelstraete A. and Teugels W. // Mechanical tests for bituminous materials, Proceeding of the 5th International RILEM Symposium. – 1997. – Pp. 81–87.
11. Иванов Н. Н. К обоснованию показателей механических свойств асфальтобетонных смесей / Иванов Н. Н., Телегин М. Я. // Исследование органических вяжущих материалов и физико-механических свойств асфальтовых смесей : сб. тр. / Дорожный научно-исследовательский институт. – Москва, ДорНИИ, 1949. – С. 106–133.
12. Малаяр В. В. Определение модуля упругости асфальтополимербетонов для расчета конструкций дорожных одежд / Малаяр В. В., Псюрник В. А., Лапченко А. С. // Вестник ХНАДУ. – 2008. – № 40. – С. 84–86.

Получено 22.12.2010

А. С. ЛАПЧЕНКО

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ПЕНЕТРАЦІЇ В'ЯЖУЧИХ З МОДУЛЯМИ ПРУЖНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ І АСФАЛЬТОПОЛІМЕРБЕТОНІВ НА ЇХ ОСНОВІ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

В статті пропонується методика розрахунку модулів пружності асфальтобетонів і асфальтополімербетонів різних гранулометричних типів на бітумах, модифікованих полімерами. Запропонована формула для визначення модулів пружності асфальтобетонів і асфальтополімербетонів різних типів з оптимальним вмістом бітуму. У ній ураховуються особливості бітумів, бітумополімерів, полімербітумів. Вона справедлива в області температур від мінус 20 до 50 °С і діапазоні частот деформування від 0,01 до 40 Гц. Формула враховує такі параметри: температуру, частоту деформування, пенетрацію в'язучого, тип асфальтобетону (асфальтополімербетона), коефіцієнт пластичності.

бітум, полімер, асфальтополімербетон, комплексний модуль пружності, пенетрація

A. S. LAPCHENKO

CORRELATION OF BINDERS PENETRATION WITH MODULUSES OF ELASTICITY OF ASPHALT CONCRETE AND ASPHALT-POLYMER-CONCRETE ON THEIR BASE

Kharkiv National Automobile and Highways University

The paper proposes the design technique of moduluses of elasticity of asphalt concrete and asphalt-polymer-concrete of various granulating types modified with polymers. The equation for determination of moduluses of elasticity of various types of asphalt concrete and asphalt-polymer-concrete with optimum content of bitumen has been offered. It considers the peculiarities of bitumen, bitumen-polymer and polymer-bitumen. The equation is valid in the temperature range from minus 20 to 50 °C and in the frequency range of strain from 0.01 to 40 Hz. The equation considers the following parameters, such as temperature, strain frequency, binder penetration, a type of asphalt concrete (asphalt-polymer-concrete), plasticity coefficient.

bitumen, polymer, asphalt-polymer-concrete, complex modulus of elasticity, penetration

Лапченко Артем Сергійович — науковий співробітник кафедри технологій дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: реологічні властивості асфальтополімербетонів при динамічному деформуванні.

Лапченко Артем Сергеевич — научный сотрудник кафедры технологий дорожно-строительных материалов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: реологические свойства асфальтополимербетонов при динамическом деформировании.

Artem S. Lapchenko — a research officer of the Production Engineering of Road Building Materials Department of the Kharkiv National Automobile and Highways University. Research interests: rheological properties of asphalt-polymer-concrete at dynamic deformation

УДК 665.755-620.163.4

Я. И. ПЫРИГ

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ХРУПКОСТИ ГРАФО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

В статье рассмотрен графо-экспериментальный метод определения температуры хрупкости битумов, основанный на взаимосвязи эквипенетрационных температур T_{31} и T_{800} . Предложенный метод может быть использован для входного и операционного контроля температуры хрупкости битумов производственными дорожными лабораториями.

битум, температура хрупкости, пенетрация, эквипенетрационная температура

Введение. Согласно действующему в настоящее время ДСТУ 4044-2001 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия» температура хрупкости битумов определяется по ГОСТ 11507-78 «Битумы нефтяные. Метод определения температуры хрупкости по Фраасу» с использованием прибора Фрааса, либо иного прибора, но имеющего такие же размеры рабочей камеры и принцип действия. Однако практика показывает, что многие дорожно-строительные лаборатории имеют либо устаревшие приборы, либо не имеют их вообще. Это приводит к тому, что строительные организации при выборе битума и его приемочном контроле не учитывают такую важную характеристику вяжущего, как температура хрупкости.

Анализ литературы. Температура перехода битума в хрупкое состояние очень важна для производственных целей, поскольку является нижней границей интервала пластичности битума [9, 13], а также нижним температурным пределом эксплуатационного применения асфальтобетонных слоев дорожных одежд.

Несмотря на длительный срок использования метода определения температуры хрупкости по Фраасу (метод был разработан в 1937 г. в Германии) и его широкое географическое распространение, единого мнения о том, каким фундаментальным свойствам испытываемого материала соответствует полученное значение температуры хрупкости, нет.

Температура хрупкости, определяемая по методу Фрааса, очень условна и зависима от таких факторов, как: толщина битумной пленки, скорость охлаждения, скорость приложения нагрузки и т. д. Изменение любого из параметров прибора и условий испытания может привести к искажению получаемых результатов. Вследствие этого, получаемые результаты не отличаются особой точностью и расхождения могут достигать 10 °С. Авторами [14] показано, что погрешность в толщине слоя вяжущего на пластинке в 0,2 мм приводит к погрешности в измерении температуры хрупкости в 5 °С, а погрешность в продолжительности времени изгибания пластинки в 1 с дает погрешность в 1 °С. Авторы [11] приводят сведения о том, что при испытании по методу Фрааса в вяжущем возникают деформации, значения которых превышают более, чем в 100 раз значения предельных деформаций, возникающие в покрытии; скорость охлаждения вяжущего приблизительно в 30 раз выше, чем в реальных условиях; скорость деформирования пленки вяжущего в 10 раз выше, чем в условиях эксплуатации покрытия. Также авторы [11] указывают на зависимость результатов определения температуры хрупкости от материала подложки, на которую наносится испытываемое вяжущее и от температуры, при которой распределяют вяжущее по пластине.

В настоящее время объективность температуры хрупкости в аспекте ее полезности для оценки трещиностойкости битумов и асфальтобетонов подвергается сомнению. Более того, в предлагаемую в США систему оценки качества битумов, вместо температуры хрупкости, включена эквимодульная температура (значение модуля равно 300 МПа), определяемая по результатам ползучести битумной пластины при заданных нагрузке и времени испытания [2]. Тем не менее стандарт ЕС [1] включает температуру хрупкости в качестве обязательного показателя качества для различных регионов Европы.

В качестве альтернативы определения хрупкости по методу Фрааса существуют аналитические методы, т. е. способы определения хрупкости по номограммам и расчетным формулам. Исходными данными для таких методов служат характеристики физических свойств битумов, такие как температура размягчения, пенетрация, индекс пенетрации.

Расчетные подходы к определению температуры хрупкости предлагались многими исследователями. Ван-дер-Поль [4] разработал номограмму, которая связывает индекс пенетрации с динамической вязкостью, модулем упругости и температурой хрупкости. Р. Б. Гун [4] предложил формулу, связывающую интервал пластичности с индексом пенетрации (ИП), используя которую можно определить температуру хрупкости.

В России в настоящее время для исследований битумов применяется импульсная ЯМР-релаксометрия [8]. На основе этого метода предлагается экспресс-метод определения температуры хрупкости. По утверждению разработчиков, время измерения температуры хрупкости составляет 1,5–2,5 минуты, а точность измерений 7–10 %. Авторы [8], в результате проведенного корреляционного анализа, установили зависимости температуры хрупкости от ряда стандартных показателей (температуры размягчения, пенетрации, определенной при 0 и 25 °С).

Проверка вышеуказанных расчетных методов определения температуры хрупкости с использованием данных из литературных источников показала, что разницы между значениями температуры хрупкости, определенными по эмпирическим зависимостям и значениями температуры хрупкости, определенными экспериментально, существенно выходят за пределы погрешности, допустимой ГОСТ 11507-78.

В [5] проф. В. А. Золотаревым предложена зависимость температуры хрупкости (T_{xp}) от температуры размягчения (T_p) и эквипенетрационной температуры T_{31} (температуры, при которой пенетрация равна $31 \times 0,1$ мм):

$$T_{xp}^p = 2 \cdot T_{31} - T_p \quad (1)$$

Цель работы. Целью работы является проверка расчетной формулы (1) и разработка на ее основе графо-экспериментального метода определения температуры хрупкости битумов.

Графо-экспериментальный метод определения температуры хрупкости. В [5] установлено, что температура, соответствующая середине интервала пластичности, т. е. равная полусумме температур размягчения и хрупкости, является эквипенетрационной для всех битумов, так как при этой температуре пенетрация битумов равна $31 \times 0,1$ мм. Данная температура T_{31} с разной степенью вероятности может рассматриваться как температура равной когезии (23,8 %), равных модулей потерь (20,9 %) и равных модулей упругости (17,0 %) [5]. В данной работе предлагается определять значение температуры T_{31} по температурно-пенетрационной зависимости. Для этого пенетрацию битумов определяли при температурах 5, 15, 25 и 35 °С. Температурные зависимости логарифма пенетрации представляют собой прямые линии, точки пересечения которых с ординатой пенетрации, отвечающей $31 \times 0,1$ мм, являются эквипенетрационными температурами.

В работах [6, 7] показано, что в качестве критерия теплостойкости битумов и альтернативы температуры размягчения следует использовать температуру, отвечающую пенетрации $800 \times 0,1$ мм (T_{800}). Температура T_{800} может быть определена графическим способом по температурно-пенетрационной зависимости. Тогда вышеприведенная формула (1) примет вид:

$$T_{xp}^p = 2 \cdot T_{31} - T_{800} \quad (2)$$

Проверка корректности формулы (2) выполнена на битумах различных марок и разных структурных типов, с использованием как применяемых в настоящее время в дорожной отрасли Украины битумов, так и на данных из литературных источников (табл. 1).

Анализ полученных данных показывает, что значение среднего отклонения величины хрупкости битума, определенного расчетным путем от экспериментального значения, вычисленного по формуле 2, составляет 0,2 °С.

Таблица 1 – Определение температуры хрупкости расчетным способом

№	Битум	Источник	$P_{25}, 0,1 \text{ мм}$	$T_p, ^\circ\text{C}$	$T_{800}, ^\circ\text{C}$	$T_{xp}, ^\circ\text{C}$	$T_{31}, ^\circ\text{C}$	$T_{xp}^p, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_{xp} = T_{xp} - T_{xp}^p, ^\circ\text{C}$
1	БЗ1	Модель-ные битумы	54	54,4	53,5	-20,0	18,5	-16,5	-3,5
2	БЗ2		63	49,5	51,0	-22,5	16,5	-18,0	-4,5
3	БЗ3		103	44,7	44,5	-25,0	12,0	-20,5	-4,5
4	БЗ4		155	42,0	44,0	-27,0	7,5	-29,0	2,0
5	БЗ5		207	41,0	40,5	-29,0	5,0	-30,5	1,5
6	НБ1	Произ-водствен-ные битумы	52	48,3	47,5	-9,0	21,5	-4,5	-4,5
7	НБ2		79	44,7	44,5	-10,0	17,5	-9,5	-0,5
8	НБ3		118	40,8	42,0	-13,0	13,5	-15,0	2,0
9	НБ4		182	37,3	36,5	-15,0	9,5	-17,5	2,5
10	КБ		58	52,1	51,5	-19,5	17,5	-16,5	-3,0
11	ЛБ1		50	53,8	54,0	-14,0	20,5	-13,0	-1,0
12	ЛБ2		75	49,5	48,5	-15,5	17,0	-14,5	-1,0
13	ЛБ3		105	47,0	44,5	-18,0	13,5	-17,5	-0,5
14	ЛБ4		172	42,6	40,0	-20,0	8,5	-23,0	3,0
15	Л1		56	49,2	48,0	-13,5	19,5	-9,0	-4,5
16	Л2		77	46,6	46,5	-15,5	16,0	-14,5	-1,0
17	Л3		104	43,9	46,0	-16,0	12,5	-21,0	5,0
18	Л4		196	38,2	37,5	-20,0	8,5	-20,5	0,5
19	1	[12]	112	45	38,5	-12,0	16,0	-6,5	-5,5
20	2		109	48	43,5	-20,0	13,0	-17,5	-2,5
21	3		110	48	45,5	-24,0	12,0	-21,5	-2,5
22	4		105	51	48,5	-26,0	11,0	-26,5	0,5
23	5		64	50	41,5	-9,0	20,5	-0,5	-8,5
24	6		56	53	57,5	-21,0	18,0	-21,5	0,5
25	8		64	50	41,5	-9,0	20,5	-0,5	-8,5
26	9		78	59	63,5	-30,0	9,5	-44,5	14,5
27	10		60	56	50,0	-22,0	15,0	-20,0	-2,0
28	11		60	56	44,5	-18,0	20,5	-3,5	-14,5
29	12		64	55	60,0	-25,0	15,0	-30,0	5,0
30	1		64	69	61,5	-32,0	14,0	-33,5	1,5
31	2		102	52	53,0	-27,0	9,0	-35,0	8,0
32	3		121	49,5	47,5	-26,0	8,5	-30,5	4,5
33	4		65	68	63,5	-28,0	13,5	-36,5	8,5
34	5		62	54,5	46,0	-17,0	19,5	-7,0	-10,0
35	6		65	56	55,0	-27,0	15,5	-24,0	-3,0
36	7		67	56	54,5	-21,0	15,5	-23,5	2,5
37	8		104	52	53,0	-27,0	9,0	-35,0	8,0
38	9		63	54,5	54,0	-22,0	16,5	-21,0	-1,0
39	10		80	52	60,5	-30,0	10,5	-39,5	9,5
40	11		92	48	48,5	-17,0	13,5	-21,5	4,5
41	1	[10]	130	46	41,5	-15,0	12,5	-16,5	1,5
42	2		130	46	40,5	-13,5	12,5	-15,5	2,0
43	3		125	49	40,0	-11,0	13,5	-13,0	2,0
44	4		128	48	41,5	-15,0	12,5	-16,5	1,5
45	5		90	51	49,0	-16,5	13,5	-22,0	5,5
46	6	[10]	133	46	41,5	-12,5	12,5	-16,5	4,0
47	7		142	45	39,0	-12,0	12,5	-14,0	2,0
48	8		125	50	39,5	-16,5	13,5	-12,5	-4,0
49	9	[3]	94	53	43,5	-15,0	15,0	-13,5	-1,5
50	A		66	51	51,5	-18,0	17,5	-16,5	-1,5
51	B		106	45	46,5	-18,0	15,0	-16,5	-1,5
52	C		92	44	45,0	-15,0	16,0	-13,0	-2,0
53	D		56	52	55,5	-19,0	18,5	-18,5	-0,5
54	E		82	46,5	52,0	-10,0	18,5	-15,0	5,0
55	F		74	48	46,5	-12,0	17,5	-11,5	-0,5

Примечание: НБ1... НБ4 – дистилляционные битумы Nupas фирмы Akzo Nobel, ЛБ1... ЛБ4, Л1...Л4 – битумы Лисичанского НПЗ, КБ – битум Кременчугского НПЗ.

Для ряда битумов наблюдается значительное отклонение $\Delta T_{\text{хр}}$ (табл. 1), достигающее 14,5 °С. Однако данные по этим битумам взяты из литературных источников и касаются, как правило, битумов с низким значением глубины проникания иглы.

На основании полученных результатов были разработаны и утверждены Государственной службой автомобильных дорог Украины (Укравтодор) методические указания МДМ 218 – 02071168-236-2004 «Метод графо-экспериментального определения температуры хрупкости вязких дорожных битумов», которые предполагают следующий порядок определения температуры хрупкости расчетным способом:

- определение пенетрации битума при температурах +5, +15, +25, +35 °С;
- построение по полученным данным температурной зависимости пенетрации битума;
- определение эквивалентной температуры T_{31} по построенному графику;
- определение температуры, соответствующей пенетрации 800·0,1 мм (T_{800});
- определение температуры хрупкости по формуле $T_{\text{хр}} = 2 \cdot T_{31} - T_{800}$.

Выводы. Предложен графо-экспериментальный способ определения температуры хрупкости битумов, основанный на использовании температурной зависимости глубины проникания иглы, эквивалентной температуры и температуры, соответствующей пенетрации 800·0,1 мм. Этот способ может быть использован для входного и операционного контроля температуры хрупкости битумов производственными дорожными лабораториями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bitumen and bituminous binders – Specification for paving grade bitumens: EN 12591.
2. Anderson D. A. Developmen of SHRP binder specification / Anderson D. A., Kennedy I. W. // Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologist. – 1993. – Vol. 6.2. – P.P. 481–501.
3. Arand W. Wplyw zastosowania polskich asfaltow na wlasciwosci betonu asfaltowego w niskiej temperaturze / Arand W., Sybilski D. // Prace Instytutu badawczego Drog I Mostow. – 1992. – № 3. – P.P. 3–36.
4. Гун Р. Б. Нефтяные битумы / Р. Б. Гун. – М.: Химия, 1973. – 432 с.
5. Золотарев В. А. Обобщенные температурно-пенерационные зависимости дорожных битумов / В. А. Золотарев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. – № 1. – С. 24–26.
6. Золотарев В. А. О системе показателей качества битумов и битумов, модифицированных полимерами / В. А. Золотарев // Автомобильные дороги. – 2007. – № 2. – С. 46–52.
7. Золотарев В. А. Эквивалентная температура как альтернатива температуре размягчения / В. А. Золотарев, Я. И. Пыриг, А. В. Галкин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2007. – № 2. – С. 36–39.
8. Применение ЯМР-релаксационных измерений в исследованиях свойств дорожных битумов / Р. С. Кашаев, А. Ф. Кемалов, Р. З. Фахрутдинов, И. Н. Дияров // Труды Российской научно-практической конференции «Проблемы производства и применения дорожных битумов» / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. – Казань, 2001. – С. 124.
9. Новые методы испытания дорожных битумов / А. С. Колбановская, Р. С. Ахметова, О. Ю. Сабсай [и др.] // Автомобильные дороги – 1966. – №1. – С. 28–30.
10. Никишина М. Ф. Улучшение свойств нефтяных битумов синтетическими латексами / М. Ф. Никишина, В. А. Захаров // Исследование свойств битумов, применяемых в дорожном строительстве. Труды Союздорнии. – 1970. – Вып. 46. – С. 245–249.
11. Печеный Б. Г. Теория и методы определения температуры хрупкости битумов / Б. Г. Печеный, В. В. Фрязинов // Труды БашНИИ НП. – 1977. – Вып. XVI. – С. 36–46.
12. Руденская И. М. Реологические свойства битумов / И. М. Руденская, А. В. Руденский. – М.: Высшая школа, 1967. – 120 с.
13. Сабсай О. Ю. К вопросу о физическом смысле температуры хрупкости по Фраасу / Сабсай О. Ю. // Труды Союздорнии. – 1965. – Вып. 3. – С. 54–63.
14. Черняков А. В. О температуре хрупкости битумных материалов / А. В. Черняков, О. В. Богомолова, А. З. Волюнец // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2002. – № 1. – С. 18–22.

Получено 16.12.2010

Я. І. ПИРІГ

ВИЗНАЧЕННЯ TEMПЕРАТУРИ КРИХКОСТІ ГРАФО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬ-
НИМ МЕТОДОМ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

У статті розглянуто графо-експериментальний метод визначення температури крихкості бітумів, заснований на взаємозв'язку сквіпенетраційних температур T_{31} та T_{800} . Запропонований метод може бути використаний для вхідного та операційного контролю температури крихкості бітумів виробничими дорожніми лабораторіями.

бітум, температура крихкості, пенетрація, сквіпенетраційна температура

YA. I. PYRIG

BRITTLE TEMPERATURE TEST BY GRAPHICAL AND EXPERIMENTAL
METHOD

Kharkiv National Automobile and Highways University

The paper deals with the graphical and experimental method of the brittle temperature test of bitumen based on correlation of equal penetration temperatures T_{31} and T_{800} . The proposed method can be used for the incoming and operational control of brittle temperature of bitumen in industrial and road laboratories.

bitumen, brittle temperature, penetration, equal penetration temperature

Пиріг Ян Іванович – науковий співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, дорожньо-будівельного факультету, кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів. Наукові інтереси: технічні та технологічні властивості в'язучих.

Пыриг Ян Иванович – научный сотрудник кафедры технологии дорожно-строительных материалов Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, дорожно-строительного факультета, кафедра технологии дорожно-строительных материалов. Научные интересы: технические и технологические свойства вяжущих.

Yan I. Pyrig – a research officer of the Production Engineering of Road Building Materials Department of the Department of Road Engineering of the Kharkiv National Automobile University. Research interests: technical and processing properties of binders.

УДК 691.34; 535.65

М. А. СВИНАРЕВ

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

АУТОГЕЗИЯ ЖИДКИХ ВЯЖУЩИХ

В статье рассмотрена методика определения аутогезии жидких вяжущих, которая основана на постепенном расслаивании сдублированной склейки с предварительно обработанными поверхностями антиаутогезионной добавкой. Предлагаемая методика, возможно, позволит определить влияние антиаутогезионных добавок на самослипание органических вяжущих.

аутогезия, когезия, органические жидкие вяжущие, антиадгезионная добавка

Формулировка проблемы.

Главной проблемой производства холодных асфальтобетонных смесей является их слеживаемость при хранении, которая обусловлена самослипанием (аутогезией) пленок вяжущего на поверхности минеральных зерен. Согласно [1] под аутогезией или самослипанием подразумевают способность двух приведенных в соприкосновение поверхностей одного и того же вещества давать прочную связь, препятствующую их разделению по месту контакта.

Следовательно, для выбора эффективного метода борьбы со слеживаемостью возникает необходимость измерения аутогезии вяжущих, используемых для производства холодных асфальтобетонных смесей.

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно [1] аутогезия или самослипание происходит в результате взаимного диффундирования цепей полимера в пограничных слоях. Следовательно, аутогезия, а значит, и слеживаемость будут увеличивать факторы, которые улучшают диффузионные процессы. В [2] описаны методы определения аутогезии: одновременный отрыв по всей площади контакта одной части склейки от другой, когда разрывающее усилие может быть направлено перпендикулярно или параллельно к плоскости контакта, и постепенное расслаивание склейки. В [3, 4, 5, 6] рассмотрены зависимости слеживаемости асфальтобетонных смесей от температуры складирования, содержания вяжущего, вязкости вяжущего. Предложены способы борьбы со слеживаемостью асфальтобетонных смесей путем обработки их отходами соапстока. В [7] рассмотрено влияние введения полимера ДСТ на аутогезию вяжущих для холодных асфальтобетонов. В [8] исследовано влияние воды на уплотнение холодных асфальтобетонов. В рассмотренных работах не содержится методики, которые могли бы быть применены к жидким органическим вяжущим без специальной их доработки.

Цели. Отработать методику определения аутогезии жидких вяжущих и установить влияние антиаутогезионной добавки на их самослипание.

Основной материал. Для оценки аутогезии необходимо знать ее максимальное значение, то есть когезию, определенную методом расслаивания. При выполнении испытаний использована полимерная термостойкая пленка, из которой вырезались две полоски шириной 2 см и длиной 18 и 30 см. Область распределения вяжущего составила 2 × 4 см. Для равномерного распределения на расстоянии 4 см от края ленты делали углубление, что предотвращало растекание вяжущего. Навеска вяжущего составляла 200 мг. Его отвешивали непосредственно на пленку, предварительно обезжиренную растворителем и обезвоженную спиртом. Распределение по пленке осуществлялось при помощи прибора УПП-10. Затем формировали склейку, которую выдерживали под давлением 62,5 г/см² в течение 10 минут между ограничителями толщины слоя, в качестве которых использовали два набора из четырех лезвий каждый. Для определения когезии использовали жидкие битумы марок МГ 40/70,

МГ 70/130, МГ 130/200 с условной вязкостью соответственно $C_{60}^5 = 60$ с, $C_{60}^5 = 106$ с, $C_{60}^5 = 178$ с и нефтеполимерную смолу (НПС), пластифицированную различным количеством индустриального масла с условной вязкостью $C_{60}^5 = 60$ с, $C_{60}^5 = 99$ с, $C_{60}^5 = 166$ с. В пластифицированную нефтеполимерную смолу вводили 6 % полимера KRATON 1101. Испытания выполнены в диапазоне температур от -15 до 10 °С через каждые 5 °С. Выбор температурного режима испытания обусловлен вязкостью вяжущего и чувствительностью прибора. Так, полученные данные (рис. 1) свидетельствуют о том, что когезия на разрыв при низких температурах выше у вяжущих на основе нефтеполимерной смолы, хотя их условная вязкость равна или немного ниже вязкости жидких вяжущих на основе битума. С повышением температуры испытания удельные сопротивления разрыву становятся близкими. После определения когезии по вышеописанной методике были получены значения аутогезии. Для этого вяжущее наносили в отдельности на каждую пленку в количестве 100 мг, после чего их помещали в холодильную камеру прибора и выдерживали при заданной температуре в течение 15 минут. Далее непосредственно в холодильной камере пленки обрабатывали эмульсией КЭ-10-01, также охлажденной до заданной температуры, путем их погружения в жидкость на 10 секунд. Далее их дублировали и выдерживали под давлением $62,5$ г/см² в течение 10 минут при заданной температуре в холодильной камере прибора. После чего готовая склейка закреплялась в рабочих зажимах прибора и испытание выполнялось по методике определения когезии. Полученные результаты приведены на (рис. 1 и 2).

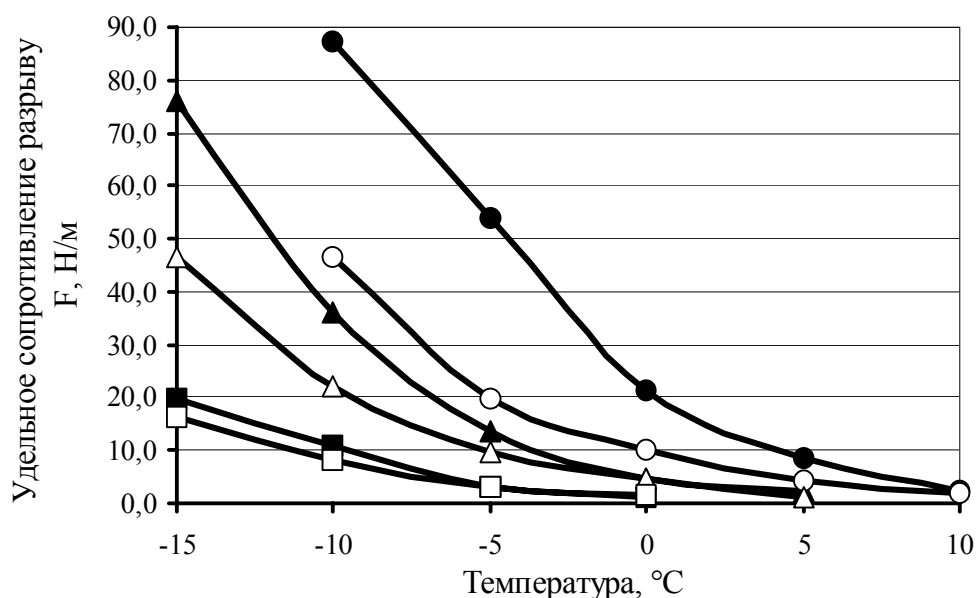


Рисунок 1 — Температурная зависимость когезии на разрыв жидких вяжущих на основе НПС: —●— НПСМ 130/200; —▲— НПСМ 70/130; —■— НПСМ 40/70 и на основе БНД 40/60: —○— МГ 130/200; —△— МГ 70/130; —□— МГ 40/70.

Приведенные на (рис. 2) зависимости показывают, что действие добавки проявляется уже при 10 °С для вяжущего НПСМ 130/200 и с понижением температуры проходит через максимум. В отношении вяжущих с меньшей вязкостью действие добавки проявляется сильнее и максимум аутогезии сдвигается в сторону повышения температуры.

Наибольшее действие добавки проявляется при снижении температуры и понижении когезии вяжущего. Возможно, это объясняется тем, что при понижении температуры замедляются диффузионные процессы, а образовавшиеся связи в результате этих процессов обладают малым сопротивлением разрыву из-за низкой вязкости вяжущего.

Из данных (рис. 3) следует, что добавка КЭ-10-01 оказывает меньшее антиаутогезионное воздействие на жидкие вяжущие, основу которых составляет битум. Так, при 0 °С, а в случае вяжущего МГО 40/70 при -5 °С, аутогезия достигает своего максимума и равна когезии. Также у вяжущих с меньшей вязкостью снижение сопротивления на разрыв происходит менее интенсивно, чем у вяжущих на основе нефтеполимерной смолы.

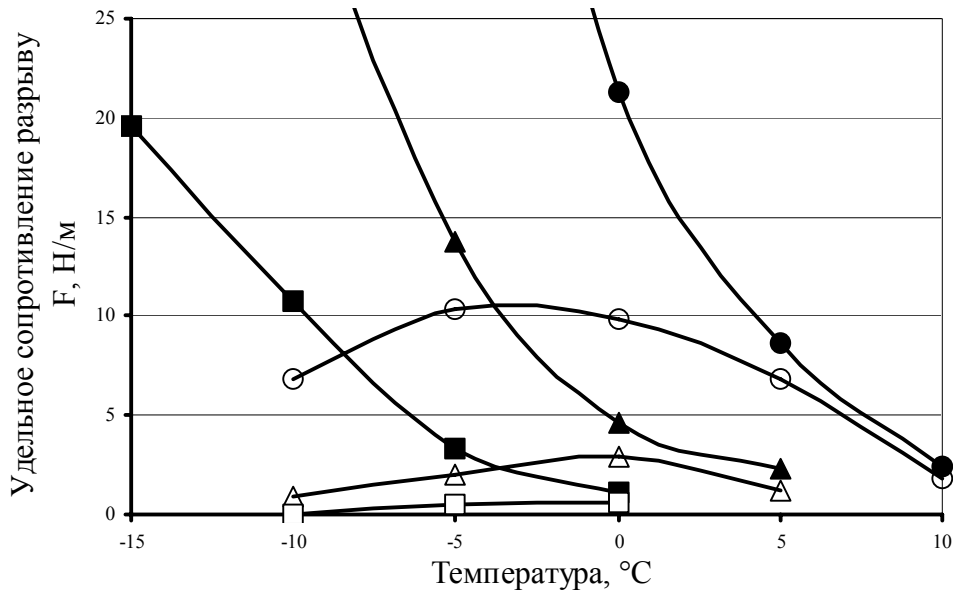


Рисунок 2 — Сравнение температурных зависимостей удельного сопротивления разрыву жидких вяжущих на основе нефтеполимерной смолы без добавки: -●- НПСМ 130/200; -▲- НПСМ 70/130; -■- НПСМ 40/70, с антиаутогезионной добавкой: -○- НПСМ 130/200; -△- НПСМ 70/130; -□- НПСМ 40/70.

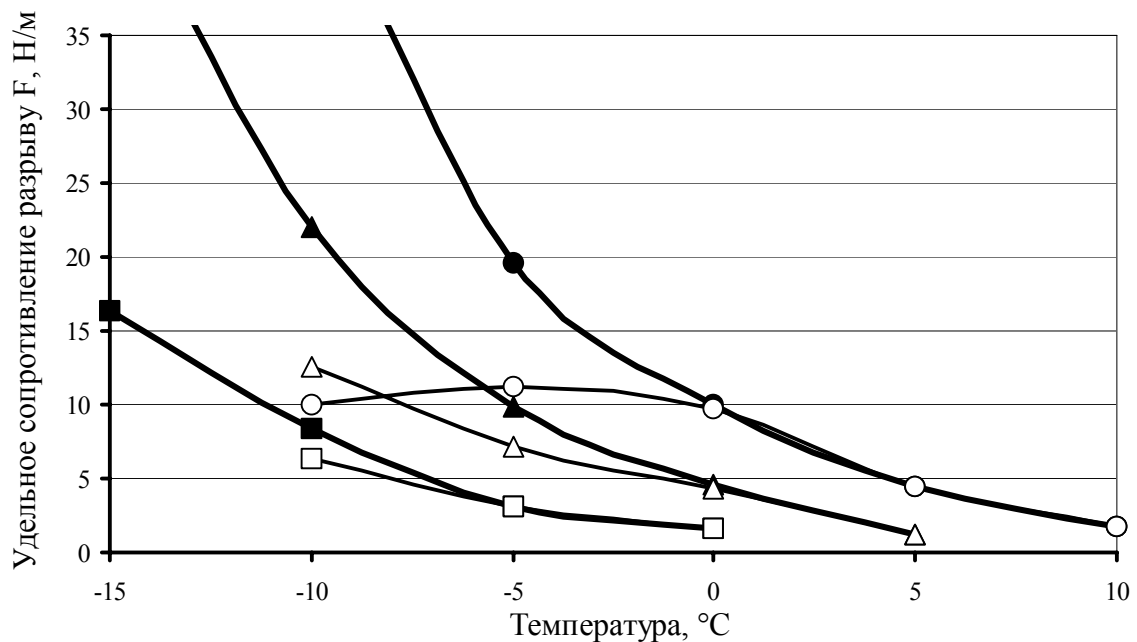


Рисунок 3 — Сравнение температурных зависимостей удельного сопротивления разрыву жидких вяжущих на основе битума без добавки: -●- МГ 130/200; -▲- МГ 70/130; -■- МГ 40/70, с антиаутогезионной добавкой: -○- МГ 130/200; -△- МГ 70/130; -□- МГ 40/70.

Возможно, это связано с тем, что нефтеполимерная смола, которая является основой вяжущего, применяется для производства лакокрасочных материалов в то время как одно из назначений добавки КЭ-10-01 — обработка рабочего оборудования в покрасочных цехах, что позволяет снизить прилипание краски и способствует быстрому очищению оборудования.

Целью дальнейших исследований является установление закономерностей аутогезии систем на основе различных вяжущих, пластификаторов и добавок, используемых при разработке цветных холодных смесей.

Выводы. Разработана методика определения аутогезии жидких вяжущих, позволяющая оценить влияние антиаутогезионных добавок на их самослипание. Установлено антиаутогезионное действие добавки КЭ-10-01 на самослипание жидких вяжущих, приготовленных с использованием чистого битума и нефтеполимерной смолы.

Добавка КЭ-10-01 в большей мере препятствует самослипанию вяжущих на основе нефтеполимерной смолы, чем жидких битумов.

Эффективность антиаутогезионной добавки КЭ-10-01 повышается с понижением температуры, это может быть использовано для предотвращения слеживаемости холодных асфальтобетонов при их длительном хранении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воюцкий С. С. Аутогезия и адгезия высокополимеров / Воюцкий С. С. – М. : Изда-во научно-технической литературы РСФСР, 1960. – 244 с.
2. Москвитин Н. И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания / Москвитин Н. И. – М. : Лесная промышленность, 1964. – 248 с.
3. Козлова Е. Н. Слеживаемость холодных асфальтобетонных смесей / Козлова Е. Н. – М. : Научно -техническое издательство министерства автомобильного транспорта и шоссейных дорог РСФСР, 1959. – 30 с.
4. Козлова Е. Н. Холодный асфальтобетон / Козлова Е. Н. – М. : Научно- техническое издательство автотранспортной литературы, 1958. – 124 с.
5. Попов Т. Т. Дорожные покрытия из холодного асфальтобетона и черного щебня / Попов Т. Т. – М. : Транспорт, 1973. – 176 с.
6. Козлова Е. Н. Устройства дорожных покрытий из холодного асфальтобетона / Козлова Е. Н. – М.: Научно-техническое издательство автотранспортной литературы, 1956. – 106 с.
7. Капанадзе И. И. Использование вязких органических вяжущих с повышенными тиксотропными свойствами для приготовления складированных асфальтобетонных смесей : дис. ... кандидата тех. наук : 05.23.05/ Капанадзе Иосиф Иванович. – М., 1991. – 241 с.
8. Космин А. В. Исследование технологии асфальтового бетона холодного типа : дис. ... кандидата тех. наук / Космин Александр Витальевич. – Харьков, 1969. – 226 с.

Получено 22.12.2010

М. О. СВИНАРЬОВ

АУТОГЕЗІЯ РІДКИХ В'ЯЖУЧИХ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

В статті розглянута методика визначення аутогезії рідких в'язучих, яка ґрунтується на поступовому розшаруванні здубльованої склейки з попередньо обробленими поверхнями антиаутогезійною добавкою. Запропонована методика, можливо, дозволить визначити вплив антиаутогезійної добавки на самозлипання органічних в'язучих.

аутогезія, когезія, органічні в'язучі, антиадгезійна добавка

M. O. SVYNAROV

AUTOHESION OF LIQUID BINDERS

Kharkiv National Automobile and Highways University

The determination technique of liquid binders autohesion based on gradual segregation of duplicated splicing of pretreated surfaces by the antiautohesive additive has been considered in the paper. The offered technique may probably determine the effect of the antiautohesive additives on autoadhesive organic binders.

autohesion, cohesion, organic liquid binders, antiautohesion additives

Свинарьов Максим Олександрович – аспірант кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів дорожньо-будівельного факультету Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Наукові інтереси: кольорові органобетони, енергозощаджуючі технології при виробництві асфальтобетону, антиадгезійні добавки.

Свинарев Максим Александрович — аспирант кафедры технологии дорожно-строительных материалов дорожно-строительного факультета Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: цветные органобетоны, энергосберегающие технологии при производстве асфальтобетона, антиадгезионные добавки.

Maksim O. Svnaryov – a postgraduate of the Production Engineering of Road Building Materials Department of the Department of Road Engineering of the Kharkiv National Automobile and Highways University. Research interests: coloured organoconcrete, energy conservation techniques at asphalt production, antiadhesive additives.

УДК 691.175:678.747:547.665:547.728

С. І. СОХІНА, О. М. ШЕВЧЕНКО

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

ПРОТИКОРОЗІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ПОЛІСТИРОЛУ, МОДИФІКОВАНІ ПОЛІАМІДАМИ ФТАЛЕВОЇ КИСЛОТИ ТА ПОБІЧНИМИ ПРОДУКТАМИ КОКСОХІМІЇ

Робота присвячена модифікації суспензійних стирольних полімерів, які є основою полістирольних фарб, поліамідами і поліефірами фталевої кислоти, отриманими у результаті реакції поліконденсації складних ефірів фталевої кислоти у присутності поліетиленполіаміну (ПЕПА) безпосередньо у процесі виготовлення композиції перед нанесенням на металеву поверхню. В якості розчинника полістиролу використано КМТА або інден-кумаронова фракція (ІКФ), що утворюються у бензольних відділеннях коксохімічного виробництва як побічні продукти, що мають обмежене застосування.

протикорозійні матеріали; полістирольні композиції, модифікації, продукти коксування вугілля, ефіри фталевої кислоти

Актуальність теми. Довговічність будівельних виробів і конструкцій у корозійно-активних середовищах промислових підприємств забезпечується, насамперед, використанням ефективних засобів і методів протикорозійного захисту, який передбачає використання якісних захисних матеріалів. Розробка нових протикорозійних матеріалів для захисту металевих конструкцій у середньо- і сильноагресивних середовищах коксохімічних виробництв із використанням побічних продуктів цих виробництв є складовою забезпечення ефективного, економічно обґрунтованого протикорозійного захисту.

Як показує міжнародна практика, одним з найбільш перспективних та економічно вигідних методів боротьби з корозією є застосування покриттів на основі лакофарбових матеріалів, які повинні відповідати високим вимогам за фізико-механічними і захисними показниками при різних агресивних впливах промислових середовищ.

Метою дослідження є розробка нових протикорозійних матеріалів для захисту металевих конструкцій у середньо- і сильноагресивних середовищах коксохімічних виробництв із використанням побічних продуктів цих виробництв, що мають обмежене використання [1].

Об'єкти та методи досліджень. Об'єктами досліджень є суспензійні стирольні полімери, які є основою полістирольних фарб; модифікація їх поліефірами та поліамідами фталевої кислоти, отриманими у результаті реакції поліконденсації складних ефірів фталевої кислоти у присутності поліетиленполіаміну (ПЕПА) безпосередньо у процесі виготовлення композиції перед нанесенням на металеву поверхню. В якості розчинника полістиролу використано фракція КМТА або інден-кумаронова фракція (ІКФ), що утворюються у бензольних відділеннях коксохімічного виробництва і містять 10–17% стиролу, 1–10% індену і 5–30% \approx кумарону [2].

Випробування захисних властивостей покриттів на основі модифікованих і немодифікованих полістирольних композицій (табл. 1) проводили з використанням корозійних випробувань на стійкість до статичного впливу рідких корозійних середовищ за ДСТ 9.403-80 (табл. 2) [3] і випробувань на штучне старіння за вимогами міжнародного стандарту ISO 12944 (табл. 3). Для корозійних випробувань були використані двошарові покриття товщиною біля 50 мкм.

Результати експериментальних досліджень і їх інтерпретація.

Широко поширені суспензійні стирольні полімери мають деякі характеристики, що роблять їх привабливими для використання у якості плівкоутворюючих компонентів для полістирольних фарб. Це їх доступність, розповсюдженість у вигляді промислових і тарних відходів.

Однак суспензійні полістирольні смоли, продукт полімеризації стиролу, утворюють крихкі плівки, розчинюються в обмеженій кількості розчинників.

Тому полістирольні лаки у чистому вигляді використовують рідко. Для отримання плівкоутворювача з заданими властивостями більш широко використовують співполімери стиролу з іншими мономерами.

Так, співполімеризацією стиролу і дивінілу (бутадієну) отримують дивінілстирольні латекси, водні емульсії яких застосовують для виробництва водоемульсійних фарб, які застосовують у будівництві для внутрішніх робіт по тинькуванню, деревині й т.п.

Такі фарби мають високий вміст сухого залишку (понад 50 %), сохнуть при температурі 18...20 °С протягом 6 годин і утворюють покриття більш міцні до стирання і дії хімічних реагентів.

Однак покриття по металу на основі полістирольних фарб мають низькі фізико-механічні властивості (низькі показники адгезії та міцності плівки до удару), оскільки у макромолекулах полістиролу відсутні функціональні групи, що дозволяє використовувати дані матеріали для захисту металевих конструкцій від корозії тільки у слабо-агресивних середовищах.

У даній роботі розглянута модифікація суспензійних стирольних полімерів побічними продуктами хімічної і коксохімічної промисловості для отримання протикорозійних композицій з більш високими захисними і фізико-механічними показниками для середньо- і сильноагресивних середовищ.

У якості розчинника полістиролу використана інден-кумаронова фракція (ІКФ), отримана в бензольних відділеннях коксохімічного виробництва як побічний продукт коксування вугілля з вмістом смолоутворюючих компонентів до 50 %, модифікація якої розглядалась раніше [4, 5]. У якості пігменту-наповнювача композиції використовується алюмінієва пудра.

Модифіковані протикорозійні плівки являють собою розгалужені і просторові макромолекули полістиролу поліефірами і поліамідами фталевої кислоти, що утворюються у присутності поліетиленполіаміну (ПЕПА) безпосередньо в процесі виготовлення композиції перед нанесенням на металеву поверхню. У цьому випадку складноефірні і амідні угруповання у макромолекулах можуть проявляти інгібуючі властивості за рахунок неподілених електронних пар атомів кисню і азоту.

Таким чином, використання складних ефірів у модифікованому плівкоутворювачі дає можливість підвищити захисні властивості покриттів за рахунок адсорбції інгібуючих складноефірних і амідних груп на поверхні металу (адсорбційний механізм).

Крім цього підвищення захисних і фізико-механічних показників покриттів можливе за рахунок додаткової полімеризації смолоутворюючих компонентів інден-кумаронової фракції, що використана в якості розчинника.

Для оптимізації складу модифікованої полістирольної композиції на першому етапі були виконані порівняльні випробування на стійкість до статичного впливу агресивного середовища за ДСТ 9.403–80.

Випробування проводили за трьома зразкам для кожної композиції, один з яких був контрольним.

Таблиця 1 — Склад протикорозійних композицій

№пп	Компоненти	Композиції, (% мас.)			
		ПС-0	ПС-1	ПС-2	ПС-3
1	Полістирол	20	18,0	19,0	20,0
2	Епоксидна смола	-	3,0	3,5	4,0
3	Поліетиленполіамін (ПЕПА)	-	1,0	1,0	2,0
4	Ефір фталевої кислоти	-	3,0	3,5	4,0
5	Алюмінієва пудра	10	10,0	10,0	10,0
6	Інден-кумаронова фракція (ІКФ)	70	65,0	62,0	60,0

За результатами випробувань (табл. 2) оптимальним складом є композиція ПС-2 за тривалістю випробувань і за зміною захисних (A_3) та декоративних (A_d) властивостей.

Таблиця 2 – Захисні та фізико-механічні властивості покриттів композицій після прискорених корозійних випробувань в 3 % розчині NaCl за ДСТ 9.403-80.

Композиції	Зразки	Термін випробувань, доба	A _з	A _д	Адгезія, бали	Міцність до удару, кгс·см
ПС	1	4	0,95	0,90	1	50
	2	4	0,95	0,90	1	50
ПС-1	1	20	1	0,90	1	50
	2	20	1	0,90	1	50
ПС-2	1	37	1	1	1	50
	2	37	1	1	1	50
ПС-3	1	25	0,95	0,90	1	50
	2	25	0,95	0,90	1	50

Для визначення терміну служби покриттів на основі оптимізованої композиції (табл. 3) були проведені порівняльні випробування на штучне старіння за ISO 12944-6 «Лаки і фарби – захист від корозії сталевих конструкцій системами захисних покриттів». Частина 6: Лабораторні методи випробувань. Випробування виконувалися відповідно до таблиці 1 стандарту для корозійної категорії С4.

Таблиця 3 – Захисні і фізико-механічні властивості покриттів на основі модифікованих полістирольних композицій за вимогами ISO 12944-6.

Результати випробувань композиції ПС-0

Визначення перед випробуваннями (контрольний зразок)				
Стандарт	Показник	Зразок № 1		
ISO 2808	Товщина, мкм	50±5		
ISO 2409	Адгезія (гратчастий надріз), бал	0		
Визначення після випробувань				
Випробування 1: ISO 7253 (соляний туман)				
Тривалість 120 годин				
Стандарт	Показник	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
ISO 2808	Товщина, мкм	50±5	50±5	50±5
ISO 2409	Адгезія, бал	0	0	0
ISO 4628-2	Пухирі	0	0	0
ISO 4628-3	Ступінь корозії Ri	0	0	0
ISO 4628-4	Розтріскування	0	0	0
ISO 4628-5	Відшаровування	0	0	0
Корозія на подряпині	мм	0,9±0,3	0,9±0,3	0,9±0,3
Випробування 2: ISO 6270 (конденсат водяної пари)				
Тривалість 48 годин				
Стандарт	Показник	Зразок 5	Зразок 6	Зразок 7
ISO 2808	Товщина, мкм	50±5	50±5	50±5
ISO 2409	Адгезія, бал	0	0	0
ISO 4628-2	Пухирі	0	0	0
ISO 4628-3	Ступінь корозії Ri	0	0	0
ISO 4628-4	Розтріскування	0	0	0
ISO 4628-5	Відшаровування	0	0	0

Оцінка властивостей покриттів на основі немодифікованої композиції ПС-0 показала, що тривалість випробувань склала у соляному тумані 120 годин, а при безперервній конденсації – 48 годин. Це відповідає корозійній напрузі категорії С3 (середня), низькому рівню довговічності (від 2 до 3 років). У відповідності до СНиП 2.03.11-85 характеристика середовища класифікується як слабоагресивна.

Дослідження на основі модифікованої композиції ПС-2 показали, що покриття витримують впливи, передбачені режимом випробувань (соляного туману 480 годин і безперервної конденсації 240 годин), що відповідає корозійній напрузі категорії С4 (у відповідності до СНиП 2.03.11-85 середньоагресивному впливу) для середнього рівня довговічності (5–10 років).

Продовження таблиці 3 — Результати випробувань композиції ПС-2

Визначення перед випробуваннями (контрольний зразок)				
Стандарт	Показник	Зразок № 1		
ISO 2808	Товщина, мкм	50±5		
ISO 2409	Адгезія (гратчастий надріз), бал	0		
Визначення після випробувань				
Випробування 1: ISO 7253 (соляний туман)				
Тривалість 480 годин				
Стандарт	Показник	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4
ISO 2808	Товщина, мкм	50±5	50±5	50±5
ISO 2409	Адгезія, бал	0	0	0
ISO 4628-2	Пухирі	0	0	0
ISO 4628-3	Ступінь корозії Ri	0	0	0
ISO 4628-4	Розтріскування	0	0	0
ISO 4628-5	Відшаровування	0	0	0
Корозія на подряпині	мм	0,9±0,3	0,9±0,3	0,9±0,3
Випробування 2: ISO 6270 (конденсат водяної пари)				
Тривалість 240 годин				
Стандарт	Показник	Зразок 5	Зразок 6	Зразок 7
ISO 2808	Товщина, мкм	50±5	50±5	50±5
ISO 2409	Адгезія, бал	0	0	0
ISO 4628-2	Пухирі	0	0	0
ISO 4628-3	Ступінь корозії Ri	0	0	0
ISO 4628-4	Розтріскування	0	0	0
ISO 4628-5	Відшаровування	0	0	0

ВИСНОВКИ

1. Запропонована модифікація дозволяє збільшити ресурси при виробництві протикорозійних матеріалів за рахунок використання побічних продуктів коксохімічної промисловості, які мають обмежене практичне застосування.

2. Дослідження модифікованої композиції на основі полістиролу з урахуванням вимог міжнародного стандарту ISO 12944-6 показали, що запропонований протикорозійний матеріал може застосовуватися для середньоагресивних впливів промислових середовищ коксохімічних виробництв.

3. Запроектовано оптимальний склад протикорозійної композиції на основі модифікованого полістиролу, встановлена прогнозована довговічність покриття на основі ПС-2 для середньоагресивних середовищ – 5–10 років.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Высоцкий Ю. Б. Экологические проблемы промышленных мегаполисов и утилизация отходов в противокоррозионные материалы / Ю. Б. Высоцкий, С. И. Сохина, Ю. В. Селютин // Экологические проблемы промышленных мегаполисов : материалы V международной научно-практической конференции-выставки (Донецк–Авдеевка, 21–23 мая 2008 г.) / М-во образования и науки Украины, М-во образования и науки Российской Федерации [и др.]. – Донецк, Донецкий нац. технический ун-т М-ва образования и науки Украины, 2008. – С. 249–251.
2. Пат. N 44050A Украина, Протикорозійна композиція ИКС-1. / Е. В. Горохов, В. П. Королев, Ю. Б. Высоцкий, С. И. Сохина, О. Н. Шевченко, Ю. В. Селютин; заявитель и патентообладатель Донбасская государственная академия строительства и архитектуры – заявл. 20.09.01 ; опубл. 15.01.02, Бюл. N 1, 2002.
3. Время жизни защитных покрытий на основе полимеризата инден-кумароновых смол / Е. В. Горохов, В. П. Королев, Ю. Б. Высоцкий [и др.] // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць. – 2002. – Вип. 2002-1(32). – С. 81–83.
4. Инден-стирольные сополимеры, модифицированные полимерами бензольных фракций бензольных выделений КХЗ / Ю. Б. Висоцкий, С. И. Сохина, О. М. Шевченко, Н. Г. Магунова // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2008. – № 7. – С. 484–489.

5. Модифікація полістирольних протикорозійних матеріалів поліефірами фталевої кислоти / Ю. Б. Висоцький, С. І. Сохіна, О. М. Шевченко, Н. Г. Магунова // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2010. – № 8. – С. 383–386.

Отримано 23.12.2010

С. И. СОХИНА, О. Н. ШЕВЧЕНКО

ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИСТИРОЛА, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ПОЛИАМИДАМИ ФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ И ПОБОЧНЫМИ ПРОДУКТАМИ КОКСОХИМИИ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

Работа посвящена модификации суспензивных стирольных полимеров, являющихся основой полистирольных красок, полиамидами и полиэфирами фталевой кислоты, полученными в результате реакции поликонденсации сложных эфиров фталевой кислоты в присутствии полиэтиленполиамин (ПЭПА) непосредственно в процессе изготовления композиции перед нанесением на металлическую поверхность. В качестве растворителя полистирола использована фракция КМТА или инденкумароновая фракция (ИКФ), образующаяся в бензольных отделениях коксохимического производства как побочные продукты, имеющие ограниченное использование.

противокоррозионные материалы; полистирольные композиции, модификации, продукты коксования угля, эфиры фталевой кислоты

S. I. SOKHINA, O. N. SHEVCHENKO

ANTICORROSIVE MATERIALS BASED ON POLYSTYRENE MODIFIED WITH PHTHALIC ACID POLYAMIDES AND BY-PRODUCTS OF CHEMICAL RECOVERY COAL CARBONIZATION

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper deals with the modification of suspension styrene polymers, which are the polystyrene paint base, with phthalic acid polyamides and polyesters produced by polyethylenepolyamine (PEPA) reaction of polycondensation of the phthalic acid ester directly during the composition manufacture before applying on a metal surface. The fraction of motor fuel aromatic constituent (MFAC) or indene-coumarone fraction (ICF) formed in benzene sections of chemical recovery coal carbonization plants as by-products of limited utilization has been used as polystyrene solvent.

anticorrosive materials, polystyrene compositions, modifications, products of coal carbonization, phthalic acid esters

Сохіна Світлана Іванівна – кандидат хімічних наук, доцент, завідувач секції прикладної хімії кафедри «Прикладна екологія і хімія» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: теоретичне та експериментальне дослідження фізико-хімічних властивостей та хімічних перетворень органічних сполук, що використовуються у будівництві; синтез низько- і високомолекулярних сполук, що містять інгібуючі та хромофорні угруповання.

Шевченко Ольга Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент секції прикладної хімії кафедри «Прикладна екологія і хімія» Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: теоретичне та експериментальне дослідження фізико-хімічних властивостей та хімічних перетворень органічних сполук, що використовуються у будівництві; синтез низько- і високомолекулярних сполук, що містять інгібуючі угруповання.

Сохіна Светлана Ивановна – кандидат химических наук, доцент, заведующий секцией прикладной химии кафедры «Прикладная экология и химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: теоретические и экспериментальные исследования физико-химических свойств и химических превращений органических соединений, используемых в строительстве; синтез низко- и высокомолекулярных соединений, содержащих ингибирующие и хромофорные группы.

Шевченко Ольга Николаевна – кандидат технических наук, доцент, доцент секции прикладной химии кафедры «Прикладная экология и химия» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: теоретические и экспериментальные исследования физико-химических свойств и химических превращений органических соединений, используемых в строительстве; синтез низко- и высокомолекулярных соединений, содержащих ингибирующие группы.

Svetlana I. Sokhina – a Ph. D. (Chemistry), an Assistant Professor, the Chair of the Applied Chemistry Section of the Ecology and Chemistry Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: research and investigations of physical and chemical properties and chemical transformations of organic compounds used in civil engineering; synthesis of low-and high-molecular compounds including inhibitory and chromophoric groups.

Olga N. Shevchenko – a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Applied Chemistry Section of the Applied Ecology and Chemistry Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: research and investigations of physical and chemical properties and chemical transformations of organic compounds used in civil engineering; synthesis of low- and high-molecular compounds including inhibitory groups.

УДК 625.855.3

МУТТАШАР АХМЕД ТАЛИБ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**О КРИТЕРИЯХ СДВИГОУСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНЫХ
АСФАЛЬТОБЕТОНОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ИРАК**

Показано, что в республике Ирак эксплуатируется 45 тысяч км асфальтобетонных автомобильных дорог. Погодно-климатические условия и транспортные нагрузки приводят к накоплению необратимых пластических деформаций, потому что температура поверхности асфальтобетонных покрытий в центральной части Ирака достигает 70 °С. Рассмотрен механизм образования основных сдвиговых деформаций (волны, колейность). Сформулировано определение сдвигоустойчивости асфальтобетона. Проанализированы показатели и нормирование допустимых значений параметров, которые характеризуют сдвигоустойчивость, а именно: прочностные показатели; условные критерии деформационных свойств; реологическим моделированием на основе феноменологических моделей; условные показатели реологических характеристик.

дорожный асфальтобетон, сдвигоустойчивость, количественные критерии сдвигоустойчивости

В Ираке эксплуатируется 45 тысяч км асфальтобетонных автомобильных дорог. Автодороги расположены, в основном, в меридианном направлении. Дороги технических категорий I б и II ведут из Багдада к границам Турции, Саудовской Аравии, Иордании, Сирии и Ирана. Основные автодороги: Багдад – Дивания – Басра; Багдад – Кут – Амара – Басра; Багдад – Умм – Каср; Басра – Сафван; Багдад – Мосул – Тель – Кочек; Багдад – Мосул – Захо; Багдад – Ханекин и Багдад – Киркук – Эрбиль – Равандуз [1].

Основная территория Ирака расположена в зоне континентального климата. Средняя температура января в Багдаде 9,5 °С, июля – 33 °С. Долгое жаркое лето (до 7 месяцев) сменяется короткой прохладной зимой. Равнинная область Ирака входит в климатическую «провинцию Сахары», простирающуюся до предгорий Армении и Ирана и отличающуюся северными ветрами и минимальным на земном шаре количеством выпадающих осадков.

В северных районах часто бывают снежные зимы. А в южной пустынной части страны при менее влажном климате температура достигает 50 °С. Погода постоянно безоблачная и сухая, осадки не выпадают в течение четырех месяцев и составляют менее 15 мм в остальные месяцы теплого сезона [1].

Расчетную максимальную летнюю температуру в асфальтобетонном покрытии на глубине 2 см от поверхности рассчитывают по формуле (1), рекомендуемой техническими условиями Superpave [2, 3], которые разработаны в США для выполнения «Стратегической программы дорожных исследований на основе теоретического анализа условий эксплуатации автомобильных дорог» с использованием математических моделей тепловых потоков и энергетического баланса, допущения типичных значений для солнечной адсорбции, передачи радиации через воздух, атмосферной радиации и скорости ветра.

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

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

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

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

Действие на нежесткое покрытие автомобильной дороги комплекса транспортных нагрузок (нагрузка на ось колеса свыше 80 Кн (до 130 кН) [2] и интенсивности движения (более 15 тыс. автомобилей в сутки), а также атмосферных факторов, вызывающих истирающее действие, нормальные и касательные нагрузки от проходящего транспорта, а также ударные нагрузки в зонах контакта колеса автомобиля с покрытием в сочетании с многократным действием солнечной радиации и температуры приводят к большому разнообразию дефектов покрытия в Ираке и, прежде всего, пластических: колейность, волны.

В работе [4] рассмотрен механизм образования основных сдвиговых дефектов покрытия в виде волн и колеи (рис. 1). На покрытие со стороны автомобиля действуют нормальная (вертикальная) F_n и сдвигающая (горизонтальная) F_t силы (рис 1). Сила F_t возникает на ободу ведущего колеса при торможении автомобиля или при его движении на перегонах под действием вращающего момента от двигателя.

Касательные напряжения от сдвигающей силы F_t обуславливают перемещение материала покрытия параллельно движению автомобиля и образованию поперечных волн (рис 1 а). Касательные напряжения от действия нормальной силы F_n вызывают перемещение асфальтобетона как в стороны, перпендикулярные направлению движения, так и по направлению движения. При действии нормальной силы F_n колесо, накатываясь на поперечную волну, устраняет ее. При этом деформации в поперечном направлении с каждым проходом автомобиля накапливаются. Колесо проходит по одному и тому же следу с определенной повторяемостью, что приводит к уменьшению толщины покрытия на полосе наката и образованию остаточной деформации в виде колеи (рис. 1 б).

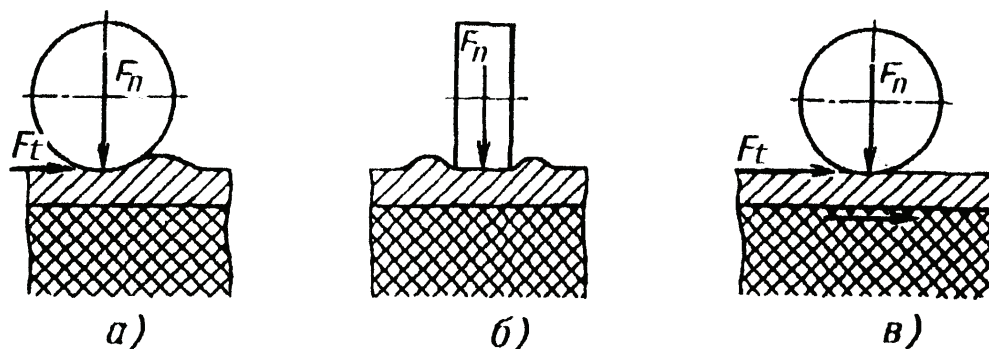


Рисунок 1 — Сдвиг дорожного покрытия под действием нормальной F_n и сдвигающей F_t сил со стороны колеса автомобиля: а) — на участках торможения с образованием поперечной волны; б) — на перегонах с образованием колеи; в) — скольжение покрытия по основанию.

При торможении автомобиля сдвигающая сила становится соизмеримой с нормальной, что приводит к сдвигу покрытия относительно основания (рис. 1 в). Характерно, что пластические деформации повышают коэффициент динамичности и, как следствие, являются источником других видов разрушения [5, 6].

Таким образом, под сдвигоустойчивостью асфальтобетона следует понимать способность материала в слое асфальтобетонного покрытия сопротивляться появлению остаточных деформаций, связанных с относительным сдвигом плоскостей, параллельных основанию слоя, и приводящих к появлению микрорельефа (волн) под действием многократных малых импульсных нагрузок на поверхности слоя в условиях климатических изменений температуры [4].

Следует отметить сложность напряженно-деформированного состояния покрытия под действием касательных сил — тяговых и тормозных. Ведь асфальтобетон является материалом, процессы деформирования которого связаны со временем действия нагрузки, скоростью ее приложения и механической памятью материала, а величина напряжения зависит от скорости деформирования и величины деформации. В связи с этим точный критерий сдвигоустойчивости до настоящего времени не установлен.

Исследователи отмечают упрощение расчетных моделей с целью принятия удобных показателей сдвигоустойчивости. Большинство отмечают, что критерий сдвигоустойчивости следует определять с учетом усталости и старения асфальтобетона [5–9]. При обосновании требований к сдвигоустойчивости асфальтобетона в настоящее время принят ряд показателей и нормирование допускаемых значений параметров, характеризующих их. Они позволяют выполнять сравнительный анализ свойств различных асфальтобетонных покрытий. В работе [9] приведена классификация критериев, которые отражают теоретические и экспериментальные исследования сдвигоустойчивости асфальтобетона в покрытии.

К первому направлению относятся работы, в которых деформативные свойства асфальтобетона обосновываются прочностными показателями. Так, в соответствии с ГОСТ 9128-84 (ДСТУ БВ.2.7-119-2003) для всех районов СНГ показателем сдвигоустойчивости асфальтобетонных покрытий является предел прочности при сжатии при 50 °C ($R_{сж}^{50}$). В работе [8] на большом экспериментальном материале убедительно показано, что этот критерий не в полной мере отвечает требованиям эксплуатации асфальтобетонных покрытий.

К тому же при испытании на свободное сжатие не учитывается боковой отпор материала покрытия, расположенного рядом с зоной нагружения.

Н. Н. Ивановым установлена зависимость прочности асфальтобетона на сжатие от величины сцепления (C) и угла внутреннего трения (φ) [10].

$$R = 2C \cdot \operatorname{tg} (45 + \frac{\varphi}{2}). \quad (2)$$

Следует отметить, что большинство методов определения сдвигоустойчивости асфальтобетона основано на теории Мора и законе трения Кулона [11–13], в которой величина действующего напряжения сопоставляется с предельно допускаемым. В одном из наиболее прогрессивном нормативном документе в странах СНГ [13] дорожную одежду проектируют из расчета, чтобы под действия кратковременных или длительных нагрузок в подстилающем грунте или в маловязких слоях за срок службы не возникали допустимые остаточные деформации. В частности, деформации сдвига в конструкции не будут накапливаться, если обеспечено условие (3):

$$K_{пр} = \frac{T_{гр}}{T}, \quad (3)$$

где $K_{пр}$ — наиболее минимальное значение прочности, которое определяется с использованием заданного коэффициента надежности; $T_{гр}$ — граничная величина активного напряжения сдвига, превышение которого вызывает нарушение прочности на сдвиг; T — расчетное активное напряжение сдвига в расчетной точке конструкции от действующей кратковременной нагрузки. В тоже время $T_{гр}$ зависит от сцепления в грунте земляного полотна (C_N) и угла внутреннего трения данного слоя φ .

В работе [4] расчеты на прочность, основанные на теории Мора и связанных с ней параметрах C и φ , подвергнуты критическому анализу. Г. А. Бонченко справедливо отмечает, что теория Мора пригодна для определения условий разрушения малопластичных тел. Асфальтобетон же при температуре 50 °C и выше является вязкоупругопластичным материалом, обнаруживающим остаточные деформации при большом цикле нагружений. Пластические деформации превышают упругие на один, два порядка.

Исследования В. А. Золотарева показывают, что процесс сдвига асфальтобетона может быть описан биномиальным законом трения-скольжения Б. В. Дерягина [5, 14]:

$$\tau = \mu (P + \tau), \quad (4)$$

$$\tau = \mu (P + P), \quad (5)$$

где τ — напряжение сдвига; P — вертикальное давление; τ — прочность сдвига в отсутствии вертикального давления; μ — коэффициент внутреннего трения; P — прочность на разрыв. Методика определения сдвигоустойчивости, предложенная В. А. Золотаревым, наиболее близко отражает напряженно-деформационное поведение асфальтобетона в условиях вертикальных (нормальных) нагрузок и сдвиговых воздействий от автомобильного транспорта.

Второе направление исследований – это методы оценки деформационных свойств условными характеристиками: показатель устойчивости и условной пластичности по Маршаллу (данный метод применяется в республике Ирак); определение поперечного давления и деформации асфальтобетона методом трехосного сжатия; метод П. А. Сахарова оценки пластичности асфальтобетонного вещества измерением деформации образца под давлением воды [15]; определение коэффициента подвижности при испытании асфальтобетона на сжатие [7]; величина предельно допустимой деформации [16] и другие. Эти методы учитывают пластичность асфальтобетона, однако не предусматривают оценки деформирования асфальтобетона во времени.

Третье направление характеризуется исследованиями вязких свойств асфальтобетона реологическим моделированием [5–7, 18–22 и др.].

В качестве расчетных применяют модели Богуславского А. М. (параллельное соединение элементов Кельвина и Максвелла, к которому последовательно присоединен элемент Сен-Венана) [19], модель Гезенцвея Л. Б. (тело Максвелла) [8], модель Кима А. Х. (тело Кельвина) [18], нелинейная модель Фицджеральда [20] и другие, когда определяют вязкость асфальтобетона при испытании на кручение и сдвиг, растяжение, а также его релаксацию. Как отмечается в работе [9], в настоящее время не выяснено, какая допустимая и необходимая должна быть вязкость асфальтобетона в различных климатических условиях и при изменяющихся интенсивности и грузонапряженности движения.

Реологическое моделирование поведения асфальтобетона в условиях жаркого климата представляет теоретический интерес. Однако полученные результаты не доведены до практического использования. Кроме того, моделирование на основе феноменологических моделей не является характерным для асфальтобетона, с точки зрения оценки их сдвигоустойчивости.

К четвертому направлению относятся работы, в которых реологические характеристики асфальтобетона выражаются через условные показатели его деформационных свойств, получаемые на приборах с заданной скоростью деформирования в покрытии [9]. Однако схемы испытаний, как правило, не соответствуют условиям работы материала в покрытии.

Рассмотренные расчетные подходы к оценке сдвигоустойчивости асфальтобетона обусловлены тем, что конструкции одежд автомобильных дорог рассчитывают так, чтобы в процессе эксплуатации они работали в условиях обратимых деформаций. Тем не менее, как показывают опыты, в ряде случаев, на их поверхности все же накапливаются остаточные деформации в виде колеи. Поэтому в Великобритании, Франции, США и в других странах в качестве предельного состояния дорожной одежды принята допустимая глубина колеи $h_{\text{доп}}$ [21, 22]. Значение $h_{\text{доп}}$ устанавливают, исходя из условий безопасности и комфортности движения. Так, в Великобритании и Франции допустимая глубина колеи за десять лет эксплуатации покрытия должна составлять 10 мм и 15 мм соответственно [14, 21, 22].

Наиболее глубоко процессы деформирования асфальтобетона в условиях действия нормальных и касательных нагрузок при высоких положительных эксплуатационных температурах изучены Г. А. Бонченко [4], который разработал теоретические положения и выполнил экспериментальные исследования сдвигоустойчивости асфальтобетона.

Сдвигоустойчивость на «базе N» (N – количество циклов нагружения) измеряется средней остаточной деформацией сдвига, накопленной в слое в течение стандартного числа циклов N при стандартном законе изменения или вероятностном распределении импульсной нагрузки в заданных температурных и влажностных условиях. Предельная остаточная деформация ε^* определяется из условия, что ей соответствует установленное нормой отклонение высоты поперечных и продольных профилей, измеряемое шаблоном (трехметровой рейкой).

Предложена модель деформирования асфальтобетона:

$$\gamma(t) = B_0 \tau(t)^n \left(\int_0^t \tau(t)^{\partial} dt \right)^{\lambda} + B_1 \left(1 - \frac{\gamma(t)}{\gamma_{\max}} \right)^{\Psi} \int_0^t \frac{t(\xi)}{(t-\xi)} d\xi \quad (6)$$

$\gamma(t)$ – деформации сдвига; $\tau(t)$ – заданные напряжения сдвига; $B_0, B_1, \lambda, \Psi, \partial$ – коэффициенты.

Например, в работе [4] при напряжении $\tau_0 = 0,187$ МПа, времени $t = 300$ с получены $\gamma = 0,14$ % (0,0014), а константа $B_0 = 39,07 \cdot 10^{-5}$.

Разработана методика определения сдвигустойчивости асфальтобетона испытанием на деформационную устойчивость с применением установки многоциклового нагружения малыми импульсами, в результате чего в асфальтобетоне образуются и накапливаются остаточные (пластические) деформации сдвига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиффорд К. Большая иллюстрированная энциклопедия географии / Клайв Гиффорд. — М. : Махаон, 2005. — 488 с. — ISBN 5-18-000643-0.
2. Радовский Б. С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу СУПЕРПЕЙВ / Б. С. Радовский // Дорожная техника. — 2007. — № 1. — С 86—99.
3. Телтаев Б. Б. Учет климатических условий эксплуатации при выборе битума для асфальтобетонных смесей / Б. Б. Телтаев, Е. В. Калинович, Г. Г. Измайлова // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2008. — № 2. — С. 17—20.
4. Бонченко Г. А. Асфальтобетон: сдвигустойчивость и технология модифицирования полимером / Г. А. Бонченко. — М. : Машиностроение, 1994. — 176 с.
5. Золотарёв В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонных / В. А. Золотарёв. — Харьков : Вища шк., 1977. — 115 с.
6. Смирнов В. А. Динамика дорожных одежд автомобильных дорог / В. А. Смирнов. — М. : Аэропроект, 1979. — 155 с.
7. Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны / И. А. Рыбьев. — М. : Высшая шк., 1969. — 399 с.
8. Дорожный асфальтобетон / Л. Б. Гезенцев, Н. В. Горелышев, А. М. Богуславский, И. В. Королёв. — М. : Транспорт, 1985. — 350 с.
9. Прочность и долговечность асфальтобетона / Под ред. Ладыгина Б. И. и Яцевича И. К. — Минск : Наука и техника, 1972. — 288 с.
10. Иванов Н. Н. Прочность и устойчивость покрытий из смесей каменных материалов с органическими вяжущими / Иванов Н. Н. // Труды Московского автомобильно-дорожного института. — 1956. — Вып. 18. — С. 61—74.
11. Баловнева И. И. К вопросу сопротивляемости асфальтобетона сдвигу / И. И. Баловнева // Труды СоюзДорНИИ. — 1967. — Вып. 11. — С. 126—134.
12. Горелышев Н. В. Принципы структурообразования асфальтобетона / Н. В. Горелышев // Труды СоюзДорНИИ. — 1966. — Вып. 7. — С. 39—53.
13. Дорожний одяг нежорсткого типу : ВБН В.2.9 — 218-186-2004. — [Чинний від 2005-01-02]. — К. : Дорожня служба автомобільних доріг України, 2004. — 176 с.
14. Золотарев В. А. О взаимосвязи свойств битумополимерных вяжущих и сдвигустойчивости асфальтобетона / В. А. Золотарев, С. А. Чулуенко, А. В. Галкин // Автошляховик України. — 2004. — № 3. — С. 25—30.
15. Сахаров П. В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей // Транспорт и дороги города. — 1935. — Вып. 12. — С. 22—26.
16. Лысихина А. И. Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей / А. И. Лысихина — М. : Автотрансиздат, 1962. — 360 с.
17. Сюньи Г. К. Дорожный асфальтобетон / Г. К. Сюньи. — К. : Госстройиздат УССР, 1962. — 235 с.
18. Ким А. Х. Расчет напряженно-деформированного состояния асфальтобетонного дорожного покрытия / А. Х. Ким, И. И. Леонович // Теоретическая и прикладная механика. — 1975. — № 84. — С. 3—9.
19. Богуславский А. М. Основы реологии асфальтобетона / А. М. Богуславский, Л. А. Богуславский. — М. : Вища шк. — 1972. — 200 с.
20. Fitzgerald J. E, Vakili T. Nonlinear characterization at sand-asphalt concrete by means of permanent - memory / J. E Fitzgerald, T. Vakili // Norms. proc. Of the SESA. — 1973. — vol XXX, №2 — P. 504—510.
21. De formation permanente des mйlange hydropocarboes partie 1: TF P 98— 253—1. [Чинний від 1992—01 — 01]. — P: Norm francaise. AFNOR, 1991. — 72 с.
22. Gershkoff D. R. Influence des caracteristigus du rolled asphalt execute a chaud / D. R. Gershkoff // Congr Eurasphalt et Eurobitume E. E. — Strasbourg. — 1996. — P. 5—150.

Получено 13.01.2011

**МУТТАШАР АХМЕД ТАЛІБ
О КРИТЕРІЯХ ЗСУВОСТІЙКОСТІ ДОРОЖНІХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ В УМО-
ВАХ РЕСПУБЛІКИ ІРАК**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Показано, що в республіці Ірак експлуатуються 45 тис. км асфальтобетонних автомобільних доріг. Погодно-кліматичні умови та дії транспортних навантажень приводять до накопичення незворотних пластичних деформацій, тому що температура поверхні асфальтобетонних покриттів досягає 70 °С. Розглянуто механізм виникнення основних зсувових дефектів (хвилі, колії). Сформульовано визначення зсувостійкості асфальтобетону. Проаналізовано ряд показників і нормування допустимих значень параметрів, що характеризують їх, а саме: міцнісні показники, умовні критерії деформативних властивостей, реологічним моделюванням на основі феноменологічних моделей; умовні показники реологічних характеристик.

дорожній асфальтобетон, зсувостійкість, кількісні критерії зсувостійкості

**MUTTASHAR AHMED TALIB
CRITERIA OF SHIFT STABILITY OF PAVEMENT ASPHALT CONCRETE IN
TERMS OF REPUBLIC IRAQ**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper has revealed that 45 thousand kilometers of asphalt concrete motorways are exploited in a republic Iraq. The climatic conditions and vehicular load lead to the accumulation of irreversible plastic strains because of the temperature of the asphalt concrete pavement reaches 70 °C in the central part of Iraq. The formation mechanism of basic shift deformations (e.g. waves, tracking or rutting) has been considered. The determination of asphalt concrete shift stability has been stated. The indices and rating of limiting parameters values characterizing shift stability, namely, durability indices, conditional criteria of deformation properties by rheological modeling on the base of phenomenological designs and conditional indices of rheological characteristics have been analyzed.

road pavement asphalt concrete, shift stability, quantitative criteria of shift stability

Мутташар Ахмед Таліб – аспірант кафедри технологій будівельних матеріалів виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: надійність та довговічність автомобільних доріг.

Мутташар Ахмед Талиб – аспирант кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность и долговечность автомобильных дорог.

Muttashar Ahmed Talib – a postgraduate of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: reliability and durability of motorways.

УДК 624.21

Д. И. БОРОДАЙ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ПРОГНОЗ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТИПОВЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Сформулирована концепция повышения долговечности железобетонных конструкций мостов Украины. Показано, что ресурс конструкций мостов в современном проектировании устанавливается нормативными документами и не в достаточной степени подтверждается данными о фактической долговечности автодорожных мостов и теоретическими расчетами. Неравенства граничных состояний не содержат переменной времени. Предложена модель прогноза долговечности железобетонных элементов мостов на стадии проектирования. Модель позволяет прогнозировать ресурс во времени в зависимости от физико-механических свойств бетона и арматуры, типа конструкций, условий эксплуатации. Установлены сроки наступления предельных состояний железобетонных мостов с типовыми плитными пролетными строениями по предлагаемой модели, которые подтверждаются данными натурных обследований мостов. Проанализированы результаты исследования. Вынесены на обсуждение открытые вопросы.

железобетонные элементы мостов; коррозия бетона; коррозия арматуры; долговечность; действительный срок службы конструкций мостов

Постановка научной задачи.

Согласно оценкам экспертов, на дорогах общего пользования в настоящее время около 51 % мостов полностью или частично не соответствуют предъявляемым к ним требованиям действующих нормативных документов по грузоподъемности и габаритам [7]. Закрытие моста вследствие его разрушения или необходимости срочного ремонта может принести к значительным экономическим и социальным убыткам.

В решении Межведомственной комиссии по вопросам научно-технологической безопасности при Совете национальной безопасности и обороны Украины от 13 октября 2009 г. обращается внимание на то, что «... критичний стан автодорожніх мостів та транспортних споруд як складових систем життєзабезпечення на території України підвищує ризик виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру і становить відповідно до статті 7 Закону України «Про основи національної безпеки України» загрозу національній безпеці в економічній та екологічній сферах».

Долговечность мостов в действующих нормативных документах определяется как способность элемента или сооружения в целом сохранять в течение определенного времени работоспособное состояние при установленной системе технического обслуживания [4]. Долговечность определяется в годах и выражается временем до наступления предельного состояния.

В отечественных нормах [8], по которым построено большинство эксплуатируемых железобетонных мостов Украины, отсутствует нормирование долговечности мостов и рекомендации по оценке надежности. Только в нормативных документах, начиная с 2006 года [3], долговечность назначается директивно и должна составлять 80—100 лет. Однако действительный срок службы украинских мостов заметно отличается от нормативного и не превышает 35—45 лет [6].

В последние годы появились исследования, в которых утверждается, что еще на этапе проектирования мостов закладывается их неопределенная и, как следствие, недостаточная долговечность [6]. Современные нормативные документы предлагают расчетные зависимости, которые не содержат переменной времени, а значит и не позволяют проектировщику управлять долговечностью конст-

рукции. Конструктор при проектировании опирается лишь на собственный опыт и интуицию, а практические рекомендации, позволяющие закладывать требуемый и четко определенный ресурс сооружения в расчетах, отсутствуют.

Целью работы является определение долговечности широко распространенных в конструкциях мостов Донецкой области плитных пролетных строений, выполненных по типовому проекту «Серия 3.503-12. Унифицированные сборные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона для мостов и путепроводов на автомобильных и городских дорогах. Пролетные строения из пустотных плит длиной от 6 до 18 м».

Модель жизненного цикла пролетных строений мостов.

Приводимая в работе [2] модель жизненного цикла предлагает оценивать срок службы железобетонных пролетных строений мостов T как сумму времени коррозии защитного слоя бетона t_1 и времени интенсивной коррозии арматуры до критического уровня t_2 :

$$T = t_1 + t_2, \quad (1)$$

Модель коррозии защитного слоя бетона.

Время процесса коррозии бетона определяется двумя процессами: карбонизацией и накоплением хлоридов у поверхности арматуры.

Процессы карбонизации и диффузии хлоридов в бетоне достаточно хорошо изучены [0, 9] и описываются классическими уравнениями первого и второго законов Фика. Решая эти дифференциальные уравнения при заданных начальных условиях, можно получить выражения для определения времени карбонизации защитного слоя бетона (2) и времени накопления критической концентрации хлоридов у поверхности арматуры (3):

$$t_{carb} = \frac{X_c^2}{2 \cdot D_{CO_2} \cdot a^{-1} \cdot (c_1 - c_2)}, \quad (2)$$

$$t_{Cl} = \frac{X_c^2}{4 \cdot D_{Cl} \cdot \left(\operatorname{erf}^{-1} \left(\frac{C_s - C_{crit}}{C_s} \right) \right)^2}, \quad (3)$$

где X_c – толщина защитного слоя бетона, м; D_{CO_2} – коэффициент диффузии CO_2 в глубь бетона, m^2/c (зависит от состава бетона, степени гидратации, содержания влаги); c_1, c_2 – соответственно содержание диоксида углерода на внешней поверхности бетона и на границе карбонизации (бесконечно малая величина), kg/m^3 ; a – количество CO_2 , необходимое для превращения продуктов гидратации цемента, способных карбонизироваться, kg/m^3 ; D_{Cl} – коэффициент диффузии хлоридов в бетоне, m^2/c ; $\operatorname{erf}()$ – функция ошибок Гаусса, C_s и C_{crit} – соответственно концентрация хлоридов на поверхности бетона защитного слоя и критическая концентрация хлоридов на поверхности арматуры, % по массе цемента.

Меньшее из полученных значений t_{carb} и t_{Cl} принимается в качестве периода депассивации арматуры t_1 :

$$t_1 = \begin{cases} t_{carb}, & t_{carb} < t_{Cl} \\ t_{Cl}, & t_{Cl} < t_{carb} \end{cases}. \quad (4)$$

Модель коррозии арматуры в бетоне.

Конец периода коррозии защитного слоя бетона определяет начало коррозии арматуры, т. е. принимается гипотеза, что арматура не подвержена коррозии, пока коррозия защитного слоя бетона не достигла критического уровня.

В процессе коррозии стали в железобетоне происходит уменьшение диаметра (площади) арматуры и снижение ее механических характеристик (предела прочности при растяжении, деформативности). В работах [10, 11] приведены зависимости, позволяющие прогнозировать интенсивность процесса коррозии арматуры во времени. В данной работе время коррозии арматуры t_2 до критического уровня предлагается оценивать в зависимости от вида предельного состояния конструкции.

$$t_2 = \begin{cases} t_{cor} \\ t_{crack} \\ t_{width} \end{cases} \quad (5)$$

где t_{cor} – время коррозии арматуры до критического снижения площади сечения для расчетов на прочность, лет; t_{crack} – время коррозии арматуры до момента появления трещины для расчетов на трещинообразование, лет; t_{width} – время коррозии арматуры до момента раскрытия трещин на граничную ширину для расчетов на ширину раскрытия трещин, лет.

Модель коррозии арматуры в бетоне

Согласно модели, предложенной в [10], глубина коррозионного повреждения арматуры в железобетоне x_{cor} определяется выражением (6):

$$x_{cor} = V_{cor} \cdot \alpha_{pit} \cdot t_{cor}, \quad (6)$$

где V_{cor} – скорость коррозии арматуры, мм/год; α_{pit} – фактор, который учитывает характер коррозии и согласно [10] равняется $\alpha_{pit}=2$ при общей коррозии вследствие карбонизации и $\alpha_{pit}=9,28$ при местной коррозии в случае локального воздействия хлоридов.

В зависимости от степени агрессивности окружающей среды и напряженного состояния конструкции скорость коррозии определяется по формуле (7):

$$V_{cor} = V_{cor,a} \cdot k_w \cdot k_\sigma, \quad (7)$$

где $V_{cor,a}$ – средняя скорость коррозии арматуры, мм/год, которая определяется исходя из природных условий эксплуатации железобетонного элемента; k_w – коэффициент, учитывающий влияние влажности; k_σ – коэффициент, учитывающий влияние напряженного состояния.

Площадь арматуры после коррозии A_{cor} определяется выражением (8):

$$A_{cor}(t) = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} - x_{cor}(t) \right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} - V_{cor} \cdot \alpha_{pit} \cdot t \right)^2, \quad (8)$$

где d – диаметр арматуры, мм.

Установив расчетом минимально допустимое значение площади арматуры A_{crit} , можно определить время t_{cor} из выражения (9):

$$A_{crit} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} - V_{cor} \cdot \alpha_{pit} \cdot t_{cor} \right)^2. \quad (9)$$

Модель трещинообразования в результате коррозии арматуры

Время трещинообразования t_{crack} определяется из условия:

$$W_{crit} = \rho_{steel} \cdot \left(\frac{\pi d^2}{4} - \pi \cdot \left(\frac{d}{2} - V_{cor} \cdot \alpha_{pit} \cdot t_{crack} \right)^2 \right) \cdot \alpha, \quad (10)$$

где W_{crit} – критическая удельная масса продуктов коррозии, вызывающих образование трещин, кг/м; ρ_{st} – плотность стали, кг/м³; α – отношение молекулярной массы стали к молекулярной массе продуктов коррозии.

Модель раскрытия трещин в результате коррозии арматуры

Время раскрытия трещины t_{width} предельной ширины Δ_{cr} определяется из условия:

$$t_{width} = \frac{\Delta_{cr} + 0,05}{0,125 \cdot V_{cor} \cdot \alpha_{pit}} + t_{crack} \quad (11)$$

Предельные состояния пролетных строений мостов можно связать с эксплуатационными состояниями, которые вводятся нормами [5]. Каждому эксплуатационному состоянию соответствуют определенный уровень износа элемента и регламентируемые эксплуатационные или ремонтные мероприятия. Это позволяет прогнозировать время, когда необходимо проведение определенных ремонтных работ на мосту. Согласно [5] можно принять, что для железобетонных пролетных строений с напрягаемой арматурой время трещинообразования соответствует переходу в 3-е эксплуатационное состояние, а раскрытие трещины критической ширины – переходу в 4-ое эксплуатационное состояние.

Согласно предложенной модели прогноза долговечности железобетонных пролетных строений мостов были определены время образования трещин и время раскрытия трещин на критическую ширину в типовых плитных пролетных строениях длиной 15 м с предварительно напряженной стержневой арматурой диаметром 18 мм и толщиной защитного слоя 40 мм. Бетон принят класса В30.

Расчеты производились при помощи метода численного моделирования в программной среде MathCAD. Моделировалось 1000 значений перехода в 3-е и 4-ое эксплуатационное состояние. Для всех полученных выборок был проведен статистический анализ и построены гистограммы распределения (рис. 1–5).

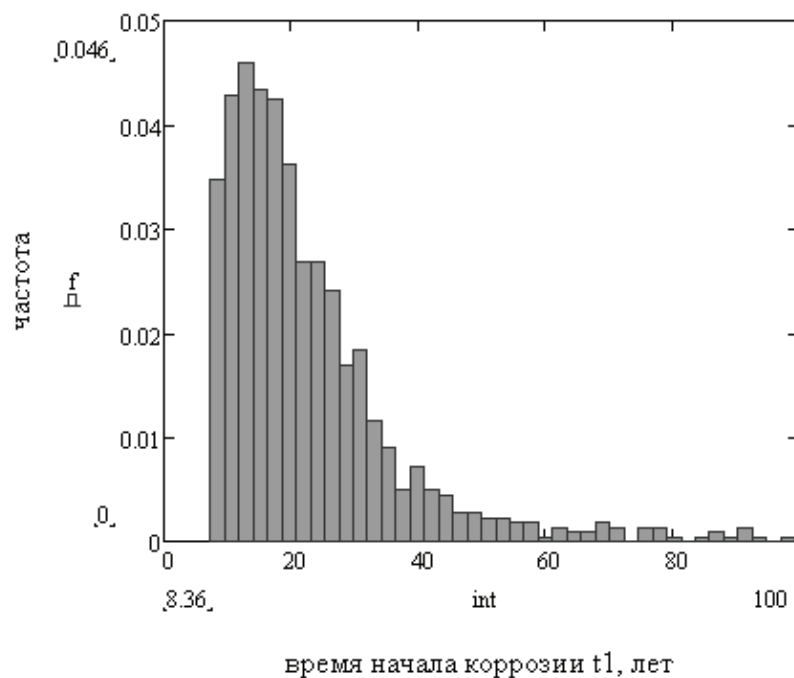


Рисунок 1— Гистограмма распределения времени инициирования коррозии t_i . Статистические параметры выборки t_i : среднее значение – $\mu(t_i) = 24,5$ лет, стандарт – $\sigma(t_i) = 9,0$ лет доверительный интервал – $I_{0,95} = (17,4; 31,6)$ лет.

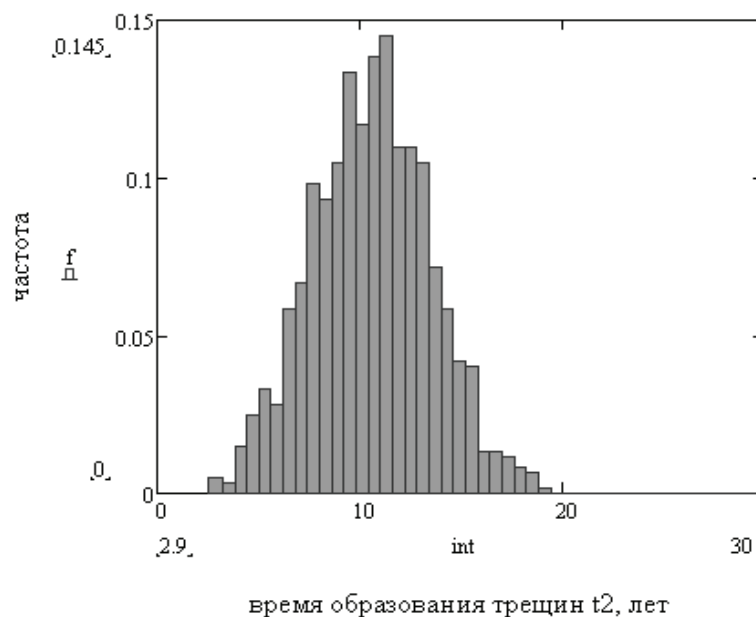


Рисунок 2 — Гистограмма распределения времени образования трещин t_{crack} . Статистические параметры выборки t_{crack} : среднее значение – $\mu(t_{crack}) = 10,8$ лет стандарт – $\sigma(t_{crack}) = 2,9$ лет доверительный интервал – $I_{0,95} = (10,0; 11,5)$ лет.

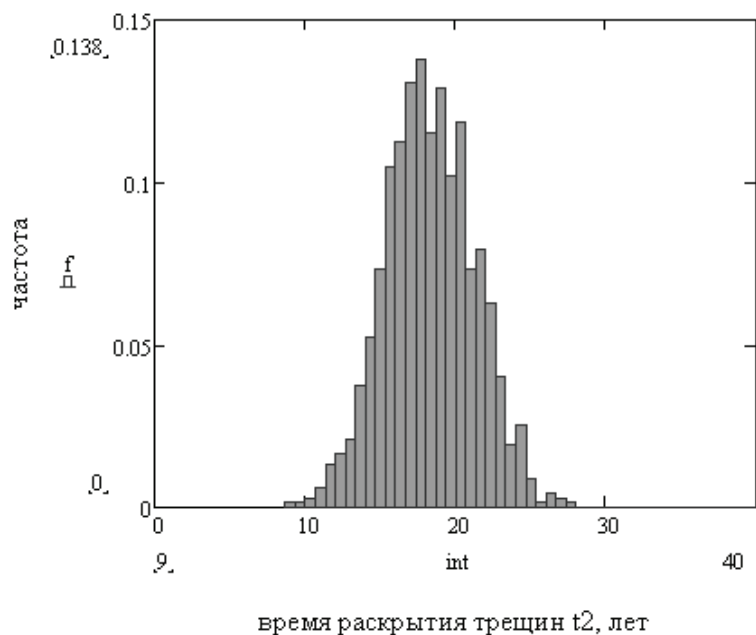


Рисунок 3 — Гистограмма распределения времени раскрытия трещин t_{width} . Статистические параметры выборки t_{width} : среднее значение – $\mu(t_{width}) = 18,6$ лет стандарт – $\sigma(t_{width}) = 3,2$ лет доверительный интервал – $I_{0,95} = (17,7; 19,5)$ лет.

Для оценки достоверности спрогнозированных значений времени наступления предельных состояний приведем данные фактических сроков перехода железобетонных пролетных строений автодорожных мостов в 3-е и 4-ое эксплуатационное состояние, полученные в результате обследования реальных сооружений (рис. 6, 7).

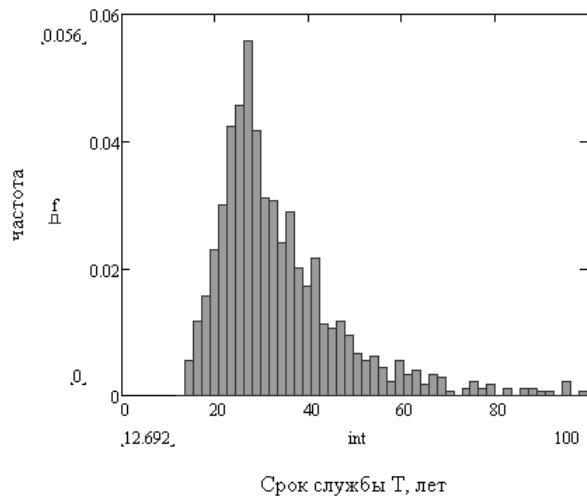


Рисунок 4 — Гистограмма распределения времени перехода в 3-е эксплуатационное состояние T_3 .
Статистические параметры выборки T_3 :
среднее значение — $\mu(T_3) = 36,5$ лет,
стандарт — $\sigma(T_3) = 13,3$ лет,
доверительный интервал — $I_{0,95} = (21,0; 52,0)$ лет.

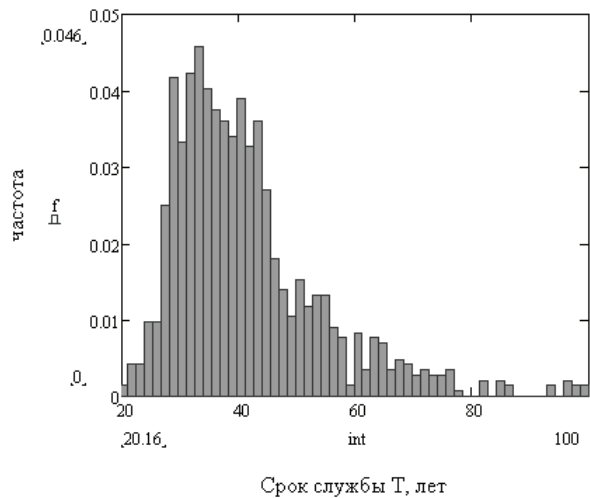


Рисунок 5 — Гистограмма распределения времени перехода в 4-е эксплуатационное состояние T_4 .
Статистические параметры выборки T_4 :
среднее значение — $\mu(T_4) = 44,3$ лет,
стандарт — $\sigma(T_4) = 13,3$ лет,
доверительный интервал — $I_{0,95} = (28,8; 59,8)$ лет.

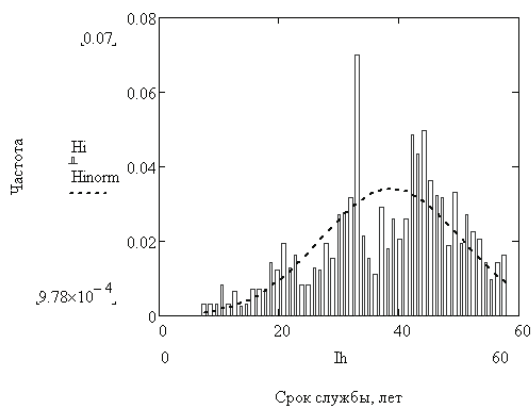


Рисунок 6 — Гистограмма распределения железобетонных пролетных строений автодорожных мостов на государственных дорогах в 3-м эксплуатационном состоянии T_{3ac} .
Статистические параметры выборки T_{3ac} :
среднее значение — $\mu(T_{3ac}) = 38,7$ лет,
стандарт — $\sigma(T_{3ac}) = 11,7$ лет,
доверительный интервал — $I_{0,95} = (26,7; 50,7)$ лет.

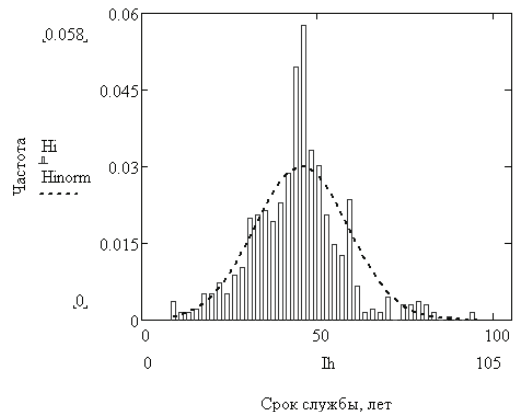


Рисунок 7 — Гистограмма распределения железобетонных пролетных строений автодорожных мостов на государственных дорогах в 4-м эксплуатационном состоянии T_{4ac} .
Статистические параметры выборки T_{4ac} :
среднее значение — $\mu(T_{4ac}) = 45,3$ лет,
стандарт — $\sigma(T_{4ac}) = 13,2$ лет,
доверительный интервал — $I_{0,95} = (30,0; 60,6)$ лет.

Выводы

В работе смоделированы параметры, которые определяют долговечность типовых железобетонных плитных пролетных строений автодорожных мостов, свидетельствующие о недостаточном ресурсе данных конструкций, что подтверждается данными натурных обследований мостов.

Экспериментальные данные получены при помощи модели жизненного цикла железобетонных пролетных строений мостов, что позволяет прогнозировать срок службы элементов мостов на этапе проектирования согласно эксплуатационному состоянию, в котором конструкция находится в течение срока службы.

Следует отметить, что предложенная модель жизненного цикла является детерминистической и не учитывает стохастический характер процессов деградации защитного слоя бетона и арматуры, что требует усовершенствования модели с целью дальнейшего применения для прогнозирования долговечности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов.

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

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Долговечность железобетона в агрессивных средах / [Алексеев С. Н., Иванов Ф. М., Модры С., Шиль П.] — М. : Стройиздат, 1990. — 320 с.
2. Бородай Д. И. Модель прогноза долговечности железобетонных пролетных строений автодорожных мостов / Д. И. Бородай // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. — 2010. — Вип. 33. — С. 43–48.
3. Мости та труби. Правила проектування : ДБН В.2.3-14:2006. — [Чинний від 2007-02-01]. — К. : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. — 359 с. — (Державні будівельні норми).
4. Мости та труби. Основні вимоги проектування : ДБН В.2.3-22:2009. — [Чинний від 2010-03-01]. — К. : Міністерство будівництва України, 2009. — 52 с. — (Державні будівельні норми).
5. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів : ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009. — [Чинний від 2010-03-01]. — К. : Міністерство будівництва України, 2009. — 49 с. — (Державні будівельні норми).
6. Лантух-Лященко А. И. О прогнозе остаточного ресурса моста / А. И. Лантух-Лященко // Дороги і мости. — 2007. — Т. 2, вип. 7. — С. 3–9.
7. Рішення Міжвідомчої комісії з питань науково-технологічної безпеки при Раді національної безпеки і оборони України від 13 жовтня 2009 р. [Електронний ресурс] / Рада національної безпеки і оборони України : [сайт]. — Електрон. дані. — Режим доступу: <http://www.rainbow.gov.ua/news/1002.html> (15.12.2010). — Назва з екрану.
8. Мосты и трубы : СНиП 2.05.03-84. — [Действителен от 1986-01-01]. — М. : ЦИТП Госстрой СССР, 1985. — 200 с. — (Строительные нормы и правила).
9. Collepardi M. The Kinetics of Chloride Ions Penetration in Concrete / Collepardi M., Marcialis A., Turriziani R. // Il cemento. — 1970. — Vol. 67. — pp. 157–164.
10. DuraCrete, Modelling of degradation / The European Union — Brite EuRam III, Project No. BE95-1347, Probabilistic performance based durability design of concrete structures. — 1998. — Report R4-5. — 174 p. — ISBN 90-376-0444-7.
11. Ferreira R. M. Probability-based durability analysis of concrete structures in marine environments : doctoral thesis / Rui Miguel Ferreira. — University of Minho, Guimaraes, 2004. — 321 p. — ISBN 972-8692-16-1.

Получено 15.12.2010

Д. І. БОРОДАЙ

ПРОГНОЗ ДОВГОВІЧНОСТІ ТИПОВИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТНИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Сформульовано концепцію підвищення довговічності залізобетонних конструкцій мостів України. Показано, що ресурс конструкцій мостів у сучасному проектуванні встановлюється нормативними документами й не в достатній мірі підтверджується даними про фактичну довговічність автодорожніх мостів і теоретичними розрахунками. Нерівності граничних станів не містять змінної часу. Запропоновано модель прогнозу довговічності залізобетонних елементів мостів на стадії проектування. Модель дозволяє прогнозувати ресурс у часі залежно від фізико-механічних властивостей бетону й арматури, типу конструкцій, умов експлуатації. Встановлено строки настання граничних станів залізобетонних мостів з типовими плитними прогоновими будовами по запропонованій моделі, які підтверджуються даними натурних обстежень мостів. Проаналізовано результати дослідження. Внесені на обговорення відкриті питання.

залізобетонні елементи мостів; корозія бетону; корозія арматури; довговічність; дійсний термін служби конструкцій мостів

D. I. BORODAJ

DURABILITY FORECAST OF STANDARD REINFORCED CONCRETE SLAB SPAN OF HIGHWAY BRIDGES

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The concept of durability increase of reinforced concrete structures of bridges in Ukraine has been formulated. The resource of bridges structures in present day designing has been shown to be established by standard documents and has not been proved sufficiently by the data of actual durability of highway bridges and analyses. Inequalities of boundary states do not contain a time variable. The prediction model of bridge reinforced concrete elements durability has been offered. The model enables to predict a resource in a time depending on physical and mechanical properties of concrete and reinforcement, a structural type and operational conditions. Target dates of approach of limit state of concrete bridges with standard slab span of the offered model proved by data of natural diagnostic studies of bridges have been established. The results of investigations have been analyzed. The open issues have been brought for discussion.

reinforced concrete elements of bridges, concrete corrosion, reinforcement corrosion, durability, service life of bridge structures

Бородай Денис Ігорович — аспірант, асистент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: надійність та довговічність транспортних споруд.

Бородай Денис Игоревич — аспирант, ассистент кафедры технологий строительных, материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность и долговечность транспортных сооружений.

Denis I. Borodaj — a postgraduate, a teaching fellow of the Production Engineering of Building Materials Products and Motorways Department of Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: reliability and durability of transport constructions.

УДК 624.21

В. В. ТОДИРИКА^а, А. А. ДАВЫДЕНКО^а, А. Г. ДОЛЯ^б, Д. И. БОРОДАЙ^б

^а ООО «ВП Мост», ^б Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

УСИЛЕНИЕ ПРОЛЕТНОГО СТРОЕНИЯ МОСТА НАКЛАДНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТОЙ

Установлено, что большинство мостов и путепроводов Украины в связи с неудовлетворительным техническим состоянием, а также с введением новых норм не имеют достаточной грузоподъемности и достаточного габарита проезжей части. Предлагается для увеличения грузоподъемности, обеспечения достаточной ширины проезжей части на мостах и путепроводах, а также для объединения сборных пролетных строений в единую пространственную конструкцию использовать монолитную железобетонную накладную плиту. Показаны три варианта конструкции накладной плиты в зависимости от уровня нагружения пролетных строений.

железобетонная монолитная накладная плита; рабочая арматура; монтажная арматура; тяжи; дополнительная арматура

На сегодняшний день в Украине большинство искусственных сооружений (мостов, путепроводов и др.) не имеют достаточной грузоподъемности для пропуска современных подвижных вертикальных нагрузок, а также не имеют достаточного габарита проезжей части и, в некоторых случаях, должного поперечного объединения между сборными элементами пролетных строений [1, 2, 3].

Одним из вариантов решения упомянутых проблем в комплексе является устройство монолитной железобетонной накладной плиты. Основными преимуществами этого метода усиления и уширения пролетных строений являются:

- нет необходимости в устройстве дополнительных опор при уширении существующих габаритов;
- возможность ведения работ по устройству монолитной железобетонной накладной плиты без закрытия движения автотранспорта и пешеходов;
- уменьшение количества деформационных швов, что повышает долговечность сооружения и комфортность проезда автотранспорта;
- позволяет уменьшить максимальные изгибающие моменты в середине пролета и увеличить высоту сжатой зоны бетона, повышая тем самым грузоподъемность и долговечность сооружения;
- возможность устройства гибких переходных плит, которые являются продолжением монолитной железобетонной накладной плиты, обеспечивая плавное сопряжение моста с подходами и ликвидируя динамические удары подвижной нагрузки на крайние опоры;
- обеспечение наиболее качественного объединения сборных элементов пролетных строений в поперечном сечении в единую конструкцию для восприятия изгибающих моментов и поперечных сил от действия временных вертикальных нагрузок;
- монолитная железобетонная накладная плита защищает нижерасположенные конструктивные элементы пролетного строения от проникновения воды и эксплуатационных растворов с проезжей части.

Армирование и минимальная толщина монолитной железобетонной накладной плиты определяется расчетом. Класс бетона В 30, морозостойкость F 200.

В некоторых случаях при устройстве монолитной железобетонной накладной плиты объединение существующих элементов пролетных строений с монолитной железобетонной накладной плитой выполняется при помощи гибких упоров или полимерных оклеечных материалов типа АСОКРЕТ КС/НГ.

При ремонтах и реконструкциях искусственных сооружений для увеличения несущей способности железобетонных пролетных строений в комплексе с монолитной железобетонной накладной плитой низ пролетных строений усиливается металлическим прокатом вдоль пролета. Металлический прокат объединяется с ребрами при помощи полимерных оклеечных материалов и тяжей из арматуры. Он выполняет функции продольной дополнительной рабочей арматуры в растянутой зоне, что позволяет воспринимать дополнительные максимальные моменты в середине пролета, повышая грузоподъемность и долговечность сооружения.

Стоимость устройства монолитной железобетонной накладной плиты по сравнению с другими методами усиления и уширения пролетных строений намного ниже, к тому же не влечет за собой больших трудозатрат и сложных технологических процессов по сравнению с другими методами. Таким образом, можно сделать вывод, что наиболее эффективным и перспективным методом усиления и уширения пролетных строений существующих мостов и путепроводов по основным технико-экономическим показателям является устройство монолитной железобетонной накладной плиты.

Описанный выше метод усиления и уширения пролетных строений успешно применяется при ремонтах и реконструкциях искусственных сооружений в Украине на протяжении 20 лет и ни разу не привел к ухудшению работы сооружений, что доказывает его целесообразность [4].

В зависимости от величины действующей подвижной нагрузки разработаны три варианта накладной плиты.

Первый вариант:

При незначительных нагрузках возможно устройство одной накладной железобетонной плиты (рис. 1).

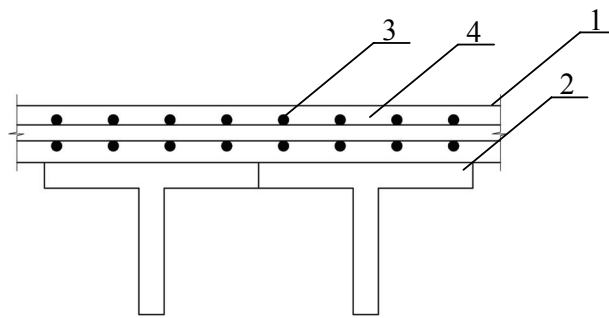


Рисунок 1 – Накладная монолитная железобетонная плита: 1 – железобетонная накладная плита; 2 – железобетонная балка; 3 – стержни рабочей арматуры плиты; 4 – монтажная арматура.

Второй вариант:

При увеличении нагрузки, когда недостаточно усиление монолитной железобетонной плитой, устраиваются так называемые металлические вертикальные тяжи, количество которых определяется расчетом (рис. 2).

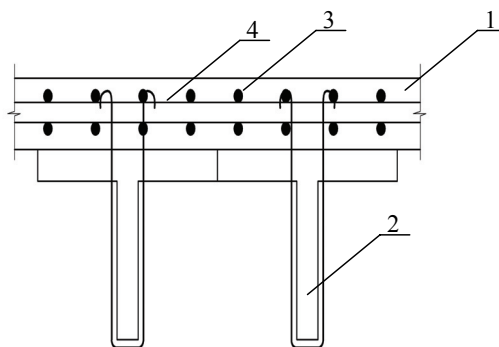


Рисунок 2 – Накладная монолитная железобетонная плита с вертикальными металлическими тяжами: 1 – железобетонная накладная плита; 2 – балка с металлическими тяжами; 3 – стержни рабочей арматуры; 4 – монтажная арматура.

Третий вариант:

Если подвижная нагрузка значительна и недостаточно одной накладной монолитной железобетонной плиты и металлических вертикальных тяжей, необходимо дополнительно низ пролетных строений в растянутой зоне усилить дополнительной арматурой (металлическим прокатом). Прокатный профиль закреплен при помощи полимерных оклеечных материалов и тяжей, диаметр и количество которых определяется расчетом.

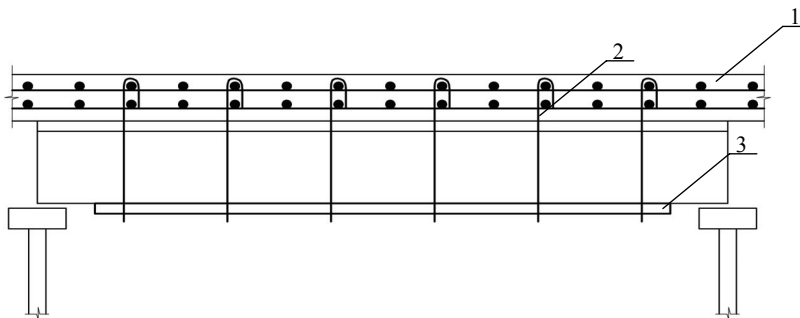


Рисунок 3 — Накладная монолитная железобетонная плита с металлическими тяжями и прокатом: 1 — железобетонная накладная плита; 2 — вертикальные металлические тяжи; 3 — металлический прокат.

Применение накладной монолитной железобетонной плиты, металлических тяжей и дополнительной арматуры в растянутой зоне для увеличения грузоподъемности и увеличения габарита проезжей части для каждого моста индивидуально и требует обоснования расчетом методом конечных элементов.

Определение несущей способности балки, усиленной накладной монолитной железобетонной плитой и дополнительной арматурой в растянутой зоне.

Несущая способность изгибающего момента в сечении, усиленном дополнительной арматурой определяется формулой:

$$M = R_b b_f x (h_{on} + h_n - 0,5 x), \quad (1)$$

где: b_f — расчетная ширина сжатой полки балки; R_b — расчетное сопротивление бетона накладной плиты; x — высота сжатой зоны; h_{on} — толщина накладной плиты; h_n — рабочая высота сечения, которая вычисляется с учетом приклеенной растянутой арматуры;

$$h_{on} = h - a_{sn},$$

a_{sn} — расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до нижней грани сечения (рис. 4).

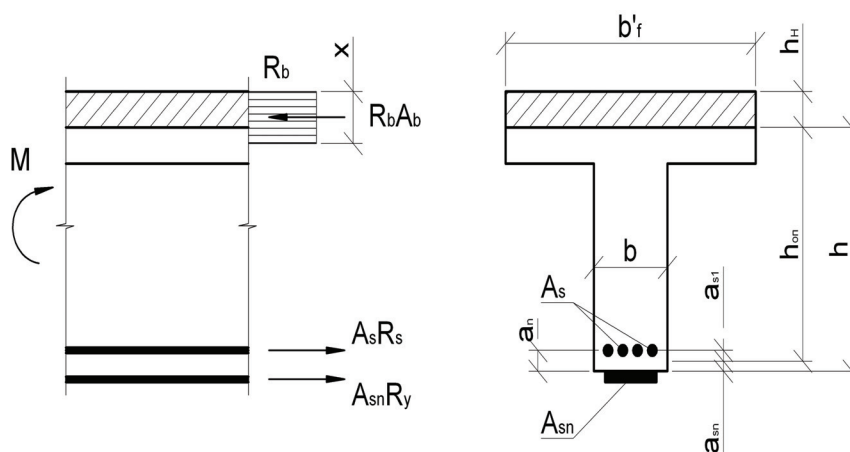


Рисунок 4 — Расчетная схема проверки прочности усиленного сечения по общему моменту.

Расстояние a_{sn} вычисляется с учетом приклеенной дополнительной арматуры:

$$a_{sn} = \frac{A_s a_s - A_{sn} n_{sn} a_n}{A_s + A_{sn} n_{sn}}, \quad (2)$$

где: A_s – площадь арматуры существующей балки; A_{sn} – площадь дополнительной арматуры усиления; $A_{sn} n_{sn} a_n$ – приведенная площадь сечения арматуры; a_s – расстояние от центра тяжести сечения существующей арматуры до нижней грани балки; a_n – расстояние от центра тяжести сечения дополнительной арматуры до нижней грани балки; n_{sn} – отношение расчетных сопротивлений растяжению дополнительной и существующей арматуры:

$$n_{sn} = \frac{R_y}{R_s}. \quad (3)$$

Высота сжатой зоны определяется по формуле:

$$x = \frac{R_s A_s + R_y A_{sn}}{R_b b_f}, \quad (4)$$

где: R_s – расчетное сопротивление растяжения существующей ненапряженной арматуры;
 R_y – расчетное сопротивление растяжения приклеенной листовой стали;
 R_b – расчетное сопротивление бетона плиты.

Авторское право на разработку накладной монолитной железобетонной плиты, металлических вертикальных тяжей и дополнительной арматуры в растянутой зоне принадлежат авторскому коллективу во главе с академиком В. В. Тодирикой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мости та труби. Правила проектування : ДБН В.2.3-14:2006 . – [Чинний від 2007-02-01]. – К. : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 359 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Мости: конструкції та надійність : довідник / Лучко Й. Й., Коваль П. М., Корнієв М. М. [та ін.] ; за ред. В. В. Панасюка і Й. Й. Лучка ; Нац. академія наук України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка. – Львів : Каменяр, 2005. – 989 с.
3. Лантух-Лященко А. І. Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів / А. І. Лантух-Лященко // Дороги і мости. – 2008. – Вип. 9 – С. 12–18.
4. Експлуатація і реконструкція мостів / Н. Е. Страхова, В. О. Голубєв, П. М. Ковальов, В. В. Тодирика. – К. : Транспортна академія України, 2002. – 403 с.

Получено 24.12.2010

В. В. ТОДИРИКА ^а, О. О. ДАВИДЕНКО ^а, А. Г. ДОЛЯ ^б, Д. І. БОРОДАЙ ^б ПОСИЛЕННЯ ПРОЛІТНОЇ БУДОВИ МОСТА НАКЛАДНОЮ ЗАЛІЗОБЕТОННОЮ ПЛИТОЮ

^а ТОВ «ВП МІСТ», ^б Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Встановлено, що більшість мостів і шляхопроводів України у зв'язку з незадовільним технічним станом, а також із введенням нових норм не мають достатньої вантажопідйомності й достатнього габариту проїзної частини. Пропонується для збільшення вантажопідйомності, забезпечення достатньої ширини проїзної частини на мостах і шляхопроводах, а також для об'єднання збірних пролітних будов у єдину просторову конструкцію використовувати монолітну залізобетонну накладну плиту. Показано три варіанти конструкції накладної плити залежно від рівня навантаження пролітних будов.

залізобетонна монолітна накладна плита; робоча арматура; монтажна арматура; тяжі; додаткова арматура

V. V. TODIRIKA ^a, A. A. DAVYDENKO ^a, A. G. DOLYA ^b, D. I. BORODAJ ^b
STRENGTHENING OF BRIDGE SPAN BY AN SUPERIMPOSED REINFORCED
CONCRETE SLAB

^a Departmental Enterprise MOST Ltd, ^b Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

It has been found that a lot of Ukrainian bridges and overpasses because of unsatisfactory technical state and also with the introduction of the new specifications have no sufficient load-carrying capacity and the sufficient bridge clearance of the traffic area. It is offered for increasing of carrying capacity, guaranteeing of a sufficient width of carriageway on bridges and also for joining of prefabricated spans into a uniform space frame to use the monolithic reinforced concrete superimposed slab. Three configurations of the superimposed slab depending on the load level of the spans have been presented in the paper.

a reinforced concrete monolithic superimposed slab, main reinforcement, auxiliary reinforcement, tension bars, additional reinforcement

Тодирика Василь Володимирович — генеральний директор ВАТ «ВП Міст». Наукові інтереси: ремонт та реконструкція мостових споруд.

Давиденко Олександр Олександрович — студент Національного транспортного університету, м. Київ. Наукові інтереси: ремонт і реконструкція мостових споруд.

Доля Анатолій Григорович — к.т.н., професор кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

Бородай Денис Ігорович — аспірант, асистент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: надійність та довговічність транспортних споруд.

Тодирика Василий Владимирович — генеральный директор ООО «ВП Мост». Научные интересы: ремонт и реконструкция мостовых сооружений.

Давыденко Александр Александрович — студент Национального транспортного университета, г. Киев. Научные интересы: ремонт и реконструкция мостовых сооружений.

Доля Анатолий Григорьевич — к.т.н., профессор кафедры технологий строительных, материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

Бородай Денис Игоревич — аспирант, ассистент кафедры технологий строительных, материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность и долговечность транспортных сооружений.

Vasiliy V. Todirika — the Director General of Departmental Enterprise MOST Ltd. Research interests: repair and refurbishment of bridge structures.

Alexandr O. Davydenko — an undergraduate of the National Transport University, Kyiv. Research interests: repair and refurbishment of bridge structures.

Anatoliy G. Dolya — a Ph. D. (Engineering), a Professor of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: application of processed raw materials in road building.

Denis I. Borodaj — a postgraduate, a teaching fellow of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: reliability and durability of transport structures and constructions.

УДК 666.974.6:624.042.5

В. Н. ЗАВЯЛОВ, Н. А. НЕВГЕНЬ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ КИСЛОТОСТОЙКОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ В РАСТВОРАХ СОЛЕЙ

Экспериментально исследована коррозионная стойкость кислотостойкого бетона автоклавного твердения на жидком стекле с тонкомолотыми добавками в растворах солей. Установлено, что бетон на жидком стекле с тонкомолотым шлаком обладает достаточной стойкостью в растворах солей NaCl и Na_2SO_4 и кинетика их проникания носит затухающий характер в связи с колюматацией пор.

кислотостойкий бетон автоклавного твердения, жидкое стекло, тонкомолотые добавки, золошлаковые отходы, коррозионная стойкость, агрессивная среда, растворы солей

Для обоснования области применения бетона на жидком стекле с тонкомолотым шлаком для промышленных зданий и сооружений с агрессивными условиями эксплуатации изучалась его коррозионная стойкость в растворах солей.

Исследования коррозионной стойкости бетона на жидком стекле с тонкомолотым шлаком при длительном воздействии агрессивной среды проводились на призмах $40 \times 40 \times 160$ мм.

В качестве растворов агрессивных сред при исследовании коррозионной стойкости бетона приняты растворы солей 5%-ой концентрации NaCl и Na_2SO_4 .

Концентрация и виды солей приняты на основании реального присутствия данных солей в грунтовых водах.

Длительная коррозионная стойкость бетона на жидком стекле с тонкомолотым шлаком при нормальной температуре изучалась в условии капиллярного подсоса и при полном погружении образцов в раствор.

При испытании в условии капиллярного подсоса призмы устанавливались в специальные ванны с агрессивной средой таким образом, чтобы 1/4 призмы по высоте находилась в агрессивной среде, а остальная часть над средой. При этом раствор необходимой концентрации доливался до принятого уровня.

В условии полного погружения призмы укладывались в специальные ванны с агрессивной средой таким образом, чтобы тело бетонных призм не соприкасалось с воздухом. Концентрация раствора в условии полного погружения поддерживалась постоянно, раствор заменяли каждый месяц.

В исследованиях фиксировали:

- внешний вид;
- глубину поврежденного слоя (скорость проникания хлор и сульфат ионов в бетон);
- прочность призм размерами $40 \times 40 \times 160$ мм на изгиб по трехточечной схеме испытания;
- прочность призм $40 \times 40 \times 80$ мм на сжатие.

Образцы изготавливались из бетона, состав который рекомендован Донецким ПромстройНИИ-проектом [1]. Предложенный состав бетона является модификацией высокопрочного кислотостойкого бетона, разработанного в лаборатории коррозии НИИЖБ [2], в котором в качестве мелкого наполнителя используется молотый шлак (отходы ТЭЦ), заменяя природный перлит. Состав бетона приведен в таблице 1.

Состав бетона на жидком стекле с тонкомолотым шлаком на 1 м^3 смеси.

Таблица 1 – Состав бетона

№ пп	Наименование материала	Вес, кг
1.	Жидкое стекло (натриевое), $\rho = 1,37 \text{ г/см}^3$	143
2.	Шлак молотый Донецкого завода камнелитых и керамических изделий	780
3.	Щебень гранитный, фракции 5-20 мм	1180
4.	Песок речной краснолиманский	270
5.	Замедлитель схватывания бетона – водный раствор NaOH, $\rho = 1,4 \text{ г/см}^3$	35

Изготовление образцов из бетона на жидком стекле с тонкомолотым шлаком производилось в горизонтальном положении. Бетонная смесь укладывалась в металлические формы послойно. После укладки каждого слоя на $1/3$ высоты производилось уплотнение бетонной смеси на вибростоле в течение 30 с. По окончании уплотнения бетонной смеси формы закрывались металлическими крышками и притягивались хомутами. Образцы вибрировались в течение 1,0–1,5 мин. Через 24 часа хранения в нормальных температурно-влажностных условиях образцы помещались в автоклав. Температурная обработка бетона производилась при температуре 173°C и давлении 8 атм в режиме 2-8-2 час. После автоклавирования образцы разопалубливались и хранились в нормальных условиях.

При воздействии на бетон на жидком стекле с тонкомолотым шлаком Na_2SO_4 , NaCl и одинаковой концентрации в условиях капиллярного подсоса при нормальной температуре, наблюдалась их различная проникающая способность в бетон. Кинетика проникания хлор-иона Cl^- и сульфат-иона SO_4^{2-} в бетон в зависимости от длительности воздействия растворов солей приведено на рис. 1.

После 6 месяцев воздействия агрессивной среды в условиях капиллярного подсоса, бетон на жидком стекле с тонкомолотым шлаком оказался пропитан полностью по высоте сечения призмы в растворе NaCl и на 10–12 мм по высоте сечения призмы в растворе Na_2SO_4 .

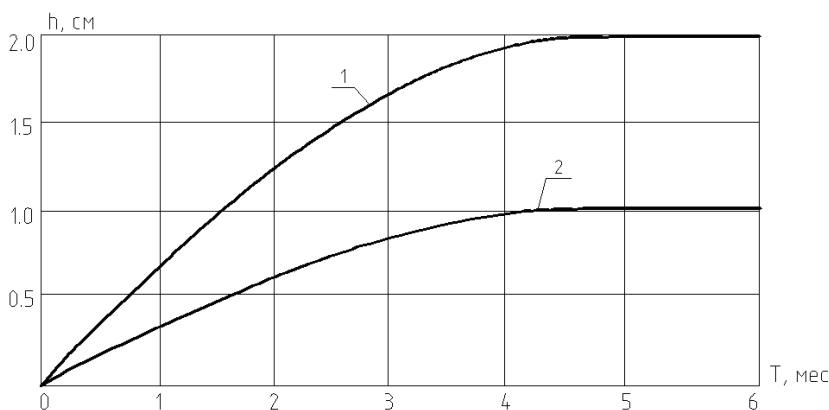


Рисунок 1 – Глубина проникновения агрессивной среды в толщу бетона на жидком стекле с тонкомолотым шлаком в условиях капиллярного подсоса: 1 – в растворе NaCl; 2 – в растворе Na_2SO_4 .

К 9 месяцам нахождения в растворе NaCl наблюдалось высыхание верхней половины образцов, что свидетельствует о затухании процесса проникновения раствора хлорида натрия в толщу бетона и, по-видимому, связано с коагуляцией пор солями NaCl и CaCl_2 [3–4].

Изменение прочности бетона на сжатие после испытания в растворе NaCl показано на рис. 2.

После испытания призм из бетона на жидком стекле с тонкомолотым шлаком в растворе Na_2SO_4 в течение 6 месяцев в зоне контакта воздушной и агрессивной сред наблюдалось частичное повреждение структуры бетона с образованием «шейки», а на верхней части призм, находившихся над агрессивной средой, наблюдалось появление кристаллических образований и отслоение лещадок матрицы, что привело к заметному снижению прочности бетона на сжатие.

В результате проведенных исследований установлено, что бетон на жидком стекле с тонкомолотым шлаком имеет более высокую стойкость по сравнению с бетоном на цементном вяжущем в растворах NaCl и Na_2SO_4 в 5–6 раз, и может применяться в слабых и средних, а также с ограниченной стойкостью в сильных агрессивных средах как конструкционный материал.

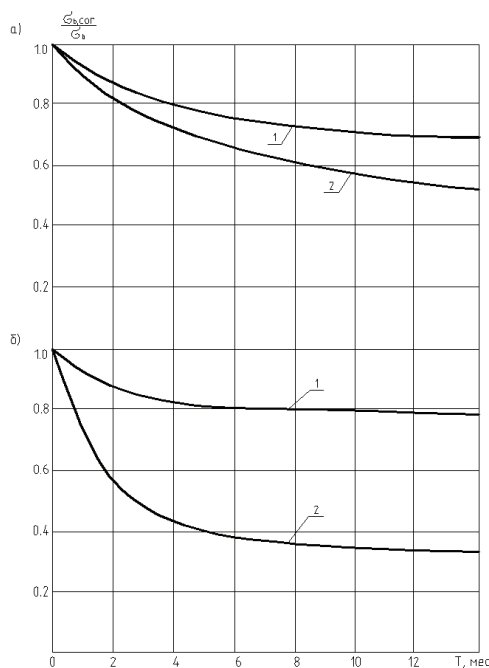


Рисунок 2 — Изменение прочности бетона при сжатии в различных агрессивных средах при капиллярном подсосе: а) бетон, находившийся над агрессивной средой; б) бетон, погруженный в агрессивную среду. 1– бетон на жидком стекле с тонкомолотым шлаком в растворе NaCl. 2 – то же в растворе Na₂SO₄.

При расчете конструкции из бетона на жидком стекле с тонкомолотым шлаком снижение его прочности на сжатие в агрессивной среде соляных растворов следует учитывать ведением коэффициента условия работы бетона, приведенного в таблице 2.

Коэффициент условия работы бетона на жидком стекле с тонкомолотым шлаком на сжатие в различных средах.

Таблица 2 — Коэффициент условия работы бетона

Среда, условия эксплуатации	Коэффициент $\gamma_{b,cor}$ при воздействии агрессивной среды, месяц				
	1	3	6	9	12
Нормальные условия, $T = 20^\circ\text{C}$, $\varphi = 70\div 80\%$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Полное погружение в воду	0,96	0,92	0,85	0,76	0,68
Капиллярный подсос в растворе NaCl	0,93	0,82	0,74	0,70	0,67
Капиллярный подсос в растворе Na ₂ SO ₄	0,88	0,76	0,64	0,55	0,5

Для практической оценки проницаемости агрессивных растворов в бетон на жидком стекле с тонкомолотым шлаком вычисляются коэффициенты диффузии в соответствии со вторым законом Фика.

$$D = x^2 / k \cdot \tau, \quad (1)$$

где D – коэффициент диффузии, $\text{см}^2\cdot\text{сек}^{-1}$; x – глубина проникновения среды, см;
 τ – продолжительность воздействия среды, сек;
 k – безразмерная величина.

Представленная зависимость рекомендуется Б. Долежелом [5] для приближенной оценки коэффициента диффузии с учетом, что диффузионный характер процесса проникания агрессивной среды в бетон при испытании в солях NaCl и Na₂SO₄ к 9 месяцам практически прекращается в связи с кольматацией пор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Кислотостойкий золошлаковый бетон / Е. А. Гузеев, А. М. Гиржиль, Ю. П. Чернышов, [и др.] // Бетон и железобетон. — 1988. — № 1. — С. 6–8.
2. Гузеев Е. А. Железобетонные коррозионностойкие конструкции / Е. А. Гузеев. // Бетон и железобетон. — 1978. — № 8. — С. 7–8.
3. Алексеев С. Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С. Н. Алексеев, Н. К. Резенталь. — М. : Стройиздат, 1976. — 205 с.
4. Галибина Е. А. Автоклавные строительные материалы из отходов ТЭС / Е. А. Галибина. — Л. : Стройиздат, 1986. — 144 с.
5. Долежел Б. Коррозия пластических материалов и резин / Долежел Б. — М. : изд-во «Химия». — 1964. — 184 с.

Получено 20.12.2010

В. М. ЗАВЯЛОВ, М. О. НЕВГЕНЬ КОРОЗИЙНА СТІЙКІСТЬ КИСЛОТОСТІЙКОГО БЕТОНУ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДІННЯ В РОЗЧИНАХ СОЛЕЙ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Експериментально досліджена корозійна стійкість кислотостійкого бетону автоклавного твердіння на рідкому склі з тонкомеленими добавками в розчинах солей. Встановлено, що бетон на рідкому склі з тонкомолотим шлаком володіє достатньою стійкістю в розчинах солей NaCl і Na₂SO₄ і кінетика їх проникання носить затухаючий характер у зв'язку з колюментацією пір.

кислотостійкий бетон автоклавного твердіння, рідке скло, тонкомелені добавки, золошлакові відходи, корозійна стійкість, агресивне середовище, розчини солей

V. N. ZAVALOV, N. A. NEVGEN

CORROSION RESISTANCE OF ACID-PROOF CONCRETE OF AUTOCLAVE HARDENING IN SALT SOLUTIONS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The corrosion resistance of acid-proof concrete of the autoclave hardening on water glass with finely ground additives in salt solutions has been investigated experimentally. The concrete on water glass with finely ground slag has been established to display the sufficient resistance in salt solutions of NaCl and Na₂SO₄ and their penetration kinetics is of attenuated nature because of pores sedimentation.

acid-proof concrete of autoclave hardening, water glass, finely ground additives, ash and slag waste, corrosion resistance, corrosive medium, salt solutions

Завялов В'ячеслав Миколайович — кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження поведінки залізобетону в умовах дії підвищених температур і агресивного середовища.

Невгень Микола Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: дослідження поведінки залізобетону в умовах дії підвищених температур і агресивного середовища.

Завялов Вячеслав Николаевич — кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование поведения железобетона в условиях воздействия повышенных температур и агрессивной среды.

Невгень Николай Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: исследование поведения железобетона в условиях воздействия повышенных температур и агрессивной среды.

Vacheslav N. Zavalov — a Ph. D. (Engineering), an Assistant Professor of the Reinforced Concrete Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: investigations of the reinforced concrete behaviour in conditions of exposure to increased temperatures and corrosive medium.

Nicolay A. Nevgen — a Ph.D. (Engineering), an Assistant Professor of the Reinforced Concrete Structures Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: investigations of the reinforced concrete behaviour in conditions of exposure to increased temperatures and corrosive medium.

УДК 669.8: 539.4.012.2

С. Г. ГУЗІЙ

Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В. Д. Глуховського Київського національного університету будівництва та архітектури

ЗАХИСТ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ АНТИКОРОЗІЙНИМИ ГЕОПОЛІМЕРНИМИ ПОКРИТТЯМИ ВІД ДІЇ МОКРОЇ АТМОСФЕРНОЇ КОРОЗІЇ

Наведені результати з апробації геополімерних антикорозійних покриттів, призначених для захисту металевих конструкцій на III ярусі дзвіниці Успенського собору в історико-культурному заповіднику України «Києво-Печерська Лавра» від дії мокрої атмосферної корозії. Проведено аналіз стану метало-конструкцій, визначено глибину корозійних руйнувань, обрано склад антикорозійного покриття, тип добавки катодної дії – ферит кальцію та спосіб нанесення покриття на металоконструкції.

геополімер, добавки катодної дії, металеві конструкції, антикорозійні покриття

По архівним даним, антикорозійні роботи по захисту металоконструкцій дзвіниці Успенського собору в історико-культурному заповіднику України «Києво-Печерська Лавра» проводились в далекому 1968 році. В якості захисного покриття була використана поліуретанова композиція. На сьогодні, як показав аналіз зовнішнього стану металоконструкцій, на які підвішуються дзвіниці, в результаті крапельної конденсації вологи на поверхні металу [1, 2], а також безпосередньої дії дощу на поверхні як самих двотаврів, та і їх кінцівок, замуrowаних в цегляну кладку дзвіниці, відбуваються інтенсивні корозійні процеси. Корозійні ділянки досягають глибини до 1–2 мм, що значно знижує їх несучу здатність (рис. 1, 2). Роботи по виправленню даної ситуації проводились по двох напрямках: посилення несучої здатності двотаврів і захист їх поверхні геополімерним антикорозійним покриттям катодної дії, розробленим в НДІВМ КНУБА [3–8]. Роботи з антикорозійного захисту кінців металевих конструкцій виконувались 07.12.2010 року, коли температура навколишнього повітря становила +4 °С. Захисне покриття наносилось пензлем, час полімеризації становив 40 хв. (рис. 3)

Після затвердіння захисного покриття місця вирубки цегляної кладки були замуrowані цементно-піщаним розчином, а в подальшому декоративним штукатурним розчином.

Основні технічні характеристики захисного покриття катодної дії наведені в таблиці 1.

Аналіз зовнішнього стану покриття показав його високу функціональну здатність – чинити опір мокрій вологій атмосфері, правильність наукових підходів щодо їх створення і застосування.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд дзвіниці та металоконструкцій, які кородували під дією вологої атмосфери



Рисунок 2 – Зовнішній стан кінців металоконструкцій після викриття штукатурки та цегляної кладки



Рисунок 3 — Нанесення захисного покриття на кінцівки металоконструкцій.

Таблиця 1 – Технічні характеристики геополімерного антикорозійного покриття

Витрати захисного покриття кг/1 кв. м в залежності від типу поверхні та товщини покриття	0,1-0,3
Середня товщина, мкм	150-250
Технологічна в'язкість по Сутарду, мм, при температурі +20 °С	172-320
Покривальність в перерахунку на суху плівку, г/кв.м., не більше	120
Час висихання до ступеню 3 при температурі +20 °С, год, не більше	0,2-0,4 год
Час повної полімеризації при температурі +20 °С, год, не більше	24
Адгезія по методу градкових надрізів, бал	1
Коефіцієнт водостійкості	1,05-1,15
Стійкість до дії агресивних середовищ:	
вода	++
водяний пар	+
Розбавлені мінеральні кислоти (рН=3-5)	++
Світлостійкість	+
Довговічність, роки	від 3 до 5

Примітка: ++ — відмінно; + — добре.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Розенфельд И. Л. Атмосферная коррозия металлов / И. Л. Розенфельд. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 372 с.
2. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н. П. Жук. – М.: Металлургия, 1976. – 404 с.
3. Кривенко П. В. Защита металлоконструкций от агрессивных внешних сред композициями на основе геоцементов / Кивенко П. В., Гузій С. Г. // Вісник ОДАБА. – Вип. – № 33. – 2009. – С. 228–234.
4. Антиккоррозионные геоцементные композиции для защиты металлоконструкций / Кривенко П.В., Гузій С.Г., Л. Грич, П. Фабиан // Вісник ОДАБА. – 2009. – Вип. № 35. – С. 200–206.
5. Гузій С. Г. Повышение коррозионной стойкости строительных металлических конструкций в агрессивных средах / Гузій С. Г., Кривенко П. В. // Строительные материалы и изделия. – 2010. – № 2(61). – С. 17–20.
6. Гузій С. Г. Защитные геоцементные покрытия протекторного типа для металлических конструкций / С. Г. Гузій // Технологии бетонов. – 2010. – № 11–12. – С. 38–39.
7. Гузій С. Г. Физико-химические особенности структурообразования в минеральных геополимерных покрытиях, стойких к воздействию коррозионных газовых сред / С. Г. Гузій // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка : Наук. тех. збірник. – 2010. – Вип. 38. – С. 17–23.
8. Гузій С. Г. Математична модель корозійної стійкості геополімерних покриттів протекторного типу, призначених для захисту будівельних сталей від атмосферної корозії / С. Г. Гузій, С. А. Теренчук, С. В.Бондаренко, [і др.] // Строительные материалы и изделия. – 2010. – № 6(65). – С. 15–19.

Получено 18.12.2010

С. Г. ГУЗІЙ

ЗАЩИТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ АНТИКОРРОЗИЙНЫМИ ГЕОПОЛИМЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ОТ ДЕЙСТВИЯ МОКРОЙ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ

Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В. Д. Глуховского Киевского национального университета строительства и архитектуры

Приведенные результаты по апробации геополимерных антикоррозионных покрытий, предназначенных для защиты металлических конструкций на III ярусе колокольни Успенского собора в историко-культурном заповеднике Украины «Киево-Печерская Лавра» от действия мокрой атмосферной коррозии. Проведен анализ состояния металлоконструкций, определена глубина коррозионных разрушений, избран состав антикоррозионного покрытия, тип добавки катодного действия (феррит кальция) и способ нанесения покрытия на металлоконструкции.

геополімер, добавки катодного действия, металлические конструкции, антикоррозионные покрытия

S. G. GUZIY

METAL STRUCTURES PROTECTION WITH CORROSION-PROOF GEOPOLYMER COATINGS FROM EFFECT OF WET ATMOSPHERIC CORROSION

V. D. Glukhovsky Research Institute for Binders of Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture

The paper has presented the results on approval of geopolymer corrosion-proof coatings intended for protection of metal structures on the third stratum of the Cathedral of Assumption bell tower in the historical and cultural sanctuary Kyevo-Pecherska Lavra (large monastery) from the effect of wet atmospheric corrosion. The analysis of the state of the metal structures has been conducted, the depth of the corrosive destructions has been determined, the corrosion-proof coating composition has been selected, the additive type of cathode action – calcium ferrite and the manner of coating application on to the metal structures has been choosen.

geopolymer, additives of cathode action, metal structures, corrosion-proof coatings

Гузій Сергій Григорович — старший науковий співробітник відділу в'язучих речовин і бетонів Державного науково-дослідного інституту в'язучих речовин і матеріалів ім. В. Д. Глуховського, доцент кафедри будівельних матеріалів Київського національного університету будівництва і архітектури. Наукові інтереси: лужні та лужньо-земельні в'язучі системи та матеріали на їх основі.

Гузій Сергей Григорьевич — старший научный сотрудник отдела вяжущих и бетонов Государственного научно-исследовательского института вяжущих веществ и материалов им. В. Д. Глуховского, доцент кафедры строительных материалов Киевского национального университета строительства и архитектуры. Научные интересы: щелочные и щелочно-земельные вяжущие системы и материалы на их основе.

Sergey G. Guziy — a senior research officer of the Department of binders and Concrete of the V. D. Glukhovsky State Research Institute of Binders and Binding Materials and an Assistant Professor (holding more than one job) of the Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture. Research interests: alkali and alkali-earth binding systems and materials on their base.

УДК 666.972.5

В. Н. ГУБАРЬ, Н. М. ЗАЙЧЕНКО, Е. А. БЕЛЫЙ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТОНКОЗЕРНИСТАЯ СУХАЯ БЕТОННАЯ СМЕСЬ НАЛИВНОГО ТИПА С КОМБИНИРОВАННЫМ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫМ МОДИФИКАТОРОМ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Разработаны составы и исследованы свойства тонкозернистых бетонных смесей наливного типа, содержащие в своем составе комбинированные органо-минеральные модификаторы. Минеральная составляющая модификаторов представлена смесью минеральных добавок из отходов промышленности Донбасса – микрокремнеземом из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов, золошлаковой смесью Угледорской ТЭС, шамотно-каолиновой пылью Владимирского огнеупорного комбината. В качестве реологической добавки использован комплекс из суперпластификаторов различного вещественного состава и механизма диспергирования – модифицированного поликарбоксилатного эфира Melflux 2641 F и меламиноформальдегидного конденсата Melment F10, полученных методом распылительной сушки. Тонкозернистые бетонные смеси наливного типа характеризуются высокой текучестью и сохраняемостью реологических свойств во времени, а также быстрыми темпами набора прочности, низкой усадкой и высокими эксплуатационными свойствами. Разработанный состав быстротвердеющей сухой бетонной смеси наливного типа, предназначенной для высокоточной цементации (монтажа) оборудования и металлоконструкций, по показателям качества соответствует составу торговой марки EMACO@S33 (MASTERFLOW@980). Промышленное внедрение разработанного состава осуществлено при реконструкции фундамента подъемной машины главного ствола ГП «УК «Краснолиманская»» при выполнении работ по монтажу опорных стальных плит барабана подъемной машины.

сухая строительная смесь, модификатор, минеральная добавка, суперпластификатор, текучесть, прочность, усадка

Формулировка проблемы. Сухие строительные смеси (ССС) с каждым годом становятся все более востребованными в различных отраслях строительной индустрии. Возросшие требования к качеству строительных объектов, увеличение заказов на реставрационные и ремонтные работы способствовали развитию производства принципиально новых строительных отделочных и ремонтных материалов, которые отличаются долговечностью, устойчивостью к агрессивным факторам окружающей среды, эстетичностью, длительным сроком хранения, простотой в использовании.

На рынке Украины такие специальные составы представлены торговыми марками «Sika», «EMACO», «Геокон» и других фирм. Это безусадочные быстротвердеющие смеси тиксотропного типа (для конструкционного ремонта бетона и железобетона с нанесением на вертикальные и потолочные поверхности без опалубки), а также безусадочные быстротвердеющие смеси наливного типа (для конструкционного ремонта бетона и железобетона, монтажа различного технологического оборудования). Например, Российским предприятием «ООО БАСФ Строительные системы» выпускается высокотехнологичный состав «EMACO@S33» (MASTERFLOW@980) – готовый к применению материал, который при смешивании с водой образует реопластичную, текучую (расплыв миниконуса 210–260 мм), не расслаивающуюся мелкозернистую бетонную смесь, предназначенную для высокоточной цементации (подливки) оборудования при зазоре от 40 до 100 мм. Бетонные смеси, приготовленные на основе «EMACO@S33», характеризуются быстрыми темпами набора прочности (прочность бетона при сжатии и на растяжение при изгибе в возрасте 24 часов твердения – не менее 5 и 30

МПа, соответственно). В проектном возрасте бетоны достигают высоких прочностных (прочность при сжатии не менее 60 МПа) и эксплуатационных (марки по водонепроницаемости и морозостойкости – W12 и F300) показателей качества.

В тоже время уровень цен на качественные импортные и отечественные ССС продолжает оставаться довольно высоким. В отдельных регионах нашей страны наблюдается существенная диспропорция в уровне производства и потребления материала. Если в таких промышленно развитых областях, как Киевская, Днепропетровская, Харьковская имеется достаточно мощная база по выпуску ССС («Хенкель Баутехник», «Полимин», «Экоцем» и др.), то в Донецкой области крупных производителей конкурентной продукции практически нет. При этом следует учесть тот фактор, что Донецкая область располагает богатыми запасами сырьевых ресурсов, используемых для производства сухих строительных смесей, в т. ч. несколькими месторождениями кварцевых и полевошпатных песков, известняков, доломита, каолина. На территории области сосредоточено производство вяжущих веществ: портландцемента, извести, гипса, а по объемам накопленных минеральных отходов промышленности – потенциальных компонентов ССС, Донбасс занимает лидирующее положение в Украине. Использование отходов промышленности в составах строительных смесей может обеспечить значительное снижение себестоимости продукции, а в отдельных случаях придать смесям специальные свойства, повысить их качество и долговечность.

Анализ последних исследований и публикаций. Одним из основных условий получения высокотехнологичных (самоуплотняющихся) бетонных смесей является применение суперпластификаторов с относительно высоким содержанием дисперсных материалов в виде портландцемента, минеральных добавок, молотых наполнителей и/или очень мелкого песка [1]. При этом с целью уменьшения расхода цемента в составах ССС, что обеспечивает снижение их себестоимости и повышение качества (улучшение удобоукладываемости смесей, снижение усадочных деформаций, тепловыделения, повышение коррозионной стойкости бетона), рекомендуется широкое применение минеральных добавок.

Так как пуццолановая активность минеральных добавок различна, целесообразно их комбинирование для достижения высоких показателей качества и снижения себестоимости производства композиционных материалов на основе портландцемента [2]. Сочетание композиций микронаполнителей в виде микрокремнезема и золы-уноса с суперпластификатором при оптимизации гранулометрического состава заполнителей позволяет получать высокопрочные бетоны (прочность более 70 МПа) из самовыравнивающихся смесей. При этом использование указанной композиции минеральных добавок в комплексе с метаксаолином и гипсом позволяет минимизировать усадочные деформации самовыравнивающихся высокопрочных бетонов [3]. Учеными НИИЖБа [4] разработана органо-минеральная добавка «ЭМБЭЛИТ» на основе микрокремнезема, золы-уноса, суперпластификатора С-3 и расширяющегося компонента сульфалоюминатного типа, которая позволяет получать мелкозернистые бетоны с компенсированной усадкой (нормируется образованием эттрингита).

С другой стороны, для получения безусадочных быстротвердеющих смесей наливного типа необходим учет совместимости органических добавок в виде суперпластификаторов с минеральными компонентами для обеспечения требуемой сохраняемости реологических характеристик бетонных смесей на протяжении определенного времени с последующим интенсивным набором прочности после их схватывания. Таким образом, эффективность добавок, в том числе суперпластификаторов определяется выбором рационального состава и условий применения, с учетом совместимости с применяемыми цементами и за счет оптимальных сочетаний компонентов [5].

Проблема сохраняемости подвижности бетонных смесей может быть решена путем разработки комплексных добавок при совмещении различных по вещественному составу суперпластификаторов, механизм диспергирования которых заключается в комбинации электростатического отталкивания ДЭС и стерического барьера [6]. Положительные результаты получены при комбинировании различных видов поликарбоксилатов [7], а также при использовании поликарбоксилатных суперпластификаторов в сочетании с нафталинформальдегидными или меламиноформальдегидными конденсатами. При этом поликарбоксилатный полимер адсорбируется на поверхности частиц цемента и диспергирует образовавшиеся флоккулы, а неадсорбированный СНФ(СМФ) конденсат находится в объеме между частицами, снижает трение, а также препятствует образованию флоккул, что обеспечивает стабилизацию дисперсной системы [8]. Такое сочетание различных по вещественному составу суперпластификаторов в виде модифицированного поликарбоксилатного эфира FM-34 Addiment (FM-794 Woerment) и разжижителя С-3 реализовано в составах высокотехнологичных тонкозернистых бетонов классов по прочности при сжатии свыше В100 [9].

Целью работы является исследование свойств сухой тонкозернистой бетонной смеси наливного типа для цементации (монтажа) оборудования, содержащей в своем составе органо-минеральный модификатор, минеральная составляющая которого представлена пуццолановыми добавками из отходов промышленности, а органическая – комплексом суперпластификаторов с различным механизмом диспергирования.

Основной материал

Характеристика исходных материалов. Для разработки составов сухих строительных смесей наливного типа приняты суперпластификаторы, выпускаемые в виде сухих порошков, получаемых методом распылительной сушки:

- модифицированный поликарбоксилатный эфир Melflux 2641 F (Degussa);
- сульфированный меламиноформальдегидный поликонденсат Melment F-10 (Degussa).

Минеральную составляющую комбинированных модификаторов составляют следующие пуццолановые добавки из отходов промышленности (химический состав представлен в табл. 1):

- зола-унос (ЗУ) и молотый шлак (МШ) – золо-шлаковая смесь (ЗШС) Угледорской ТЭС;
- порошок шамотно-каолиновый (ПШК) Владимирского огнеупорного комбината;
- микрокремнезем агломерированный из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов, образующийся при увлажнении конденсированной кремнеземистой пыли по мокрой схеме очистки газов (МКМГ).

В качестве вяжущего использован портландцемент (ПЦ) Балаклеевского комбината СЕМ I-42,5 N (активность 525 кгс/см²), заполнителя – отсеб дробления щебня гранитного (ОДЩ) фракции 0,14–5,00 мм.

Органо-минеральный модификатор (ОММ-1) получен совместным помолом агломерированного микрокремнезема (50 %) с золо-шлаковой смесью ТЭС (48 %) в присутствии сухого суперпластификатора Melment F-10 (2 %), обеспечивающего снижение поверхностной энергии образующегося при помоле порошка и предотвращающего агрегирование частиц. На начальной стадии помола дозировка суперпластификатора не должна превышать 0,1 % от массы измельчаемых материалов.

С целью компенсации усадки тонкозернистого бетона разработан состав органо-минерального модификатора ОММ-2, который кроме агломерированного микрокремнезема и золо-шлаковой смеси ТЭС включает алюмосиликатную добавку в виде порошка шамотно-каолинового и молотый гипсовый камень. Составы тонкозернистой сухой бетонной смеси наливного типа и органо-минерального модификатора ОММ-2 приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Химический состав минеральных добавок

Наименование добавки	Содержание оксидов, % по массе							п.п.п.
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O+K ₂ O	
ПШК	50,67	34,20	1,13	5,11	0,69	<0,1	0,46	6,62
МКМГ	81,85	1,72	3,03	1,12	0,25	3,52	0,32	7,43
ЗУ Угледорской ТЭС	53,60	21,79	15,39	2,52	1,00	<0,01	2,82	1,27
МШ Угледорской ТЭС	55,66	22,40	15,00	2,10	1,60	<0,01	3,14	0,02

Таблица 2 – Состав тонкозернистой сухой бетонной смеси (ТСБС) и органо-минерального модификатора (ОММ-2)

№	ТСБС, %					ОММ-2, %				
	ПЦ	ОДЩ	ОММ-2	Melflux 2641 F		МКМГ	ЗШС	ПШК	Г	Melment F-10
1	33,5	55,5	11,0	-		50,0	18,9	18,0	10,0	3,1
2	33,5	55,5	10,8	0,2		50,0	20,5	18,0	10,0	1,5
3	33,5	55,5	10,78	0,22		50,0	20,92	18,0	10,0	1,08

Перемешивание бетонных смесей осуществлялось с помощью высокоскоростного миксера, расход воды для всех составов принят одинаковый – 8,4 % от массы ТСБС, что соответствует значениям водоцементного и водовязущего отношений соответственно – $V/C=0,25$, $V/B (B/(ПЦ+ОММ))=0,19$.

Подвижность тонкозернистых бетонных смесей оценивали по показателю диаметра расплыва миниконуса в течение 120 минут после их приготовления с интервалом 15 минут. В процессе выдержки между испытаниями бетонные смеси укрывали полиэтиленовой пленкой для предотвращения испарения воды затворения.

Результаты экспериментов и обсуждение. Установлено, что начальная подвижность тонкозернистых бетонных смесей, определяемая по показателю расплыва миниконуса, с течением времени снижается. Наиболее быстро теряет подвижность смесь, содержащая в своем составе добавку сульфированного меламинаформальдегидного поликонденсата Melment F-10, расход которой составляет 1 % от массы портландцемента. Через 60 минут выдержки после приготовления потеря подвижности смеси составляет 7,2 %, а через 120 минут – 22 % (рис. 1 а).

Быстрая потеря подвижности в основном связана с повышением ионной силы раствора цементной суспензии в процессе гидратации и, как результат, постепенным снижением электростатического взаимодействия между положительно заряженными частицами клинкерных минералов и их новообразований с отрицательными функциональными группами молекул СМФ, что приводит к рефлюкуляции дисперсных частиц в результате ван-дер-ваальсового взаимодействия. Этот эффект является также следствием низкой величины стерического отталкивания молекул полиэлектролитов (СНФ, СМФ), механизм диспергирования и стабилизации которых обусловлен электростатическим отталкиванием частиц цемента в результате повышения величины χ -потенциала при адсорбции молекул добавки на их поверхности [10, 11].

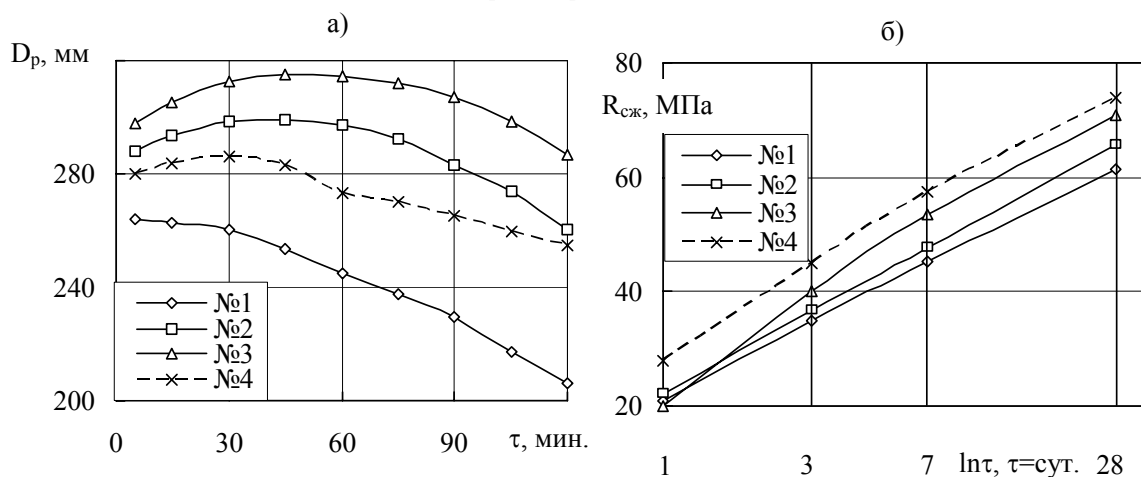


Рисунок 1 –Изменение подвижности бетонных смесей в процессе выдержки после приготовления (а) и кинетика роста прочности бетонов (б) при твердении в нормальных условиях: 1–3 – составы ТСБС (табл. 2); 4 – состав EMACO@S33 (MASTERFLOW@980).

Для составов ТСБС № 2 и № 3, в которых часть суперпластификатора Melment F-10 заменена модифицированным поликарбоксилатным эфиром Melflux 2641 F (№ 2: Melment F-10 – 0,5 %; Melflux 2641 F – 0,5 %; № 3: Melment F-10 – 0,35 %; Melflux 2641 F – 0,65 %), наоборот в течение первых 60 минут наблюдается некоторое повышение подвижности. Это может быть связано с конкурентной адсорбцией двух полиэлектролитов на активных центрах цементных зерен, новообразований и минеральных добавок.

Известно [12], что плотность анионного заряда молекул нафталинформальдегидных конденсатов значительно выше, чем поликарбоксилатных полимеров, что обуславливает их более высокую адсорбционную способность на поверхности минералов клинкера. Адсорбированные звенья СМФ не только нейтрализуют положительно заряженные центры, но и приводят к общему отрицательному заряду поверхности. Это создает электростатическое отталкивание и диспергирование частиц. Однако рост ионной силы раствора со временем ведет к сжатию ДЭС и снижению электростатического отталкивания. В то же время по мере увеличения удельной поверхности новообразований в процессе гидратации цемента адсорбция молекул поликарбоксилатов с привитыми боковыми полимерными цепями создает стерический барьер против ван-дерваальсовых сил притяжения, которые доминируют при высокой ионной силе раствора и предотвращают рефлюкуляцию частиц [13]. При

этом пластифицирующий эффект поликарбоксилатов усиливается по мере увеличения толщины адсорбционных слоев на поверхности частиц [14].

Таким образом, потери подвижности в течение 120 минут для бетонных смесей с комбинированным суперпластификатором (Melment F-10 + Melflux 2641 F) значительно меньше, чем для состава № 1 и составляют соответственно 9,7 % (состав № 2) и 3,7 % (состав № 3). Для сравнения потери подвижности состава № 4 («ЕМАСО@S33») имеют значение 8,9 %.

Разработанные составы ТСБС характеризуются также достаточно высокими темпами роста прочности (рис. 1 б). Наиболее высокие показатели предела прочности при сжатии на протяжении всего исследуемого срока твердения отмечены для состава № 4 («ЕМАСО@S33») – $R_1 = 28$ МПа, $R_3 = 45$ МПа, $R_7 = 58$ МПа, $R_{28} = 74$ МПа. Примерно соизмеримые показатели прочности отмечены и для состава ТСБС № 3 – $R_1 = 20$ МПа, $R_3 = 40$ МПа, $R_7 = 54$ МПа, $R_{28} = 71$ МПа.

Для тонкозернистых бетонных смесей с достаточно высоким расходом портландцемента и минеральных добавок, которые используются для подливки опорных плит при монтаже технологического оборудования, большое значение имеет максимальное снижение усадки при твердении. Для компенсации усадки в таких системах разработан состав органо-минерального модификатора ОММ-2 (табл. 2). Результаты экспериментов показывают, что в бетонах, содержащих органо-минеральный модификатор, включающий молотые микрокремнезем и золо-шлаковую смесь (ОММ-1), усадка в процессе высушивания развивается достаточно интенсивно в течение первых 30 суток (температура 20 ± 2 °С, $\varphi = 60 \pm 5$ %) и достигает максимального значения $\overline{\varepsilon}_{b1} = 14,1 \cdot 10^{-5}$ (рис. 2). Замена части золо-шлаковой смеси порошком шамотно-каолиновым и молотым гипсовым камнем (ОММ-2) обеспечивает снижение величины максимальной усадки почти в три раза – $\overline{\varepsilon}_{b1} = 5,0 \cdot 10^{-5}$. Это связано с формированием этtringита в составе продуктов гидратации камня вяжущего.

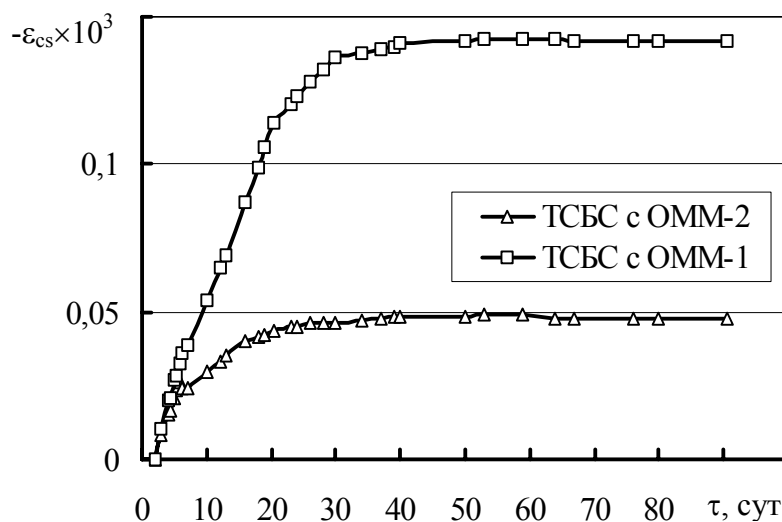


Рисунок 2 – Относительные деформации усадки образцов тонкозернистого бетона с органо-минеральным модификатором (состав бетона № 1, табл. 2).

Промышленное внедрение разработанных составов ТСБС осуществлено при реконструкции фундамента подъемной машины главного ствола ГП «УК «Краснолиманская»» при выполнении работ по монтажу опорных стальных плит барабана подъемной машины (рис. 3).

В процессе подливки опорных плит были изготовлены контрольные образцы-кубы бетона с размером ребра $7,07 \times 10^{-2}$ м. Сроки схватывания бетонных смесей при твердении при температуре окружающего воздуха $+14$ °С составили:

- начало схватывания 3,1 часа; конец схватывания 4,2 часа (состав ЕМАСО@ S33);
- начало схватывания 3,5 часа; конец схватывания 4,8 часа (состав тонкозернистого бетона с ОММ-2).

Установлено, что, несмотря на достаточно низкую температуру окружающего воздуха (в ночное время $+8...10$ °С), бетоны обоих составов интенсивно набирали прочность, которая после 24 и 48 часов твердения для составов ЕМАСО@ S33 и тонкозернистого бетона с ОММ-2 составила соответственно 28 и 50 МПа; 22 и 46 МПа, что обеспечило сокращение времени проведения комплекса работ по замене шахтной подъемной машины на двое суток.

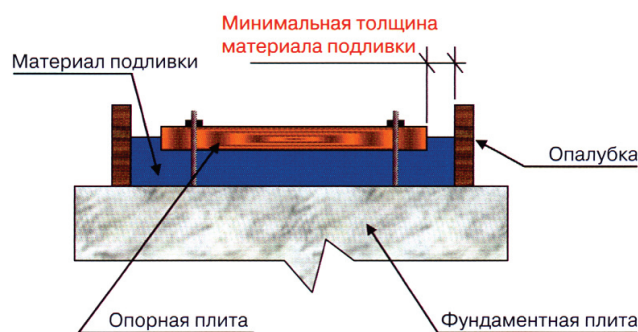


Рисунок 3 — Подливка опорных стальных плит составами ЕМАСО® S33 и модифицированного тонкозернистого бетона с ОММ-2.

Выводы. Разработаны составы и исследованы свойства тонкозернистых бетонных смесей наливного типа, содержащие в своем составе комбинированные органо-минеральные модификаторы. Установлено, что тонкозернистые бетонные смеси наливного типа характеризуются высокой текучестью и сохраняемостью реологических свойств во времени, а также быстрыми темпами набора прочности, низкой усадкой и высокими эксплуатационными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Collepardi M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC / M. Collepardi // Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering, 2003: Proc. – Milan (Italy), 2003. – P. 1–8.
2. Sabir B.B. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review / B.B. Sabir, S. Wild, J. Bai // Cem. Concr. Comp. – 2001. – Vol. 23, No 6. – P. 441–454.
3. Батудаева А.В. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей / А. В. Батудаева, Г. С. Кардунян, С. С. Каприелов // Бетон и железобетон. – 2005. - № 4. – С. 14–18.
4. Модифицированные высокопрочные мелкозернистые бетоны с улучшенными деформационными характеристиками / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Г. С. Кардунян, В. Г. Дондуков // Бетон и железобетон. – 2006. – № 2. – С. 2–7.
5. Коваль С. В. Развитие научных основ модифицирования бетонов полифункциональными добавками: дис... доктора техн. наук: 05.23.05 / Коваль Сергей Владимирович. – Одесса, 2004. – 428 с.
6. Flatt R.J. The rheology of cementitious materials / R.J. Flatt, N.S. Martys, L. Bergström // MRS Bulletin. – 2004. – Vol. 29, No 5. – P. 314–318.
7. Hanehara S. Rheology and early age properties of cement systems / S. Hanehara, K. Yamada // Cem. Concr. Res. – 2008. – Vol. 38, No 1. – P. 175–195.
8. D'Souza B. New generation hyperplasticizers for the new millennium [Электронный ресурс] / D'Souza B., Fletcher K. – Режим доступа: <http://www.mbtaus.com.au>. – Название с экрана.
9. Зайченко Н.М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой: дисс... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Зайченко Николай Михайлович. – Макеевка: ДонНАСА, 2009. – 356 с.
10. Kong H.J. Effects of a strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions / H.J. Kong, S.G. Bike, V.C. Li // Cem. Concr. Res. – 2006. – Vol. 36, No 5. – P. 851–857.
11. Effects of admixtures on hydration of cement, adsorptive behavior of admixture and fluidity and setting of fresh cement paste / H. Uchikawa, S. Hanehara, T. Shirasaka, D. Sawaki // Cem. Concr. Res. – 1992. – Vol. 22, No 6. – P. 1115–1122.
12. Plank J. Experimental determination of the effective anionic charge density of polycarboxylate superplasticizers in cement pore solution / J. Plank, B. Sachsenhauser // Cem. Concr. Res. – 2009. – Vol. 39, No 1. – P. 1–5.
13. Kong H.J. Electrosteric stabilization of concentrated cement suspensions imparted by a strong anionic polyelectrolyte and a non-ionic polymer / H.J. Kong, S.G. Bike, V.C. Li // Cement and Concrete Research. – 2006. – Vol. 36, No 5. – P. 842–850.
14. Yamada K. Controlling of the adsorption and dispersing force of polycarboxylate-type superplasticizer by sulfate ion concentration in aqueous phase / K. Yamada, S. Ogawa, S. Hanehara // Cem. Concr. Res. – 2001. – Vol. 31, No 3. – P. 375–383.

Получено 27.12.2010

В. М. ГУБАР, М. М. ЗАЙЧЕНКО, Є. А. БІЛИЙ
ТОНКОЗЕРНИСТА СУХА БЕТОННА СУМІШ НАЛИВНОГО ТИПУ З КОМБІ-
НОВАНИМ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИМ МОДИФІКАТОРОМ НА ОСНОВІ
ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розроблено склади і досліджено властивості тонкозернистих бетонних сумішей наливного типу, що містять в своєму складі комбіновані органо-мінеральні модифікатори. Мінеральна складова модифікаторів представлена сумішшю мінеральних добавок з відходів промисловості Донбасу – мікрокремнеземом з шламонакопичувачів Стаханівського заводу феросплавів, золошлаковою сумішшю Вуглегірської ТЕС, шамотно-каоліновим пилом Володимирського вогнетривкого комбінату. Як реологічну добавку використано комплекс з суперпластифікаторів різного речовинного складу і механізму диспергування – модифікованого полікарбоксилатного ефіру Melflux 2641 F та мелаїноформальдегідного конденсату Melment F10, одержаних методом розпилювання при сушінні. Тонкозернисті бетонні суміші наливного типу характеризуються високою текучістю і збереженістю реологічних властивостей в часі, а також швидкими темпами набору міцності, низькою усадкою і високими експлуатаційними властивостями. Розроблений склад швидкотвердкої сухої бетонної суміші наливного типу, призначеної для високоточної цементації (монтажу) обладнання і металоконструкцій, за показниками якості відповідає складу торговельної марки Emaco®S33 (Masterflow®980). Промислове впровадження розробленого складу здійснено при реконструкції фундаменту підіймальної машини головного ствола ДП «БК «Краснолиманська»» при виконанні робіт з монтажу опорних сталевих плит барабану підіймальної машини.

суха будівельна суміш, модифікатор, мінеральна добавка, суперпластифікатор, текучість, міцність, усадка

V. N. GUBAR, N. M. ZAICHENKO, E. A. BELYI
FINE-GRAINED DRY-BATCHED CONCRETE IN BULK WITH COMBINED
ORGANIC AND MINERAL MODIFIER ON BASE OF INDUSTRIAL WASTE
PRODUCTS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The compounds have been worked out and the properties of the fine-grained concrete mixtures in bulk containing the combined organic and mineral modifiers have been investigated. The mineral constituent of the modifiers is represented by the mixture of mineral additives of the Donbas industrial waste products – microsilica of sludge slurries of the Stakhanov Ferroalloys Plant, fly ash and slag mix of the Uglegorsk Steam Power Plant, fireclay and kaolin dust of the Vladimir Refractory Integrated Factory. The complex of superplasticizers of various material composition and dispersion mechanism – the modified polycarboxylate ester Melflux 2641 and melamine and formaldehyde condensate Melment F10 produced by the spray drying method has been used in the capacity of the rheological additive. The fine-grained concrete mixes in bulk are specified by high flowing quality and preserving of rheological properties in time as well as the rapid rates of hardening, low shrinkage and high operational properties. The developed compound of rapid hardening dry-batched concrete mix in bulk, intended for high-fidelity cementation (mounting) of equipment and metal structures on the quality indices corresponds to the compound of the trade brand Emaco®S33 (Masterflow®980). The industrial introduction of the developed compound has been conducted at the refurbishment of the main-shaft hoist foundation of the State-Owned Enterprise Krasnolimanskaya mine at the performance of work on the mounting of steel slabs of the hoisting drum.

dry-batched building mix, modifier, mineral additive, superplasticizer, flowing quality, strength, shrinkage

Губар Віктор Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: цементні бетони з заповнювачами з відходів промисловості.

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: високоміцні і особливо високоміцні бетони на основі фізико-хімічно модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Белый Євген Анатолійович – магістрант кафедри технологій будівельних матеріалів, виробів та автомобільних доріг Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: сухі будівельні суміші для ремонту будівельних конструкцій.

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

Зайченко Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: высокопрочные и особо высокопрочные бетоны на основе физико-химически модифицированных дисперсных компонентов бетона.

Белый Евгений Анатольевич – магистрант кафедры технологий строительных материалов, изделий и автомобильных дорог Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: сухие строительные смеси для ремонта строительных конструкций.

Victor N. Gubar – a Ph.D. (Engineering), an Assistant Professor of the Production Engineering of Building Materials, products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: Portland cement concrete with aggregates of industrial waste products.

Nickolay M. Zaichenko – a D. Sc. (Engineering), a Professor of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: high-strength concrete on the base of physical and chemical modified dispersed concrete components.

Evgen A. Belyi – a B. Eng. of the Production Engineering of Building Materials, Products and Motorways Department of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Research interests: dry-batched building mixes for repairing of building structures.

ЗМІСТ

ПОПОВА О.С., САМОЙЛОВА О.Е., КОЧЕРГИН Ю.С., ГРИГОРЕНКО Т.И. Вінілокс - ефективний розріджувач епоксидних композицій	3
ГОНЧАРЕНКО В.В., РОМАСЮК Є.О. Покращення властивостей дорожніх бітумів шляхом їх модифікації вторинним поліетиленом високого тиску	11
ОНИЩЕНКО А.М., НЕВІНГЛОВСЬКИЙ В.Ф., РІЗНИЧЕНКО О.С., ГАРКУША М.В. Методика забезпечення колієстійкості асфальтобетонного покриття на цементній основі	17
ПАКТЕР М.К., БРАТЧУН В.І., БЕСПАЛОВ В.Л., РИБАЛКО І.Ф., ДЕМЕШКІН В.П., КОННОВ М.С., СТУКАЛОВ О.А. Перспективи одержання дорожніх органічних в'язучих на основі твердих горючих копалин. II. Смоли напівкоксування	26
ГУБАР А.В. Сірковий шлам - мінеральний порошок для холодного асфальтобетону, виготовленого на катіонній бітумополімерній емульсії	40
НАГОРНА Н.П., КІБЗУН В.М. Оптимізація сполук вододегтешлакових сумішей для виробництва гідроізоляційної цегли	46
ЧУРСІН С.І., ВЕШНЕВСЬКА В.Г. Технологічні аспекти довговічності бетону	53
ШИШКІНА О.О. Пінобетони для ремонту будівель і споруд	58
АДАМОВ А.Ю., ШИШКІН О.О. Газобетони, модифіковані цеолітами із заліза	63
ПУНАГІН В.В. Особливості структуроутворення гідросилікатів кальцію в активованій цементній системі	68
ПИЛИПЕНКО В.М. Вплив фізичного модифікування на процеси структуроутворення цементної матриці бетону	74
ТИМЧЕНКО В.І., СОРОКА В.П. Широкозонний фотодетектор на основі алмазної плівки	79
ХОБОТОВА Е.Б., УХАНЬОВА М.І. Утилізація відходів вуглевидобутку в якості сировини цементного виробництва	85
ВОЗНЕСЕНСЬКИЙ В.А., ГАВРИЛЮК В.П., ЛЯШЕНКО Т.В. Газосилікат з компромісними рівнями границі міцності і деформативності при згині, теплопровідності та енергоємності твердіння	91
ЛЕВЧЕНКО В.М., ЛЕВЧЕНКО Д.В., КИРИЧЕНКО В.Ф. Методи розрахунку строків експлуатації будівельних конструкцій	99
ЛОБОВ М.І., ЧИРВА О.С., ПЕРЕВАРЮХА А.М. Умови забезпечення якості будівництва і надійної експлуатації висотних споруджень баштового і щоглового типів	105
ЄФРЕМОВ О.М., ЛІЩЕНКО Г.М. Вплив добавок шлаку та золи-винесення ТЕС на жаростійкі властивості портландце-ментних пінобетонів	112
ГУЛЯК Д.В. Чинники старіння і стадії необоротних змін складу, структури і властивостей органічних в'язучих	116
ЄФРЕМОВ С. В., ЛАПЧЕНКО А. С. Вплив волокна на фізико-механічні і реологічні властивості асфальтобетону	121
ТОЛМАЧОВ С.М., БЕЛІЧЕНКО О.А. Міцність пресованих дрібнозернистих цементних бетонів з вуглецевими колоїдними частинками	128
МАЛЯР В.В. Скінчено-елементний аналіз напружено-деформованого стану асфальтобетону (асфальтополімербетону) в дорожньому одязі	135
ЛАПЧЕНКО А.С. Взаємозв'язок penetрації в'язучих з модулями пружності асфальтобетонів і асфальтополімербетонів на їх основі	141

ПИРИГ Я.І. Визначення температури крихкості графо-експериментальним методом	147
СВИНАРЬОВ М. О. Аутогезія рідких в'язучих	152
СОХІНА С.І., ШЕВЧЕНКО О.М. Протикорозійні матеріали на основі полістиролу, модифіковані поліамідами фталевої кислоти та побічними продуктами коксохімії	157
МУТТАШАР АХМЕД ТАЛІБ О критеріях зсувостійкості дорожніх асфальтобетонів в умовах республіки Ірак	163
Д.І. БОРОДАЙ Прогноз довговічності типових залізобетонних плитних прогонових будов автодорожніх мостів	169
ТОДИРИКА В.В., ДАВИДЕНКО О.О., ДОЛЯ А.Г., БОРОДАЙ Д.І. Посилення пролітної будови моста накладною залізобетонною плитою	177
ЗАВЯЛОВ В.М., НЕВГЕНЬ М.О. Корозійна стійкість кислотостійкого бетону автоклавного твердіння в розчинах солей	182
ГУЗІЙ С.Г. Захист металоконструкцій антикорозійними геополімерними покриттями від дії мокрої атмосферної корозії	187
ГУБАР В.М., ЗАЙЧЕНКО М.М., БІЛИЙ Є.А. Тонкозерниста суха бетонна суміш наливного типу з комбінованим органо-мінеральним модифікатором на основі відходів промисловості	192

СОДЕРЖАНИЕ

ПОПОВА О.С., САМОЙЛОВА Е.Э., КОЧЕРГИН Ю.С., ГРИГОРЕНКО Т.И. Винилокс - эффективный разбавитель эпоксидных композиций	3
ГОНЧАРЕНКО В.В., РОМАСЮК Е.А. Улучшение свойств дорожных битумов путем его модификации вторичным полиэтиленом высокого давления	11
ОНИЩЕНКО А.Н., НЕВИНГЛОВСКИЙ В.Ф., РИЗНИЧЕНКО О.С., ГАРКУША М.В. Методика обеспечения колеестойкости асфальтобетонного покрытия на цементобетонной основе	17
ПАКТЕР М.К., БРАТЧУН В.И., БЕСПАЛОВ В.Л., РЫБАЛКО И.Ф., ДЕМЕШКИН В.П., КОННОВ Н.С., СТУКАЛОВ А.А. Перспективы получения дорожных органических вяжущих на основе твердых горючих ископаемых. II. Смолы полукоксования	26
ГУБАРЬ А.В. Серный шлам - минеральный порошок для холодного асфальтобетона, приготовленного на катионной битумополимерной эмульсии	40
НАГОРНАЯ Н.П., КИБЗУН В.Н. Оптимизация составов вододегтешлаковых смесей для производства гидроизоляционного кирпича	46
ЧУРСИН С.И., ВЕШНЕВСКАЯ В.Г. Технологические аспекты долговечности бетона	53
ШИШКИНА А.А. Пенобетоны для ремонта зданий и сооружений	58
АДАМОВ А.Ю., ШИШКИН А.А. Газобетоны, модифицированные железистыми цеолитами	63
ПУНАГИН В.В. Особенности структурообразования гидросиликатов кальция в активированной цементной системе	68
ПИЛИПЕНКО В.Н. Влияние физического модифицирования на процессы структурообразования цементной матрицы бетона	74
ТИМЧЕНКО В.И., СОРОКА В.А. Широкозонный фотодетектор на основе алмазной пленки	79
ХОБОТОВА Э.Б., УХАНЁВА М.И. Утилизация отходов угледобычи в качестве сырья цементного производства	85
ВОЗНЕСЕНСКИЙ В.А., ГАВРИЛЮК В.П., ЛЯШЕНКО Т.В. Газосиликат с компромиссными уровнями предела прочности и деформативности при изгибе, теплопроводности энергоемкости твердения	91
ЛЕВЧЕНКО В.Н., ЛЕВЧЕНКО Д.В., КИРИЧЕНКО В.Ф. Методы расчета сроков эксплуатации строительных конструкций	99
ЛОБОВ М.И., ЧИРВА А.С., ПЕРЕВАРЮХА А.Н. Условия обеспечения качества строительства и надежной эксплуатации высотных сооружений башенного и мачтового типов	105
ЕФРЕМОВ А.Н., ЛИЩЕНКО А.Н. Влияние добавок шлака и золы-унос ТЭС на жаростойкие свойства портландцементных пенобетонов	112
ГУЛЯК Д.В. Факторы старения и стадии необратимых изменений состава, структуры и свойств органических вяжущих	116
ЕФРЕМОВ С. В., ЛАПЧЕНКО А. С. Влияние волокна на физико-механические и реологические свойства асфальтобетона	121
ТОЛМАЧЕВ С.Н., БЕЛИЧЕНКО Е.А. Прочность прессованных мелкозернистых цементных бетонов с углеродными коллоидными частицами	128
МАЛЯР В.В. Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния асфальтобетона (асфальтополимербетона) в дорожной одежде	135
ЛАПЧЕНКО А.С. Взаимосвязь пенетрации вяжущих с модулями упругости асфальтобетонов и асфальтополимербетонов на их основе	141

ПЫРИГ Я.И. Определение температуры хрупкости графо-экспериментальным методом	147
СВИНАРЕВ М. А. Аутогезия жидких вяжущих	152
СОХИНА С.И., ШЕВЧЕНКО О.Н. Противокоррозионные материалы на основе полистирола, модифицированные полиамидами фталевой кислоты и побочными продуктами коксохимии	157
МУТТАШАР АХМЕД ТАЛИБ О критериях сдвигоустойчивости дорожных асфальтобетонов в условиях республики Ирак	163
БОРОДАЙ Д.И. Прогноз долговечности типовых железобетонных плитных пролетных строений автодорожных мостов	169
ТОДИРИКА В.В., ДАВИДЕНКО А.А., ДОЛЯ А.Г., БОРОДАЙ Д.И. Усиление пролетного строения моста накладной железобетонной плитой	177
ЗАВЯЛОВ В.Н., НЕВГЕНЬ Н.А. Коррозионная стойкость кислотостойкого бетона автоклавного твердения в растворах солей	182
ГУЗИЙ С.Г. Защита металлоконструкций антикоррозийными геополимерными покрытиями от действия мокрой атмосферной коррозии	187
ГУБАРЬ В.Н., ЗАЙЧЕНКО Н.М., БЕЛЫЙ Е.А. Тонкозернистая сухая бетонная смесь наливного типа с комбинированным органо-минеральным модификатором на основе отходов промышленности	192

CONTENTS

POPOVA O. S., SAMOYLOVA O. E., KOCHERGIN YU. S., GRIGORENKO T. I. Vinylox is efficient diluent of epoxy compositions	3
GONCHARENKO V.V., ROMASYUK E.O. Upgrading of road asphalt properties by means of its modification by the secondary polyethylene of high pressure	11
ONISHCHENKO A. M., NEVINGLOVSKY V. F., RIZNICHENKO A. S., GARKUSHA M.V. Maintenance technique of track resistance of asphalt concrete pavement on cement concrete base	17
PAKTER M. K., BRATCHUN V. I., BESPALOV V. L., RYBALKO I. F., DEMESHKIN V. P., KONNOV M. S., STUKALOV A. A. Outlook of road organic binding material manufacture on base of low-temperature carbonization resins of low degree metamorphism hard fuels	26
GUBAR A. V. Sulphuric slime is mineral powder for cold-laid asphalt concrete made of cationic and emulsified polymer asphalt	40
NAGORNAYAN. P., KIBZUN V. N. Composition optimization of water tar slag mixers to carry out production of waterproof bricks	46
CHURSIN S. I., VESHNEVSKA V. G. Processing aspects of concrete durability	53
SHISHKINA A.A. Foam concrete for maintenance of buildings and constructions	58
ADAMOV A. U., SHISHKIN A.A. Aerated concrete modified by ferrous zeolite	63
PUNAGIN V.V. Features of structural formation of calcium hydrosilicates in activated cement system	68
PILIPENKO V.N. Impact of physical modification on structural formation of cement matrix of concrete	74
TIMCHENKO V. I., SOROKA V.A. Wide band photodetector on diamond film base	79
KHOBOTOVA E. B., UKHANYOVA M. I. Mining waste utilization as raw materials for cement production	85
VOZNESENSKY V.A., GAVRILYUK V.P., LYASHENKO T.V. Gas silicate with compromise levels of bending strength and deformability, heat conductivity and energy intensity of hardening	91
LEVCHENKO V.N., LEVCHENKO D.V., KIRICHENKO V.F. Methods of Building Structures Service Terms Analysis	99
LOBOV M.I., CHIRVA A.S., PEREVARYUKHA A.N. Terms of quality maintenance of construction and reliable operation of high-rise structures of tower and mast types	105
YEFREMOV A.N., LISHCHENKO A.N. Impact of additives of slag and fly ash of steam power plant (SPP) on heat-resistant properties of Portland cement foam concrete	112
GULYAK D.V. Ageing factors and stage of irreversible changes of composition, structure and properties of organic binders	116
YEFREMOV S. V., LAPCHENKO A. S. Fiber impact on physical and mechanical and rheological properties of asphalt concrete	121
TOLMACHYOV S.N., BELICHENKO O.A. Strength of pressed fine-grained cement concrete filled with carbon colloidal particles	128
MALIAR V. V. Finite element analysis of stressed and strained state of asphalt concrete (asphalt-polymer-concrete) in road pavement	135
LAPCHENKO A.S. Correlation of binders penetration with modulus of elasticity of asphalt concrete and asphalt-polymer-concrete on their base	141
PYRIG YA. I. Brittle temperature test by graphical and experimental method	147
SVYNAROV M. Autohesion of liquid binders	152
SOKHINA S. I., SHEVCHENKO O. N. Anticorrosive materials based on polystyrene modified with phthalic acid polyamides and by-products of chemical recovery coal carbonization	157

MUTTASHAR AHMED TALIB Criteria of shift stability of pavement asphalt concrete in terms of republic Iraq	163
BORODAY D.I. Durability forecast of standard reinforced concrete slab span of highway bridges	169
TODIRIKA V.V., DAVYDENKO A.A., DOLYA A.G., BORODAJ D.I. Strengthening of bridge span by an superimposed reinforced concrete slab	177
ZAVYALOV V. N., NEVGEN N. A. Corrosion resistance of acid-proof concrete of autoclave hardening in salt solutions	182
GUZIY S. G. Metal structures protection with corrosion-proof geopolymer coatings from effect of wet atmospheric corrosion	187
GUBAR V.N., ZAYCHENKO N.M., BELYI E.A. Fine-grained dry-batched concrete in bulk with combined organic and mineral modifier on base of industrial waste products	192