

# ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



**ВЫПУСК 2017-2(124)**

**СОВРЕМЕННЫЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры”

# **ВЕСТНИК**

**Донбасской национальной академии  
строительства и архитектуры**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

Издается с декабря 1995 года  
Выходит 8 раз в год

**Выпуск 2017-2(124)**

**СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ**

Макеевка 2017

ДООУ ВПО “Донбаська національна академія  
будівництва і архітектури”

# **ВІСНИК**

**Донбаської національної академії  
будівництва і архітектури**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

Видається з грудня 1995 року  
Виходить 8 разів на рік

**Випуск 2017-2(124)**

**СУЧАСНІ  
БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ**

Макіївка 2017

## **Основатель и издатель**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации серия ААА № 000094

выдано 17.01.2017 г. Министерством информации ДНР

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

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

Выпускается по решению ученого совета

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Протокол № 9 от 29.05.2017

## **Редакционный совет:**

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

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

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

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

## **Редакционная коллегия:**

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

Братчун В. И., д. т. н., профессор;

Горохов Е. В., д. т. н., профессор;

Ефремов А. Н., д. т. н., профессор;

Зайченко Н. М., д. т. н., профессор;

Левин В. М., д. т. н., профессор;

Лобов М. И., д. т. н., профессор;

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

Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор;

Петраков А. А., д. т. н., профессор;

Югов А. М., д. т. н., профессор;

Ядыкина В. В., д. т. н., профессор.

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

Программное обеспечение С. В. Гавенко

Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано к выпуску 30.05.2017

## **Адрес редакции и издателя**

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

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

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

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

<http://vestnik.donnasa.ru>

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

Выпущено в полиграфическом центре

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

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

© ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2017



**Засновник і видавець**

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

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

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

Випускається за рішенням Вченої ради  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»  
Протокол № 9 від 29.05.2017

**Редакційна рада:**

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

**Редакційна колегія:**

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

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

Підписано до випуску 30.05.2017

**Адреса редакції і видавця**

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

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

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

© ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», 2017

УДК 666.974.2

**Т. П. КИЦЕНКО, А. В. КУЛИШ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ОГНЕУПОРНЫЕ АЛЮМОСИЛИКАТНЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ**

**Аннотация.** Исследованы термомеханические свойства огнеупорных алюмосиликатных жидкостекольных бетонов с добавками шамотно-каолиновой пыли и термоактивированного каолина с отвердителями, не являющимися плавнями по отношению к заполнителям. Установлено, что ввод в состав бетона добавки шамотно-каолиновой пыли не снижает его термомеханические свойства. Разработанные алюмосиликатные бетоны характеризуются высокими термомеханическими свойствами и низкой себестоимостью по сравнению с рядовыми шамотными бетонами.

**Ключевые слова:** алюмосиликатные огнеупорные бетоны, жидкое стекло, термомеханические свойства, шамотно-каолиновая пыль, шамот, отвердитель.

**ВВЕДЕНИЕ**

Заполнители являются носителями огнеупорных свойств бетонов. Роль вяжущего сводится к обеспечению прочностных свойств, необходимых для транспортирования, монтажа и первого разогрева после твердения и сушки. Вяжущее в огнеупорных бетонах содержит, как правило, инородные по отношению к заполнителю оксиды, которые образуют с ними легкоплавкие эвтектики и снижают термомеханические свойства бетона по сравнению со свойствами заполнителей. Поэтому одним из основных направлений современной технологии огнеупорных бетонов является разработка низко- и особо низкоцементных бетонов (стандартами США (ASTM C-401-91) и Европейского Союза (ENV-1402) к ним отнесены композиции, содержащие не более 2,5 % CaO) [1, 2].

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

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

**ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Для изготовления вяжущих композиций использовались тонкомолотый шамот марки ШКН-2; ШКП с электрофильтров вращающихся печей Владимирского огнеупорного завода (Донецкая обл.), полученная при обжиге обжига шамота марки ШКВ-1. В сравнительных исследованиях использовался термоактивированный Новоселецкий каолин марки НК-1, обожженный при температуре 700 °С до полной потери связанной воды.

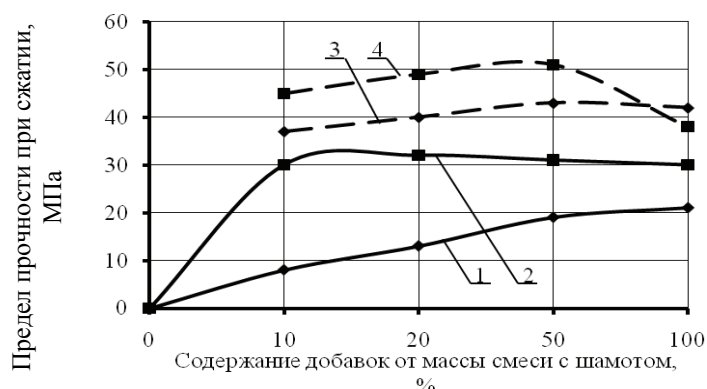
© Т. П. Киценко, А. В. Кулиш, 2017

Для затворения вяжущих смесей использовали стекло натриевое жидкое с силикатным модулем  $M_s = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2,9$ . Изменение силикатного модуля жидкого стекла осуществляли с учетом данных [5] добавлением соответствующего количества раствора гидроксида натрия.

В работах [3, 6] установлено, что жидкостекольные вяжущие композиции на основе ТАК проявляют достаточно высокую активность только при использовании жидких стекол с силикатным модулем 1,0–1,5 и плотностью не ниже 1,25 г/см<sup>3</sup>. Поэтому в сравнительных исследованиях влияния содержания добавок ТАК и ШКП на водопотребность и прочностные свойства камня вяжущих использовалось жидкое стекло с силикатным модулем 1,5 и плотностью 1,3 г/см<sup>3</sup>.

Результаты исследования влияния структурообразующих добавок на нормальную густоту смешанных вяжущих показывают, что увеличение содержания обеих добавок влечет прямопропорциональный рост нормальной густоты теста вяжущих. Однако повышение водопотребности от введения ШКП значительно ниже, чем от ТАК, т. к. нормальная густота самих этих добавок составляет соответственно 37,5 и 62,0 %.

Структурообразующая способность ТАК существенно выше, чем ШКП. Уже при его введении в количестве 10 % активность вяжущих нормального твердения составляет около 30 МПа, незначительно возрастая при дальнейшем увеличении содержания добавки до 20–30 % (рис.). Последующее повышение содержания ТАК влечет снижение прочности камня смешанных вяжущих. Связано это с поризацией камня вяжущего вследствие значительного повышения водопотребности.



**Рисунок** – Влияние содержания добавок ШКП и термоактивированного каолина на предел прочности камня вяжущих при сжатии: 1, 2 – соответственно вяжущие с добавками ШКП и термоактивированного каолина после 28 суток нормального твердения; 3, 4 – то же и сушки при 110 °С.

При использовании ШКП в качестве отвердителя жидкого стекла активность вяжущих нормального твердения непрерывно растет до 50%-ного содержания добавки. Дальнейшее увеличение добавки ШКП практически не влияет на прочность затвердевшего камня.

При оптимальном содержании 10...20 % ТАК и 25...35 % ШКП сушка вызывает увеличение прочности камня вяжущих соответственно до 45...50 и 40...42 МПа.

Смешанные вяжущие на основе шамота и ШКП способны к длительному твердению в нормальных условиях (табл. 1). В ранние сроки вяжущие с повышенным содержанием ШКП характеризуются более высокой относительной скоростью твердения. Прирост прочности вяжущих с меньшим содержанием ШКП после 28 суток твердения наоборот выше.

**Таблица 1** – Зависимость активности вяжущих от времени твердения в нормальных условиях, вида и количества структурирующих добавок

№ п/п	Состав вяжущего, % массы			Предел прочности при сжатии, МПа – перед скобками, % – в скобках, при времени твердения в сутках			
	шамот	ШКП	ТАК	7	28	90	360
1	75	25	–	10,4 (69)	15,0 (100)	17,8 (119)	19,6 (131)
2	50	50	–	13,8 (74)	18,7 (100)	20,9 (112)	22,1 (118)
3	75	–	25	24,5 (80)	30,5 (100)	33,6 (110)	35,4 (116)

Так, после 7 суток нормального твердения относительная к 28-дневной прочность камня вяжущего с 25 и 50 % ШКП составила соответственно 69 и 75 %, а после 180...360 суток 119...131 и 112...118 %.

Исследовано влияние температуры нагрева на прочностные свойства, объемную усадку и открытую пористость камня вяжущих (табл. 2). Установлено, что для камня вяжущих с 25 % ШКП и ТАК после прогрева в температурном интервале 300...500 и 300...700 °С характерно снижение прочности соответственно на 8...23 и 9...20 %. Дальнейший подъем температуры прогрева до 800 °С ведет к существенному повышению прочности камня: при введении ТАК – до 106, а ШКП – до 202 % от исходной прочности образцов, просушенных при температуре 110 °С. Увеличение содержания ШКП с 25 до 50 % влечет еще большее, почти в 2,5 раза, упрочнение камня, обожженного при 800 °С.

**Таблица 2** – Зависимость физико-механических свойств камня вяжущих от температуры прогрева, вида и количества структурирующих добавок

Показатели свойств	№ п/п составов по табл. 1	Температура прогрева, °С					
		110	300	500	600	700	800
Предел прочности при сжатии, МПа – числитель, % – знаменатель	1	<u>38,8</u> 100	<u>30,1</u> 77	<u>35,7</u> 92	<u>41,5</u> 107	<u>46,2</u> 119	<u>76,4</u> 202
	2	<u>39,6</u> 100	<u>37,6</u> 95	<u>43,7</u> 110	<u>44,8</u> 113	<u>49,4</u> 125	<u>92,1</u> 232
	3	<u>45,5</u> 100	<u>38,7</u> 85	<u>40,5</u> 89	<u>36,6</u> 80	<u>41,4</u> 91	<u>48,2</u> 106
Объемная усадка, %	1	0	0,60	0,71	0,76	0,96	2,42
	2	0	1,05	1,65	2,04	2,63	6,87
	3	0	0,92	0,98	1,08	1,63	4,21
Открытая пористость, %	1	32,5	32,0	31,3	30,6	28,5	22,2
	2	34,5	34,1	33,7	33,4	32,9	22,5
	3	30,8	30,7	30,1	29,2	28,1	26,1

Прогрев сопровождается непрерывной объемной усадкой образцов. Наиболее заметное их сокращение происходит после прогрева при 300 °С (0,60...1,05 %) и, особенно в температурном интервале 700...800 °С (1,46...4,24 %). Первый скачок усадки связан с дегидратацией связки камня вяжущих, второй – с интенсивным ее спеканием. Интенсивное спекание композиций при 800 °С, особенно с добавкой ШКП, сопровождается значительным сокращением открытой пористости. Это сокращение открытой пористости тем выше, чем выше содержание ШКП.

На основе исследуемых вяжущих с использованием в качестве заполнителя шамота ШКН-2 и муллитокорунда подобраны составы виброформованных бетонов, основные термомеханические свойства которых приведены в табл. 3.

**Таблица 3** – Основные термомеханические свойства алюмосиликатных бетонов

Предел прочности при сжатии, МПа				Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>		Открытая пористость, %		Огнеупорность, °C	Температура деформации под нагрузкой, °C	
после прогрева при температуре, °C									начало	40 %
20	110	800	1 400	110	1 400	110	1 400			
Шамотный бетон										
14,7	27,6	33,5	37,8	2 119	2 064	22,5	18,2	1 760	1 305	1 360
Шамотный бетон с добавкой ШКП										
12,4	25,2	26,5	34,8	2 104	2 049	22,3	18,4	1 750	1 305	1 360
Муллитокорундовый бетон										
16,4	26,7	30,7	39,0	2 760	2 720	24,2	21,5	1 950	1 420	1 780

Проведенные исследования показали, что дополнительное введение Na<sub>2</sub>O в количестве 1,25–1,80 % практически не сказывается на огнеупорности алюмосиликатных бетонов. Например, по сравнению с огнеупорностью бетона на шамотном заполнителе, которая составляет 1 760 °С, огнеупорность бетона с добавкой ШКП ниже всего на 10 °С. Связано это, вероятно, с относительным снижением содержания глинозема.

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

После твердения в нормальных условиях в течение 28 суток все бетоны характеризуются невысокой прочностью, равной 12,4...16,4 МПа. После сушки до постоянной массы при температуре 110 °С предел прочности бетонов увеличивается практически в 2 раза. Характерно, что чем ниже гидравлическая активность бетонов в нормальных условиях, тем выше относительный прирост их прочности при сушке. После обжига при температуре 800 °С прочность бетона состава на рядовых шамотных наполнителе и заполнителях увеличивается на 105 %. Испытания алюмосиликатных бетонов в холодном состоянии после обжига при температуре 1 400 °С показали, что их прочность существенно возрастает от 137...138 % для шамотных до 146...152 % для муллитокорундовых составов.

Средняя плотность шамотного бетона после сушки составляет 2 104...2 119 кг/м<sup>3</sup>, после прогрева при 1 400 °С она снижается до 2 049...2 064 кг/м<sup>3</sup>. Снижение средней плотности происходит за счет удаления воды, связанной гидросиликатами связки и содержащейся в ШКП. Аналогичное снижение средней плотности от 2 760 до 2 720 кг/м<sup>3</sup> характерно и для муллитокорундовых бетонов.

Открытая пористость алюмосиликатных бетонов после сушки равна 22,3...22,5 %, понижаясь после обжига соответственно на 3,9...4,3 % у шамотных и 2,7 % у муллитокорундовых бетонов.

Также установлено, что алюмосиликатные бетоны отличаются высокой термостойкостью. Так, после 50 циклов водных теплосмен 800 °С ↔ 20 °С шамотный бетон сохраняет свою исходную прочность. Муллитокорундовый бетон имеет более низкую термостойкость. Однако она несоизмеримо выше, чем, например, термостойкость шамотного бетона на жаростойком портландцементе. После 50 водных теплосмен бетон сохраняет 50 % исходной прочности. Предварительный обжиг алюмосиликатных бетонов при температуре 1 400 °С ведет к заметному снижению их термостойкости, что связано, вероятно, с уплотнением бетонов.

## ВЫВОДЫ

1. Показано, что ШКП играет активную структурообразующую роль при твердении и особенно при нагреве алюмосиликатных вяжущих с шамотным наполнителем, затворенных низкомолекулярным жидким стеклом.

2. После 28 суток нормального твердения прочность камня вяжущего из теста нормальной густоты составляет 15...20 МПа, после сушки она увеличивается в 2,0–2,8 раза, а после прогрева при 800 °С достигает 76...92 МПа.

3. В результате интенсивного спекания уже при средней температуре 800 °С камень вяжущих претерпевает значительное уплотнение, его открытая пористость снижается примерно в 1,5 раза.

4. Разработанные алюмосиликатные бетоны на основе модифицированных вяжущих характеризуются высокими термомеханическими свойствами. Ввод в состав бетона добавки ШКП не снижает его термомеханические свойства по сравнению с рядовыми шамотными бетонами.

5. С разработанными вяжущими в состав бетонов будет вводиться 1,5...2,0 % Na<sub>2</sub>O, это позволяет отнести их к разряду «низкоцементных» и прогнозировать успешное использование в огнеупорных бетонах взамен дефицитного и дорогого высокоглиноземистого цемента.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пивинский, Ю. Е. Керамобетоны – заключительный этап эволюции низкоцементных огнеупорных бетонов (часть I) [Текст] / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры и техническая керамика. – 2000. – № 1. – С. 11–15.
2. Пивинский, Ю. Е. Новые огнеупорные бетоны и вяжущие системы – основополагающее направление в разработке, производстве и применении огнеупоров в XXI веке. Часть I. Тенденции развития, вяжущие системы [Текст] / Ю. Е. Пивинский // Огнеупоры и техническая керамика. – 1998. – № 2. – С. 4–13.
3. Деркач, М. В. Алюмосиликатные и кремнеземистые огнеупорные бетоны с повышенными термомеханическими свойствами [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / М. В. Деркач ; ДонГАСА. – Макеевка, 2002. – 22 с.
4. Патент 43748 Україна, С 04 В 28/26. Вогнетривка бетонна суміш [Текст] / Єфремов О. М., Братчун В. І., Деркач М. В. [та ін.] ; патентовласник Донбаська державна академія будівництва і архітектури. – № 2001075443 ; заявл. 31.12.2001 ; опубл. 17.12.2001, Бюл. № 11. – 3 с.
5. Григорьев, П. Н. Растворимое стекло [Текст] / П. Н. Григорьев, В. И. Матвеев. – М. : Промстройиздат, 1956. – 443 с.

6. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях [Текст] / Под ред. В. Д. Глуховского. – К. : Вища шк., 1981. – 224 с.

Получено 05.12.2016

Т. П. КИЦЕНКО, А. В. КУЛИШ  
ВОГНЕТРИВКІ АЛЮМОСИЛІКАТНІ БЕТОНИ НА ОСНОВІ  
МОДИФІКОВАНИХ ЛУЖНИХ В'ЯЖУЧИХ  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Досліджено термомеханічні властивості вогнетривких алюмосиликатних рідкоскляних бетонів з домішками шамотно-каолінового пилу і термоактивованого каоліну з отверджувачами, що не є плавнями до заповнювачів. Встановлено, що введення у склад бетону домішки шамотно-каолінового пилу не знижує його термомеханічні властивості. Розроблені алюмосиликатні бетони характеризуються високими термомеханічними властивостями та низькою собівартістю у порівнянні з рядовими шамотними бетонами.

**Ключові слова:** алюмосиликатні вогнетривкі бетони, рідке скло, термомеханічні властивості, шамотно-каоліновий пил, шамот, отверджувач.

TATYANA KITSENKO, ANASTASIYA KULISH  
FIRE-RESISTANT ALUMINA-SILICATE CONCRETES BASED ON MODIFIED  
ALKALINE BINDERS  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Thermo mechanical properties of fire-resistant alumina-silicate liquid-glass concrete with additives of kaolin fug and thermo activated kaolin with the hardeners that are not fluxes for aggregates, have been examined. It has been established that input of admixture of kaolin fug in the structure of concrete does not reduce its thermo mechanical properties. The developed alumina-silicate concrete is characterized by high thermo mechanical properties and the low cost price in comparison with ordinary kaolin concrete.

**Key words:** alumina-silicate fire-resistant concrete, liquid glass, thermo mechanical properties, kaolin fug, chamotte, hardener.

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

**Кулиш Анастасия Владимировна** – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: огнеупорные бетоны.

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

**Куліш Анастасія Володимирівна** – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вогнетривкі бетони.

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

**Kulish Anastasiya** – Master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: fire-resistant concretes.

УДК 69.059.7:725.4

**В. Н. ЛЕВЧЕНКО, Н. А. НЕВГЕНЬ, А. А. ХРАМОГИН**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА  
ИНТЕНСИФИКАЦИЮ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ  
ЗДАНИЙ**

**Аннотация.** Преимущественное направление капитальных вложений на техническое перевооружение и реконструкцию действующих промышленных предприятий будет в перспективе оставаться одним из важнейших направлений в повышении эффективности капитальных вложений в промышленное производство. Техническое перевооружение и реконструкция действующих предприятий, являясь одной из форм расширенного воспроизводства основных фондов, способствуют прежде всего обновлению и качественному совершенствованию существующих средств труда, повышению роли технической оснащенности действующих предприятий, автоматизации и механизации производства в соответствии с требованиями научно-технического прогресса. Наибольший эффект от реконструкции и технического перевооружения имеется в тех случаях, когда применение комплексной механизации и автоматизации производства сочетается с внедрением принципиально новых технологических процессов. Техническое перевооружение и реконструкция позволяют в значительно более короткий срок, чем при новом строительстве или расширении, достичь относительно быстрого увеличения объема выпуска продукции, роста производительности труда, эффективного использования сырья и материалов, а также повышения качества изделий, что непосредственно отражается на снижении себестоимости изделий, росте массы прибыли и рентабельности производства. При этом обеспечивается значительное повышение эффективности капитальных вложений за счет снижения удельных капитальных затрат на единицу мощности, сокращения сроков создания и освоения мощностей и, следовательно, окупаемости вложенных средств. В статье рассмотрены общие вопросы реконструкции производственных зданий, а также примеры архитектурно-строительной реконструкции предприятий и производственных зданий отдельных отраслей промышленности.

**Ключевые слова:** реконструкция, интенсификация, эффективность, планировочные резервы, моральный износ.

Возросшая роль реконструкции и ее влияние на интенсификацию производства определяют необходимость комплексной научной разработки всех вопросов эффективности капитальных вложений в действующие производства. Несмотря на все возрастающие объемы реконструкции, в настоящее время отсутствует методика комплексной оценки внешних и внутренних факторов для выбора оптимального направления развития предприятий.

Положительная практика реконструкции предприятий в достаточной мере не обобщена и не систематизирована. Не исследованы вопросы размещения современных производств в существующих зданиях, упорядочения застройки, совершенствования системы социального обслуживания на действующих предприятиях, совершенствования архитектурно-художественных качеств промышленной застройки, технико-экономической оценки различных направлений развития предприятий. Все это приводит к тому, что на многих предприятиях при их реконструкции и расширении застройка приобретает хаотический характер, усложняются объемно-планировочные решения производственных зданий, реконструируемые системы инженерного обеспечения, культурно-бытового обслуживания не всегда в полной мере учитывают потребности развивающегося производства. При реконструкции не во всех случаях своевременно учитываются изменяющиеся градостроительные условия (особенно размещения), застройка происходит без соответствующей связи с окружением. Не в полной мере используются возможности кооперирования подсобно-производственных и вспомогательных объектов предприятий, расположенных на смежных площадках, поскольку вопрос реконструкции предприятия

© В. Н. Левченко, Н. А. Невгень, А. А. Храмогин, 2017

решается локально, без взаимной увязки с реконструкцией соседних производств. По этой же причине в ряде случаев идет распыление капитальных вложений в реконструкцию мелких предприятий, не имеющих необходимых планировочных резервов, в то время как на смежных предприятиях такие резервы имеются. Мало работ по реконструкции предприятий проводится на основе комбинирования и специализации производств.

Отсутствие соответствующей нормативной документации приводит к тому, что вопросы использования или сноса старых производственных зданий в аналогичных ситуациях различными проектными организациями решаются по-разному. Некоторые проектные решения предусматривают интенсивный снос существующих зданий и строительство вместо них новых, хотя эти здания могут быть если не полностью, то частично использованы для размещения непроизводственных служб предприятия.

Выбор планировочных мероприятий по реконструкции предприятий определяется характером застройки, градостроительными условиями, требованиями к архитектурно-пространственной организации реконструируемого производства. Объем архитектурно-строительной реконструкции определяется возрастом предприятия. Так, например, предприятия машиностроения в соответствии с уровнем производства и с учетом общности пространственной организации можно разделить на три основные группы.

**К первой группе** могут быть отнесены предприятия, построенные до 1945 г. Характерным для этой группы предприятий являются хаотическая застройка территории, сложная конфигурация зданий, их малая приспособленность к размещению современного технологического оборудования. Все это явилось препятствием при переходе к более высокому уровню организации производства.

**Ко второй группе** относятся предприятия, построенные в послевоенный период, с 1945 до 1960 г. В это время появились предприятия с определенной системой, компактным, четко построенным генпланом, прямоугольной сетью проездов, использованием зданий с унифицированными параметрами. Однако развитие производства после завершения строительства привело к стихийности дальнейшей застройки. На многих заводах значительно усложнилась форма участка, они вышли за границы первоначально отведенной территории.

Для предприятий **третьей группы** характерны современные производственные комплексы с относительно большими участками, укрупненными размерами зданий, увязка с окружающей застройкой.

Из приведенных характеристик «возрастных» групп предприятий машиностроения вытекают и объемы строительно-монтажных работ при реконструкции. Так, для первой группы обеспечение современных требований к промышленным предприятиям может в ряде случаев потребовать значительно большего объема капитальных вложений, чем на создание нового предприятия аналогичной мощности. В этом случае целесообразным могут оказаться ликвидация нескольких мелких предприятий и создание вместо них нового крупного. Освобождаемые от технологических линий производственные здания при их хорошей сохранности после соответствующей перестройки могут быть использованы для непроизводственных целей. Предприятия второй «возрастной» группы, как правило, достаточно легко поддаются реконструкции и техническому перевооружению.

Следует отметить, что приведенная выше классификация предприятий характерна для отраслей, историческое развитие которых происходило аналогично машиностроению. Иному развитию производства будут соответствовать и другие группы близких по своим параметрам предприятий, а следовательно, и другие объемы строительно-монтажных работ при реконструкции.

Так же, как и предприятия, производственные здания в зависимости от их типологических особенностей, времени строительства, эксплуатационных качеств могут быть разделены на несколько типов, каждому из которых соответствует определенный перечень строительно-монтажных работ, выполняемых при реконструкции. Эта классификация также, как и группировка предприятий, должна носить отраслевой характер и соответствовать историческому ходу развития производства в отрасли. В приборостроении существуют еще в настоящее время многоэтажные здания непроизводственного назначения (первый тип).

Архитектурно-строительная реконструкция зданий первого типа не может полностью их приспособить к иным требованиям из-за раздробленности помещений, малой их высоты, низких расчетных нагрузок на перекрытия.

Ко второму типу зданий приборостроительной промышленности могут быть отнесены многоэтажные производственные здания с сеткой колонн менее 6 м, кирпичными несущими стенами, монолитными перекрытиями и скатной кровлей. Ширина таких зданий не превышает 30 м. В таком здании



размещены, например, основные производства завода «Электросвет» в Москве. Общая протяженность 4-этажного Г-образного в плане здания составляет около 200 м, его ширина колеблется от 17 до 22 м. Здание имеет нерегулярную сетку колонн, равную примерно  $3,5 \times 4,0$  м, высота этажей равна 4,5 или 6,0 м.

Общее архитектурное решение зданий этого типа отличается своеобразием и выразительностью, поэтому при их реконструкции особое внимание должно быть обращено на сохранение архитектурных качеств объектов.

**Третий тип** зданий, находящихся в эксплуатации на предприятиях приборостроения, представляет собой 1-этажные здания дореволюционной постройки. Эти здания имеют неунифицированные параметры, скатные покрытия, кирпичные стены, несущие конструкции выполнены из монолитного железобетона. Характер реконструкции определяется состоянием строительных конструкций и параметрами реконструируемого производства.

Поскольку одноэтажные здания, как правило, имеют достаточно большие высоты и сетки колонн, то они сравнительно легко приспособляются под меняющиеся требования технологии. Большая площадь застройки одноэтажных зданий, острый дефицит площадей на действующих предприятиях могут определить в ряде случаев целесообразность их сноса для использования освободившейся территории под строительство многоэтажных зданий.

**К четвертому типу** зданий приборостроения могут быть отнесены 3, 4, 5-этажные здания с сеткой колонн  $(7+3+7)$  6 или  $(6+6+6)$  6 м. Высота этажей в этих зданиях составляет 4,2; 4,8 и 5,4 м. Наибольшая ширина зданий определена требованиями естественного освещения и вентиляции. Несущие стены выполнялись из кирпича, перекрытия – из ребристых железобетонных плит по сборным ригелям. Возведение таких зданий характерно для 50-х годов прошлого века. Объем архитектурно-строительной реконструкции таких зданий, как правило, невелик.

И наконец, **пятую группу** образуют современные здания, запроектированные с учетом необходимости их реконструкции в процессе эксплуатации.

Изучение проектов реконструкции предприятий точного машиностроения и приборостроения показывает, что виды строительных работ при реконструкции существующих зданий обуславливаются изменениями объемно-планировочных элементов и параметров зданий, подъемно-транспортного и технологического оборудования, санитарно-технических устройств, низкими эксплуатационными качествами существующих конструкций, необходимостью строительства новых частей зданий и др.

Наибольшие трудности возникают при реконструкции зданий, эксплуатируемых свыше 45...50 лет и характеризующихся сложным планом, большим числом примыканий частей разной высоты, наличием деревянных конструкций, кирпичных стен и колонн со значительными повреждениями и т. д. Реконструкция такого рода объектов связана обычно с выполнением большого объема разнообразных строительных работ и большими затратами.

Анализ проектов реконструкции позволили установить наиболее характерный перечень строительно-монтажных работ по реконструкции зданий. Усиление кирпичных стен и колонн обычно производится путем устройства обойм. Перекрытия усиливаются с помощью разгружающих конструкций, представляющих собой систему металлических балок, воспринимающих увеличенную нагрузку. Разгружающие конструкции сооружаются над существующими перекрытиями или подводят под существующее перекрытие.

При замене существующих и сооружении новых частей здания используют, как правило, унифицированные железобетонные конструкции, а также монолитный железобетон или металлические конструкции. Конструктивные решения при этом, как правило, носят индивидуальный характер, обусловленный необходимостью приспособить их к конкретным условиям реконструкции.

При проектировании и реконструкции большое внимание уделяется разработке решений, обеспечивающих выполнение строительных работ без остановки производства.

Следует отметить, что перечень работ по архитектурно-строительной реконструкции, полученный в результате анализа предприятий машино- и приборостроения, характерен и для многих отраслей промышленности (табл.).

Характер архитектурно-строительной реконструкции промышленных предприятий и ее возможности во многом зависят от условий их размещения. Особые условия необходимы для разработки проекта реконструкции предприятия, размещенного в условиях городской застройки. Здесь помимо необходимости развития производства возникают исторически складывающиеся проблемы ликвидации «несовместимости» промышленной и селитебной застройки. Достаточно характерными для города являются предприятия швейной, обувной и трикотажной промышленности.

**Таблица** – Строительно-монтажные работы, выполняемые при реконструкции предприятий машиностроения и приборостроения

Реконструируемые элементы зданий	Мероприятия
Объемно-планировочные параметры	Увеличение высоты помещений в 1-этажных зданиях или в верхних этажах многоэтажных зданий, изменение сетки колонн в 1-этажных зданиях
Подъемно-транспортное оборудование	Подвеска дополнительных кранов, установка кранов большей грузоподъемности, строительство крановых эстакад внутри цехов
Наружные кирпичные несущие стены	Усиление и наращивание кирпичных стен, замена стенового ограждения, устройство проемов в кирпичных стенах
Покрытия, кровли	Замена всего покрытия, плит покрытия и кровли, устройство фонарей и легкобрасываемой кровли
Перекрытия	Замена междуэтажных перекрытий, усиление перекрытий и плит перекрытий, устройство подвесных потолков и дополнительных перекрытий
Колонны	Усиление и наращивание колонн
Фундаменты	Устройство фундаментов колонн и фундаментов под оборудование
Вентиляционное оборудование, инженерные коммуникации	Устройство отверстий в плитах покрытий, строительство вентиляционных шахт, устройство венткамер, установка стальных накрывных вентиляторов, зонтов на кровле, устройство приямков, каналов, тоннелей, пристройка лифтовых шахт, строительство эстакад для прокладки инженерных коммуникаций
Новые помещения	Строительство галерей, пристройки, надстройки, расширение подвалов

Как показывает практика, реконструкция этих предприятий происходит по таким основным направлениям:

- перебазирование производства на территорию аналогичных предприятий или на новую площадку,
- реконструкция существующей застройки с одновременным строительством новых зданий за счет увеличения промышленной площадки,
- реконструкция существующей застройки со строительством новых зданий и пристроек в пределах существующей площадки,
- поэтапный снос существующих зданий и строительство вместо них новых объектов,
- строительство кооперированных объектов подсобного и вспомогательного назначения для группы предприятий.

Перебазирование производства обуславливается целесообразностью территориального присоединения филиалов предприятий или их отдельных цехов, размещенных в непригодных зданиях, к основным или аналогичным предприятиям, имеющим планировочные резервы, а также необходимостью вывода производства с существующих площадок в связи с преобразованием архитектурно-планировочной структуры населенных мест.

## ВЫВОД

Рассмотренные выше примеры архитектурно-строительной реконструкции предприятий и производственных зданий отдельных отраслей промышленности показывают возможность систематизации и обобщения опыта выполнения этих работ и создания соответствующих нормативных рекомендательных документов с целью повышения эффективности капитальных вложений, направленных на совершенствование действующих предприятий. Важнейшим элементом этих документов должна стать методика оценки степени физического и морального износа производственных зданий, определяющая размеры затрат на работы по архитектурно-строительной реконструкции. Показатель степени износа зданий может стать определяющим при решении вопроса о возможности дальнейшего использования старых зданий. С использованием показателя износа зданий может быть проведена их инвентаризация в различных отраслях промышленности. С учетом результатов инвентаризации, учитывающей износ зданий, могут определяться капитальные вложения, направленные на развитие той или иной отрасли народного хозяйства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губій, М. М. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд [Текст] : Навч. посібник / М. М. Губій. – Полтава : Полтавський державний університет імені Ю. Кондратюка, 2000. – 147 с.

2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 78 с. – (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Державні будівельні норми України).
3. Калинин, В. М. Оценка технического состояния зданий [Текст] : Учебник / В. М. Калинин, С. Д. Сокова. – М. : ИНФРА, 2009. – 267 с.
4. Костюковский, М. Г. О целесообразности укрупнения сетки колонн в одноэтажных промышленных зданиях массового назначения с покрытиями из плоскостных конструкций [Текст] / М. Г. Костюковский, М. С. Цалалихин, М. Г. Замаев // Железобетонные конструкции промышленных зданий. – М. : Стройиздат, 1969. – Вып. 1. – С. 21–32.
5. Порывай, Г. А. Предупреждение преждевременного износа зданий [Текст] / Г. А. Порывай. – М. : Стройиздат, 1989. – 284 с.
6. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении [Текст] / Харьковский ПромстройНИИпроект [и др.]. – М. : Стройиздат, 1990. – 176 с.
7. Шагин, А. Л. Реконструкция зданий и сооружений [Текст] : Учебное пособие для строительных вузов / А. Л. Шагин. – М. : Высшая школа, 1991. – 352 с.

Получено 06.12.2016

# В. М. ЛЕВЧЕНКО, М. О. НЕВГЕНЬ, О. А. ХРАМОГІН АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНА РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ЕКСПЛУАТОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ БУДІВЕЛЬ ДОНБУСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

**Анотація.** Переважне спрямування капітальних вкладень на технічне переозброєння і реконструкцію діючих промислових підприємств буде в перспективі залишатися одним з найважливіших напрямків у підвищенні ефективності капітальних вкладень у промислове виробництво. Технічне переозброєння і реконструкція діючих підприємств, будучи однією з форм розширеного відтворення основних фондів, сприяють насамперед оновленню та якісному вдосконаленню існуючих засобів праці, підвищенню ролі технічної оснащеності діючих підприємств, автоматизації і механізації виробництва згідно з вимогами науково-технічного прогресу. Найбільший ефект від реконструкції і технічного переозброєння є в тих випадках, коли застосування комплексної механізації і автоматизації виробництва поєднується з впровадженням принципово нових технологічних процесів. Технічне переозброєння і реконструкція дозволяють в значно коротший термін, ніж при новому будівництві чи розширенні, досягти швидкого збільшення обсягу випуску продукції, зростання продуктивності праці, ефективного використання сировини і матеріалів, а також підвищення якості виробів, що безпосередньо позначається на зниженні собівартості виробів, зростанні маси прибутку і рентабельності виробництва. При цьому забезпечується значне підвищення ефективності капітальних вкладень за рахунок зниження питомих капітальних витрат на одиницю потужності, скорочення термінів створення і освоєння потужностей і отже окупності вкладених коштів. У статті розглянуто загальні питання реконструкції виробничих будівель, а також приклади архітектурно-будівельної реконструкції підприємств і виробничих будівель окремих галузей промисловості.

**Ключові слова:** реконструкція, інтенсифікація, ефективність, планувальні резерви, моральний знос.

## VIKTOR LEVCHENKO, NIKOLAI NEVGEN, ALEKSANDR KHRAMOGIN REFURBISHMENT OF PROCESS BUILDINGS Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Priority lines of capital investments into engineering re-equipment and refurbishment of operating industrial enterprises will be in sight of one of the most important trends in efficiency increase of capital investments into industrial production. Engineering re-equipment and refurbishment of operating enterprises, being one of the expanded reproduction forms of capital assets, first of all, contribute to renewal and qualitative development of existing instruments of labour, increase of engineering equipment function of operating enterprises, automation and mechanization of production in accordance to the demands of progress in science and technology. There is the biggest effect and benefit from the refurbishment and engineering re-equipment in cases when application of mechanization and automation of production are combined with an integration of the latest manufacturing methods. Engineering re-equipment and refurbishment permit, in significantly short period of time than at new building or expansion, reaching relatively fast enlargement of product release, increase productivity of labour, efficient use of raw materials and also improvement of quality resulting in cost reduction, mass of profit growth and production

profitability. In this case, significant increase of efficiency of capital investments is provided in account of specific capital costs to a power unit, reduction of formation and mastering of facilities and, consequently, investment recoupment. The paper deals with general problems of refurbishment of process buildings and examples of architectural and structural refurbishment of enterprises, and process buildings of some branches of industry.

**Key words:** refurbishment, intensification, efficiency, planning reserves, moral depreciation.

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

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

**Храмогин Александр Андреевич** – магистр ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование экономичных строительных конструкций и разработка оптимальных конструктивных и объемно-планировочных решений промышленных зданий и инженерных сооружений.

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

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

**Храмогін Олександр Андрійович** – магістр ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування економічних будівельних конструкцій і розробка оптимальних конструктивних і об'ємно-планувальних рішень промислових будівель та інженерних споруд.

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

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

**Khramogin Aleksandr** – Master, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: economically attractive building structures design and developing the structural and spatial designs of industrial buildings and engineering structures.

УДК 665.775:620.1

**В. И. БРАТЧУН, М. К. ПАКТЕР, В. Л. БЕСПАЛОВ, Д. В. ГУЛЯК, Р. В. ПАРАЩЕВИН, А. С. МАНДЫЧ**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ СТРУКТУР В НЕФТЯНЫХ БИТУМАХ МЕТОДОМ ДСК**

**Аннотация.** Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) изучены дисперсные структуры в битуме БНД 40/60, выдержанном при комнатной температуре в течение 3 лет. Для идентификации этих структур использовали ДСК групповых химических компонентов битума и повторный нагрев каждого образца (для выявления исчезающих аномалий на кривых ДСК). Идентифицировали следующие структуры (и температуры их разрушения): кристаллы насыщенных соединений, парафино-асфальтеновые комплексы, мицеллы и их коагуляционные структуры, асфальтеновые наноагрегаты.

**Ключевые слова:** нефтяной битум, дисперсные структуры, дифференциальная сканирующая калориметрия.

Нефтяные битумы при обычных температурах являются дисперсными системами (ДС). Три группы компонентов (масла – М, смолы – С и асфальтены – А) определяют их структурные состояния и свойства [1].

Установлено наличие в битумах дисперсных фаз (ДФ) различной природы. Прежде всего, это ДФ на основе асфальтеновых наноагрегатов, которые формируют при определенных концентрациях мицеллы, устойчивые в определенном диапазоне температур [1, 2]. Другой вид ДФ – кристаллы и кристаллиты насыщенных соединений (НС) [3]. Зафиксировано образование мезофазы на основе парафино-асфальтеновых композитов [4].

Существование и наблюдение этих фаз зависит от термической предыстории битума (от степени неравновесности структуры) [1], температуры и времени наблюдения [3–5].

При использовании метода дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для обнаружения этих фаз задача осложняется молекулярной и функциональной неоднородностью групповых компонентов битума [1], различием в степени упорядоченности асфальтенов и изменением характера и интенсивности межмолекулярных взаимодействий компонентов битума с изменением температурой [2].

Эти осложнения приводят к тому, что в битуме могут сосуществовать одновременно несколько фаз. Найдем, исходя из правила фаз (для условий изготовления и эксплуатации дорожного покрытия  $C + \Phi = K + 1$ ), максимальное количество фаз ( $\Phi$ ) в битуме как инвариантной (число степеней свободы  $C = 0$ ) и моновариантной ( $C = 1$ , изменение температуры) системе. Рассмотрим в качестве независимых компонентов ( $K$ ) битума асфальтены ( $A$ ); смолы ( $C$ ); способные к образованию кристаллов и кристаллитов парафино-нафтеносодержащие углеводороды и парафиновые заместители в других молекулах ( $\Pi_k$ ); масла ( $M_n$ ) битума за вычетом  $\Pi_k$  ( $M_n = M - \Pi_k$ ):

при  $C = 0$        $\Phi = 5$ ,

при  $C = 1$        $\Phi = 4$ .

Отсюда следует, что аномалии на температурной кривой ДСК могут быть связаны с превращениями, происходящими одновременно в нескольких фазах или в одной из нескольких сосуществующих фаз (максимум – в четырех).

### ЦЕЛЬ ДАННОЙ РАБОТЫ

Идентифицировать ДФ в окисленном битуме БНД 40/60 методом ДСК, т. е. отнести аномалии кривых ДСК к упомянутым надмолекулярным структурам.

С этой целью изучали исходный битум в равновесном («отожженном») состоянии и выделенные из него групповые компоненты в том же состоянии (М, С, А), используя два последовательных нагрева и сопоставляя полученные кривые ДСК.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследовали окисленный битум – нефтяной дорожный вязкий БНД 40/60 (тот же, что и в работе [6]). Его технические характеристики и групповой химический состав (ГХС) приведены в табл. 1. ГХС определяли методом адсорбционной жидкостной хроматографии [7, 8].

**Таблица 1** – Характеристика и ГХС битума БНД 40/60 [6]

Показатель и единицы измерения	Значение показателя
Пенетрация, дмм	
при 25°C (П <sub>25</sub> )	46
при 0°C (П <sub>0</sub> )	13
Температура размягчения (метод КиШ), °C	48
ГХС	
% к массе битума:	
масла	52,2
смола	28,4
асфальтены	19,4
% к массе масел:	
ПН	76,6
АУВ	23,4
% к массе смол:	
ПБС	59,2
СБС	40,8

Асфальтены выделяли из бензольного раствора битума 40-кратным избытком петролейного эфира (40...70 °C) с последующим переосаждением.

Мальтеновую часть разделяли на масла и петролейно-бензольные смолы (ПБС) адсорбционно-хроматографическим методом на силикагеле. Содержание спирто-бензольных смол (СБС) находили по разности.

Характеристики первых хроматографических фракций приведены в табл. 2: фракция № 1 – парафино-нафтеновые углеводороды (ПН1), фракция № 2 – парафино-нафтеновые и легкие ароматические углеводороды (ПН2); фракция № 3 средняя и тяжелая (в т. ч. полициклическая) ароматика (АУВ); фракция № 4 – первая фракция ПБС (элюируется смесью петролейного эфира (95 %) и бензола (5 %)).

**Таблица 2** – ИК-спектроскопия хроматографических фракций

№ фракции	Выход, % к массе битума	$A_{\text{п}}$	$A_{\text{Ар}}$	$A_{\text{о}}$
1	15,3	0,629	–	–
2	24,7	0,654	0,188	–
3	12,2	0,687	0,227	0,010
4	1,5	0,744	0,246	0,050

Эти фракции исследованы методом ИК-спектроскопии в жидкой пленке [6, 9, 10] на приборе Spekord IR-75 в области 3 600–700 см<sup>-1</sup>. Разветвленность парафиновых цепей оценивали по отношению оптических плотностей (D) полос поглощения 1 380 см<sup>-1</sup> ( $\delta_{\text{CH}_3}$ ) и 1 460 см<sup>-1</sup> ( $\delta_{\text{CH}_2}$ ):  $A_{\text{п}} = D_{1380} / D_{1460}$ . Содержание ароматических структур:  $A_{\text{Ар}} = D_{1600} / D_{1460}$ . Содержание кислородосодержащих структур  $A_{\text{о}} = D_{1700} / D_{1460}$ .

Исследования методом ДСК выполнены на приборе DSC 200 F3 Maia (фирма NETZSCH, ФРГ) в алюминиевых чашках в токе гелия (20 мл/мин), навеска 10 мг.

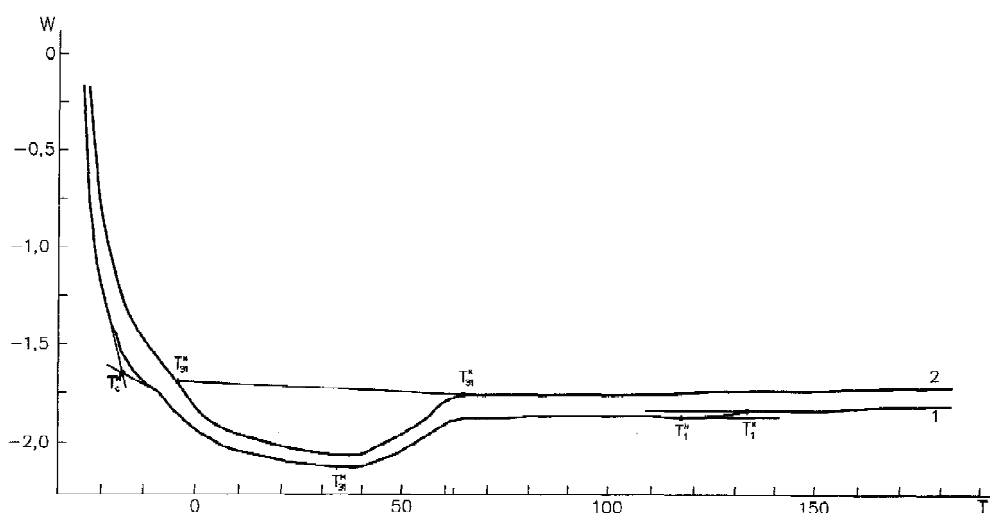
Сигнал ДСК записан с линейной скоростью нагрева  $\nu = 20$  К/мин.

**Температурная программа:** нагрев образца до  $50^\circ\text{C}$  ( $\nu = 20$  К/мин) / изотерма 2 мин / охлаждение до  $-30^\circ\text{C}$  ( $\nu = 20$  К/мин) / нагрев до  $180^\circ\text{C}$  ( $\nu = 20$  К/мин) – это первый нагрев; изотерма при  $180^\circ\text{C}$  (5 мин) / охлаждение до  $-30^\circ\text{C}$  ( $\nu = 20$  К/мин) / нагрев до  $180^\circ\text{C}$  ( $\nu = 20$  К/мин) – это второй нагрев.

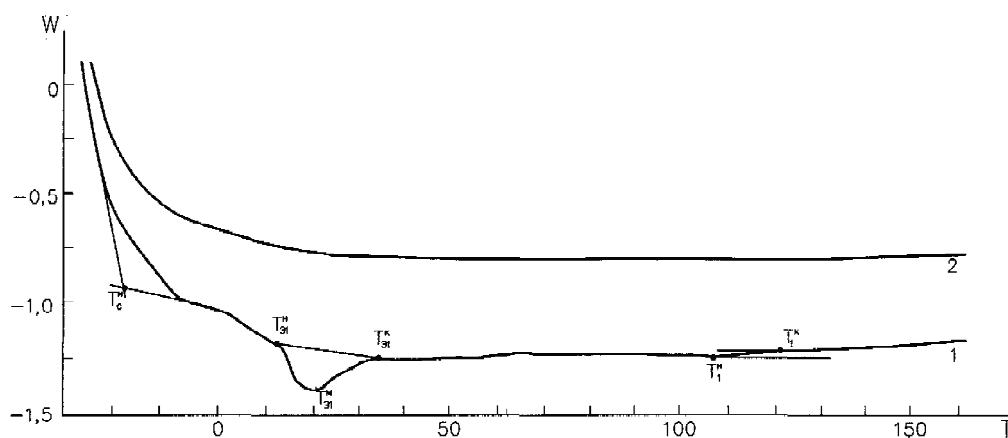
Чувствительность прибора 2,42 мкВ/мВт, воспроизводимость при измерении температуры  $\pm 0,1$  К (калибровка выполнена по индию).

До начала исследования все образцы хранились в плотно закрытой таре при комнатной температуре не менее трех лет.

Типичные кривые ДСК (температурные зависимости теплового потока  $W$ ) и наблюдаемые аномалии представлены на рис. 1 и 2. Сопоставление кривых ДСК первого и повторного нагрева демонстрирует исчезновение некоторых наблюдаемых аномалий при повторном нагреве. Так, исчезновение эндоэффекта при повторном нагреве на рис. 2 свидетельствует о том, что фаза, проявившая себя при первом нагреве, разрушилась (переход I рода) при нагреве до  $180^\circ\text{C}$  и не восстановилась при охлаждении. Исчезновение скачка теплоемкости при повторном нагреве (рис. 1 и 2) свидетельствует о фазовом переходе II рода при первом нагреве и сохранении полученной фазы при охлаждении.



**Рисунок 1** – Кривые ДСК (изменение теплового потока  $W$ , Вт/г с изменением температуры  $T$ ,  $^\circ\text{C}$ ) для фракции масел № 1 (ПН1 в табл. 2): 1 – первый нагрев; 2 – повторный нагрев; наблюдаемые аномалии:  $T_g^h$  – температура начала процесса стеклования (при охлаждении образца);  $T_{g1}^h$  и  $T_{g1}^k$  – температуры начала (индекс «н») и окончания (индекс «к») фазового превращения, которое сопровождается эндоэффектом Э1 (табл. 3);  $T_{g1}^m$  – температура, соответствующая минимуму  $W$  для Э1;  $T_1^h$  и  $T_1^k$  – температуры начала («н») и окончания («к») скачка  $\Delta W$ , соответствующего скачку теплоемкости  $\Delta C_{p1}$  (табл. 4).



**Рисунок 2** – Кривые ДСК для петролейно-бензольных смол, выделенных из битума БНД 40/60 (табл. 1): 1 – первый нагрев; 2 – повторный нагрев; наблюдаемые аномалии: (рис. 1).

В табл. 3 и 4 приведены количественные характеристики аномалий, наблюдаемых на кривых ДСК всех исследованных образцов.

Таблица 3 – ДСК битума БНД 40/60

Аномалия на кривой ДСК		Количественные значения характеристик	
Описание и обозначение	Отнесение аномалии и ее характеристики	1-й нагрев	2-й нагрев
Перегиб на кривой ДСК, предшествующий эндоэффектам: $T_c^H$	Начало процесса стеклования: $T_c^H$ , °C	9	14
Эндоэффект № 1: Э1	Плавление кристаллов НС: температурный интервал $T_{Э1}^H \dots T_{Э1}^K$ , °C $T_{Э1}^M$ , °C энтальпия $\Delta H_1$ , Дж/г	9,0...56,3 32,1 -4,18	14...81 33,7 -8,35
Эндоэффект № 2: Э2	Плавление структурно-коагуляционных кластеров мицелл и кристаллов НС: $T_{Э2}^H \dots T_{Э2}^K$ , °C $T_{Э2}^M$ , °C $\Delta H_2$ , Дж/г ( $\Delta H_1 + \Delta H_2$ ), Дж/г	56,3...83,0 66,5 -0,94 -5,12	— — — -8,35
Эндоэффект № 3:  Э3а  Э3б	Десольватация (Э3а) и диспергирование асфальтеновых агрегатов (Э3б): $T_{Э3а}^H \dots T_{Э3а}^K$ , °C $T_{Э3б}^H \dots T_{Э3б}^K$ , °C ( $\Delta H_{3а} + \Delta H_{3б}$ ), Дж/г	112...131 138...141 -0,98	— — —

Таблица 4 – ДСК групповых химических компонентов битума БНД 40/60

Аномалия на кривой ДСК	Масла (ПН1)		Смолы (ПБС)		Асфальтены	
	1-й нагрев	2-й нагрев	1-й нагрев	2-й нагрев	1-й нагрев	2-й нагрев
1	2	3	4	5	6	7
$T_c^H$ , °C	-18	-20	-21	-21	-8	-2
Эндоэффект № 1 $T_{Э1}^H \dots T_{Э1}^K$ , °C $T_{Э1}^M$ , °C $\Delta H_1$ , Дж/г	-6,0...54,8 31,8 -34,0	-4,5 ... 56,3 33,3 -34,06	-5,6 ... 28,3 21,5 -2,66	— — —	— — —	— — —
Температурные переходы $T_1$ , °C	121	—	127	—	75	—
$T_1^H \dots T_1^K$ , °C $\Delta C_{p1}$ , Дж/(г·K)	113...129 -0,17	— —	122...133 -0,081	— —	90...60 0,162	— —
$T_2$ , °C $T_2^H \dots T_2^K$ , °C $\Delta C_{p2}$ , Дж/(г·K)	— — —	— — —	— — —	— — —	132 139...125 0,054	— — —

Скачок теплоемкости ( $\Delta C_p$ ) в табл. 2 рассчитан как отношение скачка теплового потока ( $\Delta W$  в Дж/(г·с)) к скорости подъема температуры ( $v = 0,333$  K/с):

$$\Delta C_p = 3\Delta W_1^6, \text{ Дж / (г} \cdot \text{K)}.$$



$\Delta C_p > 0$  при повышении температуры соответствует  $\alpha$ -релаксационному переходу «стеклование»: при понижении температуры (при  $T^n$ ) процесс стеклования начинается, а при  $T^*$  заканчивается. За температуру стеклования ( $T_c$ ) принимали середину этого интервала (при  $T_c$  измеряли  $\Delta W$  и рассчитывали  $\Delta C_p$ ) [5].

$\Delta C_p < 0$  при повышении температуры соответствует фазовому переходу II рода [11]. Температуру этого перехода и соответствующий скачок  $\Delta C_p$  находили по аналогии с  $T_c$ .

Мы не рассматриваем низкотемпературный  $\alpha$ -релаксационный переход, соответствующий  $T_c$  битума, подробно рассмотренный во многих работах.  $T_c$  битумов находится в пределах  $-20...-50$  °С и изменяется с изменением ГХС, термической предыстории образца и условий исследования методом ДСК [1, 3, 11].

Точку перегиба на кривой ДСК битума, ближайшую к низкотемпературному эндоэффекту, рассматривали как температуру начала процесса стеклования ( $T_c^n$ ).

Для асфальтенов эта температура связана с вовлечением всех атомов (скелета и боковых групп) в колебательный процесс [12].

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видно из табл. 3, на зависимости  $W = f(T)$  выше области стеклования ( $\Delta T_c = T_c^n - T_c^*$ ), т. е. выше начала стеклования битума  $T_c^n = 9$  °С, наблюдаются аномалии эндотермического характера (эндоэффекты). Их можно соотнести с превращениями (разрушением) вышеупомянутых ДФ и надмолекулярных структур (НМС).

Эти превращения ДФ приводят к радикальным изменениям структурно-механических (реологических) свойств битумов [1] и могут рассматриваться (по аналогии с полимерами) как переход «жидкость 1 – жидкость 2» или  $T_{II}$  – переход [5]. С этих позиций эндоэффект № 1 (Э1) это переход битумов из вязкоупругого состояния в вязкотекучее, а остальные переходы (Э2 и Э3) связаны со скачкообразным изменением динамической вязкости и энергии активации вязкого течения.

*Проведем отнесение наблюдаемых аномалий на кривых ДСК (табл. 3 и 4) к превращениям известных дисперсных структур в битумах.*

**Эндоэффект № 1 (Э1)** наблюдается в интервале температур  $9,0...56,3$  °С. Его минимум приходится на  $T_{Э1}^m = 32,1$  °С, а изменение энтальпии составляет  $\Delta H_1 = -4,18$  Дж/г.

В этой же области наблюдаются эндоэффекты для масел фракции ПН1 и смол ПБС (табл. 4). Данные табл. 4 позволяют рассчитать изменение энтальпии битума  $\Delta H_1^6$  (расч), обусловленное процессами разупорядочивания (плавления или растворения кристаллитов) в маслах (индекс «м») и смолах (индекс «с»):

$$\Delta H_1^6 (\text{расч}) = C_1 \cdot \Delta H_1^m + C_{\text{ПБС}} \cdot \Delta H_1^c,$$

где  $C_1$  и  $C_{\text{ПБС}}$  – массовые доли ПН1 и ПБС в битуме (табл. 1 и 2),  
 $\Delta H_1^m$  и  $\Delta H_1^c$  – изменение энтальпии масел и смол в температурном интервале Э1 для битума ( $9,0...56,3$  °С).

$$\Delta H_1^6 (\text{расч}) = 0,153 \cdot (-34,0) + 0,284 \cdot 0,592 \cdot (-2,66) = -5,20 - 0,45 = -5,65 (\text{Дж/г}).$$

Расчетное изменение энтальпии того же порядка, что и экспериментальное:  $\Delta H_1^6 (\text{расч}) = -4,18$  Дж/г (табл. 3). Следовательно, эндоэффект битума в интервале Э1 обусловлен фазовыми превращениями, которые происходят в основном в маслах. Это плавление кристаллитов парафиновых (насыщенных) углеводородов [1, 3, 13].

При повторном нагреве эндоэффект Э1 сохраняется только для масел (ПН1), что видно из табл. 4 и подтверждает сделанный вывод.

Различие  $\Delta H_{\text{НС}} = \Delta H_1 (\text{расч}) - \Delta H_1 = -5,67 - (-4,18) = -1,49$  (Дж/г) позволяет оценить количество парафинов, которые связаны в парафино-асфальтеновые комплексы ( $C_{\text{НС}}^{\text{св}}$ ) и высвобождаются при повышенной температуре [4, 14]. Если принять энтальпию плавления кристаллитов парафиновых углеводородов в битуме  $-190$  Дж/г, можно найти  $C_{\text{НС}}^{\text{св}}$ :

$$C_{\text{НС}}^{\text{св}} = \frac{\Delta H_{\text{НС}}}{-138,5} \cdot 100 = \frac{-1,49}{-138,5} \cdot 100 = 1,1 \% \text{ к битуму.}$$

Полученный результат позволяет интерпретировать различия в изменении энтальпий битума при первом  $\Delta H_1^6(I) = -4,18$  Дж/г и повторном  $\Delta H_1^6(II) = -8,35$  Дж/г нагреве: более высокое значение  $\Delta H_1^6(II)$  связано с разложением ПАК при первом нагреве [4, 13].

В этом же температурном интервале могут происходить и другие процессы (конформационные превращения асфальтовых молекул, изотропизация слабоупорядоченной аморфной фазы в асфальтенах) [2]. Однако вклад этих процессов в Э1, судя по имеющимся публикациям, невелик.

**Эндоэффект № 2** (56,3...83,0 °С) и менее выражен, чем № 1 ( $\Delta H_2^6(I) = -0,94$  Дж/г), и при повторном нагреве сливается с Э1. В этой области температур групповые компоненты битума (табл. 4) не подвержены фазовым превращениям. Следовательно, этот эффект (Э2) обусловлен их физико-химическим взаимодействием. Логично предположить, что Э2 обусловлен (при первом нагреве) разрушением парафино-асфальтовых структур [14], размораживанием подвижности мицелл (плавлением образованных ими структурно-коагуляционных кластеров). Не исключено, что эти процессы взаимосвязаны. При повторном нагреве эффекты Э1 и Э2 сливаются, а суммарное изменение энтальпии ( $\Delta H_1 + \Delta H_2$ ) заметно превышает таковое при первом нагреве.

Мы это связываем с высвобождением и кристаллизацией тяжелых насыщенных соединений (с более высокими температурами плавления), как показано выше.

Далее следуют близко расположенные **эндоэффекты Э3а и Э3б**. При повторном нагреве эти эффекты отсутствуют. В этой же области температур (110...141 °С) имеют место только два скачка теплоемкости для асфальтенов (табл. 4).

В работе [4] эндоэффект в температурном интервале 100...130 °С приписывают структурному переходу в низкомолекулярной фракции асфальтенов, а в интервале 130...170 °С – переходу в высокомолекулярной фракции асфальтенов. Приводятся температуры стеклования ( $T_g$ ) асфальтенов (выделенных из различных нефтей, и найденные при различных скоростях нагрева): 0 °С и 70 °С [10], 120...130 °С [2].

Следовательно, приведенные в табл. 4 два скачка теплоемкости для асфальтенов могут быть идентифицированы как температуры стеклования  $T_{CA1} = 75$  °С и  $T_{CA2} = 132$  °С.

Согласно [7] эти температурные переходы приводят к перестройке собственной коллоидной структуры битума: для битума БНД 90/130 («отожжен» при 20 °С 1 час) наблюдается эндоэффект в интервале 100...120 °С с энтальпией  $\Delta H = -1,4$  Дж/г. В табл. 3 мы также наблюдаем эндоэффект Э3а в интервале 112...131 °С с  $\Delta H_{Э3а}$  около – 1 Дж/г, который в упомянутой работе [8] связывают с изотропизацией мезофазы, сформированной асфальтено-смолистыми комплексами (АСК) – ДФ битума.

В табл. 5 приведены параметры дисперсного строения исследуемого битума (БНД 40/60) и исследованного в работе [8] (БНД 90/130, битум А). Как следует из данных табл. 5, БНД 40/60 ближе к битумам типа «золь-гель» (III структурно-реологический тип), а БНД 90/130 – занимает промежуточное положение между II и III типом. Однако массовое содержание АСК в БНД 40/60 гораздо меньше, чем в БНД 90/130, и система эта в меньшей мере стабилизирована. Отсюда и меньшее изменение энтальпии ( $\Delta H_{Э3а}$ ).

Таблица 5 – Параметры дисперсного строения битума

Параметры	БНД 40/60	БНД 90/130 [7]
A / (A+C)	0,41	0,32
A / (M+C)	0,24	0,27
A / C	1,46	2,17
(C+A), %	47,8	66,67

Тогда логично сделать предположение, что разрушение мезофазы (наблюдаемое в виде эндоэффекта Э3а) связано с десорбцией смолистых веществ и легких асфальтенов с поверхности асфальтенового ядра (агрегата) из высокомолекулярных асфальтенов [2, 15], т. е. с десольватацией асфальтенового ядра.

Следующий эндоэффект (Э3б) примыкает к предыдущему и может быть приписан углублению процесса десольватации и даже разрушению асфальтенового ядра [1, 4] с последующим растворением в мальтенах. На это указывает резкое возрастание теплового потока после Э3б (уменьшение теплоемкости) – переход III рода по Бойеру [5].

При выбранном температурном режиме ДСК разрушенные структуры не успевают восстановиться. Поэтому эндоэффекты Э3а и Э3б при повторном нагреве битума не наблюдаются. Менее заметно

при повторном нагреве также возрастание теплового потока (чем на кривой ДСК при первом нагреве).

Как следует из [1, 2], процесс разрушения асфальтовых агрегатов (ядер мицелл) происходит ступенчато на все более мелкие фрагменты, но не полностью: даже при 350 °С средний размер наноагрегата составляет 25 Å [2].

## ВЫВОДЫ

Метод ДСК позволяет обнаружить и идентифицировать следующие дисперсные фазы в дорожном нефтяном битуме III структурно-реологического типа, «оттоженном» при комнатной температуре:

1. В интервале температур 9...56 °С плавятся кристаллиты насыщенных соединений. По величине изменения энтальпии можно оценить их содержание.
2. Предложен вариант оценки количества насыщенных соединений, входящих в состав парафиноасфальтовых комплексов, с использованием повторного нагрева образца до температуры ~ 90 °С (обнаруживаются при повторном нагреве в интервале температур 14...81 °С).
3. В интервале 56...83 °С разрушаются коагуляционные структуры, сформированные мицеллами, и мицеллы приобретают подвижность.
4. В интервале 112...131 °С разрушаются мицеллы вследствие десольватации (десорбции относительно легких стабилизирующих молекул с поверхности ядра мицеллы).
5. В интервале 138...141 °С происходит углубление процесса десольватации и ступенчатое разрушение асфальтовых наноагрегатов на всё более мелкие фрагменты с последующим их растворением в мальтенах (на что указывает уменьшение теплоемкости при температурах выше 141 °С).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Печеный, Б. Г. Битумы и битумные композиции [Текст] / Б. Г. Печеный. – М. : Химия, 1990. – 256 с.
2. Ганеева, Ю. М. Успехи химии [Текст] / Ю. М. Ганеева, Т. Н. Юсупова, Г. В. Романов // Химия. – 2011. – Т. 80. № 10. – С. 1034–1050.
3. Masson, J.-F. Bitumen microstructure by modulated differential scanning calorimetry [Текст] / J.-F. Masson, G. M. Polomark // *Thermochimica Acta*. – 2001. – V. 374, No. 2. – P. 105–114.
4. Ганеева, Ю. М. Структурная организация асфальтенов [Текст] / Ю. М. Ганеева, Т. Н. Юсупова, Г. В. Романов // Доклады Академии наук. – 2009. – Т. 426, № 5, июнь. – С. 629–631.
5. Берштейн, В. А. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров [Текст] / В. А. Берштейн, В. М. Егоров. – Л. : Химия, 1990. – 256 с.
6. Технологическое старение дорожного нефтяного битума как двухфакторный процесс [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, А. А. Стукалов [и др.] // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : Збірник наукових праць. – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 31–41.
7. Современные методы исследования нефти [Текст] / под ред. А. И. Богомолова. – Л. : Недра, 1984. – 423 с.
8. Формирование дисперсной структуры битумов, модифицированных смесевыми олефиновыми термоэластопластами [Текст] / И. Н. Фролов, Т. Н. Юсупова, Ю. М. Ганеева [и др.] // Технология нефти и газа. – 2009. – № 6(65). – С. 35–42.
9. Инструментальные методы исследования нефти [Текст] / отв. ред. Г. В. Иванов. – Новосибирск : Наука СО, 1987. – 134 с.
10. Инфракрасная спектроскопия полимеров [Текст] / Пер. с нем. под ред. Э. Ф. Олейника. – М. : Химия, 1976. – 472 с. (*Ultrarotspektroskopische Untersuchungen an Polymeren* / von J. Dechant. Akademie-Verlag-Berlin. 1972).
11. Masson, J.-F. Time-dependent microstructure of bitumen and its fractions by modulated differential scanning calorimetry [Текст] / J.-F. Masson, G. M. Polomark, P. Collins // *Energy & Fuels*. – 2002. – V. 16. – P. 470–476.
12. Годовский, Ю. К. Теплофизические методы исследования полимеров [Текст] / Ю. К. Годовский. – М. : Химия, 1976. – 216 с.
13. Твердые парафины в окисленных битумах [Текст] / Ю. М. Ганеева, Т. Н. Юсупова, Е. С. Охотникова, И. Н. Фролов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2012. – № 2. – С. 20–24.
14. Исследование кристаллической фазы твердых углеводородов нефтей и асфальто-смоло-парафиновых отложений методом калориметрии [Текст] / Ю. М. Ганеева, Т. Р. Фосс, Д. А. Халикова [и др.] // Нефтехимия. – 2008. – Т. 48, № 6. – С. 426–430.
15. Masson, J.-F. Steric hardening and the ordering of asphaltene in bitumen [Текст] / J.-F. Masson, P. Collins, G. M. Polomark // *Energy & Fuels*. – 2005. – V. 19. – P. 120–122.

Получено 07.12.2016

В. І. БРАТЧУН, М. К. ПАКТЕР, В. Л. БЕСПАЛОВ, Д. В. ГУЛЯК, Р. В. ПАРАЩЕВІН,  
А. С. МАНДИЧ

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИСПЕРСНИХ СТРУКТУР В НАФТОВИХ БІТУМАХ  
МЕТОДОМ ДСК

ДОНБУДСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

**Анотація.** Методом диференціальної скандувальної калориметрії (ДСК) вивчені дисперсні структури в бітумі БНД 40/60, витриманому при кімнатній температурі протягом 3 років. Для ідентифікації цих структур використовували ДСК групових хімічних компонентів бітуму і повторне нагрівання кожного зразка (для виявлення зникаючих аномалій на кривих ДСК). Ідентифікували такі структури (і температури їх руйнування): кристали насичених з'єднань, парафіно-асфальтенові комплекси, міцели і їх коагуляційні структури, асфальтенові наноагрегати.

**Ключові слова:** нафтовий бітум, дисперсні структури, диференціальна сканувальна калориметрія.

VALERY BRATCHUN, MIXAIL PAKTER, VITALY BESPALOV, DENIS GULYAK,  
ROMAN PARASCHEVIN, ANASTASIA MANDYCH

IDENTIFICATION OF STRUCTURES DISPERSED IN OIL BITUMEN BY DSC

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Dispersed structures in bitumen BND 40/60, kept at a room temperature for 3 years have been studied by the methods of scanning calorimetry (DSC). DSC of group chemical components of bitumen and reheating of each sample (to detect anomalies in the vanishing of DSC curves) has been used to identify these structures. We identify the following structures (and their temperature destruction): crystals of saturated compounds, paraffin and asphaltenic complexes, micelles and their coagulation structure, asphaltenic nanoaggregates.

**Key words:** oil bitumen, dispersion patterns, differential scanning calorimetry.

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

**Пактер Михаил Константинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев жестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

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

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

**Паращевин Роман Валерьевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

**Мандыч Анастасия Сергеевна** – магистрант кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология и организация работ при строительстве монолитных сооружений.

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

**Пактер Михайло Костянтинович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

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

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

**Парашевин Роман Валерійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньо-будівництві.

**Мандыч Анастасія Сергеевна** – магістрант кафедри технології і організації будівництва ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: технологія і організація робіт при будівництві монолітних споруд.

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

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

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

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

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

**Mandych Anastasia** – Master's student, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: technological processes at erection of monolithic constructions.

УДК 691.5+608.4

**В. И. БРАТЧУН<sup>а</sup>, В. В. СТАВЦЕВ<sup>б</sup>, Е. А. РОМАСЮК<sup>а</sup>, В. П. ДЕМЕШКИН<sup>а</sup>, В. В. ЖЕВАНОВ<sup>а</sup>, Т. С. ВОВК<sup>а</sup>**<sup>а</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», <sup>б</sup> Автомобильно-дорожный институт ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

## **ИЗМЕРЕНИЕ ПРОГИБОВ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ОБРАЗЦА-БАЛОЧКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЕМКОСТНОГО ДАТЧИКА**

**Аннотация.** В работе предложен метод измерения прогибов асфальтобетонного образца под действием циклических нагрузок с использованием емкостного датчика оригинальной конструкции. Детально рассмотрена конструкция емкостного преобразователя, принцип его работы. Приведена принципиальная электрическая схема предлагаемого емкостного датчика. Проанализированы преимущества и недостатки разработанного датчика по сравнению с зарубежными аналогами.

**Ключевые слова:** асфальтобетон, усталостная долговечность, прогиб, емкостной преобразователь, плоский конденсатор, калибровка.

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

Наиболее простым, и в то же время наиболее полно отвечающим реальным условиям работы способом испытания асфальтобетона на усталостную долговечность в лабораторных условиях является циклический изгиб асфальтобетонных образцов-балочек нагрузками меньше разрушающих. В работах [1–7] установлено возникновение на покрытии при проезде транспортных средств растягивающих и сжимающих напряжений, при этом в основании слоя покрытия напряжения носят в основном только растягивающий характер. Поэтому наиболее точными формами приложения нагрузок при испытании асфальтобетона в лабораторных условиях являются: синусоидальная форма, позволяющая прикладывать к образцу нагрузку различных знаков, имитируя тем самым появление растягивающих и сжимающих напряжений в покрытии, а также циклическая полусинусоидальная, характеризующаяся испытание балочки на односторонний изгиб с учетом разгрузки (время «отдыха») [4, 5].

Таким образом, наиболее целесообразно проводить исследования усталостной долговечности асфальтобетона в лабораторных условиях на образцах-балочках, подвергая их растяжению при изгибе от воздействия циклических нагрузок одинаковой величины, обеспечивая тем самым постоянство напряженного состояния с регистрацией главного критерия оценки усталостной долговечности асфальтобетона – количества циклов до разрушения [4, 5, 6]. Однако в настоящее время, помимо определения количества циклов до разрушения, возникает необходимость точных замеров прогибов

асфальтобетонного образца с целью более детального изучения поведения материала под действием динамических нагрузок, а также оценки степени влияния на деформационно-прочностные показатели асфальтобетона современных полимерных модификаторов, которые придают не присущее традиционным органическим вяжущим свойство эластичности [7].

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

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

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

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

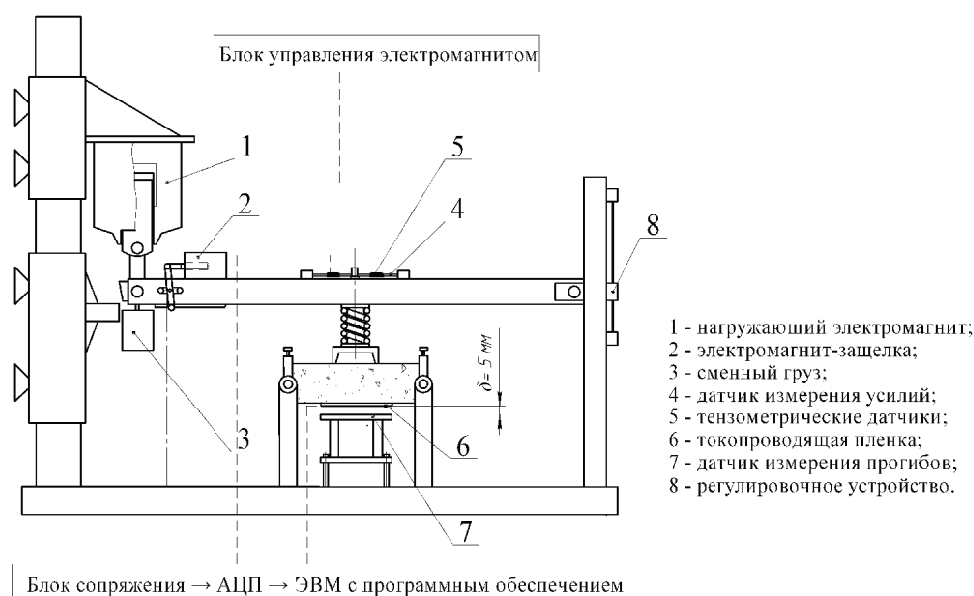


Рисунок 1 – Схема установки, для испытания асфальтобетона на усталостную долговечность.

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

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

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

где  $C$  – электрическая ёмкость плоского конденсатора, Ф;  
 $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная, численно равная  $8,854187817 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;

$\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды, заполняющая пространство между пластинами (в вакууме равна единице);

$S$  – площадь двух параллельных пластин, м<sup>2</sup>;

$d$  – расстояние между пластинами, м.

Общий вид и схема датчика приведены на рис. 2.

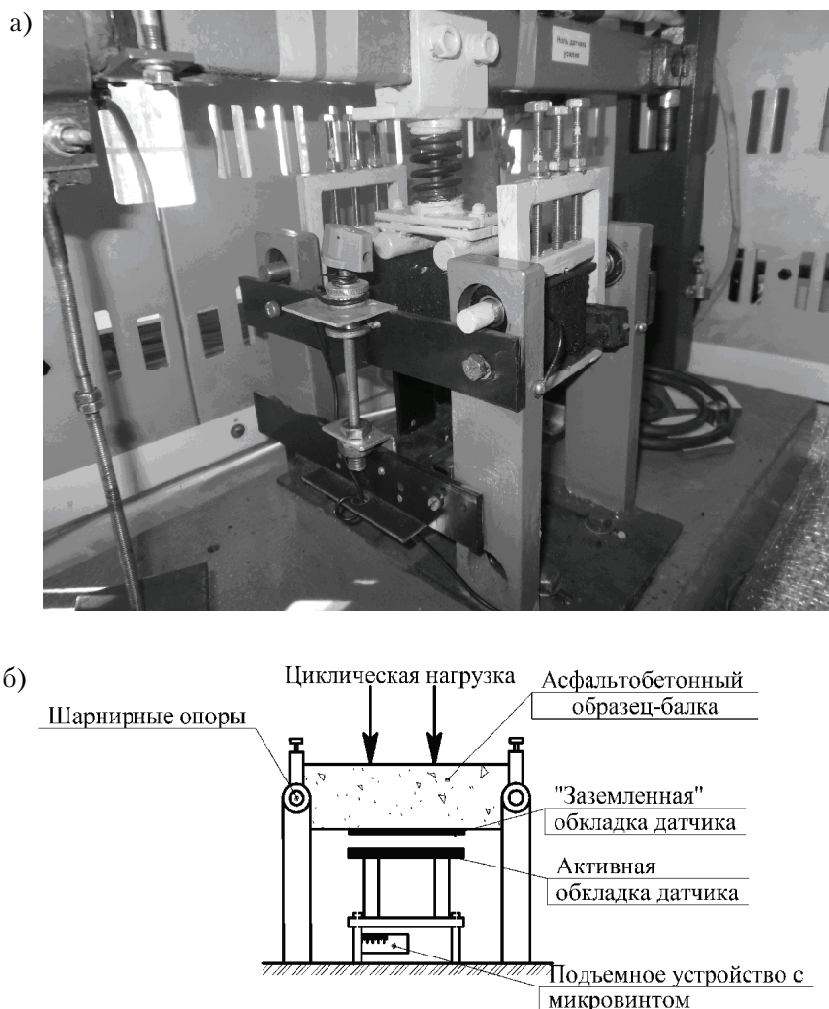


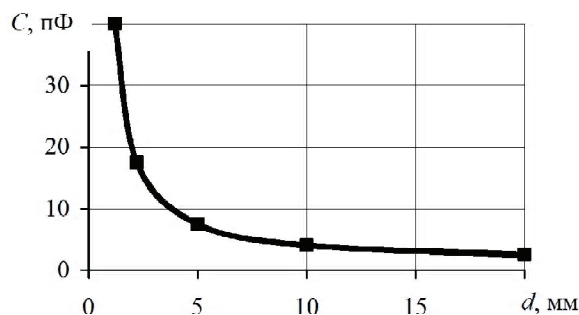
Рисунок 2 – Общий вид (а) и схема датчика емкостного типа (б).

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

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



Несмотря на очевидную простоту конструкции и обслуживания предлагаемого датчика, компьютерная программа обработки потока экспериментальных данных будет обрабатывать реальные значения деформации  $d$ , используя результаты тщательной калибровки датчика. Перед калибровкой необходимо выбрать рабочую зону преобразователя путем расчета и графического анализа зависимости емкости плоского конденсатора от расстояния между его обкладками, пренебрегая искажениями формы «заземленной» обкладки во время деформации асфальтобетонного образца. Исходя из формулы (1), ёмкость между обкладками будет изменяться не по линейному закону, а по закону гиперболы ( $f(x) = 1/x$ ). К примеру, при площади обеих обкладок  $S = 48 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$  (размеры обкладок  $120 \times 40 \text{ мм}$ ) график зависимости емкости предлагаемого датчика ( $C$ , пФ) от расстояния между обкладками ( $d$ , мм) будет иметь следующий вид (рис. 3).

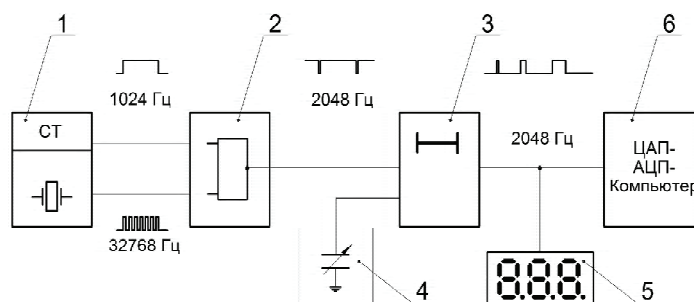


**Рисунок 3** – Значения электрической емкости датчика в зависимости от расстояния между обкладками.

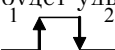
Исходя из полученных данных, можно установить нижний предел измерения датчика между обкладками в 1 мм, что вполне устраивает, т. к. асфальтобетонный образец уже будет иметь магистральные трещины на подступах к этому пределу. При калибровке датчика участки 20...10 мм и 2,5...1,0 мм можно ограничить из-за их прямолинейности, при этом значительно увеличив дискретизацию на участке 10,0...2,5 мм, где наблюдается наибольшая криволинейность зависимости.

При изгибе образца-балочки плоскость «заземленной» обкладки нарушается, поэтому при калибровке датчика в памяти регистрирующей программы на ЭВМ фиксируется реальная зависимость емкости датчика от расстояния между активной пластиной датчика и измененной формой «заземленной» обкладки путем ее фиксации с помощью эталонных прокладок с точностью 0,1 мм либо путем поднятия активной обкладки приводным механизмом на определённую высоту, фиксируемую специальным измерителем – микровинтом с точностью до 0,01 мм. При калибровке значений емкости датчика роль изогнутой «заземленной» обкладки играет гибкая металлическая пластина.

Блок-схема емкостного датчика имеет следующий вид (рис. 4).



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

Генератор стабильной частоты (1) с кварцевым резонатором часового типа с делителем частоты в одном корпусе микросхемы K176IE12. На оба входа синхронного детектора изменений (2) подается тактовая частота 32 678 Гц и частота запуска 1 024 Гц. На выходе синхронного детектора изменений будет удвоенная частота 2 048 Гц, т. к. за период запускающего импульса происходит два изменения . Источник импульсов (3) с источником тока и емкостным датчиком (4) формирует по каждому отрицательному импульсу, а положительный импульс переменной длительности зависит от емкости датчика при постоянном токе зарядки.

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

Принципиальная схема емкостного датчика приведена на рис. 5.

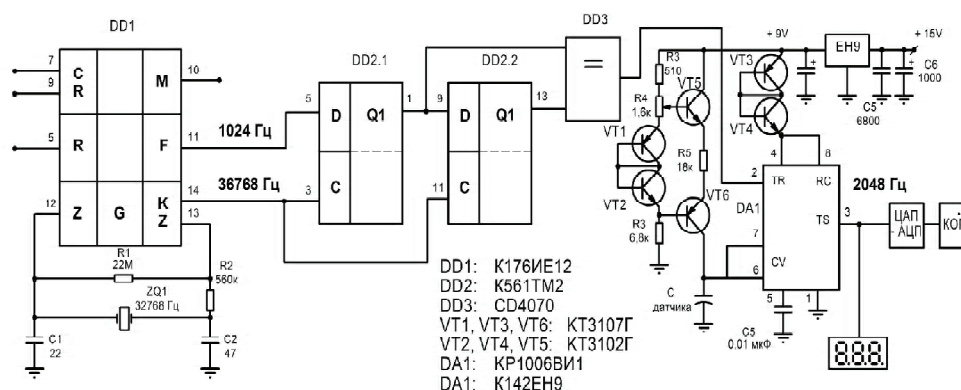


Рисунок 5 – Электрическая схема емкостного датчика.

В качестве современного импортного аналога представленного датчика можно отметить датчик измерения перемещений асфальтобетонного образца-балочки Linear Variable Displacement Transformer (датчик линейно изменяющегося перемещения), который размещен в универсальном аппарате для испытаний асфальтобетона на усталостную долговечность Universal Technical Machine 021 (UMT 021) [14]. Конструкция датчика состоит из трех соосных обмоток (рис. 6) и подвижного ферромагнитного сердечника на оси трансформатора. Сердечник короче, чем трансформатор, поэтому при его осевом перемещении меняется коэффициент магнитной связи обмоток. На центральную обмотку подается напряжение возбуждения, с боковых обмоток снимается наведенный сигнал, пропорциональный положению сердечника. Типовой диапазон измерений для данных датчиков – от сотых долей миллиметра до десятков сантиметров.

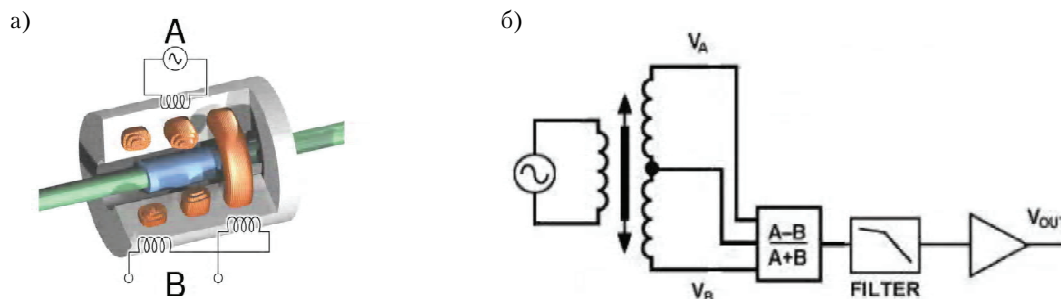


Рисунок 6 – Конструкция датчика линейно изменяющегося перемещения (а) и электрическая схема его подключения (б).

В качестве современного импортного аналога представленного датчика можно отметить датчик измерения перемещений асфальтобетонного образца-балочки Linear Variable Displacement Transformer (датчик линейно изменяющегося перемещения), который размещен в универсальном аппарате для испытаний асфальтобетона на усталостную долговечность Universal Technical Machine 021 (UMT 021) [14]. Конструкция датчика состоит из трех соосных обмоток (рис. 6) и подвижного ферромагнитного сердечника на оси трансформатора. Сердечник короче, чем трансформатор, поэтому при его осевом перемещении меняется коэффициент магнитной связи обмоток. На центральную обмотку подается напряжение возбуждения, с боковых обмоток снимается наведенный сигнал, пропорциональный положению сердечника. Типовой диапазон измерений для данных датчиков – от сотых долей миллиметра до десятков сантиметров.

В настоящее время широко применяются датчики-дефлектометры (модели 3540) для измерения деформации на 3-х и 4-х точечный изгиб, сжатие и многих других видов деформаций. Прогиб измеряется одним рычагом со сферическим наконечником, таким же, как на индикаторе часового типа. Конструкция с полномостовой схемой соединения тензометров обеспечивает электрический выход, совместимый с любой электроникой, предназначенной для работы с датчиками, оснащёнными тензометрами (рис. 7). Нелинейность данных датчиков составляет около 0,2 % [15].



Рисунок 7 – Общий вид датчика-дефлектометра модели 3540.

## ВЫВОДЫ

Представленный электронный датчик емкостного типа для измерения прогибов образца-балочки при испытании асфальтобетонов на усталостную выносливость обладает рядом преимуществ: 1) в датчике отсутствуют сложные механические детали, которые значительно снижают точность измерений из-за наличия микролюфтов в узлах и инерции в подвижных частях; 2) конструкция предлагаемого датчика очень проста в изготовлении; 3) емкостный датчик обладает достаточной точностью измерений, при этом значения прогибов могут считываться с интервалом 5 микросекунд, благодаря чему можно изучить упругий прогиб модифицированных асфальтобетонов при действии динамических нагрузок, который длится доли секунды.

К недостаткам предложенного датчика следует отнести: 1) необходимость тщательной и кропотливой калибровки и настройки датчика вследствие криволинейной зависимости изменения емкости, а также деформации «заземленной» обкладки, приклеенной к датчику, что подразумевает использование достаточно точных калибровочных устройств и компьютерных программ для обработки данных; 2) сравнительно небольшой диапазон измерения прогибов до 3–4 мм (наиболее высокая точность измерений достигается при измерении прогибов до 1 мм).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илиополов, С. К. Динамика дорожных конструкций [Текст] / С. К. Илиополов, М. Г. Селезнев, Е. В. Углова. – Ростов-на-Дону : Рост. гос. строит. ун-т, 2002. – 258 с.

2. Илиополов, С. К. Усталостное разрушение асфальтобетона в широком частотном диапазоне [Текст] / С. К. Илиополов, Е. В. Углова, О. В. Дровалева // Дороги и мосты. – М.: РосдорНИИ, 2007. – № 17 (1). – С. 245–251.
3. Телтаев, Б. Б. Характеристики деформирования асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог [Текст] / Б. Б. Телтаев // Дорожная техника: Каталог-справочник. – Санкт-Петербург: ООО «Славутич», 2011. – С. 88–100.
4. Гончаренко, В. И. Термическая и динамическая усталость дорожного асфальтового бетона [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05 / В. И. Гончаренко. – Макеевка, 1983. – 176 с.
5. Дровалева, О. В. Усталостная долговечность асфальтобетона при воздействии интенсивных транспортных нагрузок [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05 / О. В. Дровалева. – Ростов-на-Дону, 2009. – 202 с.
6. Углова, Е. В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст]: дис. ... доктора тех. наук: 05.23.11 / Е. В. Углова. – Ростов-на-Дону, 2009. – 350 с.
7. Братчун, В. И. Повышение долговечности бетонов на органических вяжущих регулированием свойств микроструктуры [Текст] / В. И. Братчун // Вестник ХНАДУ. – Харьков, 2000. – № 12-13. – С. 141–144.
8. Ромасюк, Е. А. Дорожные асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой повышенной усталостной долговечности [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05 / Е. А. Ромасюк. – Макеевка, 2016. – 175 с.
9. Зельдин, Е. Применение интегрального таймера КР1006ВИ1 [Текст] / Е. Зельдин // Радио. – 1986. – № 9. – С. 36–37.
10. Хоровиц, П. Искусство схемотехники [Текст]: Пер. с англ. / П. Хоровиц, У. Хилл. – Изд. 2-е. – М.: БИНОМ, 2014. – 704 с.
11. Коломбет, Е. А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов [Текст] / Е. А. Коломбет. – М.: Радио и связь, 1991. – 376 с.
12. Горшков, В. И. Элементы радиоэлектронных устройств [Текст] / В. И. Горшков. – М.: Радио и связь, 1988. – 176 с.
13. Шитов, А. Генераторы на таймере КР1006ВИ1 [Текст] / А. Шитов // Радио. – М., 1999. – № 8. – С. 54–55.
14. Сибирякова, Ю. М. Расчетные параметры асфальтобетонных покрытий для проектирования нежестких дорожных одежд [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.11 / Ю. М. Сибирякова. – М., 2008. – 161 с.
15. Сысоева, С. Классические индуктивные преобразователи – новый запас [Текст] / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – М., 2005. – № 9. – С. 90–98.

Получено 08.12.2016

В. І. БРАТЧУН <sup>а</sup>, В. В. СТАВЦЕВ <sup>б</sup>, Є. О. РОМАСЮК <sup>а</sup>, В. П. ДЕМЄШКІН <sup>а</sup>,  
В. В. ЖЕВАНОВ <sup>а</sup>, Т. С. ВОВК <sup>а</sup>  
ВИМІРЮВАННЯ ПРОГІНІВ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ЗРАЗКА-БАЛОЧКИ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ЄМНІСНОГО ДАТЧИКА

<sup>а</sup> ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», <sup>б</sup> Авто-  
мобільно-дорожній інститут ДНЗ ВПО «Донецький національний технічний університет»

**Анотація.** У роботі запропоновано метод вимірювання прогинів асфальтобетонного зразка під дією циклічних навантажень з використанням ємнісного датчика оригінальної конструкції. Детально розглянуто конструкцію ємнісного перетворювача, принцип його роботи. Наведено принципову електричну схему пропонуваного ємнісного датчика. Проаналізовано переваги та недоліки розробленого датчика в порівнянні з зарубіжними аналогами.

**Ключові слова:** асфальтобетон, утомленісна довговічність, прогин, ємнісний перетворювач, плоский конденсатор, калібрування.

VALERY BRATCHUN <sup>а</sup>, VALERY STAVTSEV <sup>б</sup>, EVGENY ROMASYUK <sup>а</sup>,  
VALENTIN DEMESCHKIN <sup>а</sup>, VIACHESLAV ZHEVANOV <sup>а</sup>, TATIANA VOVK <sup>а</sup>  
MEASUREMENT OF DEFLECTION OF ASPHALT CONCRETE SAMPLE-  
RAVINE USING CAPACITIVE SENSORS

<sup>а</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, <sup>б</sup> Automobile and Road  
Institute of Donetsk National Technical University

**Abstract.** This paper proposes a method for measuring of the deflection of asphalt concrete specimen under the action of cyclic loads using a capacitive sensor of the original design. We discuss the capacitive transducer design, how it works. It has been given a detailed circuit diagram of the proposed capacitive sensor. The advantages and disadvantages of the developed sensor in comparison with foreign analogues have been analyzed.

**Key words:** asphalt, fatigue life, deflection, capacitive transducer plate capacitor, the calibration.

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

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

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

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

**Жеванов Вячеслав Владимирович** – старший преподаватель кафедры физического воспитания и спорта ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: особенности структуры физической подготовленности студентов специальных медицинских групп.

**Вовк Татьяна Сергеевна** – магистр кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование геосинтетических материалов в дорожном строительстве.

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

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

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

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

**Жеванов В'ячеслав Володимирович** – старший викладач кафедри фізичного виховання та спорту ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: особливості структури фізичної підготовленості студентів спеціальних медичних груп.

**Вовк Тетяна Сергіївна** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження геосинтетичних матеріалів в дорожньому будівництві.

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

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

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

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

**Zhevanov Viacheslav** – senior lecturer, Physical Education and Sports Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the structure features of physical training of the students of special medical groups.

**Vovk Tatiana** – Master, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of geosynthetic materials is in traveling building.

УДК 691.5

**Е. А. РОМАСЮК, А. А. ВЕРЕЦУН, Д. С. БОЙКО, М. А. АБАЗА**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**БЕТОНЫ ИЗ ДИСПЕРСНО-АРМИРОВАННЫХ ХОЛОДНЫХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ СМЕСЕЙ С ПОВЫШЕННЫМИ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

**Аннотация.** В статье приведены сравнительные результаты исследований стандартных (ДСТУ Б В.2.7-119:2011) и дисперсно-армированных бетонов из холодной органоминеральной смеси с применением синтетического фиброволокна с оценкой физико-механических и деформационно-прочностных показателей. Показано, что введение в состав органо-минеральной смеси полипропиленовых волокон позволяет повысить прочность бетона при сжатии в 1,5 раза и усталостную долговечность при воздействии циклических нагрузок в 1,7 разы. Установлено, что оптимальное содержание полипропиленового волокна в смеси находится в пределах от 0,6 до 0,8 %.

**Ключевые слова:** полипропиленовое волокно, холодная органо-минеральная смесь, плотность, водонасыщение, прочность, усталостная долговечность.

**АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ**

В последние годы для поддержания сети автомобильных дорог в надлежащем эксплуатационном состоянии внедряется превентивная система ремонтных работ, которая заключается в использовании новых энергосберегающих технологий и применении эффективных материалов: качественных битумных эмульсий, модифицированных битумов и т. д. При этом необходимо обеспечивать возможность круглогодичного проведения работ по строительству и ремонту дорожных асфальтобетонных покрытий без снижения их деформационно-прочностных характеристик [1].

Наиболее перспективными и экономически выгодными являются технологии, позволяющие выполнять ремонт при низких температурах окружающей среды с использованием холодной асфальтобетонной смеси, содержащей качественный минеральный материал плотного зернового состава, органическое вяжущее и различные добавки. Данную смесь приготавливают на асфальтобетонном заводе, складывают и укладывают в холодном состоянии. Таким образом, одно из преимуществ технологии производства холодной смеси состоит в возможности проводить ремонтные работы при низких температурах [1, 2].

**АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Одним из наиболее эффективных методов повышения сопротивления покрытий автомобильных дорог развитию различного рода разрушений и деформаций является использование дисперсно-армированных строительных материалов [1–9].

В настоящее время использование волокон в составе различных строительных материалов стало промышленной технологией во многих странах: Франции, Германии, Швеции, Финляндии, Польше, Канаде, Австрии и др. Согласно анализу зарубежных публикаций, для армирования асфальтобетонной смеси используют нетканый полипропиленовый материал, пропитанный битумом (США «Retromat», Канада «Geogrid ARI», Великобритания «Tensar ARI», Россия «Полимер»), сварную сетку из стальной проволоки (США, Норвегия), текстильную сетку из стекловолокна (Германия «Armi-pal-G») [5–7].

Отмечается, что использование волокон для армирования асфальтобетона приводит к:

- уменьшению упругой деформации растяжения в нижней части армированного асфальтобетонного слоя дорожного покрытия;
- повышению сопротивления образованию колеи на дорожном покрытии;
- более интенсивному снижению проникновения влаги в земляное полотно через трещины в дорожной одежде;
- снижению развития отраженных трещин в асфальтобетонном дорожном покрытии;

В Польше выполнены исследования по изучению влияния полиэфирных волокон на свойства асфальтобетона. Волокна нарезают отрезками длиной 0...20 мм и вводят в асфальтобетонную смесь в количестве 1...2 %. Отмечается, что определить оптимальное количество волокон трудно из-за ухудшения условий получения однородной массы. Добавка волокон позволила повысить на 20...30 % деформационную способность асфальтобетона при испытании на сдвигоустойчивость по Маршаллу [7].

Большой интерес представляет опыт ряда европейских и отечественных фирм («Normusend» Финляндия; «Fiberglass» Германия; «Полимер», г. Ростов-на-Дону), которые предлагают использовать отходы волокон из термопластов (капроновые, полиэтиленовые, полипропиленовые) в качестве добавок в асфальтобетон. Такие смеси получают перемешиванием расплавленных отходов волокон и термопластичных полимеров с нефтяной смолой и пластификатором. Перед устройством дорожных покрытий измельченную смесь волокон нагревают до температуры плавления и смешивают с сухими наполнителями [5, 7].

В Швейцарии дисперсное армирование асфальтобетона осуществляется волокнами, которые вводят в асфальтобетонную смесь при ее приготовлении или распределении по дорожному покрытию. При уплотнении смеси металлические волокна изгибаются и переплетаются вокруг частиц минерального материала и объединяются друг с другом, создавая достаточно прочную металлическую матрицу из перепутанных волокон [7].

Отмечается, что особое значение имеет вид обработки поверхности волокон. Лучшими являются волокна с эпоксидным и поливинилакриловыми слоями. Содержание волокон в мастике 1...2 %, в асфальтобетонной смеси – от 0,15 до 0,40 %. Добавление рубленого стекловолокна положительно отразилось на характеристиках композиционного материала при повышенных температурах, температуре размягчения мастик и устойчивости к возникновению пластических деформаций асфальтобетонных покрытий. Деформационная способность дисперсно-армированного асфальтобетона в некоторых случаях повышается до 40 %. Увеличение прочности и деформативности асфальтобетона при 0 °С снижает вероятность возникновения трещин, что особенно важно для гидротехнического строительства [7, 8].

Кроме того, выполненные исследования показали, что дисперсное армирование существенно повышает усталостную долговечность асфальтобетона, прочность на растяжение при изгибе в области отрицательных температур, повышает прочность при сдвиге при положительных температурах [5–8].

Следует отметить и негативные моменты существующих технологий дисперсного армирования. Это прежде всего необходимость предварительной обработки дисперсной арматуры поверхностно-активными веществами для обеспечения хорошей адгезии нефтяного битума к поверхности волокон; невозможность использования многих видов отходов и побочных продуктов промышленности, содержащих полимерные материалы, для дисперсного армирования асфальтобетонных смесей; ограничение длины волокон дисперсной арматуры, вызванные необходимостью обеспечения достаточной однородности смеси [5, 8].

Таким образом, введение дисперсной арматуры в асфальтобетонную смесь должно повышать деформационно-прочностные свойства асфальтобетона, при этом дисперсно-армированные асфальтобетонные смеси целесообразно применять для строительства верхних слоев покрытий автомобильных дорог I–II категорий, а также в городских условиях, на участках повышенной грузонапряженности. Наибольший эффект достигается при использовании дисперсно-армированных асфальтобетонных смесей для строительства покрытий на участках интенсивного торможения автомобилей [9].

**Цель работы** состоит в разработке состава холодной органо-минеральной смеси, армированной полипропиленовым волокном, с повышенными деформационно-прочностными свойствами, предназначенной для ремонта дорожных покрытий.



## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Специфика изготовления холодной органоминеральной смеси такова, что для ее получения необходим жидкий нефтяной битум. В качестве вяжущего материала принят нефтяной дорожный битум марки СГ 70/130 со следующими характеристиками: условная вязкость по вискозиметру с отверстием 5 мм при 60 °С – 97 с; количество выпаренного разбавителя – 10,1 %; температура размягчения остатка после определения количества выпаренного разбавителя – 41 °С. Жидкий битум СГ 70/130 получен из битума БНД 60/90 Павлодарского НПЗ с добавлением разбавителя. В качестве разбавителя использовался технический керосин 12 % по массе с добавлением поверхностно-активного вещества (ПАВ) «Адбит» – 0,5 %.

Для исследования влияния свойств волокна армирующего полипропиленового (ВАП) на показатели качества холодной органоминеральной смеси был выбран холодный мелкозернистый асфальтобетон (тип Гх). Зерновой состав минеральной части органоминеральной смеси (табл. 1) получен дроблением и рассевом щебня непрерывной гранулометрией согласно табл. 5 ДСТУ Б В.2.7-119-2011.

Таблица 1 – Зерновой состав минеральной части органоминеральной смеси без ВАП

Тип асфальтобетона	Содержание по массе, % минеральных зерен, которые меньше данного размера, мм							Ориентировочное содержание орг. вяжущего
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	
Асфальтобетон холодный песчаный тип «Гх»	100	72	55	42	32	23	16	6 %

Минеральный порошок использовался известняковый [10].

В качестве дисперсной арматуры принято ВАП в соответствии с ТУ.У.24.7-32781078-001:2006. Технические характеристики ВАП приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Технические характеристики ВАП

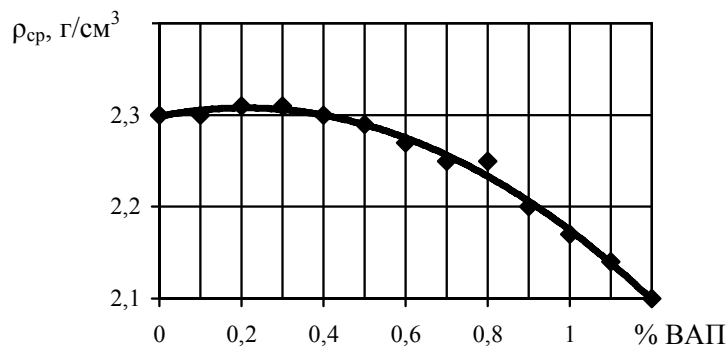
Наименование показателей	Единицы измерения	Значения показателей
Материал	–	полипропилен
Диаметр	мкм	18–20
Длина	мм	12
Плотность	т/м <sup>3</sup>	0,91
Прочность на разрыв	Н/мм <sup>2</sup>	больше 400
Температура размягчения	°С	165

Повышение содержания ВАП в асфальтобетоне приводит к постепенному снижению его средней плотности (рис. 1), что выражено в повышении пористости структуры материала из-за недостаточного количества органического вяжущего, часть которого переходит на полипропиленовые волокна. При содержании ВАП до 0,6 % средняя плотность остается практически неизменной.

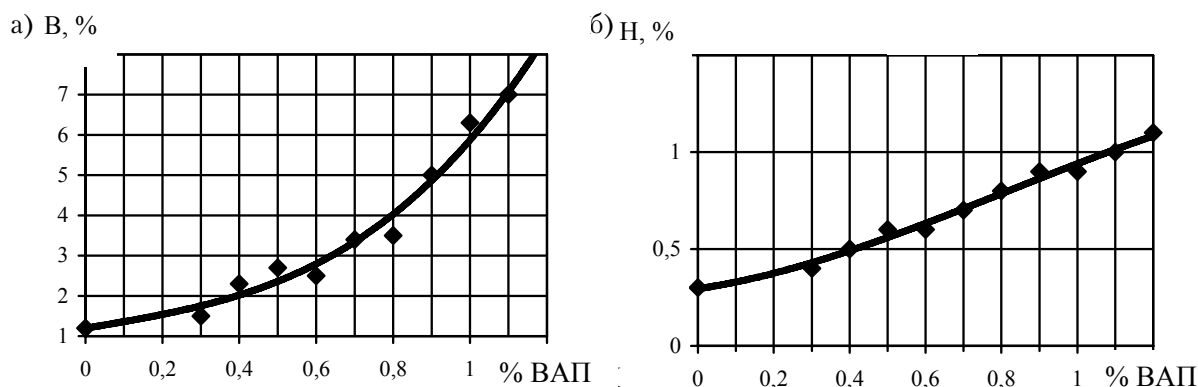
Из рис. 2 видно, что водонасыщение и набухание образцов из холодной органоминеральной смеси происходит с разной интенсивностью, при содержании ВАП от 0,4 до 0,8 % менее интенсивно вследствие тщательного заполнения пор битумом. При содержании ВАП от 0,8 до 1,2 % интенсивность водонасыщения увеличивается значительно. Водонасыщение в интервале от 0,4 до 0,8 % соответствует нормативным значениям.

Следует отметить, что введение ВАП в холодную органоминеральную смесь приводит к уменьшению коэффициента водостойкости с 0,90 до 0,76 %, но при этом коэффициент водостойкости находится в нормируемых пределах [11]. Как и отмечалось выше, это происходит вследствие увеличения количества фибры в смеси, которая сорбирует часть битума на себя.

Как отмечено в работе [12], введение аналогичных по свойствам волокон в холодную органоминеральную смесь приводит к повышению пористости асфальтобетона с 18,7 % (при отсутствии ВАП в смеси) до 23,9 % (содержание волокон 1,3 %) при нормативном значении – не выше 21 %. Введение ВАП в количестве 0,3...0,8 % приводит к равномерному незначительному увеличению пористости



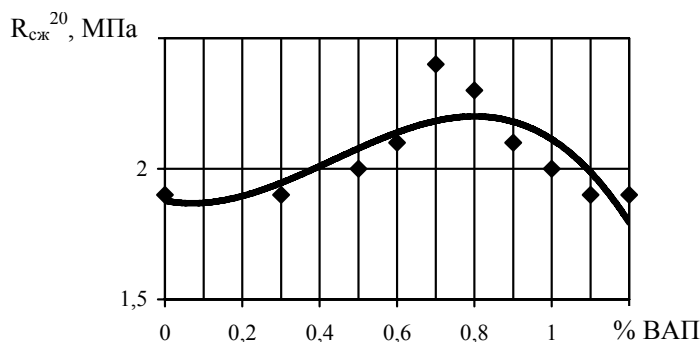
**Рисунок 1** – Средняя плотность холодного асфальтобетона типа Гх в зависимости от содержания ВАП.



**Рисунок 2** – Водонасыщение (а) и набухание (б) образцов холодного асфальтобетона типа Гх в зависимости от содержания ВАП.

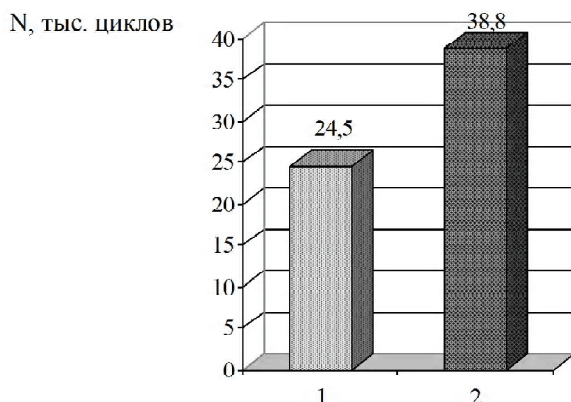
образцов с холодной органоминеральной смеси, это может свидетельствовать о том, что содержание битума в асфальтобетонной смеси достаточно для заполнения пор. С увеличением количества ВАП (0,8...1,3 %) происходит увеличение пористости более интенсивно.

При введении 0,3...0,5 % ВАП в органоминеральную смесь происходит небольшой рост предела прочности при сжатии образцов асфальтобетона. С увеличением содержания ВАП до 0,8 % увеличивается и предел прочности при сжатии до 2,4 МПа. Дальнейшее увеличение количества ВАП приводит к «переармированию» органоминеральной смеси и снижению ее прочности. Но при этом прочность дисперсно-армированной смеси находится в пределах нормативного значения. Очевидно, что оптимальное содержание полипропиленового волокна будет находится в пределах от 0,6 до 0,8 %. В данном интервале наблюдается наибольший предел прочности при сжатии образцов из холодной органоминеральной смеси при удовлетворяющих нормативным значениям водонасыщения и набухания (рис. 3).



**Рисунок 3** – Предел прочности при сжатии образцов асфальтобетона типа Гх в зависимости от содержания ВАП при температуре 20 °С.

Исследования усталостной долговечности выполнены в соответствии с работой [10] при температуре 20 °С и кратковременной нагрузке 0,8 МПа с частотой воздействия 1 Гц (нагрузка – 0,1 с, отдых – 0,9 с). Сравнительная диаграмма полученных результатов приведена на рис. 4.



**Рисунок 4** – Сравнительная диаграмма усталостной долговечности традиционного асфальтобетона типа Гх (1) и дисперсно-армированного асфальтобетона типа Гх (2) (содержание ВАП – 0,7 %).

Оптимальное содержание полипропиленового волокна – 0,7 % от массы органоминеральной смеси позволило в 1,6 раза повысить усталостную долговечность асфальтобетона типа Гх. Это свидетельствует об усилении коагуляционных связей в органоминеральной смеси вследствие переплетения волокон вокруг частиц минерального материала и объединения друг с другом, создавая достаточно прочную пространственную матрицу из перепутанных волокон. Это значительно снижает рост магистральных усталостных трещин, так как при встрече развивающейся трещины с полипропиленовыми волокнами, ВАП воспринимает растягивающие напряжения благодаря достаточно большой прочности волокон на разрыв (более 400 Н/мм<sup>2</sup>) и тем самым минимизирует развитие усталостного разрушения. Это согласуется с данными, приведенными в работе [12], в которой отмечено, что для дисперсно-армированной смеси подобного состава за счет присутствия распределенных в нем волокон, в процессе испытаний по определению остаточной деформации при постоянной нагрузке, характерен более длительный период работоспособности при высокой температуре.

Кроме того, во время выполнения испытаний наблюдалась такая закономерность – с увеличением количества ВАП в органоминеральной смеси визуально повышалась трещиностойкость лабораторных образцов. При определении предела прочности при сжатии, когда давление в плитах пресса достигло разрушительного, образцы из армированной смеси не разрушались мгновенно, как образцы, приготовленные из традиционной холодной асфальтобетонной смеси, а продолжали выдерживать нагрузки. С увеличением нагрузки образцы из армированной смеси меняли форму, но не теряли сплошность (в отличие от образцов из асфальтобетонной неармированной смеси), при этом показания силоизмерителя пресса уменьшались незначительно.

## ВЫВОДЫ

Рассмотрена возможность повышения физико-механических и деформационно-прочностных свойств холодного асфальтобетона введением в смесь армирующих полипропиленовых волокон. Экспериментально установлено, что оптимальное содержание ВАП в холодной органоминеральной смеси составляет 0,6...0,8 %. Это приводит к повышению предела прочности при сжатии на 26 % и усталостной долговечности на 60 % по отношению к образцам без содержания ВАП. При этом значения средней плотности и водонасыщения соответствуют нормативным значениям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусел, А. В. Ремонт автомобильных дорог [Текст] : Учеб. пособие / А. В. Бусел. – Мн. : Арт Дизайн, 2004. – 208 с.
2. Зубков, А. Ф. Технология устройства покрытий нежесткого типа из асфальтобетонных горячих смесей [Текст] : учеб. пособие / А. Ф. Зубков, К. А. Андрианов, Т. И. Любимова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 80 с.

3. Рабинович, Ф. Н. Некоторые вопросы дисперсного армирования бетонных материалов стекловолокном [Текст] / Ф. Н. Рабинович // Дисперсно-армированные бетоны и конструкции из них : тезисы докладов / Госстрой СССР, ВНИИТПИ. – Рига : ЛатИИТИ, 1975. – С. 68–72.
4. Строев, Д. А. Зависимость деформативных свойств асфальтогранулобетонов от вида применяемых вяжущих и скоростей нагружения [Текст] / Д. А. Строев, С. Я. Гаркавенко // Известия высших учебных заведений «Строительство». – Новосибирск, 2009. – № 8. – С. 72–77.
5. Строев, Д. А. Дисперсно-армированные бетоны на битумно-цементном вяжущем для строительных и ремонтных работ [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Д. А. Строев. – Ростов-на-Дону, 2013. – 192 с.
6. Скрыльников, В. Зима не помеха для ямочного ремонта [Текст] / В. Скрыльников // Дороги России XXI века. – М., 2009. – № 2. – С. 58–59.
7. Маргайлик, Евгений. Дисперсно-армированный асфальтобетон в конструкциях дорожных одежд [Электронный ресурс] / Евгений Маргайлик // Строительство и недвижимость. – [2010]. – Режим доступа : <http://www.nestor.minsk.by/sn/1998/44/sn84421.htm>.
8. Маргайлик, Евгений. Армирования асфальтобетонных покрытий: Применение трещинопрерывающих прослоек в конструкциях дорожных одежд [Электронный ресурс] / Евгений Маргайлик // Унипром. – [2010]. – Режим доступа : <http://uniprom.com.ua/ru/technology/asfaltarming>.
9. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий [Текст] : Методические рекомендации / [В. Н. Шестаков, В. Б. Пермяков, В. М. Ворожейкин, Г. Б. Старков.]. – 2-е изд., с доп. и изм. – Омск : ОАО «Омский дом печати», 2004. – 256 с.
10. Ромасюк, Е. А. Дорожные асфальтополимербетоны с комплексно-модифицированной структурой повышенной усталостной долговечности [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.05 / Е. А. Ромасюк. – Макеевка, 2016. – 175 с.
11. ГОСТ 9128-2009. Смесей асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 9128-97 ; введ. 2011-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 33 с.
12. Полякова, С. П. Дисперсно-армированный асфальтобетон с применением синтетических волокон [Текст] / С. П. Полякова // Дороги и мосты. – М. : РосдорНИИ, 2013. – № 1. – С. 247–260.

Получено 09.12.2016

Є. О. РОМАСЮК, О. О. ВЕРЕЦУН, Д. С. БОЙКО, М. А. АБАЗА  
БЕТОНИ З ДИСПЕРСНО-АРМОВАНИХ ХОЛОДНИХ ОРГАНО-  
МІНАРЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ З ПІДВИЩЕНИМИ ДЕФОРМАЦІЙНО-  
МІЦНІСНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У статті наведено порівняльні результати досліджень стандартних (ДСТУ Б В.2.7-119: 2011) і дисперсно-армованих бетонів з холодної органо-мінеральної суміші із застосуванням синтетичного фіброволокна з оцінкою фізико-механічних і деформаційно міцнісних показників. Показано, що введення до складу органо-мінеральної суміші поліпропіленових волокон дозволяє підвищити міцність бетону при стисканні в 1,5 рази і утомленісну довговічність при впливі циклічних навантажень в 1,7 разу. Встановлено, що оптимальний вміст поліпропіленового волокна в суміші знаходиться в межах від 0,6 до 0,8 %.

**Ключові слова:** поліпропіленове волокно, холодна органо-мінеральна суміш, щільність, водонасичення, міцність, усталісна довговічність.

EVGENY ROMASYUK, ALEXANDER VERETSUN, DARIA BOYKO,  
MARINA ABAZA  
CONCRETE OF GLASS FIBER COLD ORGANIC-COMPOUNDS WITH  
IMPROVED DEFORMATION-STRENGTH PROPERTIES  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The article presents the results of organic-compound studies of standard and fiber concrete from the cold organic-compound mixture with synthetic fiberglass with the assessment of the physical and mechanical deformation and strength characteristics. It has been shown that the introduction of the organic-compound mixture of polypropylene fibers can increase the strength of concrete in compression to 1.5 times the fatigue life when subjected to cyclic loading in 1.7 times. It has been found out that the optimum content of the polypropylene fibers in the mixture ranges from 0.6 to 0.8 %.

**Key words:** polypropylene fiber by organic mixture is cool, density, water saturation, durability, fatigue life.

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

**Верецун Александр Александрович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.

**Бойко Дарья Сергеевна** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.

**Абаза Марина Анатольевна** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд.

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

**Верецун Олександр Олександрович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів.

**Бойко Дар'я Сергіївна** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів.

**Абаза Марина Анатоліївна** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: отримання технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів.

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

**Veretsun Alexander** – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: getting-tech and durable road concretes for building structural layers of non-rigid pavements.

**Boyko Daria** – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: getting-tech and durable road concretes for building structural layers of non-rigid pavements.

**Abaza Marina** – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: getting-tech and durable road concretes for building structural layers of non-rigid pavements.

УДК 625.855.4

**В. В. ХАЗИПОВА, А. Ю. ЧИТАЛАДЗЕ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **О ПОВЫШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ**

**Аннотация.** Выполнен анализ запыленности, загазованности, уровня шума и вибрации на технологических переделах производства горячих асфальтобетонных смесей с учетом требований действующих нормативных документов. Показаны критические значения фоновых показателей концентраций неорганической пыли, органических и неорганических веществ, чистоты воды в резервуарах, температуры дымовых газов. Предложена холодная технология производства асфальтошлакобетонных смесей на медленнораспадающейся эмульсии. Показано, что применение холодных асфальтошлакобетонных смесей позволит сэкономить при производстве 1 т асфальтобетонной смеси 10 кВт·ч электроэнергии, 16 кг топлива в пересчете на жидкое, снизить уровень выделенных вредных веществ в десятки раз по сравнению с производством горячих асфальтобетонных смесей.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, технология производства асфальтобетонных смесей, источники выброса пылеватых частиц и органических соединений, холодная технология производства асфальтошлакобетонных смесей.

### **ПОСТАНОВКА НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ**

В настоящее время мировой объем производства асфальтобетонных смесей составляет 1,5 млрд тонн. Это обусловлено тем, что из 35 млн км внегородских автомобильных дорог в мире, 85...90 % составляют асфальтобетонные дороги [1, 2].

В то же время технология производства асфальтобетонных смесей должна обеспечить экологическую безопасность работающих на всех этапах технологического процесса и соответствовать требованиям следующих нормативных документов: ГОСТ 12.3.002-75, ГОСТ 12.1.004.91, СНиП III-4-80, правил пожарной безопасности.

Для контроля фоновых показателей целесообразно контролировать как на территории асфальтобетонного завода (АБЗ), так и на границе санитарно-технической зоны (АБЗ должен располагаться с подветренной стороны от населенных пунктов на расстоянии 1 000 м и более) запыленность и загазованность воздуха, уровень шума и вибрации, освещенность, отклонения от оптимальных норм температуры производства асфальтобетонной смеси, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне, электробезопасность применяемых машин и оборудования.

Концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны и параметры микроклимата не должны превышать норм, предусмотренных ГОСТ 12.01.005-88. Допустимые значения уровней шума и вибрации в активных зонах со средними частотами 31,5 – 8 000 Гц, создаваемыми внутризаводским транспортом, асфальтосмесителем, скиповым подъемником и др., должны соответствовать ГОСТ 12.1.003-83 и ГОСТ 12.1.012-90.

В воздух рабочей зоны могут выделяться следующие вещества: неорганическая пыль (сушильный барабан) с разным содержанием диоксида кремния, углеводороды, оксиды карбида, ангидрид сернистый, оксид серы, сажа, свинец и его неорганические соединения.

### **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

На существующих асфальтобетонных заводах фирм «Кредмаш», «Phoenix», «Road Star», «Star Batch», «Amman» и др. для минимального загрязнения окружающей среды используют следующее

оборудование и установки: сухие пылеулавливатели (циклоны), мокрые пылеулавливатели (скрубберы), пылеулавливатели с рукавными фильтрами.

Для современных асфальтосмесительных установок периодического действия существуют три основных источника выброса пылеватых и глинистых частиц: элеватор транспортирования высушенных минеральных материалов (щебень, песок) на грохоты, а затем в асфальтосмеситель. В результате рассеивания и фракционирования заполнителей выделяются мелкодисперсные частицы размером менее 0,071 мм. Они также выделяются при сухом перемешивании в асфальтосмесителе щебня, песка и минерального порошка. При производстве горячих асфальтобетонных смесей (80 % от общего объема бетонных смесей на органических вяжущих) необходимо: периодически контролировать цвет выходящих из вытяжной трубы дымовых газов; при использовании мокрого скруббера проверять форсунки Вентури; контролировать чистоту воды в резервуаре-отстойнике в том месте, где вода откачивается из резервуара; измерять перепад давления в рукавных фильтрах, который должен быть в интервале от 50,4 до 152,4 мм водяного столба. Температура дымовых газов, которые транспортируются в пылеуловитель с рукавными фильтрами, не должна превышать 250 °С. При приготовлении асфальтобетонной смеси необходимо сравнивать фактический зерновой состав с исходным. В битумоприемниках необходимо устанавливать автоматические газоанализаторы.

Температурный режим производства горячих асфальтобетонных смесей требует больших затрат тепловой и электрической энергии, сопровождается выбросом в атмосферу большого количества минеральной пыли, оксидов серы и азота, углерода, канцерогенных углеводородов, наносящих ущерб окружающей среде и вызывающих профессиональные заболевания работающих (астма, бронхит и др.) [3]. Известно, что при производстве горячих асфальтобетонных смесей на стадии их производства нефтяной дорожный битум стареет (технологическое старение) на 50...70 %, чем при производстве асфальтобетонных смесей, приготовленных на битумных эмульсиях, что соответствует 7–10-и летнему периоду эксплуатации покрытия [4].

В Донбасской национальной академии строительства и архитектуры выполнены теоретико-экспериментальные исследования и разработаны составы и технология производства холодных асфальтобетонных смесей на медленнораспадающейся анионной битумной эмульсии, включающих отсеб дробления отвального мартеновского шлака, анионную битумную эмульсию и известь негашеную молотую, которые после укладки в конструктивные слои дорожной одежды и уплотнения формируют во времени структуру, представленную оптимальным сочетанием коагуляционных (контакты между частицами шлака осуществляются посредством адсорбционно-сольватных прослоек органического вяжущего) и кристаллизационно-конденсационных микроструктур (контакты прямого срастания кристаллов гидратированных минералов шлака) [5]. С использованием экспериментально-статистического метода математического планирования эксперимента установлены оптимальные параметры технологических режимов производства медленнораспадающихся анионных битумных эмульсий на отечественном эмульгаторе – сульфоноле НП-3. Доказано, что при скорости вращения вала диспергатора не менее 3 000 об/мин и оптимальном времени диспергирования битума в растворе эмульгатора (10...20 с) при зазоре между ротором и статором установки 1,0...1,5 мм, температуре вводимого битума в пределах 130...145 °С и рН водного раствора эмульгатора более 11 средний диаметр частичек эмульгированного битума на тридцатые сутки составляет  $(7-9) \cdot 10^{-6}$  м.

Определены оптимальные концентрационные соотношения в системе «отсеб дробления отвального мартеновского шлака – битумная эмульсия – известь негашеная молотая». В области этих значений асфальтошлакобетон на анионной битумной эмульсии характеризуется заданным комплексом физико-механических свойств на третьи сутки. Показано, что при содержании в асфальтошлакобетонной смеси 10...12 % анионной битумной эмульсии удельное число упругих связей составляет 0,4...0,6, что свидетельствует об оптимальной структуре асфальтошлакобетона, характеризующейся двумя взаимопроникающими микроструктурами – коагуляционной и конденсационно-кристаллизационной.

Асфальтошлакобетонные смеси отличаются повышенной уплотняемостью при температурах 20...60 °С, а бетоны в возрасте 28 суток по показателям физико-механических свойств превосходят требования, предъявляемые к горячим асфальтобетонам первой марки (ГОСТ 9128-84) и характеризуются более широкой зоной вязкоупругого поведения (температура стеклования минус 26...30 °С, а температура перехода в вязкопластичное состояние 70...85 °С), повышенным значением модуля упругости и устойчивости по Маршаллу в области повышенных температур, и меньшим показателем температурной чувствительности механических свойств. Они устойчивы к старению, водо- и морозостойки.

Это соответствует современным тенденциям в технологиях производства асфальтобетонных смесей [6–8].

Разработаны рекомендации по производству и применению битумных эмульсий на отечественном эмульгаторе. Асфальтошлакобетоны на анионной битумной эмульсии следует применять для текущего ремонта и устройства конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог II–III технических категорий.

## ВЫВОДЫ

Применение холодных асфальтошлакобетонных смесей по сравнению с горячими асфальтобетонными смесями позволяет: снизить в 2–3 раза энергоемкость производства асфальтобетонных смесей; отказаться от обезвоживания нефтяных дорожных битумов; сэкономить при производстве 1 т асфальтобетонной смеси 10 кВт·ч электроэнергии, 16 кг топлива в пересчете на жидкое; снизить себестоимость производства 1 т асфальтобетонной смеси на 20...30 %; улучшить условия труда при производстве, укладке и уплотнении смесей.

Как следует из данных информационной карты сравнительной санитарно-химической оценки холодной асфальтошлакобетонной и горячей асфальтошлакобетонной смеси, которые выполнены Донецким научным центром гигиены труда и профилактики травматизма, уровень выделения вредных веществ в процессе производства холодных асфальтошлакобетонных смесей в десятки раз ниже по сравнению с производством горячих.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радовский, Б. С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд [Текст] / Б. С. Радовский. – К. : ПолиграфКонсалтинг, 2003. – 240 с.
2. Иваньски, М. Асфальтобетон как композиционный материал с нанодисперсными и полимерными материалами [Текст] / М. Иваньски, Н. Б. Урьев ; Под общ. ред. д. х. н., Н. Б. Урьева. – М. : Технолиграфцентр, 2007. – 668 с.
3. Порадек, С. В. Еще раз о деградации битума при нагреве [Текст] / С. В. Порадек // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2007. – № 1. – С. 27.
4. Силкин, В. В. Экологически чистые технологии для производства асфальтобетонных смесей [Текст] / В. В. Силкин, Б. С. Марышев, В. М. Ольховиков // Строительная техника и технология. – 2008. – № 4. – С. 30–33.
5. Асфальтошлакобетоны на анионных битумных эмульсиях [Текст] / В. И. Братчун, Ю. В. Грицук, В. Л. Беспалов, М. К. Пактер [и др.] // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 4. – С. 22–25.
6. Мардиросова, И. В. Анализ ресурсосберегающих добавок, позволяющих получать «Теплые асфальтобетонные смеси» со сниженным уровнем выброса вредных веществ [Текст] / И. В. Мардиросова, С. А. Чернов, Н. А. Проценко // Мир дорог. – 2016. – № 5. – С. 45–48.
7. Андронов, С. Ю. Холодная технология производства и применения вибролитого регенированного асфальта [Текст] / С. Ю. Андронов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2011. – № 1. – С. 178–191.
8. Андронов, С. Ю. Технология производства холодного композиционного щебеночно-мастичного асфальта с дисперсным битумом [Электронный ресурс] / С. Ю. Андронов, Ю. А. Трофименко, Ю. А. Кочетков // НАУКОВЕДЕНИЕ : Интернет-журнал. – 2016. – Том 8, № 2. – Режим доступа : <http://naukovedenie.ru/pdf/105TVN216.pdf>.

Получено 12.12.2016

**В. В. ХАЗИПОВА, А. Ю. ЧИТАЛАДЗЕ**  
**ПРО ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ**  
**БЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА ОРГАНІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ**  
**ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»**

**Анотація.** Виконано аналіз запиленості, загазованості, рівня шуму і вібрації на технологічних етапах виробництва гарячих асфальтобетонних сумішей з урахуванням вимог діючих нормативних документів. Показані критичні значення фонових показників концентрацій неорганічного пилу, органічних і неорганічних речовин, чистоти води в резервуарах, температури димових газів. Запропоновано холодну технологію виробництва асфальтошлакобетонних сумішей на повільнорозпадній емульсії. Показано, що застосування холодних асфальтошлакобетонних сумішей дозволить заощадити при виробництві 1 т асфальтобетонної суміші 10 кВт·год електроенергії, 16 кг палива в перерахунку на рідке, знизити рівень виділених шкідливих речовин в десятки разів у порівнянні з виробництвом гарячих асфальтобетонних сумішей.

**Ключові слова:** екологічна безпека, технологія виробництва асфальтобетонних сумішей, джерела викиду пиловатих частинок і органічних сполук, холодна технологія виробництва асфальтошлакобетонних сумішей.



VERA KHAZIPOVA, ANNA CHITALADZE  
ABOUT ECOLOGICAL SAFETY INCREASE IN THE PRODUCTION OF  
CONCRETE MIXTURES BASED ON ORGANIC BINDERS  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The analysis of dust, gas pollution, noise and vibration in the technological updating of the production of hot asphalt mixtures taking into account the requirements of existing regulations has been carried out. It has been shown the critical values of background values concentrations of inorganic dust, organic and inorganic substances in tanks of water purity, the flue gas temperature. A cold production technology of asphalt and slag concrete mixtures on slowly setting emulsion has been suggested. It is shown that the use of cold asphalt and slag concrete mixtures allow to save in the production of 1 ton of asphalt mix 10 kW·h of electricity, 16 kg of fuel, based on the liquid, reduce the level of emissions of harmful substances in the tens of times in comparison with the production of hot asphalt mixes.

**Key words:** ecological safety, production technology of asphalt mixtures, Emission sources of silt particles and organic compounds, cold production technology asphalt and concrete mixtures.

**Хазипова Вера Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: защита окружающей среды.

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

**Хазіпова Віра Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: захист навколишнього середовища.

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

**Khazipova Vera** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Safety Technospheric Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: environment protection.

**Chitaladze Anna** – first-year student of Magistracy, Safety Technospheric Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: environmental safety of enterprises for the production of road – construction materials.

УДК 624.21

**М. К. ПАКТЕР, В. Л. БЕСПАЛОВ, Е. Э. САМОЙЛОВА, А. А. СТУКАЛОВ, Е. В. АНАНЬЕВ, Д. С. НАУМЕНКО**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ НЕФТЯНОГО ДОРОЖНОГО БИТУМА РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫМИ ОЛИГОМЕРАМИ НА ЕГО ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ В СЛОЯХ РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ**

**Аннотация.** В работе рассматривается влияние модификации дорожного битума реакционноспособными олигомерами (PCO) на его термоокислительную стабильность в слоях различной толщины. Термоокислительную стабильность оценивали по средней удельной скорости ( $\nu_{уд}$ ) изменения массы битума (в расчете на единицу поверхности и времени экспозиции). В качестве реакционноспособных олигомеров использованы Элвалой АМ (этиленглицидилакрилат) в комбинации с полифосфорной кислотой. Приведены зависимости  $\nu_{уд}$  (при 163 °С и экспозиции 5 ч) от толщины слоя битума ( $\delta$ ), которые различны для  $\delta > \delta_{кр}$  и  $\delta < \delta_{кр}$  ( $\delta_{кр}$  – толщина слоя, при которой весь слой битума вовлечен в процесс термоокисления). Показано, что модификация битума PCO приводит к уменьшению  $\delta_{кр}$  и  $\nu_{уд}$  (т. е. к повышению термоокислительной стабильности).

**Ключевые слова:** модифицированный дорожный битум, реакционноспособные олигомеры, Элвалой АМ, полифосфорная кислота, термоокислительная стабильность в слоях различной толщины.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Известно, что деградация механических характеристик битума как вяжущего для асфальтобетонных обусловлена преимущественно окислительными процессами [1–4]. Термоокислительная стабильность дорожных битумов (ТОС) обуславливает устойчивость асфальтобетонных как в процессе производства (при технологическом старении), так и в процессе эксплуатации под влиянием кислорода воздуха и температуры окружающей среды (при эксплуатационном старении).

На скорость старения и глубину превращений компонентов исходных битумов существенно влияет их дисперсная структура [2, 3]. Радикальным и наиболее перспективным способом ее регулирования является химическая модификация дорожных битумов реакционноспособными олигомерами (PCO).

Самый простой способ обнаружить влияние модификации на ТОС битумов – сравнить результаты термогравиметрического анализа (ТГА) исходного и модифицированного битума в воздушной среде. Этот подход использован в работах [5, 6], однако новые публикации позволяют существенно углубить и расширить понимание этих результатов [7].

**Цель работы** – рассмотреть влияние модификации дорожного битума PCO на его ТОС с позиции работы [7]. При этом решались *задачи*, связанные с корректировкой закономерностей термоокислительных процессов, обусловленных модификацией исходного битума PCO.

#### *1. Экспериментальная часть*

В качестве объектов исследования приняты дорожные битумы БНД 60/90 и БНД 130/200. В качестве PCO – этиленглицидилакрилат (ЭГА, торговая марка Элвалой АМ – продукция фирмы Дюпон, США) и полифосфорная кислота с содержанием фосфорных кислот в пересчете на НЗРО<sub>4</sub> 105 % (ПФК-105) [5, 6, 8].

Битум БНД 130/200 модифицирован 2 % Элвалою АМ совместно с 0,2 % ПФК-105 в качестве катализатора в соответствии с рекомендацией [8]: температура модификации 170 °С и 2 ч перемешивания с Элвалоем АМ (2 %) + 0,5 ч перемешивания с ПФК-105 (0,2 %).

Характеристики исходных и модифицированного битумов приведены в табл. 1. Показатели  $P_{25}$ ,  $T_p$ ,  $D$ ,  $\Delta$ ,  $\tau$  однозначно свидетельствуют о росте молекулярной массы битума БНД 130/200 в результате модификации, что должно приводить к повышению его ТОС.

**Таблица 1** – Характеристики битумов [5, 7]

№ п/п	Наименование битума	Пенетрация, П, дмм		Температура размягчения, $T_p$ , °С	Температура хрупкости, $T_{xp}$ , °С	Дуктильность, D, см		Эластичность, $\Delta$ , %		Адгезия, %	Коге-зия, $\tau_k$ , МПа	Интервал пластичности, °С
		0 °С	25 °С			0°С	25°С	0°С	25°С			
1.	БНД 60/90		62	47				0	0			
2.	БНД 130/200	53	151	37	–20	13	78	0	0	18	0,022	57
3.	Модифицированный РСО БНД 130/200	11	67	61	–17	12	43	62	77	84	0,059	78

Сравнение данных термограмм ТГА из работ [5, 6] (убыль массы  $\Delta m$  вследствие термоокислительных (ТО) процессов и испарения летучей части масел битума) [5, 6] приведено в табл. 2. Здесь же для сравнения приведены значения  $m$  для модификатора (Элвалой АМ), из которых видно, что он по ТОС этиленглицидилакрилат существенно превосходит немодифицированный и модифицированный битумы.

**Таблица 2** – Убыль массы при ТГА (линейный нагрев, 10 К/мин в токе воздуха, прибор ТГА 951 термоаналитического комплекса Du Pont 9900)

T, °С	$\Delta m$ , %		$\Delta m_u / \Delta m_n$	$\Delta m$ , %, Элвалою АМ
	БНД 130/200 ( $\Delta m_u$ )	модифицированный БНД 130/200 ( $\Delta m_n$ )		
200	< 0,1	< 0,1	–	0
250	1,2	0,7	0,58	0
300	5,0	3,0	0,60	0
350	15,8	12,2	0,77	3
400	36,5	30,9	0,85	5

Данные табл. 2 позволяют оценить повышение термоокислительной стабильности битума БНД 130/200 вследствие модификации при различных температурах как отношение  $\Delta m_u / \Delta m_n$  и получить это отношение для температуры 163 °С, при которой проведены исследования ТО для немодифицированного битума (№ 1 в табл. 1) [7] путем экстраполяции (рис. 1).

## 2. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ДОРОЖНОГО БИТУМА ПРИ ЕГО МОДИФИКАЦИИ РСО

**2.1 В работе [7] описаны закономерности термоокисления битума БНД 60/90 (№ 1 из табл. 1) при 163 °С в зависимости от толщины слоя ( $\tau$ ) и длительности ТО.**

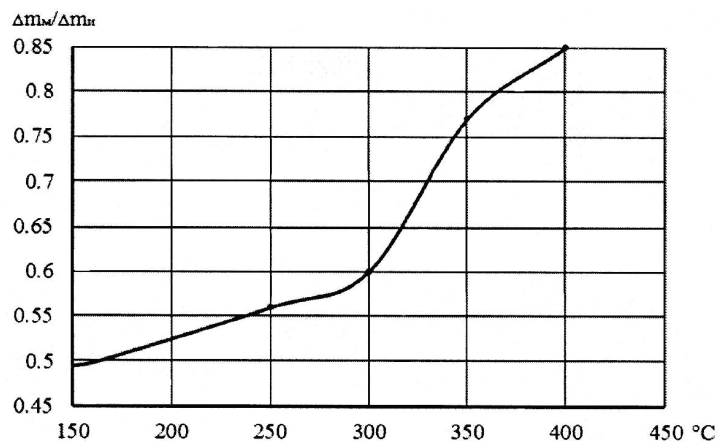
При этом использовали следующие показатели: степень превращения битума

$$\alpha = \frac{\Delta m}{m} \cdot 100 (\%), \quad (1)$$

где  $m$  – исходная навеска битума (в г);

$\Delta m$  – убыль ее массы при ТО (в г);

$\Delta m_{уд} = \Delta m / S$  – удельная убыль массы ( $\Delta m$ , г в расчете на единицу открытой поверхности битума  $S$ , см<sup>2</sup>).



**Рисунок 1** – Соотношение потери массы для модифицированного ( $\Delta m_{\text{м}}$ , битум 3 из табл. 1) и немодифицированного ( $\Delta m_{\text{н}}$ , битум 2 из табл. 1) битумов при ТГА (линейный нагрев, 10 К/мин, в токе воздуха, толщина слоя 1,25 мм, навеска 20 мкг).

Из приведенных зависимостей следует:

$$\alpha = 1000 \cdot \frac{\Delta m_{\text{уд}}}{\delta}, \quad (2)$$

где  $\Delta m_{\text{уд}}$  в г/см<sup>2</sup>,  
а  $\delta$  – в мм.

Для оценки ТОС битума использовали среднюю скорость ( $\bar{v}$ ) и среднюю удельную скорость ( $\bar{v}_{\text{уд}}$ ) реакции ТО:

$$\bar{v} = \frac{\alpha}{t} (\%/ \text{ч}). \quad (3)$$

$$\bar{v}_{\text{уд}} = \frac{\Delta m_{\text{уд}}}{t} (\text{г/см}^2 \cdot \text{ч}). \quad (4)$$

$$\bar{v}_{\text{уд}} = 1000 \frac{\bar{v}}{\delta} (\%/ \text{ч}). \quad (5)$$

Здесь  $t$  – длительность экспозиции (ТО) в ч.

Установлено, что закономерности ТО битума в слоях различной толщины ( $\delta$ ) различны [7]. Введено понятие критической толщины слоя битума ( $\delta_{\text{кр}}$ ), при которой весь слой вовлечен в процесс ТО (тонкие слои). При  $\delta > \delta_{\text{кр}}$  в ТО участвует только поверхностный слой битума, а глубже лежащие слои лишь поставляют в поверхностный слой израсходованные компоненты битума путем диффузии.

Для БНД 60/90 найдено:  $\delta_{\text{кр}} = 0,16$  мм.

При  $\delta > \delta_{\text{кр}}$

$$\bar{v}_{\text{уд}} = 1,27 \cdot 10^{-4} + 0,18 \cdot 10^{-4} (\delta - \delta_{\text{кр}}). \quad (6)$$

При  $\delta \leq \delta_{\text{кр}}$

$$\bar{v}_{\text{уд}} = 7,96 \cdot 10^{-4} \cdot \delta. \quad (7)$$

Зависимость  $\bar{v}_{\text{уд}}$  от экспозиции ( $t$ , ч) при 163 °C в интервале  $t = 2 \dots 20$  ч и  $\delta = 0,47 \dots 4,00$  мм описана корреляционным уравнением:

$$\bar{v}_{\text{уд}} \cdot 10^{-4} = 2,05 - 0,28 \ln t. \quad (8)$$

Для тонких слоев ( $\delta \leq \delta_{\text{кр}}$ ) эта зависимость упрощается до уравнения (3):

$$\alpha = \bar{v} \cdot t. \quad (3a)$$

**2.2 Переход от закономерностей ТО исходного битума (ур. 3а), (6) – (8)) к закономерностям ТО модифицированного битума** осуществим, используя приведенные выше экспериментальные данные (рис. 1).

Согласно рис. 1, в условиях ТГА отношение убыли массы модифицированного ( $\Delta m_\mu$ ) и исходного ( $\Delta m_u$ ) битумов (соответственно, №3 и №2 в табл. 1) при 163 °С  $\Delta m_\mu / \Delta m_u = 0,5$ .

Сделав допущение, что исходный и модифицированный битумы с близкой условной вязкостью ( $\Pi_{25}$ ) подчиняются одним и тем же закономерностям ТО (как битумы 1 и 3 из табл. 1), скорректируем уравнения (6)...(8) применительно к модифицированному битуму, используя отношение  $\Delta m_\mu / \Delta m_u = 0,5$ .

Согласно [7], в ур. (6) для толстых пленок первый член имеет физический смысл  $\bar{v}_{уд, \mu}^{кр}$ , т. е. средней удельной скорости при  $\delta = \delta_{кр}$ , а коэффициент пропорциональности в уравнении (7) для тонких пленок определяется как тангенс угла наклона ( $\text{tg } \beta$ ) линейной зависимости

$$\bar{v}_{уд} = \text{tg } \beta \cdot \delta, \quad (7a)$$

и может быть вычислен:

$$\text{tg } \beta = \frac{\bar{v}_{уд}^{кр}}{\delta_{кр}}. \quad (9)$$

2.2.1 С учетом сказанного найдем для толстых пленок модифицированного битума при ( $\delta > \delta_{кр}$ )

$$\bar{v}_{уд, \mu}^{кр} = 0,5 \cdot \bar{v}_{уд, u}^{кр} = 1,27 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 = 0,635 \cdot 10^{-4} \text{ (г/см}^2 \cdot \text{ч)}.$$

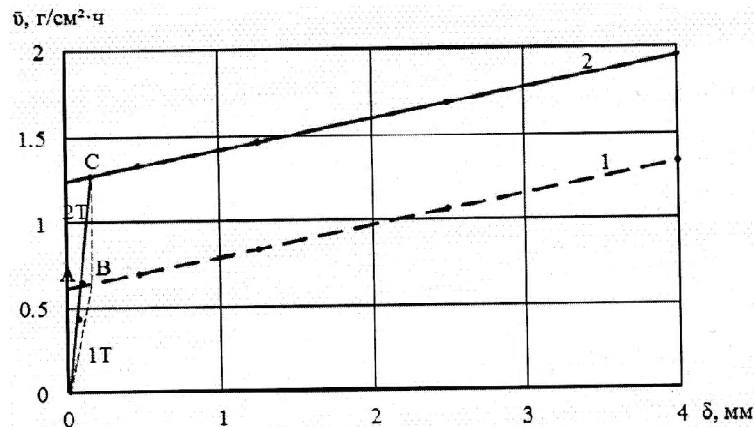
Тогда ур. (6) для модифицированного битума запишется в виде:

$$\bar{v}_{уд, \mu}^{кр} = [0,635 - 0,18(\delta - \delta_{кр})] \cdot 10^{-4} \text{ (г/см}^2 \cdot \text{ч)}. \quad (6a)$$

2.2.2 Для тонких пленок модифицированного битума ( $\delta \leq \delta_{кр}$ ) ур. (7) запишем в виде (7a):

$$\bar{v}_{уд, \mu} = (\text{tg } \beta)_\mu \cdot \delta,$$

и найдем  $\text{tg } \beta_\mu$  для двух предельных случаев ТО, которые иллюстрируются рис. 2:



**Рисунок 2** – Изменение средней удельной скорости термоокисления модифицированного (1) и исходного (2) битумов при 163 °С/ 5 ч в зависимости от толщины слоя  $\delta$ , мм (битумы № 3 и № 1 из табл. 1): 1 – модифицированный битум, 2 – исходный битум – толстые слои; 1Т и 2Т – то же для тонких слоев.

а)  $(\delta_\mu^{кр})_1 = \delta_A$ ,

поскольку точка А – это пересечение линейных зависимостей (6a) и (7), решив систему этих уравнений, найдем  $(\delta_\mu^{кр})_1 = 0,08$  мм.

б)  $(\delta_\mu^{кр})_2 = \delta_B = \delta_u^{кр} = 0,16$  мм.

Тогда  $\text{tg } \beta_\mu$  для тонких пленок должен находиться в пределах

$$(\text{tg } \beta_\mu)_1 = \frac{(\bar{v}_{уд, \mu}^{кр})_1}{\delta_A} = \frac{0,635 \cdot 10^{-4}}{0,08} = 7,94 \cdot 10^{-4},$$

$$(\text{tg } \beta_\mu)_2 = \frac{(\bar{v}_{уд, \mu}^{кр})_1}{\delta_B} = \frac{0,635 \cdot 10^{-4}}{0,16} = 4,06 \cdot 10^{-4}.$$

Здесь  $(\bar{v}_{уд, \mu}^{кр})_1$  найдено из ур. (6a) при  $\delta = \delta_{кр}$ , а  $(\bar{v}_{уд, \mu}^{кр})_2$  из того же уравнения при  $\delta = 0,16$  мм.

Точки пересечения зависимостей для тонких ( $\delta < \delta_{кр}$ ) и толстых ( $\delta > \delta_{кр}$ ) слоев битума соответствуют: 2Т и 2 –  $\delta_{кр}^{\text{кр}} = 0,16$  мм (точка С), 1Т и 1 –  $(\delta_{кр}^{\text{кр}})_1 = 0,16$  мм (точка В), 2Т и 1 –  $(\delta_{кр}^{\text{кр}})_2 = 0,08$  мм (точка А).

Для дальнейших расчетов примем среднее значение  $\text{tg } \beta_{\mu} = 6,01 \cdot 10^{-4}$ , чему соответствует скорректированное ур. (7а):

$$\bar{v}_{уд,\mu} = 6,01 \cdot 10^{-4} \cdot \delta. \quad (76)$$

Из ур. (7а) и (76) найдем новое значение  $\delta_{кр}^{\text{кр}}$  для модифицированного битума (соответствующее  $(\bar{v}_{уд,\mu}^{\text{кр}})_1 = 0,635 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^2 \cdot \text{ч}$ ) и  $\text{tg } \beta = 6,01 \cdot 10^{-4}$ :

$$\delta_{кр}^{\text{кр}} = \frac{0,635 \cdot 10^{-4}}{6,01 \cdot 10^{-4}} = 0,106 \approx 0,11 \text{ (мм)}.$$

**2.3. Результаты расчетов  $\bar{v}_{уд,\mu}$  для различной толщины пленок модифицированного битума**, выполненные по ур. (6а) (для  $\delta > \delta_{кр} = 0,11$  мм) и (76) – для  $\delta \leq \delta_{кр} = 0,11$  мм, приведены в табл. 3. Здесь же приведены данные для немодифицированного битума.

**Таблица 3** – Термоокислительная стабильность ( $\bar{v}_{уд}$ ) исходного и модифицированного битумов (номер битума соответствует приведенному номеру в табл. 1) при 163 °С / 5 ч в слоях различной толщины ( $\delta$ )

Толщина слоя битума, $\delta$ , мм	Средняя удельная скорость термоокисления $\bar{v}_{уд} \cdot 10^4$ , г/см <sup>2</sup> ·ч			
	Исходный битум № 1		Модифицированный битум № 3 <sup>3)</sup>	
	Эксперимент <sup>1)</sup>	Расчет <sup>2)</sup> ( $\delta_{кр} = 0,16$ мм)	$\delta_{кр} = 0,08$ мм	$\delta_{кр} = 0,11$ мм
4,0	1,67	1,96	1,34	1,34
2,5	1,49	1,69	1,07	1,07
1,25	–	1,47	0,85	0,84
0,47	1,42	1,33	0,71	0,70
0,054	0,43	0,43	0,43	0,32
$\delta_{кр}$ <sup>4)</sup>	–	1,27	0,64	0,64

**Примечание:**

<sup>1)</sup> Взяты из работы [7].

<sup>2)</sup> Расчет по ур. (6) при  $\delta > \delta_{кр} = 0,16$  мм и по ур. (7) при  $\delta \leq \delta_{кр} = 0,16$  мм.

<sup>3)</sup> Расчет по ур. (6а) для  $\delta > \delta_{кр} = 0,11$  мм и по ур. (76) для  $\delta \leq \delta_{кр} = 0,11$  мм.

<sup>4)</sup> Экстраполяция уравнений регрессии к  $\delta = \delta_{кр}$ .

Как видно из табл. 3, эксперимент достаточно хорошо совпадает с расчетом. ТОС в результате модификации БНД 130/200 РСО существенно возрастает и существенно не зависит от толщины слоя, принятого в качестве критического в пределах  $\delta_{кр} = (0,08...0,11)$  мм.

## ВЫВОДЫ

1. В данной работе (в развитие работы [7]) приведены математические модели поведения модифицированного дорожного нефтяного битума при его термоокислении 163 °С / 5 ч) в слоях различной толщины ( $\delta$ ).

Рассмотрена модификация битума БНД 130/200 реакционноспособными олигомерами Элвалой АМ фирмы «DUPON», США в присутствии полифосфорной кислоты ПФК-105 в качестве катализатора.

2. Приведенные в работе модели позволяют оценить термоокислительную стабильность модифицированного битума по средней удельной скорости термоокисления ( $\bar{v}_{уд}$ , г/см<sup>2</sup>·ч) в зависимости от толщины слоя:

для толстых слоев ( $\delta > \delta_{кр}$ ) – по ур. (6а),

для тонких слоев ( $\delta \leq \delta_{кр}$ ) – по ур. (76).

3. Для перехода к другой длительности термоокисления ( $t \neq 5$  ч) следует использовать ур. (3а) при  $\delta \leq \delta_{кр}$  и (8) при  $\delta > \delta_{кр}$ .

4. Для перехода к другим температурам термоокисления следует поставить дополнительный эксперимент по определению энергии активации термоокислительных процессов или воспользоваться уже опубликованными данными [1, 9, 10].

5. Предложенный теоретико-экспериментальный подход позволяет эффективно использовать легкодоступные данные экспериментальной термогравиметрии для разработки аналогичных моделей термоокисления в зависимости от марки битума, глубины и способов модификации

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 264 с.
2. Органические вяжущие для дорожного строительства [Текст] / С. К. Илиополов, И. В. Мардиросова, Е. В. Углова, О. К. Безродный. – Ростов-на-Дону : Юг, 2003. – 428 с.
3. Тестирование битумных вяжущих [Текст] / С. И. Дубина, В. Г. Никольский, Т. В. Дударова [и др.] // Автомобильные дороги. – 2016. – № 05 (1014), май. – С. 72–77.
4. Технологическое старение дорожного нефтяного битума как двухфакторный процесс [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, А. А. Стукалов [и др.] // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2012. – Вип. 23. – С. 31–41.
5. Самойлова, Е. Э. Дорожные асфальтобетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой с использованием реакционноспособного термопласта Элвалой АМ [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / Е. Э. Самойлова. – Макеевка, 2007. – 171 с.
6. Модификация дорожного битума реакционноспособным термополимером с использованием катализатора [Текст] / В. И. Братчун, Е. Э. Самойлова, М. К. Пактер // Современные проблемы строительства / Донецкий ПромстройНИИпроект. – 2005. – № 3(8). – С. 213–218.
7. Пактер, М. К. Термоокислительные превращения дорожного битума в слоях различной толщины [Текст] / М. К. Пактер, А. А. Стукалов // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2015. – Вип. 2015-1(111) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 79–85.
8. Рекомендации по начальной проверке качества Элвалой АМ в дорожном асфальте с использованием катализатора. Техническая записка 2 (General Rein KL) [Текст] / Фирма Do Point (США). – [Б. м. : б. и.], 2000. – 10 с.
9. Апостолов, С. А. Научные основы производства битумов [Текст] / С. А. Апостолов. – Л. : ЛГУ, 1988. – 168 с.
10. Температурные зависимости процессов деградации вязких нефтяных дорожных битумов при их технологическом старении [Текст] / М. К. Пактер, В. И. Братчун, А. А. Стукалов, О. Н. Нарижная // Современные проблемы строительства : Ежегодный научно-технический сборник Донецкого ПромстройНИИпроекта. – Донецк, 2012. – № 15. – С. 74–80.

Получено 13.12.2016

М. К. ПАКТЕР, В. Л. БЕСПАЛОВ, О. Е. САМОЙЛОВА, О. А. СТУКАЛОВ,  
Е. В. АНАНЬЕВ, Д. С. НАУМЕНКО  
ВПЛИВ МОДИФІКАЦІЙ НАФТОВОГО ДОРОЖНЬОГО БІТУМУ  
РЕАКЦІЙНОЗДАТНИМИ ОЛІГОМЕРАМИ НА ЙОГО  
ТЕРМООКИСЛЮВАЛЬНУ СТАБІЛЬНІСТЬ В ШАРАХ РІЗНОЇ ТОВЩИНИ  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотация.** У роботі розглядається вплив модифікації дорожнього бітуму реакційноздатними олігомерами (РЗО) на його термоокислювальну стабільність в шарах різної товщини. Термоокислювальну стабільність оцінювали по середній питомій швидкості ( $\nu_{уд}$ ) зміни маси бітуму (в розрахунку на одиницю поверхні і часу експозиції). Як реакційноздатні олігомери використано Елвалой АМ (етилєнглїцидилакрилат) в комбінації з поліфосфорною кислотою. Наведено залежності (при 163 °С і експозиції 5 г) від товщини шару бітуму ( $\delta$ ), які різні для  $\delta > \delta_{кр}$  і  $\delta < \delta_{кр}$  ( $\delta_{кр}$  – товщина шару, при якій весь шар бітуму залучений в процес термоокислення). Показано, що модифікація бітуму РЗО приводить до зменшення  $\delta_{кр}$  і  $\nu_{уд}$  (тобто до підвищення термоокислювальної стабільності).

**Ключові слова:** модифікований дорожній бітум, реакційноздатні олігомери, Елвалой АМ, поліфосфорна кислота, термоокислювальна стабільність в шарах різної товщини.

MIXAIL PAKTER, VITALY BESPALOV, HELEN SAMOYLOVA, ALEKSANDR STUKALOV, YEVHEN ANANIEV, DENIS NAUMENKO  
EFFECT OF MODIFICATION PETROLEUM BITUMEN BY REACTIVITY OLIGOMERS ITS THERMAL OXIDATIVE STABILITY IN LAYERS OF VARYING THICKNESS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The paper examines the impact of the modification of bitumen reactivity oligomers (PCO) on its thermal oxidative stability in layers of varying thickness. Thermal oxidative stability was evaluated by the average specific speed ( $\nu_{yd}$ ) changes the mass of bitumen (per unit surface area and time of exposure). Elvaloy AM (etilenglitsidilakrilat) in combination with a polyphosphoric acid has been used as reactive oligomers. The dependences  $\nu_{yd}$  (at 163 °C and 5 h exposure) on the thickness of the layer of bitumen ( $\delta$ ), which are different for  $\delta > \delta_{kr}$  and  $\delta < \delta_{kr}$  ( $\delta_{kr}$  – layer thickness at which all asphalt layer involved in thermal oxidation process) have been given. It has been shown that the modification of the bitumen reduces the RIS and  $\delta_{kr}$  and  $\nu_{yd}$  (i. e., to increase the thermal oxidative stability).

**Key words:** modified bitumen road, reactivity oligomers Elvaloy AM, polyphosphoric acid, thermal oxidative stability in layers of different thicknesses.

**Пактер Михаил Константинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химическая механика технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев жестких дорожных одежд на основе модифицированных органических вяжущих и комплексного модифицирования структуры бетонов; разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

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

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

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

**Ананьев Евгений Валерьевич** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: модификация дорожных битумов.

**Наumenko Денис Сергеевич** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности в дорожном строительстве.

**Пактер Михайло Костянтинович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів жорстких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

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

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

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



**Ананьев Євген Валерійович** – магістрант кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: модифікація дорожніх бітумів.

**Науменко Денис Сергійович** – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості в дорожньому будівництві.

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

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

**Samoylova Helen** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Applied Chemistry Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture; a senior research worker of DP «Ukrainian state scientifically – research institute of plastic the masses». Scientific interests: physical and chemical researches of polymeric composition materials.

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

**Ananiev Yevhen** – Master's student, Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: modification of road asphalt.

**Naumenko Denis** – Master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of industrial wastes in road construction.

УДК 666.97.03:624.012.4

**О. Э. БРЫЖАТЫЙ, В. И. КРОТЮК, Р. Ю. ЛЕМЕШЕНКО, М. В. ФУНЬКО, А. А. МЕЛЬНИКОВА**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ  
ПРИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР И  
УВЛАЖНЕНИИ**

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос повышения точности расчетов температурно-влажностных полей в железобетонных конструкциях при циклических воздействиях повышенных температур и увлажнения. Установлен характер влияния влажности и количества циклов температурно-влажностных воздействий на коэффициент теплопроводности.

**Ключевые слова:** теплоперенос, коэффициент теплоемкости, коэффициент теплопроводности.

**ВВЕДЕНИЕ**

Для железобетонных конструкций, работающих в условиях циклического воздействия повышенных температур и увлажнения особенно велико влияние распределения полей температуры и влажности на напряженно-деформированное состояние этих конструкций. Поэтому достоверное определение температурно-влажностных полей существенно влияет на оценку состояния как отдельных железобетонных конструкций, так и всего здания или сооружения.

*Теплофизические свойства бетона при циклических воздействиях повышенных температур и увлажнения*

Сравнивая теоретические поля распределения температуры, полученные по методике [1, 2, 3], с полями, полученными в результате экспериментальных исследований распределения полей в железобетонных конструкциях, подвергнутых циклическим температурно-влажностным воздействиям, можно отметить следующее. Полученные теоретические поля распределения температуры совпадают с экспериментальными в зонах, где бетон находится в приблизительно одинаковых значениях влажности при разных циклах. В зонах с изменяющейся влажностью и в прилегающих к ним зонах наблюдается существенное (до 5...10 %) расхождение этих результатов.

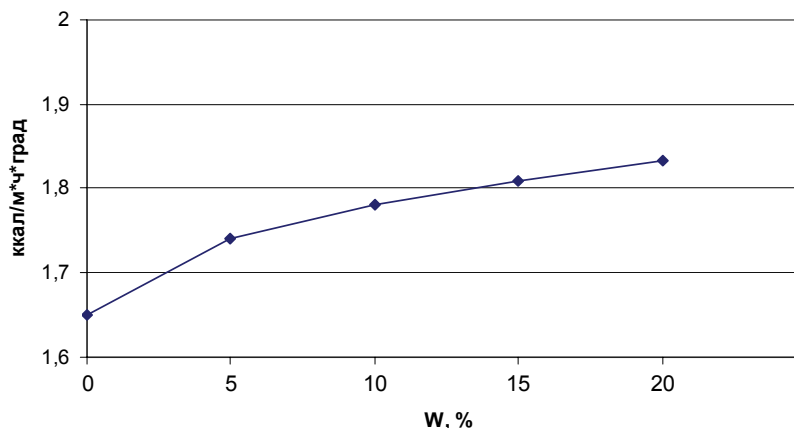
Очевидно, причина найденных отклонений в изменении коэффициента температуропроводности. Как отмечалось в работах [4, 5], коэффициент температуропроводности зависит от влажности материала.

Поэтому были произведены опыты, уточняющие отдельные компоненты коэффициента температуропроводности – коэффициент теплопроводности, коэффициент теплоемкости и объемный вес бетона. Объемный вес принят постоянным. Экспериментально исследовались величины коэффициента теплопроводности и коэффициента теплоемкости при различных значениях температуры и влажности. Измерения производились на обычном бетоне, а также на бетоне, подвергнутом циклическим температурно-влажностным воздействиям после первого нагрева, после третьего, пятого и десятого циклов.

В диапазоне до 100 °С температура испытаний практически не влияла на изменчивость коэффициента теплопроводности. При больших температурах (до 150 °С) наблюдалось незначительное увеличение (до 5 %) коэффициента по сравнению с диапазоном температур до 100 °С, что связано, очевидно с наличием переноса тепла водяными парами в бетоне. Величина коэффициента теплопроводности в высушенном состоянии была практически одинаковой для всего диапазона температур. За нулевую влажность принята влажность образца, высушенного при 200 °С.

Необходимо отметить, что характер изменения коэффициента теплопроводности одинаков для всех рассмотренных случаев испытания образцов.

Первоначально предполагалось, что отклонения опытных и теоретических полей распределения температур возникают только из-за неучета влияния влажности на коэффициент теплопроводности. Были проведены эксперименты по определению коэффициента теплопроводности при различных значениях влажности (рис.). Величина коэффициента теплопроводности нормального бетона (влажность 4,55 %) составила 1,732 ккал/м·ч·град.



**Рисунок** – Зависимость коэффициента теплопроводности от весовой влажности для обычного бетона.

Зависимость величины коэффициента теплопроводности от весовой влажности образца на основе экспериментальных исследований была аппроксимирована формулой:

$$\lambda_w = \lambda_{w=0} \cdot (1 + 0,009W \cdot e^{-0,022W}),$$

где  $\lambda_{w=0}$  – коэффициент теплопроводности бетона, подвергнутого сушке при температуре 200 °С;  
 $W$  – весовая влажность материала (в %).

Величина коэффициента теплоемкости в зависимости от влажности изменялась в пределах 0,10–0,75 %. Очевидно, что эта величина практически не зависит от влажности образца или зависит в незначительной степени. Поэтому в дальнейших расчетах принимается, что коэффициент теплоемкости не зависит от влажности образца в рассматриваемом диапазоне изменения влажности.

Полученные значения изменения коэффициента теплопроводности от влажности (весовой) были применены при расчете полей температуры с учетом фактического распределения влажности в образцах. При учете фактической влажности образца отсутствует влияние погрешности расчета влажности на распределение полей температуры. Поэтому при работе над определением теплофизических характеристик расчет полей температуры производился на основе фактического распределения влажности по сечению образца из экспериментальных исследований.

Полученные значения теоретического значения распределения полей температуры дают значительно меньшие отклонения от экспериментальных (до 3...10 %) в зависимости от температуры нагрева и цикла воздействий.

## ВЫВОДЫ

Коэффициент температуропроводности бетона существенно зависит от циклических температурно-влажностных воздействий. Наибольшее влияние циклические температурно-влажностные воздействия оказывают на коэффициент теплопроводности.

Величина коэффициента теплоемкости практически не зависит от влажности образца или зависит в незначительной степени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брыжатый, О. Э. Температурные усилия, прочность и трещиностойкость элементов железобетонных инженерных сооружений при циклическом одностороннем нагреве до 150° и увлажнении [Текст] : автореф. дис. ... канд. тех. наук / О. Э. Брыжатый. – Макеевка, 1994. – 20 с.

2. Брыжатый, О. Э. Влияние циклического нагрева и увлажнения на деформации ползучести и температурно-влажностные деформации бетона [Текст] / О. Э. Брыжатый // Прогрессивные конструкции и материалы для строительства в условиях Донбасса : Сб. научн. трудов / Макеев. инж.-строит. ин-т. ; Отв. ред. В. И. Братчун. – Киев : УМК ВО, 1991. – С. 137–143.
3. Фомин, С. Л. Расчет железобетонных конструкций на температурно-влажностные воздействия технологической и климатической среды [Текст] / С. Л. Фомин. – К. : УМК ВО, 1992. – 164 с.
4. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика [Текст] / В. Н. Богословский. – М. : Высшая школа, 1982. – 415 с.
5. Дульнев, Г. Н. Теплопроводность влажных пористых материалов [Текст] / Г. Н. Дульнев, Д. П. Волков, В. И. Маларев // Инженерно-физический журнал. – 1989. – Т. 56, № 2. – С. 281–291.

Получено 12.12.2016

О. Е. БРИЖАТИЙ, В. І. КРОТЮК, Р. Ю. ЛЕМЕШЕНКО, М. В. ФУНЬКО,  
Г. А. МЕЛЬНИКОВА  
ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛО ПЕРЕНЕСЕННЯ У ЗАЛІЗОБЕТОННИХ  
ЕЛЕМЕНТАХ ПРИ ЦИКЛІЧНИХ ДІЯХ ПІДВИЩЕНИХ ТЕМПЕРАТУР ТА  
ЗВОЛОЖЕННЯ  
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

**Анотація.** Розглянуто питання підвищення точності розрахунків температурно-вологісних полів у залізобетонних конструкціях при циклічних діях підвищених температур та зволоження. Встановлено характер впливу вологості і кількості циклів температурно-вологісних дій на коефіцієнт теплопроводності.

**Ключові слова:** теплоперенесення, коефіцієнт теплоємності, коефіцієнт теплопроводності.

OLEG BRIZHATY, VLADIMIR KROTIUK, RUSLAN LEMESHENKO,  
MAKSIM FUNKO, ANNA MELNIKOVA  
PECULIARITIES OF THE HEAT TRANSFER IN CONCRETE ELEMENTS  
UNDER CYCLICAL HEIGHTENED TEMPERATURES AND HUMIDIFYING  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The problem of the increase of calculations accuracy of temperature and humidification fields in concrete structures under cyclical effects of heightened temperatures and humidifying has been considered. The nature of influencing of damp and quantity of cycles heightened temperatures and humidifying on thermal conductivity coefficient has been established.

**Key words:** heat transfer, coefficient of heat capacity, thermal conductivity coefficient.

**Брыжатый Олег Эдуардович** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: влияние циклического воздействия повышенных температур и увлажнения на свойства тяжёлого бетона.

**Кротюк Владимир Игоревич** – ассистент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: влияние циклического воздействия повышенных температур и увлажнения на свойства тяжёлого бетона.

**Лемешенко Руслан Юрьевич** – магистрант кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: влияние циклического воздействия повышенных температур и увлажнения на свойства тяжёлого бетона.

**Фунько Максим Васильевич** – магистрант кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: влияние циклического воздействия повышенных температур и увлажнения на свойства тяжёлого бетона.

**Мельникова Анна Андреевна** – магистрант кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: влияние циклического воздействия повышенных температур и увлажнения на свойства тяжёлого бетона.

**Брижатый Олег Едуардович** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ДОНУ ВПО «Донецкая национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: влияние циклической дилли подлиженных температур и зволения на властивості важкого бетону.

**Кротюк Володимир Ігорович** – асистент кафедри залізобетонних конструкцій ДОНУ ВПО «Донецька національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вплив циклічної дії підвищених температур і зволення на властивості важкого бетону.

**Лемешенко Руслан Юрійович** – магістрант кафедри залізобетонних конструкцій ДОНУ ВПО «Донецька національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вплив циклічної дії підвищених температур і зволення на властивості важкого бетону.

**Фунько Максим Васильович** – магістрант кафедри залізобетонних конструкцій ДОНУ ВПО «Донецька національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вплив циклічної дії підвищених температур і зволення на властивості важкого бетону.

**Мельникова Ганна Андріївна** – магістрант кафедри залізобетонних конструкцій ДОНУ ВПО «Донецька національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вплив циклічної дії підвищених температур і зволення на властивості важкого бетону.

**Brizhaty Oleg** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the influence of cyclic heating and humidification on properties of heavy concrete.

**Krotiuk Vladimir** – assistant, Reinforced Concrete Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the influence of cyclic heating and humidification on properties of heavy concrete.

**Lemeshenko Ruslan** – Master's student, Reinforced Concrete Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the influence of cyclic heating and humidification on properties of heavy concrete.

**Funko Maksim** – Master's student, Reinforced Concrete Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the influence of cyclic heating and humidification on properties of heavy concrete.

**Melnikova Anna** – Master's student, Reinforced Concrete Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the influence of cyclic heating and humidification on properties of heavy concrete.

УДК 691.167

**А. В. ЗАГОРОДНЯЯ**

ГОО «Луганский национальный аграрный университет»

## **ЛИТЫЕ ДОРОЖНЫЕ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОНЫ ПОВЫШЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ**

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные сведения о составе и структуре литого дорожного асфальтополимерсеробетона, модифицирующих добавках к битумам, полимерно-битумных вяжущих и технологии приготовления различных видов модифицированных вяжущих. Приводятся теоретические представления о формировании структуры полимерно-битумных вяжущих. Описаны свойства вяжущего с модифицирующими добавками, указаны способы применения модифицированных битумов при строительстве и ремонте дорожных покрытий.

**Ключевые слова:** литая асфальтополимерсеробетонная смесь, литой асфальтополимерсеробетон, уровень надежности, асфальтовяжущее вещество, пенетрация, блоксополимеры.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ**

Городские магистрали не выдерживают сегодняшней интенсивности движения, насыщенной грузонапряженности, тех переменных нагрузок, возникающих от частых остановок и разгона транспорта при движении автомобиля в режиме «городского цикла». В результате асфальтобетонные покрытия из традиционных смесей не выдерживают даже трех лет эксплуатации. Кроме того, наряду с резко возросшими транспортными нагрузками, усилилось и техногенное воздействие на покрытия – выпадение кислотных осадков, агрессивное воздействие солевых и кислотных антигололедных систем, влияние загрязненной атмосферы и т. д.

Необходимо кардинальное улучшение качества дорожных покрытий, которое обеспечило бы повышенную плотность покрытия, сдвигоустойчивость, трещиностойкость, износостойкость и шероховатость. Для большинства регионов России и Украины нужны более плотные покрытия, в том числе особенно из модифицированных асфальтобетонных смесей, которые способны длительное время противостоять износу, коррозии, трещинообразованию и сдвиговым деформациям.

Вышеизложенное объясняет возрастающий интерес к строительству и ремонту дорожных покрытий и покрытий проезжей части искусственных инженерных сооружений с применением литого асфальтобетона в европейских странах, России, Украины и странах СНГ. Литой асфальтобетон характеризуется рядом особенностей, отличающих его от традиционно применяемых уплотняемых дорожных асфальтобетонов: повышенным количеством минерального порошка, большей вязкостью битума, более высокой температурой асфальтобетонной смеси при ее приготовлении, транспортировке и укладке в дорожное покрытие.

Улучшение качества асфальтобетонных смесей, а также разработка эффективных асфальтобетонных покрытий, которые соответствовали бы условиям эксплуатации в самых различных климатических районах, преодолевали бы негативное влияние многочисленных факторов, обеспечивали надежность и долговечность автомобильных дорог, несомненно, является актуальной задачей.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследования по применению полимерно-битумных вяжущих (ПБВ) в дорожном строительстве проводятся с начала 1970-х годов [1, 2]. С начала 1980-х годов в США под влиянием европейского опыта интенсифицировались исследования в области технологии получения ПБВ. Объем строительства дорожных покрытий с их применением стал увеличиваться. За последние годы за рубежом доля

ПБВ в общем объеме битумов, используемых для строительства и ремонта дорожных покрытий, постоянно возрастает [3, 4]. Для модификации битумов применяют каучуки (полибутадиеновый, натуральный, хлоропеновый, бутилкаучук), термопластичные полимеры (полиэтилен, полипропилен, этиленвинилацетат), серу, резиновую крошку, органо-марганцевые компаунды, термопластичные каучуки (полиуретан, олефиновые сополимеры, блоксополимеры стирол-бутадиен-стирол). Наиболее широко применяют ПБВ на основе блоксополимеров стирол-бутадиен-стирола (СБС). Рост объемов потребления дорожной отраслью полимеров типа СБС обусловлен их способностью не только повышать прочность битума, но и придавать полимерно-битумной композиции эластичность – свойство, присущее полимерам, причем при небольшой концентрации (3...5 % от массы битума) [3].

На основании многолетних исследований, выполненных в СоюздорНИИ под руководством Л. М. Гохмана, разработаны составы и технология приготовления ПБВ на основе полимера СБС и осуществлено широкое производственное внедрение ПБВ при строительстве и реконструкции дорожных покрытий в России и в Украине [1, 5, 6].

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Литой асфальтобетон характеризуется рядом особенностей, отличающих его от традиционно применяемых уплотняемых дорожных асфальтобетонов: более высокой температурой асфальтобетонной смеси при ее приготовлении, транспортировке и укладке в дорожное покрытие, повышенным количеством минерального порошка и асфальтовязущего вещества, которое заполняет все межзерновые поры, обеспечивая водонепроницаемость покрытия.

Объем асфальтовязущего вещества (битум + минеральный порошок) в литом асфальтобетоне значительно больше, чем в других видах асфальтобетона, его сдвигустойчивость в большей степени определяется структурно-механическими свойствами, в частности, вязкостью этой системы, которая, в свою очередь, зависит от вязкости битума и степени его структурирования минеральным порошком. Этим обусловлено применение в литом асфальтобетоне более вязких битумов и большего количества минерального порошка. Однако увеличение вязкости приводит к усилению образования трещин (вследствие более высокого коэффициента объемного температурного расширения) [7].

Одним из наиболее перспективных путей повышения термостабильности битума является введение в его состав различных полимерных добавок, в качестве которых в основном выступают термоэластопластичные полимеры типа СБС (стирол-бутадиен-стирол + гранулированная техническая сера). Минеральный порошок (МП) подвергают механоактивации СБС полимером. Техническая сера в битумополимерсерном вяжущем выполняет двойную функцию, а именно: структурирующую и пластифицирующую. 1,5...2,0 % серы принимает участие в вулканизации СБС. До 10 % серы вступает в химическое взаимодействие с углеводородами битума. Это приводит к пластификации асфальтовязущего вещества литой асфальтополимерсеробетонной смеси, что обеспечивает ее текучесть и удобоукладываемость. Это приводит к усилению коагуляционного структурообразования в битумополимерсерном вяжущем за счет взаимодействия между собой частиц серы [8].

Термоэластопласты бутадиена и стирола типа СБС отличаются способностью к высокоэластичным деформациям за счет работы пространственной эластичной структурной сетки в битуме при их минимальном содержании по сравнению с полимерами других классов, так как характеризуются способностью к специфическим взаимодействиям. Блоки полистирола трехблочных макромолекул СБС, расположенные по краям, ассоциируют друг с другом. Сшивание полимерных цепей химическими связями создает пространственную сетчатую структуру. Образующиеся связи достаточно прочные. Полимер СБС по прочности на растяжение (более 20 МПа) приближается к чистому полистиролу. Поэтому пространственная сетка, образующаяся в битуме, тоже обладает высокой прочностью и придает ПБВ высокую теплостойкость.

Полимеры СБС хорошо совмещаются с битумами, так как имеют относительно невысокую молекулярную массу: 80 000...100 000. Кроме того, полистирол и полибутадиен хорошо растворяются в углеводородах дисперсионной среды битумов и при температурах выше 100 °С представляют собой линейные полимеры. Блоксополимеры СБС сочетают в себе высокую прочность, присущую пластмассам, и высокую эластичность, очень низкую температуру стеклования (от минус 80 до минус 100 °С), характерную для эластомеров. СБС полимеры обладают способностью к высокоэластическим деформациям в интервале температур от минус 80 до плюс 90 °С, а также характеризуются развитой трехмерной структурой до температуры 80...90 °С за счет физических связей между макромолекулами по блокам полистирола [1, 5].

Преимущества битумного вяжущего, синтезированного на основе СБС полимеров, неоднократно проверено в разных ситуациях. Битумные вяжущие на основе СБС полимеров находят все большее применение в связи с постоянно растущими требованиями, предъявляемыми к качеству асфальтобетонного покрытия, изложенными в рамках новых стандартов. Вследствие этого СБС полимеры применяются в качестве приоритетного компонента в процессе модификации битума при помощи установок.

Использование в асфальтобетонной смеси ПБВ на основе полимера СБС обеспечивает дорожному покрытию способность к быстрому снятию напряжений, возникающих в покрытии под воздействием движущегося транспорта. В настоящее время за рубежом композиции битума с разным содержанием полимера СБС находят широкое применение для устройства дорожных одежд на искусственных сооружениях (мостах, дорожных развязках и пр.) и, как показывает опыт, обеспечивают длительные сроки работы дорожных покрытий, несмотря на особо сложные условия эксплуатации. Кроме того, на основе полимеров СБС изготавливают битумные мастики для разных видов дорожных ремонтных работ (залитки деформационных швов на мостах, трещин на асфальтобетонных покрытиях), а также герметизации площадок, предназначенных для сбора бытовых и других отходов. Опыт применения ПБВ в США и Канаде показал, что, несмотря на более высокую стоимость ПБВ, суммарные расходы на строительство и ремонты снижаются, благодаря увеличению межремонтных сроков службы дорожных покрытий. Однако эффективность применения сополимеров типа СБС в дорожном строительстве носит довольно противоречивый характер и требует дополнительного анализа [3].

## ВЫВОДЫ

По своим показателям и характеристикам литой асфальтобетон является уникальным материалом. Однако для его широкого применения требуется глубокий научный анализ. Необходимо уделить особое внимание правильному подбору состава, параметрам оптимального количества и вязкости применяемого вяжущего вещества, правильному выбору и оптимальному количеству вводимой в смесь полимерной добавки, обеспечивающей достижение наиболее термостабильной системы (минеральный материал – асфальтовяжущее вещество).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гохман, Л. М. Комплексные органические вяжущие материалы на основе блоксополимеров типа СБС [Текст] : учеб. пособие / Л. М. Гохман. – М. : ЗАО «ЭКОН-ИНФОРМ», 2004. – 584 с.
2. Колбановская, А. С. Дорожные битумы [Текст] / А. С. Колбановская, В. В. Михайлов. – М. : Транспорт, 1973. – 261 с.
3. Кинг, Г. Н. Свойства полимерно-битумных вяжущих и разрабатываемые в США методы испытания [Текст] / Г. Н. Кинг, Б. С. Радовский // Материалы и конструкции. – 2004. – Октябрь. – С. 16–27.
4. Худякова, Т. С. Особенности структуры и свойств битумов, модифицированных полимерами [Текст] / Т. С. Худякова, А. Ф. Масюк, В. Н. Калинин // Дорожная техника. – 2003. – № 7. – С. 174–181.
5. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства [Текст] / Л. М. Гохман, Е. М. Гурарий, А. Р. Давыдова, К. И. Давыдова ; Гос. служба дорожного хоз-ва М-ва трансп. РФ ; Информ. центр по автомобил. дорогам (Информавтодор). – М. : Информавтодор, 2002. – 112 с. : ил. – (Автомобильные дороги : обзор. информ. ; вып. 4).
6. Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжущих материалов на основе блоксополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог [Текст] : ОДМ 218.2.003-2007 / Разработан: СоюздорНИИ. – М. : Росавтодор, 2007. – 120 с.
7. Гезенцвей, Л. Б. Дорожный асфальтобетон [Текст] / Л. Б. Гезенцвей. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.
8. Пронин, В. В. Литой асфальтобетон повышенной сдвигоустойчивости для покрытий автомобильных дорог [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / В. В. Пронин, РГСУ. – Ростов-на-Дону, 2000. – 22 с.

Получено 15.12.2016

А. В. ЗАГОРОДНЯ  
ЛИТІ ДОРОЖНІ АСФАЛЬТОПОЛІМЕРСЕРОБЕТОНІ ПІДВИЩЕНОЇ  
ДОВГОВІЧНОСТІ  
ДООУ «Луганський національний аграрний університет»

**Анотація.** У статті розглянуто основні відомості про склад і структуру литого дорожнього асфальтополімерсеробетону, модифікуючі добавки до бітумів, полімерно-бітумні в'язучі і технологію



приготування різних видів модифікованих в'язучих. Наводяться теоретичні уявлення про формування структури полімерно-бітумних в'язучих. Описано властивості в'язучого з добавками, що модифікуються, вказано способи застосування модифікованих бітумів при будівництві та ремонті дорожніх покриттів.

**Ключові слова:** лита асфальтополімерсіркобетонна суміш, литий асфальтополімерсіркобетон, рівень надійності, асфальтов'язуча речовина, пенетрація, блоксополімери.

ANASTASIA ZAGORODNYAYA  
CAST CONCRETE ROAD ASPHALT AND POLYMERIC SULFUR CONCRETES  
OF HIGH DURABILITY  
SEI «Lugansk National Agrarian University»

**Abstract.** The article describes the basic information about the composition and structure of cast road asphalt and polymeric sulfur concrete, modifying additives to the bitumen, polymer-bitumen binders and the technology of preparation of various types of modified binders. We give theoretical ideas about the formation of the structure of polymer-bitumen binders. The properties of the binder with the builders have been explained, the methods of application of modified bitumen in the construction and repair of road surfaces have been determined.

**Key words:** cast asphalt and polymeric sulfur concrete mixture, cast asphalt and polymeric sulfur concrete, reliability level, asphalt binder, penetration, block copolymers.

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

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

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

УДК 691.327.3:666.973.6

**Е. М. ВИШТОРСКИЙ**

ГООУ «Луганский национальный аграрный университет»

## О ВОЗМОЖНОСТЯХ СОЗДАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ ДЛЯ ВЫПУСКА ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ В ЛУГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** В статье приведен анализ факторов, влияющих на развитие производства ячеистых бетонов и условия для формирования производственной базы в Луганской области. Представлена сравнительная характеристика производства газобетона в странах СНГ и ЕС. Приведена динамика изменения цен стеновых материалов на конец 2016 г.

**Ключевые слова:** ячеистый бетон, газобетон, пенобетон, шлак, щелочь, энергоэффективность, термическое сопротивление, производственная база.

### АКТУАЛЬНОСТЬ

На территории Луганской области одной из самых актуальных проблем является вопрос строительства, ремонта и реконструкции жилья. В Донбассе за 2,5 года боевых действий разрушено более 23 тыс. зданий и сооружений. Во время нового строительства ремонта и реконструкции в первую очередь важное внимание уделяют энергоэффективности строительных материалов и изделий. Также одновременно возникают и проблемы энергозатрат уже существующих зданий.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Ячеистые бетоны относятся к искусственным каменным материалам, которые получают вспучиванием с помощью порообразования смеси вяжущего, тонкодисперсного кремнеземистого заполнителя, воды и ускорителя твердения с созданием в процессе твердения ячеистой структуры с равномерно распределенными по объему воздушными порами [1, 2].

Теплотехнические расчеты показывают, что при нормативном значении термического сопротивления ячеистый бетон, кроме дерева, является единственным стеновым материалом из которого могут быть изготовлены конструкционно-теплоизоляционные однослойные наружные стены (таблица 1) [3, 4].

**Таблица 1** – Сравнение толщин наружных стен для обеспечения термического сопротивления, равного  $3,3 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$

Стеновой материал	Средняя плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Толщина стены, м
Ячеистый бетон	300	0,31
Ячеистый бетон	400	0,36
Силикатный кирпич	1 850	2,53
Керамический кирпич	1 800	2,31

В настоящее время наиболее производимым видом изделий из ячеистого бетона являются блоки из газобетона и пенобетона. Однако газоблоки постепенно вытесняют пеноблоки благодаря своим существенным преимуществам (таблица 2). Прежде всего к таким преимуществам можно отнести более высокую прочность и точные размеры, позволяющие соединять блоки из газобетона между собой при помощи клеевых составов.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика стеновых блоков из газобетона и пенобетона

№ п/п	Характеристики	Ед. изм.	Газобетон	Пенобетон
1.	Коэффициент теплопроводности	Вт/м·°С	0,10–0,14	0,09–0,38
2.	Плотность	кг/м <sup>3</sup>	300–800	400–1 200
3.	Марка по плотности		D300 – D700	D400 – D1200
4.	Класс прочности бетона при сжатии		B2,5 при D500	B2,5 при D750
5.	Паронепроницаемость	мг/мчПа	0,2	0,2
6.	Водопоглощение	% от массы	20–25	10–16
7.	Морозостойкость		F50-F100	F25
8.	Кладка, толщина кладочного шва	мм	2–3	10
9.	Средняя усадка готовой кладки	мм/м	0,3	2–3
10.	Долговечность	лет	Более 70	Менее 30

Луганская область имеет все необходимые отечественные материалы для производства ячеистых бетонов – вяжущие, заполнители, пенообразователи, химические добавки. Особенно в настоящее время в большой мере возрастает интерес к использованию в производстве ячеистых бетонов промышленных отходов.

Щелочные цементы – это класс вяжущих веществ, которые состоят как минимум из двух компонентов: щелочного и алюмосиликатного компонентов (или кальцийалюминатного), при этом содержание щелочей в перерасчете на  $R_2O$  (где R – Na, K) составляет 5...20 %.

Идея образования щелочных цементов гидратационного твердения базируется на анализе процессов минерало- и пороодообразований, которые происходят в земной коре и на её поверхности при наличии соединений щелочных металлов. В этом случае соединения натрия и калия играют роль структурообразующих компонентов, способствуя синтезу щелочных алюмосиликатных веществ, подобных по своему составу к существующим в природе цеолитов и фельдшпатоидов [5].

Щелочные цементы – это объединение силикатов системы  $RO - R_2O - R_2O_3 - SiO_2$  (где RO – это CaO, MgO, BaO, SrO и др.) и соединений щелочных металлов, продуктами гидратации которых являются низкоосновные гидросиликаты кальция тоберморитовой группы, щелочные и щелочно-щелочноземельные гидроалюмосиликаты (аналоги природных пороодообразующих минералов – цеолитов и слюд). Для их производства можно использовать также разные вещества природного, искусственного и техногенного происхождения, в которых соотношение между основными оксидами составляет:  $RO: R_2O: R_2O_3: SiO_2 = (2...4):1:1(2...6)$ .

В состав новообразований щелочных цементов не входят высокоосновные гидросиликаты кальция, гидроалюминаты и гидроферриты кальция, а также свободный  $Ca(OH)_2$ , который имеет высокую растворимость, в сравнении с щелочными и щелочно-земельными гидроалюмосиликатами [2].

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В современных условиях существуют факторы, влияющие на развитие домостроения из ячеистого бетона. К ним относятся:

1. Восстановление жилья.
2. Более низкая стоимость ячеистого бетона, по сравнению со строительством зданий из кирпича и дерева.
3. Высокие теплоизоляционные свойства ячеистого бетона
4. Простота и технологичность в использовании. Ячеистый бетон технологичен, сверлится, пилится.
5. Экологическая чистота.

В Российской Федерации сосредоточено 70 крупных предприятий по производству газобетона. Совокупная мощность всех заводов на конец 2015 г. составила 17,5 млн м<sup>3</sup>/год. В 2015 году в условиях экономического кризиса и санкций рынок производства строительных материалов замедлил темпы роста. Связано это с ростом цен на основные строительные материалы – кирпич, цемент, металл и др. Производится газобетон на зарубежном оборудовании (Wehrhahn, Masa-Henke, WKB) или отечественном (МЕТЕМ) из местных материалов, что дает возможность рассчитывать на получение прибыли. Объем производства пенобетона в строительстве не превышает 1 % от общего использования традиционных строительных материалов [6].

В Луганской области только начинается производство газобетона. В 2016 г. запущено в эксплуатацию новое предприятие. Выпускаемый газобетон марок D-500 и D-600 с максимальной производительностью до 60 м<sup>3</sup> в сутки.

Следующим шагом может стать изготовление ячеистых бетонов с применением отходов промышленности, так как это позволяет решить проблемы экологии в регионе и одновременно снизить стоимость выпускаемой продукции. К таким отходам можно отнести доменный граншлак Алчевского металлургического комбината (на территории АМК находится 5 действующих мест удаления отходов: полигон промышленных отходов, 2 шлаковых отвала, шламонакопитель и шламоотвал). Стахановский ферросплавный завод также обладает значительным количеством отходов шлака.

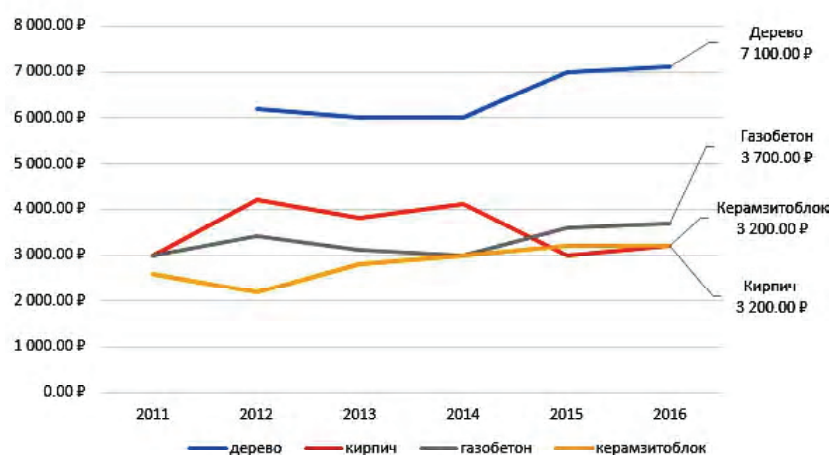
Наибольшего распространения в мире получили шлакощелочные цементы, которые получают смешиванием измельченных гранулированных металлургических шлаков с растворами соединений щелочных металлов (калия, натрия) или общим помолом шлаков с малогигроскопическими соединениями этих металлов.

Для производства шлакощелочных вяжущих применяют доменные и электротермофосфорные гранулированные шлаки, тонкость помола которых характеризуется удельной поверхностью не менее 300 м<sup>2</sup>/кг. Кроме этого, после предварительного испытания можно использовать гранулированные шлаки других производств, например, титанистые, никелевые, ферромарганцевые, ваграночные, мартеновские. Существенным резервом в расширении сырьевой базы шлакощелочных вяжущих могут быть шлаки, которые в настоящее время не используются в цементной промышленности или используются частично. К ним в первую очередь можно отнести сталеплавильные шлаки. В основном сталеплавильные шлаки вывозят в шлаковые отвалы, а затем используют в виде щебня и песка для производства тяжелых высокопрочных бетонов в строительстве дорог. В цементной промышленности эти шлаки практически не применяются, за исключением сталерафинированных (производство напрягающего цемента взамен дорогостоящего глиноземистого) (табл. 3).

**Таблица 3** – Сравнительный объем производства газобетона, м<sup>3</sup>, в странах СНГ и ЕС на 1 тыс. человек

Страны	Объем производства, м <sup>3</sup> на 1 тыс. чел
Россия	79
Украина	53
Беларусь	320
Казахстан	45
ЕС	180–220
Луганская область (проектная мощность)	17,6

Если сравнивать динамику изменения цен стеновых материалов на конец 2016 г. (рисунок), то стоимость газобетона существенно не изменилась в цене с учетом того, что его производство выросло в 10 раз за последние годы в странах СНГ, а общий объем роста строительства вырос 2,5 раза. Связано это с тем, что газобетон вытесняет другие стеновые материалы.



**Рисунок** – Динамика изменения цен стеновых материалов на конец 2016 г.

## ВЫВОДЫ

Выпуск и применение ячеистых бетонов, как показывает мировой опыт, будет несомненно увеличиваться, а существующая высокая рентабельность привлекает всё большее число производителей строительных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю. М. Технология бетонов [Текст] / Юрий Михайлович Баженов. – Москва : АСВ, 2002. – 500 с.
2. Rath, Sweta O. AAC Block – A New Eco-friendly Material for Construction [Текст] / Sweta O. Rath, P. V. Khandve // International Journal of Advance Engineering and Research Development. – 2015. – Volume 2, Issue 4. – P. 410–414.
3. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – На заміну СНиП II-3-79 ; чинні від 2007-04-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 70 с.
4. Назарова, А. В. Шлакощелочные пенобетоны с повышенными технико-экономическими показателями [Текст] / Антонина Васильевна Назарова // ЛНАУ. – 2009. – № 3. – С. 265–269.
5. Кривенко, П. В. Специальные шлакощелочные цементы [Текст] / Павел Васильевич Кривенко. – Киев : Будівельник, 1992. – 192 с.
6. Вишневский, А. А. Основные тенденции развития производства автоклавного газобетона в России [Текст] / А. А. Вишневский, Г. И. Гринфельд // Современный автоклавный газобетон : сборник докладов науч.-практ. конференции. Санкт-Петербург, 9–11 сентября 2015 г. / Под редакцией научно-технического совета Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона. – СПб. : [б. и.], 2015. – С. 8–13.

Получено 16.12.2016

**Є. М. ВИШТОРСЬКИЙ**  
**ПРО МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ БАЗИ ДЛЯ ВИПУСКУ**  
**НІЗДРЮВАТИХ БЕТОНІВ В ЛУГАНСЬКІЙ ОБЛАСТІ**  
**ДООУ «Луганський національний аграрний університет»**

**Анотація.** У статті наведено аналіз чинників, що впливають на розвиток виробництва ніздрюватих бетонів та умови для формування виробничої бази в Луганській області. Дано порівняльну характеристику виробництва газобетону в країнах СНД і ЄС. Наведено динаміку зміни цін стінових матеріалів на кінець 2016 р.

**Ключові слова:** ніздрюватий бетон, газобетон, пінобетон, шлак, луг, енергоефективність, термічний опір, виробнича база.

**EVGENIY VISHTORSKIY**  
**THE POSSIBILITY OF ESTABLISHING OF PRODUCTION BASE FOR**  
**CELLULAR CONCRETE PRODUCTION IN LUGANSK REGION**  
**SEI «Lugansk National Agrarian University»**

**Abstract.** The article shows an analysis of the factors influencing on the development of the production of cellular concrete and the conditions for the formation of industrial base in Lugansk region. The comparative characteristic of the production of aerated concrete in AIS and EU countries has been presented. The dynamics of price changes of wall materials at the end of 2016 has been suggested.

**Key words:** cellular concrete, aerated concrete, foam concrete, slag, alkali, energy efficiency, thermal resistance, the production base.

**Вишторский Евгений Михайлович** – аспирант кафедры строительных конструкций ГОУ «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: исследования местных промышленных отходов с целью использования их в производстве ячеистых бетонов, отвечающих современным требованиям.

**Вишторський Євген Михайлович** – аспірант кафедри будівельних конструкцій ДООУ «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: дослідження місцевих промислових відходів з метою використання їх у виробництві ніздрюватих бетонів, що відповідають сучасним вимогам.

**Vishtorskiy Evgeniy** – post-graduate student, Building Constructions Department, SEI «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests: research local industrial waste in order to use them in the production of cellular concrete in compliance with modern requirements.

УДК 666.972:620.192.4

**А. В. НАЗАРОВА <sup>а</sup>, АЛ-МАРШДИ КОСАЙ САХИБ РАДИ <sup>б</sup>, Д. С. КОВАЛЕНКО <sup>а</sup>**<sup>а</sup> ГОУ «Луганский национальный аграрный университет», <sup>б</sup> «Эль-Касим Грин Университет», Ирак

## **ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ МИНИМИЗАЦИИ УСАДОЧНОГО ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ЦЕМЕНТОБЕТОНЕ**

**Аннотация.** Рассмотрены типы и механизмы возникновения усадочных деформаций цементного бетона и наиболее эффективные способы борьбы с усадочным трещинообразованием. Установлено, что в естественных условиях армирования, сцепления с основанием жесткой дорожной одежды, взаимодействие с другими конструкциями влажностная усадка в цементном бетоне приводит к возникновению внутренних напряжений, превышающих прочность бетона при растяжении, что является причиной образования трещин. Наличие трещин приводит к снижению долговечности железобетонных изделий, так как развивается химическая коррозия цементного бетона и арматурой стали. Предложены бетоны с компенсированной усадкой, которые содержат комплекс добавок, снижающих усадку, расширяющиеся цементы, синтетические волокна.

**Ключевые слова:** усадка, пластическая, аутогенная, влажностная, термическая, карбонизационная, трещинообразование, полимеры, внутренний уход, водонасыщенный заполнитель.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ**

Одной из главных причин трещинообразования в бетоне является его объемные изменения, вызванные усадкой. От свойств бетона проявлять усадочные деформации в значительной степени зависит его плотность и стойкость в различных средах, прочность (особенно при растяжении) и сопротивляемость образованию трещин. Наличие трещин в бетонных и железобетонных конструкциях снижает их долговечность вследствие попадания различных агрессивных веществ в эти трещины, что приводит к развитию коррозии бетона и арматурной стали [1]. Ремонт и восстановление бетона, как правило, связаны с высокими показателями трудоемкости и капитальных затрат, поэтому более экономичными являются мероприятия по предотвращению или минимализации трещинообразования в бетоне.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

В современном бетоне выделают пять основных видов усадки бетона: пластическую, аутогенную, влажностную, термическую и карбонизационную. Сложность прогнозирования величины полной усадки, как правило, связана с тем, что каждая ее составляющая обусловлена различными ведущими эффектами. Поэтому многие исследователи упрощают модель, рассматривая только влажностную и аутогенную [2].

Пластическая усадка может приводить к образованию трещин на поверхности бетона конструкций с большим модулем открытой поверхности. Она происходит в свежесформованном бетоне в период от начала до конца схватывания. Величина этой усадки зависит от температуры и относительной влажности окружающего воздуха, скорости ветра и температуры бетона [3].

В последнее время гораздо больше внимания уделяется усадке в раннем возрасте, так как это может быть причиной образования трещин, когда бетон характеризуется минимальной прочностью при растяжении и модулем упругости, чтобы выдерживать внутренние напряжения (период между 24 и 48 ч после схватывания считается критическим [4]):

$$\sigma_t = E \cdot (\varepsilon_s - \varepsilon_c) \geq f_n \quad (1)$$

где  $\sigma_t$  – напряжение растяжения,  
 $E$  – модуль упругости,  
 $\varepsilon_c, \varepsilon_s$  – относительные деформации ползучести и усадки соответственно,  
 $f_t$  – предел прочности бетона при растяжении.

Такая проблема более актуальна для высококачественных бетонов с низким значением В/Ц = 0,3...0,4, чем для обычных бетонов [5]. Высокопрочные бетоны, как правило, имеют большой расход цемента и пуццолановых добавок, а также содержат недостаточное количество воды затворения для того, чтобы обеспечить заполнение крупных капилляров, необходимых для поддержания реакций гидратации и пуццолановой реакции, поэтому даже при низком значении В/Ц склонны к высокой усадке [6].

В таких бетонах очень быстро формируется сеть микрокапилляров, которые высасывают воду из крупных капилляров в процессе интенсивной гидратации цемента [5], когда происходит уменьшение объема продуктов гидратации в сравнении с объемом исходных ингредиентов (контракция Ле-Шаталье или химическая усадка). Химическая усадка обуславливает формирование тонкой пористости и, как следствие, появление менисков, имеющих большой радиус кривизны и создающих высокие сжимающие напряжения на стенки пор вследствие обезвоживания, что приводит к самовысыхиванию и образованию пустых пор в материале, когда уже произошло схватывание. Эти процессы создают условия для развития так называемой аутогенной усадки – изменения объема, который происходит в изотермических условиях в бетонном образце, помещенном в герметичное пространство, исключающее влагообмен с окружающей средой. В дальнейшем существует тесная корреляция между внутренней влажностью и аутогенной усадкой бетона [1].

Аутогенная усадка высококачественных бетонов, если ее не контролировать, может достигать больших значений деформаций в течение всего лишь 24 часов (до величины  $\varepsilon = -250 \cdot 10^{-6}$  и более), что приводит к раннему трещинообразованию, если усадка проявляется в стесненных условиях. Обезвоживание пор отражается не только на возникновении усадки, но и на кинетике гидратации вяжущего, лимитируя ее степень [6]. При этом минеральные добавки, в частности микрокремнезем, увеличивают снижение относительной влажности и значения аутогенной усадки цементного камня на ранних стадиях твердения, а молотый доменный граншлак – на поздних [1].

В разных слоях бетона с различной внутренней влажностью отмечено значительное отличие в степени гидратации. Из тонких конструкций влага удаляется практически равномерно. Лимитирующим фактором химической реакции между минералами и водой затворения является отношение объема воды к объему цемента. В упрощенной форме, если это соотношение составляет 1,2, то вся вода связывается цементом, и продукты гидратации могут заполнить все пространство, первоначально занимаемое водой затворения. Это соотношение приблизительно соответствует В/Ц = 0,4 (по массе). Если В/Ц ниже 0,4, часть цемента всегда будет оставаться негидратированной. Примерно 0,2 В/Ц – химически связано с цементом, другие 0,2 В/Ц – гелевая вода [1]. Следует отметить, что если уровень относительной влажности в поровом пространстве снижается ниже 80 %, то гидратация прекращается [7]. Недостаточный влажностный уход приводит к увеличению пористости бетона вследствие низкой степени гидратации цемента ( $\alpha$ ) в соответствии с моделью Пауэрса:

$$V_p = \frac{100w}{c} - 36,15\alpha. \quad (2)$$

Залогом роста прочности бетона является поддержание надлежащей внутренней влажности. При полном насыщении цементного камня влагой гидратация цемента проходит полно и длительное время, что улучшает показатели водонепроницаемости и морозостойкости бетона. В то же время бетон без влажностного ухода достигает лишь 40 % прочности в возрасте 180 суток от контрольного образца (180 суток влажностного твердения). Уход в течение трех суток обеспечивает 60 % прочности; 28 суток – 95 %. При надлежащем влажностном уходе в процессе гидратации цемента поры заполняются продуктами гидратации, снижается открытая пористость и проницаемость бетона.

В отличие от влажностной усадки аутогенную усадку невозможно уменьшить путем внешнего ухода за бетоном. Так, полив поверхности бетонной конструкции водой малоэффективен вследствие ограниченного проникания влаги в плотную структуру бетона [1]. По этой причине общепринято, что методы, основанные на введении дополнительного количества воды (к тому количеству, что рассчитывается по водоцементному отношению, исходя из требуемой прочности), более эффективны для данного вида бетонов. Согласно [4] количество воды, необходимое для достижения максимальной

степени гидратации в бетоне оценивается из расчетов, основанных на химической усадке и максимальной степени гидратации, теоретически достижимой в нормальном цементном тесте:

$$\left(\frac{B}{C}\right)_{\text{ву}} = 0,18 \left(\frac{B}{C}\right) \text{ при } B/C \leq 0,36, \quad (3)$$

где  $(B/C)_{\text{ву}}$  – отношение массы воды для внутреннего ухода к массе цемента;  
 $(B/C)$  – водоцементное отношение бетонной смеси.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Если влажностная усадка развивается свободно, без стесненных условий, то это практически не приносит какого-либо существенного негативного влияния на строительные конструкции и дорожные покрытия. При наличии каких-либо стесненных условий (армирование, сцепление с основанием дорожного полотна, соединение с другими конструкциями и т. п.) влажностная усадка приводит к возникновению внутренних напряжений, превышающих прочность бетона на растяжение и вызывающих образование трещин.

Для снижения усадки при высыхании бетона широко используется химическая добавка SRA в сочетании с расширяющимся агентом. Это суперпластификатор на основе акрилатного полимера со встроенной в структуру молекулы с группой SRA (на основе полиэтиленгликоля), которая при повышении pH поровой жидкости в процессе гидратации цемента отщепляется от базовой молекулы, вызывая снижение поверхностного натяжения жидкости.

Первая публикация по бетонам с добавкой SRA – 1983 г. Goto, Sato (Япония). Эта добавка дает значительное снижение свободной усадки или снижении количества и протяженности трещин в случае стесненной усадки, особенно в сочетании с расширяющимся агентом, т. е. способствует созданию бетонов с компенсированной усадкой.

Компенсация усадки путем применения расширяющих добавок сульфоалюминатного типа или СаО типа является одной из эффективных мер, так как базируется на расширении бетона при образовании этtringита. Важно отметить, что получить бетоны с компенсированной усадкой при использовании расширяющих агентов можно только в условиях водного твердения. Распыление воды на поверхности бетона высокого положительного эффекта не даст. Это следует принимать во внимание, так как обеспечить водное твердение для большинства железобетонных конструкций практически невозможно.

Для того, чтобы удобно регулировать содержание расширяющегося агента в бетоне, разработаны различные типы расширяющихся добавок как самостоятельных компонентов бетонных смесей. Однако, поскольку для формирования этtringита (например, сульфоалюминатная расширяющаяся добавка) необходимо большое количество воды, то расширение в значительной мере зависит от влажностного ухода. Обычный влажностный уход, по крайней мере семь суток после формирования, рекомендован для бетона, содержащего сульфоалюминатную расширяющуюся добавку для получения достаточного расширения. Таким образом, применение такой добавки в бетонах без надлежащего водного ухода может быть неэффективным. Кроме того, для высокопрочного бетона с низкой проницаемостью или массивного бетона вода может иметь ограниченное проникание в бетон и, следовательно, быть недостаточной для полной гидратации расширяющейся добавки с высокой водопотребностью даже при обеспечении внешнего влажностного ухода [8].

Наиболее эффективным средством борьбы с трещинообразованием в высокопрочных бетонах, вызванным аутогенной усадкой, является внутренний уход путем введения равномерно распределенных по всему объему бетона микровключений, содержащих свободную воду, выполняющих функцию «водных резервуаров», т. е. материалов с высокой адсорбирующей способностью. В настоящее время существует два основных метода, доступных для внутреннего ухода за бетоном. Первый предполагает использование предварительно насыщенных водой пористых заполнителей (ПЗ) для того, чтобы создать внутренний источник воды, который может заменить воду, потребляемую химической усадкой при гидратации цемента. Этот внутренний уход реализуется при гидратации цемента путем переноса воды из относительно крупных пор пористого заполнителя в тонкие поры цементной пасты [1]. При этом для более равномерного распределения в объеме цементной пасты «водных резервуаров» более предпочтительным является мелкий пористый заполнитель [6]. Второй метод основан на использовании полимеров со сверхвысокой поглощающей способностью (SAP) [4] или целлюлозных волокон. Полимеры (SAP) добавляются в бетон в виде порошка и в процессе перемешивания поглощают воду, образуя таким образом микроскопические водяные поры [9].



Количество предварительно водонасыщенного заполнителя  $V_w$  рассчитывается исходя из показателя химической усадки цементной пасты, содержания и степени гидратации вяжущего, количества и вида пуццолановой добавки:

$$V_w = \frac{C_f \cdot CS \cdot \alpha_{\max}}{\rho}, \quad (4)$$

где  $C_f$  – расход цемента, кг/м<sup>3</sup>;  
 $CS$  – химическая усадка, 0,06 кгВ / кг Ц;  
 $\alpha_{\max}$  – максимальная степень гидратации цемента;  
 $\rho$  – плотность воды, 1 000 кг/м<sup>3</sup>.

Очень важно, чтобы поглощающая способность агента внутреннего ухода была точно определена, так как вариация этого показателя оказывает влияние на его дозировку. Кроме того, такие неточности могут существенно изменять результат влияния внутреннего ухода на предотвращение аутогенной усадки и рост прочности бетона.

Введение высокопористого заполнителя в плотную матрицу существенно влияет на механические характеристики бетона. В большинстве случаев отмечено отрицательное воздействие ПЗ на прочность бетона в раннем возрасте. Тем не менее влияние ПЗ на прочность зрелого бетона является переменным и зависит от типа заполнителя и его содержания, наличия химических добавок. Так, по данным [1], частичная замена (до 25 %) плотного песка водонасыщенным пористым не оказывает отрицательного влияния на прочность при сжатии. Кроме того, более низкий модуль упругости ПЗ и более совершенная контактная зона вокруг зерен заполнителя благодаря их пористой структуре поверхности обеспечивают снижение концентрации напряжений в контактной зоне, что снижает риск раннего трещинообразования в бетоне. Использование дробленого водонасыщенного керамзита способствует более полной гидратации вяжущего, получению более плотной структуры цементного камня, в результате чего на 18 % повышается прочность при сжатии, на 15...25 % снижаются деформации усадки и на 25 % повышается водонепроницаемость [10].

## ВЫВОДЫ

Применение бетонов с компенсированной усадкой – наиболее эффективный способ предотвращения или минимизации трещинообразования в железобетонных конструкциях вследствие усадки. Для этого стесненное расширение должно быть больше по величине прогнозируемой усадки. Это достигается за счет использования инновационных материалов, таких как добавки, снижающие усадку (Shrinkage Reducing Admixtures – SRA), синтетические волокна, расширяющиеся цементы (добавки) и др. Отмечен положительный эффект совместного применения концепции внутреннего ухода в сочетании с добавкой SRA, что обеспечивает снижение аутогенной и влажностной усадки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoff, G. C. The use of lightweight fines for the internal curing of concrete [Текст] / G. C. Hoff. – Report prepared for Northeast Solite Corporation. – Mississippi, Clinton : Hoff Consulting LLC, 2002. – 44 p.
2. Clarke, C. Concrete shrinkage prediction using maturity and activation energy [Текст] : Thesis submitted to the Faculty of the Graduated School of the University of Maryland, College Park, for the degree of Master of Science / Christopher Clarke. – [S. l. : s. n.], 2009. – 115 p.
3. Mora-Ruacho, J. Influence of shrinkage-reducing admixtures on the reduction of plastic shrinkage cracking in concrete [Текст] / J. Mora-Ruacho, R. Gettu, A. Aguado // Cement and Concrete Research. – 2009. – Vol. 39. – P. 141–146.
4. Cusson, D. Internal curing of high-performance concrete with pre-soaked fine lightweight aggregate for prevention of autogenous shrinkage cracking [Текст] / D. Cusson, T. Hoogeveen // Cement and Concrete Research. – 2008. – Vol. 38. – P. 757–765.
5. Effects of shrinkage-reducing admixture in shrinkage compensating concrete [Текст] / M. Collepardi, A. Borsoi, S. Collepardi, J. Ogoumah Olagot, R. Troli // Concrete International. – 2005. – Vol. 27, No. 10. – P. 1–8.
6. Bentz, D. P. Protected paste volume in concrete. Extension to using saturated lightweight fine aggregate [Текст] / D. P. Bentz, K. A. Snyder // Cement and Concrete Research. – 1999. – Vol. 29, No. 11. – P. 1863–1867.
7. Jensen, O. M. Thermodynamic limitation of self-dessication [Текст] / O. M. Jensen // Cement and Concrete Research. – 1995. – Vol. 25, No. 1. – P. 157–164.
8. Mo, L. Effects of MgO-based expansive additive on compensating the shrinkage of cement paste under non-wet curing conditions [Текст] / L. Mo, M. Deng, A. Wang // Cement and Concrete Composites. – 2012. – Vol. 34. – P. 377–383.

9. Мещерин, В. Высокопрочные и сверхпрочные бетоны: технологии производства и сферы применения [Текст] / В. Мещерин // СтройПРОФИль. – 2008. – № 8(70). – С. 32–35.
10. Захезин, А. Е. Цементные дорожные бетоны с комплексными добавками на основе алифатических эпоксидных смол [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / А. Е. Захезин. – Челябинск : ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», 2010. – 19 с.

Получено 19.12.2016

А. В. НАЗАРОВА <sup>a</sup>, АЛ-МАРШДІ КОСАЙ САХІБ РАДІ <sup>b</sup>, Д. С. КОВАЛЕНКО <sup>a</sup>  
ЕФЕКТИВНІ СПОСОБИ МІНІМІЗАЦІЇ ЗСІДАНОГО ТРІЩИНОУТВОРЕННЯ  
В ЦЕМЕНТОБЕТОНІ

<sup>a</sup> ДООУ «Луганський національний аграрний університет», <sup>b</sup> «Ель-Касим Грін Університет», Ірак

**Анотація.** Розглянуті типи і механізми виникнення зсіданих деформацій цементного бетону і найбільш ефективні способи боротьби з усадочним утворенням тріщин. Встановлено, що в природних умовах армування, зчеплення з основою жорсткого дорожнього одягу, взаємодії з іншими конструкціями вологісна усадка в цементному бетоні призводить до виникнення внутрішніх напружень, що перевищують міцність бетону при розтягуванні, що є причиною утворення тріщин. Наявність тріщин призводить до зниження довговічності залізобетонних виробів, оскільки розвивається хімічна корозія цементного бетону і арматурної сталі. Запропоновано бетони з компенсованою усадкою, які містять комплекс добавок, що знижують усадку, розширюючи цементи, синтетичні волокна.

**Ключові слова:** усадка, пластична, аутогенна, вологісна, термічна, карбонізаційна, тріщиноутворення, полімери, внутрішній догляд, водонасичений заповнювач.

ANTONINA NAZAROVA <sup>a</sup>, AL-MARSHDI QOSAI SAHIB RADİ <sup>b</sup>,  
DENIS KOVALENKO <sup>a</sup>  
EFFECTIVE WAYS OF MINIMIZING OF SHRINKAGE CRACK FORMATION IN  
CEMENT CONCRETE

<sup>a</sup> SEI «Lugansk National Agrarian University», <sup>b</sup> Al-Qasim Green University, Iraq

**Abstract.** The types and mechanisms of shrinkage deformation of cement concrete and the most effective ways to combat shrinkage crack formation have been considered. It has been found out that in natural conditions reinforcement, a rigid coupling with the base of the pavement, the interaction with other constructions in humid cement concrete shrinkage gives rise to internal stresses exceed the tensile strength of the concrete, which lead to cracking. The presence of cracks leads to a decrease in the durability of concrete products because it is a chemical corrosion of cement concrete and reinforcement steel. Shrinkage-compensated concrete that contains complex additives, reducing shrinkage, expanding cements, synthetic fibers has been suggested.

**Key words:** shrinkage, plastic, autogenic, humid, heat, carbonization, cracking, polymers, domestic care, water-saturated filler.

**Назарова Антонина Васильевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры строительных конструкций ГОУ «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: бетоны с использованием отходов промышленности.

**Ал-Маршди Косай Сахиб Ради** – кандидат технических наук, преподаватель Эль-Касим Грин университета (Ирак). Научные интересы: модифицированные цементные бетоны для строительства автомобильных дорог.

**Коваленко Денис Сергеевич** – аспирант кафедры строительных конструкций ГОУ «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: исследование техногенных сырьевых материалов в комплексе с современными модификаторами бетонов с целью повышения их эксплуатационных свойств и долговечности.

**Назарова Антоніна Василівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри будівельних конструкцій ДООУ «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: бетони з використанням відходів промисловості.

**Ал-Маршді Косай Сахіб Раді** – кандидат технічних наук, викладач Ель-Касим Грін університету (Ірак). Наукові інтереси: модифіковані цементні бетони для будівництва автомобільних доріг.

**Коваленко Денис Сергійович** – аспірант кафедри будівельних конструкцій ДОУ «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: дослідження техногенних сировинних матеріалів у комплексі з сучасними модифікаторами бетонів з метою підвищення їх експлуатаційних властивостей і довговічності.

**Nazarova Antonina** – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Senior Researcher, Building Constructions Department, SEI «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests: concretes with industrial wastes.

**Al-Marshdi Qosai Sahib Radi** – Ph.D. (Eng.), lecturer of the Al-Kasim Green University, Iraq. Scientific interests: modified cement concretes for automobile road construction.

**Kovalenko Denis** – post-graduate student, Building Constructions Department, SEI «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests: research technogenic raw materials in combination with modern concrete modifiers to increase their operational properties and durability.

УДК 691:005.936.5(477.61)

**Д. С. КОВАЛЕНКО**

ГОО «Луганский национальный аграрный университет»

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ЛУГАНСКОГО РЕГИОНА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

**Аннотация.** Рациональное использование сырьевых и материальных ресурсов в строительном комплексе приобретает первостепенное значение. Высокая стоимость топлива и электроэнергии вынуждает промышленные предприятия искать пути повышения энергоэффективности производств. Представлен обзор производственных баз Луганского региона с целью определения возможности утилизации промышленных отходов в строительной индустрии для удешевления стоимости строительной продукции и улучшения экологической обстановки в регионе.

**Ключевые слова:** промышленные отходы, ваграночный шлак, отработанная формовочная смесь, отсеб камнедробления.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ**

В связи с необходимостью выполнения региональных программ по жилищному, дорожному и другим видам строительства требуется большое количество разнообразных дешевых высококачественных строительных материалов, в том числе наполнителей, заполнителей, вяжущих, а значит и бетонов различного назначения с требуемыми техническими характеристиками.

Одним из путей решения в данном аспекте является использование отходов и вторичного сырья различных отраслей промышленности Луганского региона предприятиями строительной индустрии для изготовления строительных материалов, изделий и конструкций [1].

Утилизация многотоннажных отходов для производства строительных материалов способствует расширению сырьевой базы, экономии традиционного сырья и энергии, сокращению затрат на производстве и снижению цен на строительные изделия [2].

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ПУБЛИКАЦИЙ**

Тема использования промышленных отходов в строительной индустрии рассмотрена в работах: А. А. Пашенко, Ю. М. Бутта, О. Л. Дворкина, Л. И. Дворкина и др. [3–6].

Анализ существующих технологий производств строительных материалов с использованием химически активного вторичного сырья и отходов промышленного производства показывает, что наряду с интенсификацией технологических процессов реализуются такие задачи:

- экономические: снижение затрат на производственный процесс, повышение энергоэффективности производства;
- экологические: отсутствие необходимости в утилизации или складировании отходов, снижение темпов разработки исчерпаемых природных ресурсов;
- социальные: снижение себестоимости продукции за счет использования отходов приводит к перенаправлению денежных средств на решение социальных вопросов сотрудников предприятия, снижение стоимости товара повышает покупательскую способность потребителей, реконструкцию предприятий, зданий, сооружений и дополнительное обеспечение населения региона рабочими местами.

В наиболее промышленно развитых районах непременно возникает необходимость переработки накопленного техногенного сырья и ликвидации экологического ущерба.

Площадь земли, занятой отвалами, постоянно увеличивается, что негативно влияет на экологическую обстановку. Из хозяйственного оборота исключаются большие площади земли, из-за пылевых заносов с отвалов и хвостохранилищ снижается качество близлежащих земель. В условиях существенного экологического риска и негативных последствий на окружающую среду необходимо применять рациональные и малоотходные способы освоения месторождений, разрабатывать мероприятия по использованию отвалов (техногенных месторождений) [7].

Разработаны технологии рационального применения металлургических шлаков сталеплавильного производства в качестве компонентов бетонной смеси. Имеются данные о реологической активности тонкомолотого шлака в сочетании с портландцементом и микрокремнеземом. Изучено влияние дозировки тонкомолотого шлака на водосодержание бетонных смесей и реологические характеристики самоуплотняющихся бетонных смесей на основе техногенного сырья и др. [8–10].

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Луганский регион всегда являлся и является достаточно хорошо промышленно развитым. Здесь располагаются предприятия угольной, энергетической, металлургической, камнедобывающей промышленности и др. Перечень основных предприятий, расположенных в регионе, имеющих техногенные отходы и вид отходов приведены в табл. 1.

**Таблица 1** – Отходы основных предприятий тяжелой промышленности Луганского региона

№ п/п	Название предприятие	Наименование отходов
1.	ПАО «Лугансктепловоз»	Ваграночный шлак; отработанная формовочная смесь.
2.	ПАО «Луганский литейно-механический завод»	Ваграночный шлак; отработанная формовочная смесь.
3.	ООО «Луганский трубопрокатный завод»	Отработанная формовочная смесь.
4.	ОАО «Луганский аккумуляторный завод»	Щелочные отходы.
5.	ПАО «Алчевский металлургический завод»	Граншлаки; отвальные шлаки.
6.	ОАО «Стахановский завод ферросплавов»	Микрокремнезем; ферросиликомарганцевые шлаки.
7.	ПАО «Успенский Карьер»	Отходы камнедробления.
8.	Угледобывающие предприятия (шахты)	Горелые породы шахтных терриконов.

По раннее выполненным исследованиям на строительном факультете Луганского национального аграрного университета хорошо изучены основные характеристики такого техногенного сырья, как отходы металлургической промышленности (ваграночный шлак ПАО «Лугансктепловоз» и ПАО «Луганский литейно-механический завод» и отработанная формовочная смесь ООО «Луганский трубопрокатный завод» и ПАО «Луганский литейно-механический завод»).

Ваграночный шлак является побочным продуктом, образующихся при выплавке ( $t = 1\ 150 \div 1\ 200\ ^\circ\text{C}$ ) огненно-жидких специально подобранных составов металлов и представляет собой ноздреватые, плотнокристаллические зерна размерами в основной массе от 5,0 до 0,2 мм с отдельными крупными включениями.

Отработанные формовочные смеси представляют собой мелкодисперсный сыпучий материал, зерна которого покрыты оболочкой из связующих композиций, оставшихся после высокотемпературной обработки.

Основные физико-механические характеристики отходов приведены в табл. 2.

Химический состав отработанной формовочной смеси и ваграночного шлака представлен следующими основными оксидами:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  и приведен в табл. 3.

Исходя из зерновых составов, приведенных в табл. 4, можно сделать вывод, что и ваграночный шлак, и отработанную формовочную смесь можно использовать как мелкий заполнитель в виде полной или частичной замены песка в бетонных и растворных смесях.

Также в Луганском регионе накоплены большие отходы камнедробления при разработке Волнухинского карьера. Щебень является одним из основных материалов, используемых при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и также является наиболее часто применяемым крупным заполнителем в бетоне. В связи с развитием жилищного, промышленного и дорожного строительства спрос на нерудные строительные материалы, в том числе щебень, растёт. Рост спроса и, соответственно, рост производства щебня приводит к увеличению выхода отсева камнедробления.

**Таблица 2** – Основные физико-механические характеристики отходов трех предприятий Луганска

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Наименование предприятий		
			ПАО «Луганский литейно-механический завод» (ваграночный шлак)	ООО «Луганский трубопрокатный завод» (ОФС)	ПАО «Луганск-тепловоз» (ваграночный шлак)
1.	Насыпная плотность:				
	– в естественном состоянии	кг/м <sup>3</sup>	1 030	1 210	430
	– в сухом состоянии	кг/м <sup>3</sup>	1 105	1 240	1 348
2.	Истинная плотность	кг/л	2,86	2,84	2,95
3.	Влажность	%	7,5	1,9	7,5
4.	Пустотность	%	60	58	45,4
5.	Модуль крупности	–	2,38	1,29	2,46
6.	Структуроустойчивость:				
	– стойкость против силикатного распада (потеря массы)	%	1,1...1,5	1,0...1,2	1,2...2,5
	– стойкость против железистого распада (потеря массы)	%	1,9...2,9	2,1...2,4	2,2...3,0

**Таблица 3** – Химический состав отходов металлургической промышленности

Отходы	Содержание оксидов, %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O
Ваграночный шлак ПАО «Луганского литейно-механического завода»	45–55	10–13	0,5–3,5	25–35	1–3	1,0–1,5	3–5
ОФС ПАО «Луганского литейно-механического завода»	70–90	3–7	0,5–1,5	2–8	0,5–2,0	0,5–1,0	20
ОФС ООО «Луганского трубопрокатного завода»	5–7	3–7	33–38	19–29	0,5–1,5	1,0–1,5	2–4
Ваграночный шлак ПАО «Лугансктепловоза»	50–55	5–10	4–8	25–30	0,7–2	3–5	1,5–3,0

**Таблица 4** – Зерновой состав отходов металлургической промышленности

Наименование отходов	Остатки на ситах, %	Размер ячеек сит, мм						
		5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	дно
Ваграночный шлак «Луганского литейно-механического завода»	Частные	4,0	15,1	28,1	32,8	16,7	5,2	2,1
	Полные	4,0	15,1	43,2	76,0	92,7	97,9	100
ОФС ПАО «Луганского литейно-механического завода»	Частные	-	1,2	1,0	2,0	36,0	56,5	3,3
	Полные	-	1,2	2,2	4,2	40,2	96,7	100
ОФС ООО «Луганского трубопрокатного завода»	Частные	2,5	1,0	4,5	16,0	18,5	20,5	39,5
	Полные	2,5	1,0	5,5	21,5	40,0	60,5	100
Ваграночный шлак ПАО «Лугансктепловоза»	Частные	10,0	8,3	1,9	1,5	3,2	4,1	6,4
	Полные	83,4	91,7	93,6	94,5	95,9	97,8	100

В отвалах ПАО «Успенский Карьер» в настоящее время находится 200 тыс. м<sup>3</sup> отсева камнедробления, которые ежемесячно пополняются на 3 тыс. м<sup>3</sup> отсева. В перспективе целесообразно разделить отсева на фракции, что повысит заинтересованность в них различных предприятий, увеличит стоимость и плечо рациональных перевозок.

Переработка отсева дробления позволяет получать:

– заполнители, щебни мелких классов 2...5 мм, используемые для верхнего слоя дорожного полотна;

– строительные пески фракции 0,16...2,0 мм;

– минеральный наполнитель, мука 0...0,16 мм.

Основные области применения получаемых фракций [7]:

## 1. Дорожные покрытия.

Фракция 2...5 мм нашла ещё одно применение в сфере дорожного хозяйства – в качестве антигололедного материала для обработки дорожных покрытий. Использование химических антигололедных смесей показали свою неэффективность и затратность. Преимущества гранитного отсева фракции 2...5 мм, как антигололедного материала – это возможность многократного использования, удобство и экологичность.

## 2. Кровельное производство.

## 3. Производство железобетонных изделий.

4. Вибропрессованные штучные изделия (тротуарная плитка, бордюры, искусственный камень и пр.).

## 5. Производство сухих строительных смесей и наливных полов.

К перспективному направлению использования отсева дробления фракций 0,16...2,00 мм и 0...0,16 мм относится производство сухих строительных смесей (ССС). В СССР отсев фракции 0,16...2,00 мм может использоваться в качестве минерального заполнителя (вместо песка) при производстве цементно-песчаных штукатурных фасадных смесей, наливных полов, затирок, плиточных клеев и пр.

## ВЫВОДЫ

Исследования и разработка на их основе региональных программ по переработке промышленных отходов для производства строительных материалов и изделий позволит в перспективе решить ряд актуальных задач:

- нормализовать экологическую обстановку устранением источника загрязнения окружающей среды с сохранением сельскохозяйственных угодий;
- заменить дорогостоящее природное сырьё для производства строительных материалов и изделий;
- увеличить объёмы производства строительных изделий и конструкций;
- снизить социально-экономическую напряжённость созданием рабочих мест на предприятиях по комплексной переработке техногенного сырья.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыщенко, Т. Д. Использование вторичного сырья и отходов производства при изготовлении вяжущих материалов [Текст] / Т. Д. Рыщенко, К. И. Вяткин // Вісник НТУ «ХПІ». – 2012. – № 48. – С. 157–162.
2. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов [Текст] / Д. В. Макаров, Р. Г. Мелконян, О. В. Суворова, В. А. Кумарова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 5. – С. 254–281.
3. Пашенко, А. А. Энергосберегающие и безотходные технологии получения вяжущих веществ [Текст] / А. А. Пашенко, Е. А. Мясникова, Ю. Р. Евсютин. – К. : Вища школа, 1990. – 223 с.
4. Бутт, Ю. М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов [Текст] / Ю. М. Бутт, В. В. Тимашев. – М. : Высшая школа, 1973. – 504 с.
5. Чистяков, Б. З. Использование минеральных отходов промышленности [Текст] / Б. З. Чистяков, А. И. Ляпинов. – Л. : Стройиздат, 1984. – 152 с.
6. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности. Учебно-справочное пособие [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – 368 с.
7. Галицына, А. М. Перспективы использования отходов камнедробления [Текст] / А. М. Галицына // Север и рынок: формирование экономического порядка. – 2014. – № 3. – С. 122–126.
8. Корниенко, П. В. Изготовление современных высокофункциональных бетонов на основе сталеапатильных шлаков [Текст] / П. В. Корниенко, Г. В. Гакштетер // Технологии бетонов. – 2013. – № 3. – С. 47–49.
9. Применение отходов ферросплавного производства с пониженным содержанием микрокремнезема [Текст] / В. Г. Батраков, С. С. Каприелов, В. В. Пирожников [и др.] // Бетон и железобетон. – 1989. – № 3. – С. 22–24.
10. Корниенко, П. В. Местные ресурсы и отходы промышленности при производстве строительных материалов [Текст] / П. В. Корниенко, Г. В. Гакштетер // Актуальные проблемы науки : Материалы Межд. научно-практической конференции. Часть 1 / Московский государственный педагогический университет. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2011. – С. 41–42.

Получено 20.12.2016

Д. С. КОВАЛЕНКО  
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ  
ЛУГАНСЬКОГО РЕГІОНУ У БУДІВЕЛЬНІЙ ІНДУСТРІЇ  
ДООУ «Луганський національний аграрний університет»

**Анотація.** Раціональне використання сировинних і матеріальних ресурсів в будівельному комплексі набуває першочергового значення. Висока вартість палива та електроенергії змушує промислові підприємства шукати шляхи підвищення енергоефективності виробництв. Представлено огляд виробничих баз Луганського регіону з метою визначення можливості утилізації промислових відходів в будівельній індустрії для здешевлення вартості будівельної продукції і поліпшення екологічної обстановки у регіоні.

**Ключові слова:** промислові відходи, ваграночний шлак, відпрацьована формувальна суміш, відсів каменедробіння.

DENIS KOVALENKO  
PROSPECTS OF USING THE TECHNOGENIC RAW MATERIAL OF LUGANSK  
PEOPLE'S REPUBLIC IN THE BUILDING INDUSTRY  
SEI «Lugansk National Agrarian University»

**Abstract.** Rational use of raw materials and material resources in the construction industry is of paramount importance. High fuel and electricity costs is forcing industry to seek ways to improve the efficiency of production. A review of the production bases of the Lugansk region in order to determine the possibility of disposing of industrial waste in the construction industry to reduce the cost of construction products and the cost of environmental improvement has been presented.

**Key words:** industrial waste, cupola slag, the waste molding sand, gravel lithotripsy.

**Коваленко Денис Сергеевич** – аспирант кафедры строительных конструкций ГОУ «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: исследование техногенных сырьевых материалов в комплексе с современными модификаторами бетонов с целью повышения их эксплуатационных свойств и долговечности.

**Коваленко Денис Сергійович** – аспірант кафедри будівельних конструкцій ДООУ «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: дослідження техногенних сировинних матеріалів у комплексі з сучасними модифікаторами бетонів з метою підвищення їх експлуатаційних властивостей і довговічності.

**Kovalenko Denis** – post-graduate student, Building Constructions Department, SEI «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests: research of technogenic raw materials in combination with modern concrete modifiers to increase their operational properties and durability.



УДК 556.470.325

**Г. Я. ДРОЗД, М. Ю. ХВОРТОВА**

Луганский национальный университет имени Владимира Даля

## **СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОЕМОВ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ**

**Аннотация.** Приведены данные о качестве водных объектов востока Украины. Выполнено сравнение качества воды водоемов с использованием индекса загрязнения воды (ИЗВ) и обоснованы трансграничные и региональные экологические риски. За период с 2014 по 2016 годы качество воды реки Северский Донец на территории Российской Федерации (Белгородская область) на основе специальных критериев интервального типа для значений ИЗВ понизилось и соответствует третьему классу «умеренно загрязненная» (ИЗВ от 1,0 до 2,5), а на территории Украины в створе пос. Станица Луганская показатели качества соответствуют 4-му классу загрязнения (ИЗВ от 2,5 до 4,0): хром<sup>6+</sup> – 5,67 ПДК, сульфаты – 4,11 ПДК, марганец – 3,4 ПДК, медь – 2,1 ПДК, БПК<sub>5</sub> – 1,87 ПДК. В устье реки Кальмиус и Кальчик основные показатели концентрации марганца, сульфатов, нитратов, меди формируют шестой класс качества «очень грязная». Состояние водоемов Донбасса характеризуется как критическое и как удовлетворительное в зоне нормальной хозяйственной деятельности.

**Ключевые слова:** индекс загрязнения воды, мониторинг, экоцид, вода, водоем.

Оценка качества водных объектов востока Украины – проблема довольно непростая, учитывая их косвенное воздействие практически на все компоненты природной среды. Эта проблема существенно усложняется для крупных густонаселенных регионов, имеющих развитую промышленную и транспортную инфраструктуру.

Особенно сложной является оценка экологических рисков на территории Донбасса.

Ранее нами был дан прогноз экологических рисков для России вследствие переноса на ее территорию загрязнений с учетом работы промышленных объектов Донбасса рекой Северский Донец [1, 2].

С целью проверки обоснованности высказанных опасений, нами выполнено исследование качества отдельных водных объектов Донбасса в характерных зонах в зоне реки Северский Донец; в зоне рек Кальмиус и Кальчик и в зоне водохранилищ у города Счастье.

Оценку качественного состояния вод поверхностных водных объектов проводили по методике определения индекса загрязненности вод (ИЗВ), основанной на анализе кратности превышения предельно допустимых концентраций отдельных ингредиентов, согласно нормативам для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

ИЗВ рассчитывали по шести показателям, 2 из которых обязательные – БПК<sub>5</sub> и растворенный кислород, другими показателями были 4 ингредиента из общего перечня, по которым кратность превышения ПДК была наибольшей (в нашем случае: медь, хром<sup>6+</sup>, марганец<sup>2+</sup>, сульфаты и железо общее).

Отнесение качества воды к конкретному классу осуществляли на основе специальных критериев интервального типа для значений ИЗВ. Из семи классов качества воды: 1-й – очень чистая (ИЗВ от 0 до 0,3); 2-й – чистая (ИЗВ от 0,3 до 1,0); 3-й – умеренно загрязненная (ИЗВ от 1,0 до 2,5); 4-й – загрязненная (ИЗВ от 2,5 до 4,0); 5-й – грязная (ИЗВ от 4,0 до 6,0); 6-й – очень грязная (ИЗВ от 6,0 до 10,0); 7-й – чрезвычайно грязная (ИЗВ больше 10,0).

В работе использованы данные собственных исследований, а также материалы мониторинга Северско-Донецкого бассейнового управления водных ресурсов и Министерства природы и экологической безопасности [3, 4].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*И зона*

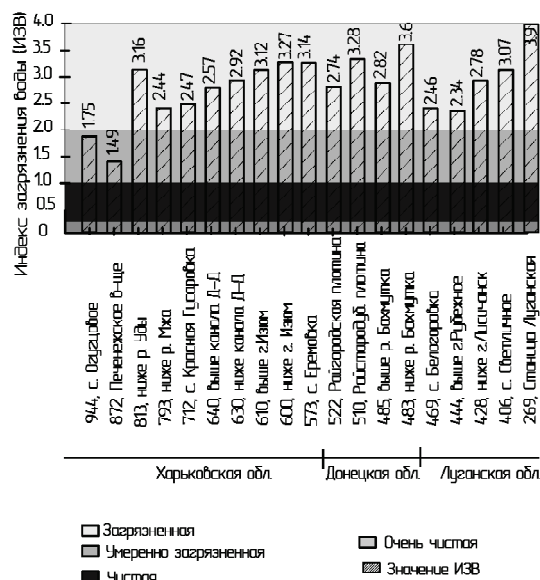
Река Северский Донец (протяженность – 1 053 км, расход воды в среднем течении – 200 м<sup>3</sup>/с) берет свое начало в Белгородской области РФ, пересекает Украину по территориям Харьковской, Донецкой и Луганской областей и впадает в Дон на территории РФ (рис. 1).



**Рисунок 1** – Река Северский Донец в районе пгт. Станица Луганская.

Диаграмма качества воды вдоль водотока реки (рис. 2) отражает данные гидрохимических показателей качества воды, взятые в 19 створах (10 – в Харьковской обл., 4 – в Донецкой и 5 в Луганской областях).

Анализируя диаграмму, отметим, что со стоком реки Северский Донец с территории РФ (Белгородская область) поступают основные вещества с показателями концентраций (медь – 2,92 ПДК, хром<sup>6+</sup> – 2 ПДК, марганец – 1,96 ПДК, железо общее – 1,48 ПДК, БПК<sub>5</sub> – 1,27 ПДК), которые на границе Белгородская – Харьковская области формируют **третий класс** качества воды – «умеренно загрязненная».



**Рисунок 2** – Комплексная оценка качества воды вдоль водотока реки Северский Донец на основе индекса загрязнения воды.

В пределах территории Украины и в замыкающем створе пос. Станица Луганская класс качества воды изменяется до **четвертого класса** – «загрязненная». Основными показателями, которые формируют этот класс качества, являются: хром<sup>6+</sup> – 5,67 ПДК, сульфаты – 4,11 ПДК, марганец – 3,4 ПДК, медь – 2,1 ПДК, БПК<sub>5</sub> – 1,87 ПДК.

Сравнительный анализ гидрохимического состояния реки Северский Донец во времени свидетельствует о том, что нынешнее качество воды (2016 г.) остается удовлетворительным, на уровне 2013–2014 годов с незначительным колебанием среднегодовых показателей. Концентрация тяжелых металлов в воде, как и в предыдущие годы, колеблется в пределах, не превышающих нормативов СанПиН № 4630-88. Средняя жесткость воды – 9,2 ммоль/дм<sup>3</sup>. Кислородный режим – удовлетворительный. Класс качества воды остался без изменений (4-й – «загрязненная»), и обусловлен фоновыми показателями и производственно-хозяйственной деятельностью. Существенных нарушений, вызванных техногенным загрязнением воды, и нарушений санитарно-экологического состояния реки не выявлено.

### II зона

Выбранная нами зона находится на южном (Мариупольском направлении). К этой территории приурочены бассейны двух рек – Кальмиус и Кальчик. Характеристика водотоков: р. Кальмиус (протяженность 209 км, расход воды в среднем течении – 8,25 м<sup>3</sup>/с.) впадает в Азовское море; р. Кальчик – приток Кальмиуса, имеет протяженность 85 км, расход воды в среднем течении около 4 м<sup>3</sup>/с.

В устье реки Кальмиус концентрации ряда веществ составляют (марганец – 12,1 ПДК, сульфаты – 10,18 ПДК, нитриты – 7,12 ПДК, медь – 7,0 ПДК, БПК<sub>5</sub> – 1,84 ПДК) формируют **шестой класс** качества «очень грязная». Кислородный режим в реке – удовлетворительный.

Вода реки Кальчик соответствует также **шестому классу** качества – «очень грязная». Основные показатели, которые формируют этот класс качества, являются: марганец – 11,1 ПДК, сульфаты – 12,48 ПДК, нитриты – 12,5 ПДК, медь – 6,0 ПДК, БПК<sub>5</sub> – 1,74 ПДК).

Прибрежная растительность рек находится в угнетенном состоянии (рис. 3), а повышенное загрязнение воды связано как с механической эрозией почв, так и с малым расходом воды в реках.



Рисунок 3 – Участки реки Кальмиус в период 2014–2016 годы.

Специалистами организации «Экология-право-человек» были в 2015–2016 годах проведены исследования почв. Результаты исследований свидетельствуют о значительном содержании тяжелых металлов. Так, концентрация титана в пробе почвы в 150 раз превышает фоновые показатели. Есть превышение по сульфатам в 2,5–3,0 раза, также по ванадию, свинцу, кадмию и проч. [5]. Эти данные объясняют повышенное содержание этих загрязнений в данных водных объектах.

### III зона

Район города Счастье, где расположена Луганская ТЭС (рис. 4). В технологической схеме тепловой электростанции предусмотрены пруды – охладители с площадью водного зеркала около 5 км<sup>2</sup>. В результате неудовлетворительной эксплуатации как сама ТЭС, так и ее инфраструктура подвергаются деградации, сопровождающейся опустыниванием местности [6]. На рис. 4–6 приведены данные спутниковых карт района города Счастье за 2015 и 2016 годы, которые иллюстрируют процесс исчезновения водоемов.

До 2014 года пруды арендовались предприятием «Рыбхоз» и были любимым местом отдыха и рыбалки луганчан. Только на третьем водохранилище в отдельные дни рыбачили до 500 человек. В настоящее время это водохранилище исчезло и происходит обмеление двух оставшихся (рис. 7–9).

Качественные характеристики воды водохранилища приведены в таблице.

Данные табл. свидетельствуют о превышении предельно допустимой концентрации для водоемов рыбохозяйственного использования (ПДК<sub>р.х.</sub>): перманганатной окисляемости в 21 раз, химической потребности в кислороде (ХПК) в 22 раза, сульфатов в 11 раз, хлоридов в 1,5 раза, жесткости в 4,5 раза, т. е. вода водоема по своему химическому составу соответствует промышленному стоку.





Рисунок 4 – Расположение и размеры водохранилищ на карте Луганской области.



Рисунок 5 – Исчезновение 3-го водохранилища (спутниковое фото, лето 2015 г.).

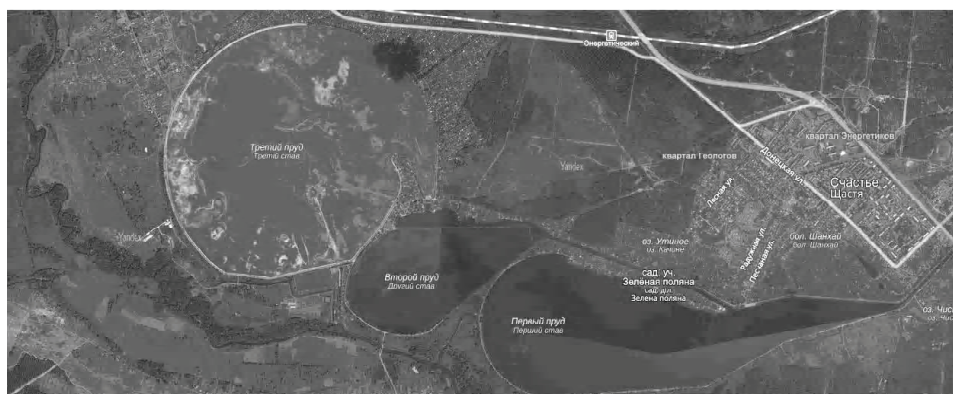


Рисунок 6 – Деградация системы водохранилищ (спутниковое фото, осень 2016 г.).

Качество воды угнетающе действует на животный и растительный мир водоема. Большинство видов рыб гибнет (рис. 10). На обмеление и исчезновение водохранилищ чутко реагирует прибрежная растительность – идет процесс засыхания деревьев и кустарников. Деградация и гибель водоемов ведет к опустыниванию местности: исчезли сопутствующие экосистеме земноводные, пернатые, сократили свою популяцию летучие мыши.

В период с 2014 по 2016 годы произошло полное высыхание ряда водоемов. К таким водоемам относятся озеро Большое (с размерами примерно 1 000×50 м и глубиной около 1 м) и озеро Малое (размер 500×30 м, глубиной около 1 м) (рис. 11).



**Рисунок 7** – Раннее утро на 3-ем водохранилище в 2013 году.

**Таблица** – Химический анализ воды водохранилища (2016 г.) в сравнении с ПДК<sub>р.х</sub>

Показатели, мг/дм <sup>3</sup>	Водохранилище № 2	ПДК <sub>р.х</sub>
Аммиак	3,9	2,0
Нитриты	0,005	0,08
Нитраты	0,01	40,0
Железо	0,05	0,1
Хлориды	441	300
Сульфаты	1 089	100
Жесткость, ед.	30,6	7
ХПК	320	15
Перманганатная окисляемость	150	7
рН, ед.	6,8	6,5–8,5



**Рисунок 8** – Вид на 3-е водохранилище, сентябрь 2016 г.



**Рисунок 9** – Современное состояние водохранилища.



**Рисунок 10** – Летний замор рыбы.



**Рисунок 11** – Пересохшие озера.

Донбасс является маловодным регионом. Поэтому уделяется пристальное внимание водным ресурсам. Проведена инвентаризация и впервые за последние 25 лет проведена паспортизация водоемов. На территории Луганской области расположено 349 водоемов с качеством воды 3-го класса – «умеренно загрязненная», из них – 22 водохранилища, остальные – пруды. Проведены работы по расчистке и благоустройству водоемов. Часть из них зарыблена мальком.

## ВЫВОДЫ

1. Экологические риски для территории РФ вследствие трансграничного переноса рекой Северский Донец загрязнений в настоящее время минимальны, в настоящее время в прибрежных районах и значительным расходом воды в водотоке.

2. В то же время состояние водоемов Донбасса можно оценить как критическое (на ряде участков) и как удовлетворительное в зоне нормальной хозяйственной деятельности с перспективой улучшения их качества по назначению водоема.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрозд, Г. Я. Экоцид – неизбежный результат военных конфликтов [Текст] / Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хвортова // Безопасность жизнедеятельности. – Москва, 2015. – № 4. – С. 36–43.
2. Дрозд, Г. Я. Экоцид как результат геноцида киевской военной хунты против Донбасса [Текст] / Г. Я. Дрозд, И. Н. Салуквадзе, М. Ю. Хвортова // Экологический Вестник России. – 2016. – № 9. – С. 30–42.
3. Фоменко, Н. Е. Динамика движения подземных вод в Восточном Донбассе (по результатам электроразведочных наблюдений) [Текст] / Н. Е. Фоменко, В. Е. Закруткин, Г. Ю. Скляенко, Д. А. Гапонов // Геологические проблемы углепромышленных районов и территорий. Сборник трудов научной конференции с международным участием / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону : Издательство ЮФУ, 2015. – 366 с. – ISBN 978-59275-169905. – С. 330–349.
4. Бакаева, Е. Н. Эколого-биологическая характеристика альмоценозов малых рек Восточного Донбасса [Текст] / Е. Н. Бакаева, Н. Ю. Кондакова, Г. Г. Черникова // Геологические проблемы углепромышленных районов и территорий. Сборник трудов научной конференции с международным участием / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону : Издательство ЮФУ, 2015. – 366 с. – ISBN 978-59275-169905. – С. 36–47.



5. Закруткин, В. Е. Изменения гидрохимических показателей рек Восточного Донбасса в связи с массовой ликвидацией нерентабельных угледобывающих предприятий [Текст] / В. Е. Закруткин // Водные ресурсы. – 2015. – Т. 42. – № 6. – С. 613–622.

Получено 21.12.016

Г. Я. ДРОЗД, М. Ю. ХВОРТОВА  
СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМИЩ ТА ЇХ ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ  
Луганський національний університет імені Володимира Даля

**Анотація.** Наведено дані про якість водних об'єктів сходу України. Виконано порівняння якості води водоймищ з використанням індексу забруднення води і обґрунтовано транскордонні та регіональні екологічні ризики. За період з 2014 по 2016 роки якість води річки Сіверський Донець на території Російської Федерації (Белгородська область) на основі спеціальних критеріїв інтервального типу для значень ІЗВ знизилася і відповідає третьому класу «помірно забруднена» (ІЗВ від 1,0 до 2,5), а на території України в створі сел. Станиця Луганська показники якості відповідають 4-му класу забруднення (ІЗВ від 2,5 до 4,0):  $\text{хром}^{6+}$  – 5,67 ГДК, сульфати – 4,11 ГДК, марганець – 3,4 ГДК, мідь – 2,1 ГДК,  $\text{БСК}_5$  – 1,87 ГДК. У гирлі річки Кальміус і Кальчик основні показники концентрації марганцю, сульфатів, нітратів, міді формують 6-й клас якості «дуже брудна». Стан водоймищ Донбасу характеризується як критичний і як задовільний в зоні нормальної господарської діяльності

**Ключові слова:** індекс забруднення води, моніторинг, екоцид, вода, водоймище.

GENNADIY DROZD, MARINA KHVORTOVA  
STATE OF SURFACE WATER BODIES AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACT  
Vladimir Dahl Lugansk National University

**Abstract.** The facts of the quality of water bodies east of Ukraine have been given. The comparison of the quality of water reservoirs with water pollution has been carried out, index and substantiated cross-border and regional environmental risks have been proved. During the period from 2014 to 2016 the water quality of the Seversky Donets River in the territory of the Russian Federation (Belgorod region) has been reduced based on specific criteria such as the interval for the values of the WPI fell and corresponds to the third class of moderately polluted (WPI from 1.0 to 2.5), and on the territory of Ukraine in the alignment of the village. Lugansk Cossack village quality class corresponds to class 4.0 Pollution (WPI from 2.5 to 4.0):  $\text{chrom}^{6+}$  – 5.67 MAC, sulphates – 4.11 MPC, manganese – 3.4 MPC, copper – 2.1 MAC,  $\text{BOD}_5$  – 1.87 MPC. At the mouth of the river and Kalmius Kalchik the main indicators of manganese, sulfates, nitrates, copper form 6 quality class «very dirty». Status of Donbas reservoirs characterized as critical and as satisfactory in the area of normal operations.

**Key words:** index of water pollution, monitoring, ecocide, water, pond.

**Дрозд Геннадій Яковлевич** – доктор технічних наук, професор кафедри городского и промышленного строительства Института строительства, архитектуры и ЖКХ Луганского национального университета имени Владимира Даля. Академик строительства Украины. Научные интересы: техногенная, техносферная и экологическая безопасность.

**Хвортова Марина Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой городского и промышленного строительства Института строительства, архитектуры и ЖКХ Луганского национального университета имени Владимира Даля. Научные интересы: усиление металлических конструкций.

**Дрозд Геннадій Якович** – доктор технічних наук, професор кафедри міського і промислового будівництва Інституту будівництва, архітектури і ЖКГ Луганського національного університету імені Володимира Даля. Академік будівництва України. Наукові інтереси: техногенна, техносферна і екологічна безпека.

**Хвортова Марина Юрійвна** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри міського і промислового будівництва Інституту будівництва, архітектури і ЖКГ Луганського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: посилення металевих конструкцій.

**Drozd Gennadiy** – D.Sc. (Eng.), Professor, City and Industrial Building Department, Institute of Building, Architecture and HCE, Vladimir Dahl Lugansk National University, Academician of building of Ukraine. Scientific interests: technological, technosphere and ecological safety.

**Khvortova Marina** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, the Head of City and Industrial Building Department, Institute of Building, Architecture and HCE, Vladimir Dahl Lugansk National University. Scientific interests: strengthening of metallic constructions.



УДК [[691:658]:339.142]:517.518.45

**Н. П. НАГОРНАЯ**

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

**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ  
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЯДОВ ФУРЬЕ**

**Аннотация.** Цель работы – совершенствование методики прогнозирования экономических показателей предприятий строительных материалов с использованием рядов Фурье. Используя свойства динамических рядов рассматривается не только трендовая составляющая динамического ряда статистических данных, но и временная составляющая их как случайная трендовая величина. В процессе исследования был проведен сравнительный анализ прогнозирования экономических показателей динамических рядов предприятия с использованием трендовых моделей и рядов Фурье. Разработана методика прогнозирования экономических показателей (товарооборота предприятия «Строительные товары») с высокой статистической надежностью. Предложенная модель использования рядов Фурье опробована на конкретном материале показателей товарооборота и прибыли торгового предприятия при реализации строительных товаров.

**Ключевые слова:** строительные материалы и товары, товарооборот, динамический ряд, линия тренда, прогнозирование, ряды Фурье.

**ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Для успешной конкуренции торгового предприятия на рынке строительных товаров важным является надежное обоснование прогноза его экономических показателей. В качестве показателя был выбран товарооборот, который во времени образует динамический ряд.

Экономические модели, построенные на анализе динамических рядов, позволяют определить связи между отдельными факторами не только в динамике, но и раскрыть взаимосвязи между отдельными факторами, обусловленными корреляцией и автокорреляцией различных показателей.

При классическом анализе динамических рядов считается, что время не влияет на его случайную составляющую. Тем самым предполагается, что математическое ожидание и дисперсия (определяемые как среднее статистическое) равняются либо постоянной, либо нулю [2].

Это вызывает необходимость включать в систематическую составляющую модели ряда  $y_t$  тренд  $f(t)$ . Модели тренда можно разделить на два вида. Это такие функции, которые медленно изменяются во времени. К таким функциям относятся, например, полиномиальные модели. К другому виду моделей принадлежат циклические последовательности, такие как конечные отрезки рядов Фурье, которые представляют собою конечные суммы пар синусоидальных и косинусоидальных отрезков рядов Фурье [1].

Одной из общих моделей, в которой влияние временного параметра появляется в случайной составляющей  $u_t$ , является стационарный случайный процесс. Среди таких моделей динамических рядов случайный процесс может иметь и тригонометрические функции вида:

$$y_t = \sum_{j=1}^q (A_j \cos \lambda_j t + B_j \sin \lambda_j t), \quad (1)$$

где  $A_1, B_1, \dots, A_q, B_q$  – независимые случайные величины с математическим ожиданием равным нулю, и дисперсией, которая является функцией от  $\lambda_j$ .

Модели такого вида являются суммой  $q$  тригонометрических функций со случайной амплитудой и случайными фазами [4].

Рассматривается в работе **подход**, когда и трендовая составляющая, и случайная составляющая зависят от времени.

Рядом Фурье является функция  $f(x)$ , имеющая период  $T = 2\pi$  на сегменте  $[-\pi, \pi]$  и имеющая бесконечное число точек разрыва, а также абсолютно интегрированная на этом отрезке:

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx), \quad (2)$$

коэффициенты которой определяются формулами:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx; \\ a_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos nx dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots); \\ b_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin nx dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \end{aligned} \quad (3)$$

Если функция  $f(x)$  разложена в равномерно сходящийся ряд вида (2), то этот ряд и будет рядом Фурье. Известно, что такая функция разлагается в свой ряд Фурье в каждой точке, в которой она дифференцирована. К таким функциям принадлежат все кусочно гладкие функции.

Если функция  $f(x)$  имеет произвольный период  $T=2l$ , то заменой  $x = at$  получим функцию  $f(at)$ , которая имеет период  $T = 2l/a$ . Выбираем  $a$  таким, чтобы  $2l/a = 2\pi$ . При этом  $a = l/\pi$ , тогда подстановка  $x = lt/\pi$  приводит к функции  $f(lt/\pi)$ , которая имеет период  $T = 2\pi$ .

Допуская, что функция  $f(x)$  имеет на сегменте  $[-l, l]$  не больше конечного числа точек разрыва и абсолютно интегрирована на этом сегменте, получим в точках дифференцирования:

$$f\left(\frac{lt}{\pi}\right) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} (a_n \cos nt + b_n \sin nt), \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f\left(\frac{lt}{\pi}\right) dt; \quad a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f\left(\frac{lt}{\pi}\right) \cos ntdt \quad (n = 1, 2, 3, \dots); \\ b_n &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f\left(\frac{lt}{\pi}\right) \sin ntdt; \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \end{aligned} \quad (5)$$

Возвращаясь в ряд в формулах коэффициентов от новой замены  $t$  к старой переменной  $x$  и учитывая, что  $t = \pi x/l$ ,  $dt = (\pi/l)dx$  в точках дифференцирования, получим:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{+\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi x}{l} + b_n \sin \frac{n\pi x}{l} \right), \quad (6)$$

$$a_0 = l \int_{-\pi}^{\pi} f(x) dx; \quad a_n = \frac{1}{l} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos \frac{n\pi x}{l} dx \quad (n = 1, 2, 3, \dots); \quad (7)$$

$$b_n = \frac{1}{l} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin \frac{n\pi x}{l} dx; \quad (n = 1, 2, 3, \dots).$$

Ряд (6) с коэффициентами (7) называется рядом Фурье для функции  $f(x)$ , имеющей период  $T = 2l$ . Для представления динамического ряда рядом Фурье  $f(x)$  существенно только его значения при  $x = 1, 2, \dots, N$ . Если  $f(x)$  имеет период и он равняется целому числу  $n$ , то  $f(x)$  принимает только  $n$  значений, а именно  $f(1), f(2), \dots, f(n)$ . В этом случае  $f(x)$  можно представить при  $x = 1, 2, \dots, n$  линейной комбинацией  $n$  тригонометрических функций. Если период  $\phi$  не целое число, то  $f(x)$  может быть приближенно относительно небольшим числом тригонометрических членов.

Если ряд Фурье имеет период, который имеет делитель  $\lambda$  длины ряда, то есть  $\lambda = 2\pi j/T$ ,  $j = 1, \dots, (T-1)/2$ , то в этом случае математическое ожидание коэффициентов ряда будут равняться нулю (1). Отличным от нуля будут лишь те коэффициенты ряда, периоды которых не будут делителями длины ряда  $l$ .

Для разложения в ряд Фурье принята функция:

$$f(x) = \begin{cases} 4 & \text{при } x = 0, \\ -4 & \text{при } x = 12. \end{cases}$$

Это нечетная функция. В этом случае выбирается ряд Фурье (6), у которого все коэффициенты  $a_n$  равны нулю, а коэффициенты  $b_n$  образуют числовой ряд:  $b_n = 4/3k$ , где  $k$  нечетное число (2). Ряд Фурье имеет такой вид:

$$f(x) = \frac{4}{3} \left( \sin t + \frac{\sin 3t}{3} + \frac{\sin 5t}{5} + \frac{\sin 7t}{7} + \frac{\sin 9t}{9} + \dots + \frac{\sin kt}{k} + \dots \right), \quad (8)$$

где  $t$  – соответствующий номер месяца динамического ряда.

Практически использовано было 7 членов ряда Фурье (последнее  $k = 1$ ) потому, что уже при  $k = 13$  влияние на сумму квадратов отклонений значения ряда Фурье от соответствующих значений остатков не заметно. В таблице 1 рассмотрен динамический ряд показателей товарооборота предприятия «Строительные товары» и его прогнозирование с помощью линии тренда и рядов Фурье.

**Таблица 1** – Сравнение данных товарооборота предприятия «Строительные товары» с помощью линии тренда и рядов Фурье

Месяц	Товарооборот – млн руб. $y_i$	Линия тренда $y_1 t$	Остатки $y_1 - y_i t$	Ряд Фурье $f(t)$
1	6,5	5,1	0,9616	2,4672983
2	11,4	7,2	3,805	2,25800969
3	11,1	9,3	1,4484	1,87129306
4	7,4	11,4	-4,3082	-2,43247533
5	10,7	13,5	-3,0648	-2,16900558
6	11,6	15,6	-4,2214	-2,71509217
7	20,5	17,7	2,622	2,16111093
8	22,9	19,8	2,9654	2,33113937
9	23,8	21,9	1,8088	2,52228413
10	19,6	24	-4,4478	-2,11205599
11	24,2	26,1	-1,9044	-2,46287144
12	32,5	28,2	4,339	-1,33375467

Как видно из данных таблицы 1, значения отклонений прогноза товарооборота с использованием линии тренда имеет большое рассеивание, в то время как прогноз с помощью рядов Фурье дает более стабильные остатки. При этом коэффициент детерминации для прогноза рядов Фурье составил  $R^2=0,406$ .

В таблице 2 приведен прогноз товарооборота предприятия на следующий квартал.

**Таблица 2** – Прогноз на первый квартал следующего года

Месяц	Линия тренда $y_1 t$	$f(t)$	Прогноз $y_1 t + f(t)$	Прогноз по ряду Фурье $y_{1t} - f(t)$
1	30,2176	1,87390594	32,0915059	28,3437
2	32,2742	0,88301932	33,1572193	31,3912
3	34,3308	1,18705919	35,5178592	33,1437

Как свидетельствуют данные таблицы 2, прогноз товарооборота предприятия «Строительные товары» по ряду Фурье имеет более умеренный рост показателей [5].

## ВЫВОДЫ

Используя свойства периодичности рядов Фурье, которые позволяют учесть неопределенность динамики развития экономических систем предприятий строительных материалов в зоне риска, была построена экономическая модель, которая не имеет аналогов в литературе. Параметры модели были определены методом статистического эксперимента. Модель рассмотрена на примере динамического ряда товарооборота предприятия «Строительные товары» за год. Это позволило составить прогноз, который учитывает неопределенность развития предприятия в виде риска. В работе доказано,

что использование рядов Фурье для анализа динамических рядов экономических показателей возможно и может быть использовано при прогнозировании экономических процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романовский, П. И. Ряды Фурье. Теория Поля. Аналитические и специальные функции. Преобразование Лапласа [Текст] / П. И. Романовский. – Изд. 6-е, стер. – М.: Наука, 1980. – 336 с.
2. Андерсон, Т. Статистический анализ временных рядов [Текст] / Т. Андерсон. – М.: Мир, 1976. – 755 с.
3. Безопасность непродовольственных товаров [Текст]: [учебное пособие] / Под редакцией проф. Д. П. Лойко. – Харьков: Издательство «НТМТ», 2016. – 260 с.
4. Болдин, М. В. Знаковый статистический анализ линейных моделей [Текст] / М. В. Болдин, Г. И. Симонова, Ю. Н. Тюрин. – М.: Наука, Физматлит, 1997. – 288 с. – ISBN 5-02-015222-6.
5. Ширяев, А. Н. Основы стохастической финансовой математики. Факты. Модели [Текст]. Т. 1 / А. Н. Ширяев. – М.: Фазис, 1998. – 512 с. – ISBN 5-7036-0043-X.

Получено 22.12.2016

Н. П. НАГОРНА

### АНАЛІЗ І ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РЯДІВ ФУР'Є

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

**Анотація.** Ціль роботи – удосконалювання методики прогнозування економічних показників підприємства з використанням рядів Фур'є. Використовуючи властивості динамічних рядів, розглянуто не тільки трендову складову динамічного ряду статистичних даних, але й тимчасову складову їх як випадкову трендову величину. У процесі дослідження було проведено порівняльний аналіз прогнозування економічних показників динамічних рядів підприємства з використанням трендових моделей і рядів Фур'є. Розроблено методику прогнозування економічних показників (товарообігу підприємства «Будівельні товари»). Запропонована модель використання рядів Фур'є випробовувана на конкретному матеріалі показників товарообігу й прибутку торговельного підприємства при реалізації будівельних товарів.

**Ключові слова:** будівельні матеріали та товари, товарообіг, динамічний ряд, лінія тренда, прогнозування, ряди Фур'є.

NINA NAGORNA

### ANALYSIS AND PREDICTION OF THE DYNAMICS OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF ENTERPRISES OF CONSTRUCTION MATERIALS USING FOURIER SERIES

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

**Abstract.** Purpose is improving the methods of forecasting economic performance of enterprises of building materials using Fourier series. The aim of this work is to improve the methods of forecasting economic indicators of the enterprise with the use of Fourier series. Using the properties of time series, it is not only the trend component of a time series of statistical data, but the temporal component of their trend as a random variable. In the process of research was a comparative analysis of forecasting economic indicators time series of the enterprise with the use of trend models and Fourier series was carried out. The technique of forecasting of economic indicators (turnover of the enterprise «Construction products») has been developed. The model of using Fourier series tested on specific material indicators of the turnover and profit of commercial enterprise in the implementation of the construction products has been suggested.

**Key words:** building materials and products, trade, time series, trend line, forecasting, Fourier series.

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

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

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

УДК [620.2:677.11]:543.422.7

**Д. П. ЛОЙКО, В. Н. КИБЗУН, Ю. А. ПАВЛУШЕНКО**

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

## **ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ФОТОКОЛОРИМЕТРИИ**

**Аннотация.** Цель работы – совершенствование методики определения показателей безопасности геотекстильных материалов с использованием фотоколориметрии. В процессе исследования была разработана методика фотоколориметрического определения оксидов металлов, их норм при оценке эколого-гигиенических показателей текстильных материалов. В работе исследованы причины, приводящие к появлению остатков оксидов металлов в текстильных материалах. Разработана методика определения этих параметров. Разработан фотоколориметрический метод определения содержания оксида алюминия в тканях специального назначения (парусинах). Метод может быть использован при разработке эколого-гигиенических требований текстильных материалов разного целевого назначения.

**Ключевые слова:** геотекстильные товары, безопасность, эколого-гигиенические показатели, методы определения, фотоколориметрия, оксиды металлов.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА**

Постоянное повышение качества продукции является обязательным условием развития общества. Посредством качества можно одним и тем же количеством товаров более полно удовлетворить потребности населения. Важной проблемой современных предприятий является выпуск надежной и в то же время безопасной продукции, удовлетворяющей потребности населения. Это в первую очередь относится к производству и реализации одежды и обуви. В Украине, как и во многих развитых странах мира, преимущественной базой для развития производства этих товаров являются искусственные и синтетические материалы [1].

Широкое применение в одежде химических материалов отрицательно сказывается на здоровье людей, что является причиной постоянного интереса к натуральной текстильной продукции. Вопросом развития рынка текстильных товаров на основе натуральных волокон занималось много исследователей. В частности С. Дудкова, Т. Кузьмина рассматривали вопрос возрождения льноводства, сфер применения и конкурентоспособности изделий из льна. Авторы работ указывают на то, что в конце XX и в начале XXI ст. наблюдается развитие технологий, касающихся экологизации геотекстильного производства, расширения ассортимента экологически безопасных текстильных товаров, в частности льносодержащих. Поскольку ткани со значительным содержанием льняного волокна оказывают влияние на терморегуляцию тела, то человек, одетый в костюм из льняной ткани, потеет в жару в 1,5 раза меньше, чем в одежде из хлопчатобумажной ткани, и вдвое меньше, чем в одежде из вискозы.

Структура ассортимента льняных тканей на отечественном и зарубежном рынках существенно отличается. В западноевропейской структуре потребления льняных тканей на одежно-бельевой ассортимент приходится 60–75 % их общего производства. В то же время на отечественном рынке доля льняных тканей составляет всего 7 %, а 64 % изготовленной в Украине льносодержащей продукции – это технические и тарные ткани. На европейском рынке потребность в льноволокне составляет 120 тыс. т в год и имеет тенденцию к росту. В тех самых объемах оценивается спрос американского рынка. На сегодня потребность в льняном волокне там удовлетворяется на 70...80 %. Сейчас льносеющие страны увеличивают посевы и объемы производства льна. Китай за последние годы увеличил объемы

производства льна почти в 1,5 раза. Согласно прогнозам экспертов, до 2016 года 78 % одежды, которая производится в мире, будет сшита из льняной ткани.

Маркетинговые исследования, проведенные на основе образцов международных выставок моды, одежды из тканей и трикотажа (*Premier – Vision, Parus, Moda-In, Milan*), свидетельствуют, что льняные ткани, льносодержащие полотна и изделия из них являются лидерами не только на сегодняшнем рынке, но и будут в ближайшей перспективе.

Ретроспективный анализ развития льноводства указывает на то, что за последние 15–17 лет деструктивные процессы в областях привели не только к потере внешнего рынка волокна, а и к полной остановке отечественных льнокомбинатов. Отрицательные тенденции в производстве льна прослеживаются на предприятиях перерабатывающей промышленности. Внутренний рынок тканей на 50–60 % формируется за счет импорта, в то время как Житомирский и Ровенский льнокомбинаты не работают. Лен на современном этапе развития перерабатывающей промышленности как практически безотходная культура является инвестиционно привлекательной. Внедрение инновационных технологий переработки льна в продукцию с новыми свойствами может значительно расширить сферу его использования и повысить привлекательность области.

На сегодня в Украине существует мало субъектов хозяйственной деятельности, которые занимаются организацией производства экологически безопасными – текстильными товарами на основе льняного сырья. Для улучшения их деятельности необходимо стимулировать техническую реконструкцию производства, обновить нормативно-правовую основу производства экопродукции и гармонизировать ее относительно мировых стандартов.

Правильность развития концепции формирования экологически безопасной продукции на основе льняных и льносодержащих материалов свидетельствует тот факт, что во многих экономически развитых странах уже созданы и успешно функционируют специализированные компании, которые вырабатывают экологически безопасные и конкурентоспособные товары. Украина, в отличие от других стран, владеет большими запасами растительного технического сырья, тем не менее, к сожалению, использует его очень ограниченно. Льносырьё может стать одним из главных факторов успешного формирования отечественного рынка экотекстиля.

В настоящее время брезентовые парусины получают широкое применение почти во всех отраслях народного хозяйства, особенно в металлургической, угольной, лесной, деревообрабатывающей, химической, оборонной и других видах промышленности. Широкое применение брезентовых парусин, различные условия их эксплуатации предъявляют высокие к ним требования. Они должны быть прочными, гигиеничными, с высокими показателями износостойкости и хорошими водоотталкивающими свойствами. Особенно это важно для спецодежды рабочих горной и металлургической промышленности. Одежда для работников этих категорий в процессе эксплуатации подвергается частым воздействиям влаги и высокой температуры. Попеременные воздействия влаги и тепла, а также многократные стирки приводят к расшатыванию структуры тканей, в результате чего защитные и водоупорные свойства снижаются. Этому же способствует и вымывание нанесенных на ткань гидрофобных соединений. Поэтому очень важным является установление закономерностей изменения гидрофобных свойств тканей в зависимости от содержания в них нанесенных в процессе пропитки соединений (мыльно-парафиновой эмульсии, алюминиевых мыл и солей алюминия). При этом важно быстро и точно установить их содержание в тканях. Особенно это касается определения содержания окиси алюминия. Используемый для этой цели в настоящее время объемно-аналитический метод определения окиси алюминия (ГОСТ 6303-59) имеет ряд недостатков: он длительный, трудоемкий, предусматривает операции разделения компонентов. Это неизбежно сопряжено с ошибками в конечных результатах анализа. Метод не может быть надежно использован для определения малых количеств алюминия. Исходя из этого, нами была поставлена задача найти более совершенный метод определения содержания окиси алюминия в тканях. Исходя из потребностей контроля качества продукции и технологии ее производства, учитывая опыт и возможности широкой лабораторной практики, а также теоретические предпосылки, мы остановились на разработке фотоколориметричного метода анализа окиси алюминия, поскольку он может быть рациональным в данном конкретном случае. Основное преимущество фотоколориметричного определения заключается в простоте и экспрессности выполнения анализа при достаточной точности полученных результатов. Особенно это касается определения микроколичества веществ [2].

До сих пор нет точного и надежного стандартного фотоколориметричного метода определения алюминия. Проводя теоретический анализ, экспериментальную сравнительную оценку существующих фотоколориметричных методов определения алюминия в различных объектах, мы сделали

предварительные выводы о целесообразности исследования реагента арсеназо (бензол-2-арсеновая кислота-1 азо-7-1,8-диоксинафталин-3,6-дисульфокислота, натриевая соль) как индикатор на алюминий [3].

Поставленные нами специальные исследования показали, что оптимальная рабочая концентрация арсеназо удобна для длительного хранения раствора реактива и использования его при определении алюминия в широком диапазоне концентраций 0,01...0,02%. При разработке условий фотоколориметричного определения алюминия с арсеназо были, исследованы такие вопросы:

- 1) светопоглощение водного раствора арсеназо;
- 2) снята кривая светопоглощения окрашенного комплекса алюминия с арсеназо с целью определения оптимального значения, то есть выбора рабочего светофильтра;
- 3) зависимость светопоглощения (оптической плотности) окрашенного комплекса алюминия с арсеназо от концентрации арсеназо при оптимальном значении  $\gamma = 584$ ;
- 4) исследование изменения оптической плотности окрашенного комплекса во времени;
- 5) зависимость светопоглощения окрашенного комплекса алюминия с арсеназо от pH раствора;
- 6) установлен оптимальный порядок сливания ингредиентов при составлении аналитической смеси для фотоколориметрирования алюминия, что находит отражение в разработанной методике анализа;
- 7) исследована применимость закона Ламберта и закона Бера к окрашенному комплексу алюминия с арсеназо;
- 8) точность и воспроизводимость метода определения концентрации алюминия в искусственных смесях и в промышленных образцах (табл. 1, 2, 3).

**Таблица 1** – Состав в тканях окиси алюминия в зависимости от числа стирок по ГОСТ 6303-59

Вид ткани	Общий объем в % к навеске ткани			
	до стирки	после стирки		
		1-й	2-й	3-й
Парусина брезентовая артикула 11119	0,29	0,24	0,21	0,19
Парусина брезентовая артикула 11119 с содержанием лавсана в основе, %				
33	0,31	0,25	0,23	0,20
50	0,34	0,29	0,25	0,23
67	0,36	0,30	0,27	0,25

**Таблица 2** – Результаты определения окиси алюминия в льняных тканях в зависимости от числа стирок фотоколориметричным методом (по разработанной методике)

Вид ткани	Общий объем $Al_2O_3$ в ткани в % к навеске			
	до стирки	после стирки		
		1-й	2-й	3-й
Парусина брезентовая артикула 11119	0,30	0,27	0,21	0,17
Парусина брезентовая артикула 11119	0,29	0,26	0,20	0,15
Парусина брезентовая артикула 11119	0,28	0,28	0,18	0,16

**Таблица 3** – Фотоколориметричное определение алюминия с использованием реактивов арсеназо (титр стандартного раствора алюминия 0,000124 г/мл)

Взято алюминия, мг	Найдено алюминия, мл	Относительное отклонение от определенного, %
0,372	0,364	-2,2
0,496	0,512	+1,8
0,620	0,604	+3,2
0,744	0,744	$\pm 0$
0,868	0,880	+1,3
0,992	0,970	-2,3
1,016	1,038	+2,2
1,140	1,122	-1,1
1,264	1,246	1,5
1,388	1,388	$\pm 0$



На основании проведенных исследований разработана методика фотоколориметричного определения микроколичества алюминия с применением реактива арсеназо.

Методика фотоколориметричного определения алюминия с использованием арсеназо.

Навеску ткани (1–2 грамма) взвешивают на аналитических весах и розжаривают до полного сгорания органических веществ. Остаток после прожаривания переводят в раствор стандартным методом (ГОСТ 6303-59).

Полученный раствор (его объем не должен превышать 15–20 мл) количественно переводят в мерную колбу на 100 мл и доводят до метки дистиллированной водой. Из этого раствора отбирают в колбу 50 мл для определения алюминия аликвотную часть – 2–10 мл (в зависимости от содержания алюминия в пробе), прибавляют 5 мл 0,02-%. раствора арсеназо, 20-%. раствора уротропина до pH 6,00–6,15 и дистиллированную воду до метки и тщательно перемешивают. Оптимального развития окраски достигают в течение 3–5 минут. После этого раствор фотоколориметруют в кювете на 10 мм с желтым светофильтром. Концентрация алюминия определяется по калибровальной прямой [4].

## ВЫВОДЫ

Таким образом, разработан фотоколориметричный метод определения алюминия на брезентовых парусинах.

Причем показано, что:

а) оптимальными условиями фотоколориметрирования алюминия являются: концентрация алюминия 0,2...1,5 мг 50 мл раствора, pH раствора 6,1...6,2, а концентрация арсеназо 5 мл 0,02 %. – на 50 мл раствора, светофильтр зеленый;

б) разработанный метод определения алюминия является экспрессным, поскольку определение алюминия этим методом после разложения навески длится не более 10–15 минут;

в) предложенный метод имеет хорошую воспроизводимость и достаточную точность (примерно 3 % относительных).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность непродовольственных товаров [Текст] : [учебное пособие] / Под редакцией проф. Д. П. Лойко. – Харьков : Издательство «НТМТ», 2016. – 260 с.
2. Демкович, О. В. Льономісні одягові тканини: шляхи екологізації технології виробництва, оптимізації структури асортименту та підвищення конкурентоспроможності [Текст] / О. В. Демкович, А. В. Добровольська, Б. Б. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 1. – С. 163–167.
3. Глубиш, П. А. Високотехнологічні, конкурентоспроможні і технологічно-орієнтовані волокнисті матеріали і вироби з них [Текст] / П. А. Глубиш. – К. : Арістей, 2007. – 264 с.
4. Кричевский, Г. Е. Опасность и безопасность изделий из текстиля [Текст] / Г. Е. Кричевский // Текстильная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 42–45.
5. Кричевский, Г. Е. Диверсификация мирового производства текстиля: усиление роли технического, защитного, специального, multifunctional, «умного» текстиля [Текст] / Г. Е. Кричевский // Текстильная промышленность. – 2007. – № 9. – С. 34–39.

Получено 23.12.2016

### Д. П. ЛОЙКО, В. М. КИБЗУН, Ю. О. ПАВЛУШЕНКО ОЦІНКА БЕЗПЕКИ ГЕОТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ ФОТОКОЛОРИМЕТРІЇ

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

**Анотація.** Мета роботи – удосконалення методики визначення показників безпеки текстильних матеріалів з використанням фотоколориметрії. У процесі дослідження була розроблена методика фотоколориметричного визначення оксидів металів, їх норм при оцінці еколого-гігієнічних показників текстильних матеріалів. У роботі досліджено причини, що призводять до появи залишків оксидів металів в текстильних матеріалах. Розроблена методика визначення цих параметрів. Розроблено фотоколориметричний метод визначення вмісту оксиду алюмінію в тканинах спеціального призначення (парусинах). Метод може бути використаний при розробці еколого-гігієнічних вимог текстильних матеріалів різного цільового призначення.

**Ключові слова:** геотекстильні товари, безпека, еколого-гігієнічні показники, методи визначення, фотоколориметрія, оксиди металів.

DMITRY LOYKO, VALENTINA KIBZUN, JULIA PAVLUCHENKO  
SAFETY ASSESSMENT OF GEOTEXTILES MATERIALS BY THE METHOD OF  
PHOTOCOLORIMETRY

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

**Abstract.** The aim of this work is to improve the methods of determining the safety performance of geotextile materials using photocolorimetry. In the process of research methodology was developed photocolorimetric determination of oxides of metals, their norms in the assessment of environmental and health indicators of textile materials. The paper examines the causes leading to the appearance of residues of metal oxides in textile materials. The technique of determining these parameters has been developed. Photocolorimetric method for determination of aluminum oxide in the tissues (tarps) has been developed too. The method can be used in the development of sanitary-ecological requirements for textile materials of different purpose.

**Key words:** geotextile products, safety, ecological and hygienic parameters, methods of assessment, photocolorimetry, metal oxides.

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

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

**Павлушенко Юлия Александровна** – ассистент кафедры товароведения и экспертизы непродовольственных товаров ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского». Научные интересы: исследование потребительных свойств одежно-обувных товаров.

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

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

**Павлушенко Юлия Олександрівна** – асистент кафедри товарознавства та експертизи непродовольчих товарів ДО ВПО «Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського». Наукові інтереси: дослідження споживчих властивостей одягово-взуттєвих товарів.

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

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

**Pavluchenko Julia** – Assistant, Commodity Research and Expertise of Non Foodstuff Department, State Organization of Higher Education «Tugan-Baranovsky Donetsk National University of Economics and Trade». Scientific interests: research of consumer properties clothing – footwear products.

УДК 625.855.3

**А. Г. ДОЛЯ, Д. А. ШАТВОРЯН, Д. В. СМИРНОВА, И. П. ЖУКОВ**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОРОД ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Аннотация.** В Донбассе большое количество отвалов угольных шахт, обожженная и необожженная порода которых является техногенным сырьём для использования в строительстве различных сооружений. В дорожном строительстве диапазон его применения весьма широк: в асфальтобетоне, в слоях дорожных одежд, в земляном полотне и др. Предлагается технология разборки терриконов и технология сооружения земляного полотна в виде технологической карты с выполнением нетрадиционных мероприятий.

**Ключевые слова:** горелая порода, террикон, земляное полотно, уплотнение, автомобильная дорога.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Технология разборки терриконов и строительство земляного полотна из шахтных пород с применением нетрадиционных способов.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Наиболее объемная работа в теоретическом и прикладном плане была проведена коллективом авторов [1], на основании которой разработаны рекомендации по строительству земляного полотна автомобильных дорог из отходов угледобычи и углеобогащения. К последним работам, которые выполнены в 90-х годах XX столетия следует отнести исследования Донецкого ВНИИ ВОДГЕО, ПромстройНИИпроект. В упомянутых работах отсутствуют нетрадиционные решения технологии строительства земляного полотна.

### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Разработать технологию разборки террикона и предложить способы нетрадиционной технологии сооружения устойчивого земляного полотна из пород терриконов шахт.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

В Донбассе сосредоточено 1 177 отвалов угольных шахт [1] с общим объемом пород более 1 млрд м<sup>3</sup>, которые занимают площадь 30 тыс. га сельскохозяйственных земель, загрязняют окружающую среду, выделяя в атмосферу вредные газы. Горелые и негорелые породы терриконов шахт давно привлекали внимание научных работников и производственников с целью использования этого дешевого сырья в дорожном строительстве. Для этого наиболее пригодны породы, залегающие в конических отвалах – терриконах. Разработке и использованию подлежат старые, негорящие и неэксплуатируемые терриконы со сроком отсыпки более 25 лет.

Во второй половине XX столетия в Донбассе построено много экспериментальных сооружений с применением пород шахтных отвалов. Выполнен целый ряд научно-исследовательских работ по этой проблеме для дорожного строительства. Разработаны «Рекомендации по строительству земляного полотна автомобильных дорог из отходов угледобычи и углеобогащения» [2], классифицирующие углеотходы по компонентно-вещественному составу и видам: горелые породы, горелопородные смеси, слабообоженные и необоженные породы. Приведены требования к углеотходам, конструкции

© А. Г. Доля, Д. А. Шатворян, Д. В. Смирнова, И. П. Жуков, 2017

насыпей автомобильных дорог из пород и технология их сооружения. Однако опыт строительства и эксплуатации земляного полотна и дорожных одежд с использованием пород до настоящего времени остается недостаточно обобщенным.

Порода, транспортируемая на поверхность из шахт, в большинстве своем состоит из глинистых, реже из песчаных сланцев, известняков и песчаников. В геологическом разрезе угленосной части Донбасса в различных местах глинистые породы составляют от 40 до 80 %; песчаники – 16...45 %; известняки 1,0...1,5 %. Угольные пласты залегают преимущественно среди глинистых пород. Количество пригодных для применения пород в терриконах зависит от вида добываемого угля. Для шахт, где добывается антрацитовый уголь, оно составляет 80...90 %. Это достаточно твердая порода, частично оплавлена, ее структура приближается к пористой. Порода, сопровождающая пласты угля коксующегося также твердая, имеет плотную структуру, цвет коричневый. На шахтах с газовыми углями порода в терриконе недостаточно обожженная, поэтому имеет светло-розовый цвет, структура рыхлая. К наиболее слабым породам относятся горелые породы шахт, добывающих тощие угли. Они имеют темно-серый цвет и аморфную структуру [3].

По данным исследований Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, физические и механические свойства пород многих шахт Донбасса изменяются в широких пределах: насыпная плотность от 1 040 до 1 450 кг/м<sup>3</sup>; средняя плотность отдельных кусков достигает 2 000...2 700 кг/м<sup>3</sup>; предел прочности при сжатии составляет 40...100 МПа; водопоглощение, зависящее от структуры и плотности, достигает 8 % и более по массе, вследствие чего они имеют склонность к увеличению объема с последующим расслоением. После 15-кратного водонасыщения – высушивания потеря в массе составляет 1,0...1,5 % [3].

Средний гранулометрический состав горелых пород и предельные значения содержания отдельных фракций приведены в таблице.

**Таблица** – Средний гранулометрический состав пород

Фракции, мм	Содержание, %	
	среднее	пределы
0–5	23,0	4,0–65,0
5–20	25,0	8,7–50,0
20–60	27,0	14,0–52,0
Более 60	25,0	6,5–77,0

Содержание фракций менее 1,0 мм, как правило, незначительное (0,3...4,8 %). Износ в полочном барабане до 30 % по массе. Химический состав горелых пород различных месторождений, исключая содержание оксида железа, изменяется незначительно, т. е. породы по химическому составу относительно однородны: SiO<sub>2</sub> – 48...62 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 20...40 %; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2...13 %; CaO – 1,5...4,0 %; MgO – 0,3...1,0 %; SO<sub>3</sub> – 0,4...1,2 %; других соединений – 0,3...1,5 %.

В зависимости от свойств породы, поступающей в отвал, содержания в ней угля, сернистых и других соединений, гранулометрического состава создаются различные условия обжига по всей массе террикона, что приводит к образованию материала различной степени обжига – от спекшегося до слабообожженного, обладающего неодинаковыми физическими и механическими свойствами. Поэтому неоднородность породы в терриконе является одним из самых наиболее существенных ее недостатков.

Интересно, что в породах содержится значительное количество угля, в котором находится свыше 70 микроэлементов: литий, цезий, скандий, рубидий, тантал, мышьяк, ртуть, фтор, свинец, молибден, германий, уран, золото, серебро и др. [4].

В отходах углеобогащения преобладают аргиллиты и углистые аргиллиты (36...78 %), песчаники (в среднем 6,1 %), алевролиты (в среднем 4,2 %) и карбонаты (в среднем 4,2 %). Основную массу аргиллитов составляют глинистые минералы – гидрослюда, каолинит и частично хлорит. В состав алевролитов входит кварц (до 70 %), среди песчаников – кварц (50...80 %), карбонаты представлены в основном анкеритами, в меньшей степени кальцитами, доломитами и сидеритами [4].

Наличие огромного количества «бросового» минерального материала, каким является горелая и негорелая порода терриконов шахт, требует изыскания путей эффективного его использования. Ещё в тридцатые годы прошлого столетия, когда недостаточно была развита отрасль нерудных строительных материалов, были проведены исследования горелых пород с целью изучения их свойств для

применения в дорожном строительстве [5], в частности для устройства однослойного асфальтобетона из щебня горелых пород с применением минерального порошка из горелопородного цемента. Но более перспективное направление использования горелых пород – это производство керамических изделий. Более рациональным направлением применения пород углеобогащения является возведение из них земляного полотна дорог, особенно при больших объемах.

Это направление требует выполнения некоторых нетрадиционных мероприятий, несколько удорожающих строительство, что компенсируется экологическими выгодами.

Анализируя рекомендации, приведенные в [2], можно сделать вывод о том, что практически во всех конструкциях насыпей обязательным конструктивным решением их устройства является изоляция ядра насыпи от проникания поверхностной, капиллярной и парообразной влаги.

Откосы насыпей при устройстве изолирующих слоев из суглинистых грунтов, водостойких и дробленых неводостойких углетходов выполняют в виде уступов, устраиваемых по мере возведения ядра насыпи. Крутизну откосов принимают для насыпей высотой до 12 м по СНиП 2.05.02-85, а выше 12 м – по расчету.

При строительстве высоких насыпей из необожженных пород, с целью уменьшения миграции водяных паров в теле насыпи и накопления влаги в верхней ее части, через каждые 2,5...3,0 м устраивают пароизолирующие прослойки из суглинистых грунтов толщиной 0,3...0,4 м.

С целью термоизоляции и уменьшения конденсации влаги в верхней части насыпи устраивают теплоизолирующие слои из шлаковых отсеков и других материалов толщиной 0,4...0,5 м. В нижние слои насыпи завозят и уплотняют капиллярно-прерывающие слои из гравийных, песчаных или гравийно-песчаных смесей, щебня и других зернистых материалов толщиной 0,5 м.

В верхней части насыпи для устройства изолирующих слоев можно применять полимерные пленочные материалы, раскатав их по всей ширине насыпи с перекрытием краев листов на 0,2...0,3 м или сварив отдельные полотнища на грунтовой подушке [2].

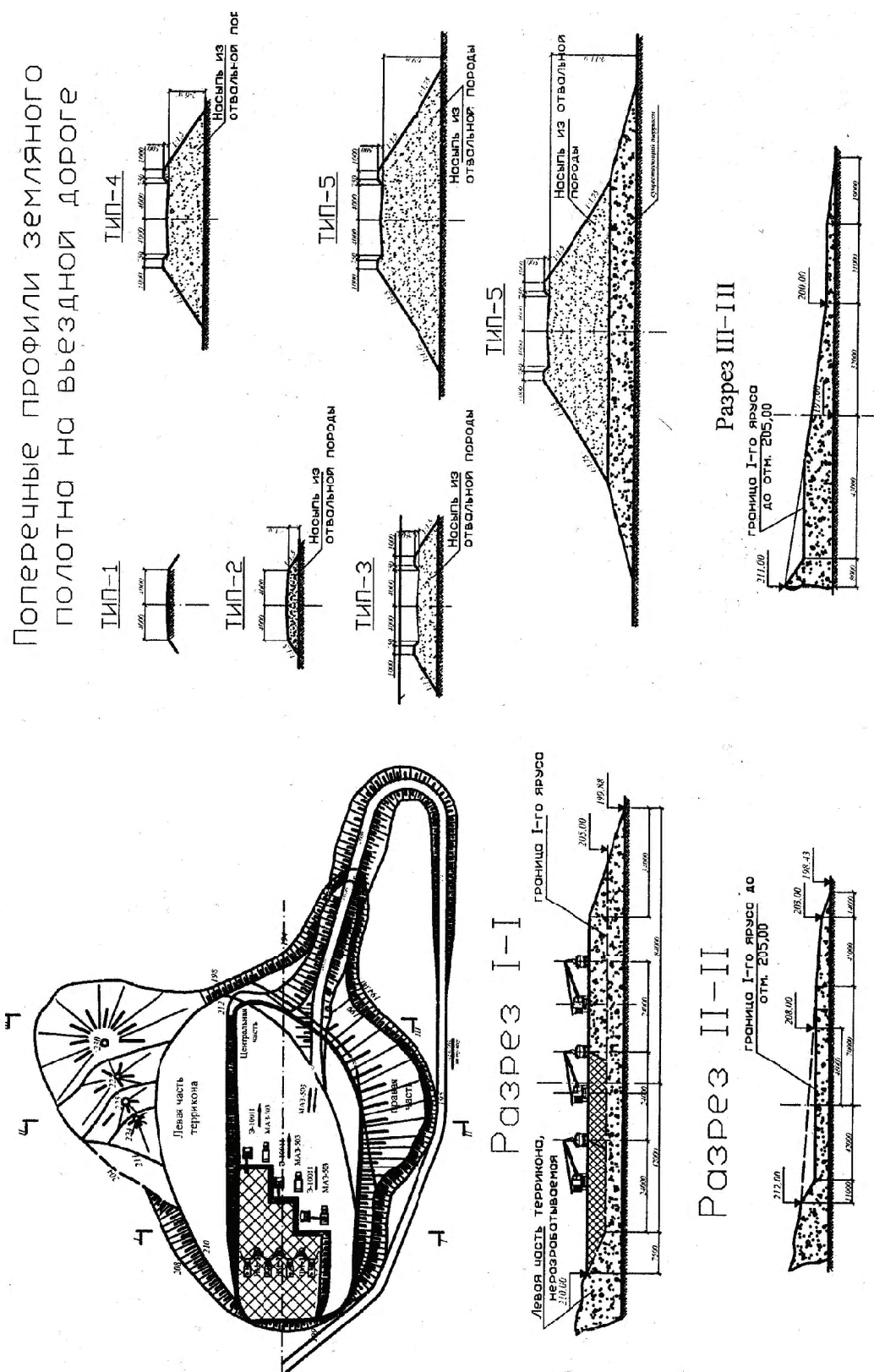
При строительстве насыпей из слабообожженных и необожженных пород, кроме обеспечения требуемых характеристик, а именно: плотности, влажности и состава, – обязательным условием является изоляция углетходов от природно-климатического воздействия в верхней и на откосных частях насыпи суглинистым грунтом или водостойкими видами пород – горелых отсеков, а также минеральными смесями, обработанными органическими вяжущими [2].

Основываясь на приведенных выше по тексту правилах, а также учитывая консультации и рекомендации работников бывшего Донецкого филиала треста «Оргдорстрой», предлагается план разборки террикона ш. Ганзовка и технологическая карта сооружения насыпи из породы шахтных отвалов. Разработке подлежит террикон, который образован складированием породы скипами из шахты: средней высоты, одиночный, потухший. Разборка его должна осуществляться после выполнения всех мероприятий, предусмотренных проектом организации работ, в несколько ярусов. Въездную дорогу нужно строить с двусторонним движением шириной проезжей части 8 м для первоначального въезда и подъема бульдозеров, экскаваторов, самосвалов и последующего вывоза породы. Для безопасности движения транспорта по обочинам дороги следует устроить предохранительный валик из породы высотой до 0,8 м, шириной 1 м.

Основные планируемые нетрадиционные мероприятия при возведении насыпи из отвальной породы: перед завозом породы в насыпь основание насыпи следует выполнять из послойно уплотненного суглинка общей толщиной слоя 0,8 м для предотвращения доступа к породе парообразной и капиллярной влаги. Необходимо насыпь заключить в «обойму» из слоя суглинка толщиной 0,5...0,8 м на откосах насыпи, а замыкающий слой отсыпать из отсева отвального мартеновского шлака Макеевского металлургического завода с целью получения верхнего теплоизолирующего слоя толщиной 0,4 м. На рисунках 1, 2, 3 приведены предполагаемые схемы разработки 1–3 ярусов и технологическая карта возведения земляного полотна из отвальных пород высотой до 6 м, на которых детально показаны технологические приемы разборки террикона и приведена последовательность технологических процессов сооружения насыпи.

## ВЫВОДЫ

Проблему строительства земляного полотна из шахтных пород в принципе можно считать решенной, так как она обеспечивает оптимальный водно-тепловой режим земляного полотна.



**Рисунок 1** – Разработка I-го яруса отвальной породы террикона





<p>Нормативные технические процедуры</p>	<p>1. Разработка гранта II группы экскаватором с погрузкой в автосамосвал 2. Работа бульдозера на отвале карьера суглинка 3. Полив шахтной породы перед разработкой погрузочными машинами из шлота 4. Разработка отвальной породой IV группы в терриконе экскаватором с погрузкой в автосамосвал 5. Работа бульдозера на отвале террикона 6. Учет забора гранта из сосредоточенного карьера суглинка и террикона шахты</p>	<p>7. Разравнивание суглинка II группы бульдозером 8. Разравнивание суглинка III группы бульдозером 9. Полив водой суглинка и отвальной породы через распылительные сопла поливочной машины 10. Доставка воды поливочной машиной 11. Уплотнение суглинка пневматическим катком 12. Уплотнение отвальной породы</p>	<p>13. Частичное рыхление породы тракторным рыхлителем 14. Уплотнение земляного полотна из отвальной пород слоем 40см</p>	<p>15. Разработка гранта II группы экскаватором с погрузкой в транспортные средства 16. Работа бульдозера на отвале карьера из сосредоточенного самосвала и приемки его на месте 17. Разравнивание отвала II группы слоем 40см бульдозером 18. Полив водой отвала через распылительные сопла поливочной машины 19. Доставка воды поливочной машиной 20. Уплотнение отвала слоем 40см</p>	<p>15. Разработка гранта II группы экскаватором с погрузкой в транспортные средства 16. Работа бульдозера на отвале карьера из сосредоточенного самосвала и приемки его на месте 17. Разравнивание отвала II группы слоем 40см бульдозером 18. Полив водой отвала через распылительные сопла поливочной машины 19. Доставка воды поливочной машиной 20. Уплотнение отвала слоем 40см</p>
<p>Экскаватор 3-10001 Бульдозер Д-259 Бульдозер на терриконе</p>	<p>Экскаватор 3-10001 Бульдозер Д-259 Бульдозер на терриконе</p>	<p>Бульдозер Д-259 Полвиловальная машина ПМ-130 Каток Д-263</p>	<p>Тракторный рыхлитель Каток Д-263</p>	<p>Экскаватор 3-10001 Бульдозер Д-259 Полвиловальная машина ПМ-130 Каток Д-263</p>	<p>Шлакостойкий отсев</p>
<p>Полвиловальная машина</p>	<p>Полвиловальная машина</p>	<p>Водо</p>	<p>Водо</p>	<p>Водо</p>	<p>Водо</p>
<p>Грант из сосредоточенного карьера суглинка, пылеватый, отвальная порода из террикона</p>	<p>Грант из сосредоточенного карьера суглинка, пылеватый, отвальная порода из террикона</p>	<p>Грант из сосредоточенного карьера суглинка, пылеватый, отвальная порода из террикона</p>	<p>Грант из сосредоточенного карьера суглинка, пылеватый, отвальная порода из террикона</p>	<p>Грант из сосредоточенного карьера суглинка, пылеватый, отвальная порода из террикона</p>	<p>Грант из сосредоточенного карьера суглинка, пылеватый, отвальная порода из террикона</p>
<p>На уложенный ранее изолирующий слой суглинка толщиной 0,8 метра в основании насыпи возводится отвальная порода из террикона автосамосвалами для последующей отсыпки ядра насыпи и суглинка из сосредоточенного карьера для насыпи и выгрузки в кювет через 3 метра. Завоз суглинка опережает завоз породы. Разработка шахтной отвальной породы на терриконе выполняется тремя экскаваторами, а суглинка гранта - одним экскаватором, с погрузкой в автосамосвал. После отсыпки одного слоя на захватке, процесс отсыпки повторяется на второй половине земляного полотна.</p>	<p>На уложенный ранее изолирующий слой суглинка толщиной 0,8 метра в основании насыпи возводится отвальная порода из террикона автосамосвалами для последующей отсыпки ядра насыпи и суглинка из сосредоточенного карьера для насыпи и выгрузки в кювет через 3 метра. Завоз суглинка опережает завоз породы. Разработка шахтной отвальной породы на терриконе выполняется тремя экскаваторами, а суглинка гранта - одним экскаватором, с погрузкой в автосамосвал. После отсыпки одного слоя на захватке, процесс отсыпки повторяется на второй половине земляного полотна.</p>	<p>На уложенный ранее изолирующий слой суглинка толщиной 0,8 метра в основании насыпи возводится отвальная порода из террикона автосамосвалами для последующей отсыпки ядра насыпи и суглинка из сосредоточенного карьера для насыпи и выгрузки в кювет через 3 метра. Завоз суглинка опережает завоз породы. Разработка шахтной отвальной породы на терриконе выполняется тремя экскаваторами, а суглинка гранта - одним экскаватором, с погрузкой в автосамосвал. После отсыпки одного слоя на захватке, процесс отсыпки повторяется на второй половине земляного полотна.</p>	<p>На уложенный ранее изолирующий слой суглинка толщиной 0,8 метра в основании насыпи возводится отвальная порода из террикона автосамосвалами для последующей отсыпки ядра насыпи и суглинка из сосредоточенного карьера для насыпи и выгрузки в кювет через 3 метра. Завоз суглинка опережает завоз породы. Разработка шахтной отвальной породы на терриконе выполняется тремя экскаваторами, а суглинка гранта - одним экскаватором, с погрузкой в автосамосвал. После отсыпки одного слоя на захватке, процесс отсыпки повторяется на второй половине земляного полотна.</p>	<p>На уложенный ранее изолирующий слой суглинка толщиной 0,8 метра в основании насыпи возводится отвальная порода из террикона автосамосвалами для последующей отсыпки ядра насыпи и суглинка из сосредоточенного карьера для насыпи и выгрузки в кювет через 3 метра. Завоз суглинка опережает завоз породы. Разработка шахтной отвальной породы на терриконе выполняется тремя экскаваторами, а суглинка гранта - одним экскаватором, с погрузкой в автосамосвал. После отсыпки одного слоя на захватке, процесс отсыпки повторяется на второй половине земляного полотна.</p>	<p>На уложенный ранее изолирующий слой суглинка толщиной 0,8 метра в основании насыпи возводится отвальная порода из террикона автосамосвалами для последующей отсыпки ядра насыпи и суглинка из сосредоточенного карьера для насыпи и выгрузки в кювет через 3 метра. Завоз суглинка опережает завоз породы. Разработка шахтной отвальной породы на терриконе выполняется тремя экскаваторами, а суглинка гранта - одним экскаватором, с погрузкой в автосамосвал. После отсыпки одного слоя на захватке, процесс отсыпки повторяется на второй половине земляного полотна.</p>

Рисунок 3 – Технологическая карта возведения земляного полотна высотой до 6 метров.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Использование отходов угледобычи и углеобогащения. Рекомендации [Текст] / Под ред. И. П. Гаркавенко. – М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1980. – 43 с.
2. Рекомендации по строительству земляного полотна автомобильных дорог из отходов угледобычи и углеобогащения [Текст] / Под ред. М. Л. Мищенко. – Киев: ГосдорНИИ, 1987. – 55 с.
3. Тарасенко, Л. П. Использование отходов промышленности в строительстве сельских дорог [Текст] / Л. П. Тарасенко. – М.: Транспорт, 1973. – 65 с.
4. Равич, Б. М. Комплексное использование сырья и отходов [Текст] / Б. М. Равич. – М.: Химия, 1988. – 282 с.
5. Григорьев, Р. В. Об использовании горелых пород шахтных терриконов в качестве строительного материала [Текст] / Р. В. Григорьев. – М.: Углетехиздат, 1949. – 24 с.

Получено 26.12.2016

А. Г. ДОЛЯ, Д. А. ШАТВОРЯН, Д. В. СМІРНОВА, І. П. ЖУКОВ  
ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПОРОД ШАХТНИХ ВІДВАЛІВ В  
ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ  
ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

**Анотація.** У Донбасі велика кількість відвалів вугільних шахт, обпалена і необпалена порода яких є техногенним сировиною для використання в будівництві різних споруд. У дорожньому будівництві діапазон його застосування досить широкий: в асфальтобетоні, в шарах дорожніх одягів, в земляному полотні та ін. Пропонується технологія розбирання териконів і технологія споруди земляного полотна у вигляді технологічної карти з виконанням нетрадиційних заходів.

**Ключові слова:** горіла порода, терикон, земляне полотно, ущільнення, автомобільна дорога.

ANATOLIY DOLYA, DENIS SHATVORYAN, DARIA SMIRNOVA, IL'YA ZHUKOV  
EFFECTIVE USE OF ROCKS MINE DUMPS IN ROAD CONSTRUCTION  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** In Donbas there is a big quantity of dumps of coal mines which burned and unburned rock is cheap raw materials for using in a construction industry. In road construction the range of its application is very wide: in asphalt concrete, in layers of road clothes, in a road bed, etc. The technology of dismantling of waste heaps and technology of a construction of a road bed in the form of the checklist is suggested.

**Key words:** road bed, burned breed, waste heap, sealing, highway.

**Доля Анатолій Григорьевич** – к. т. н., профессор автомобильных дорог и аэродромов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование техногенного сырья в дорожном строительстве.

**Шатворян Денис Арменович** – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование вторичных ресурсов в дорожном строительстве.

**Смирнова Дарья Валентиновна** – студентка ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование вторичных ресурсов в дорожном строительстве.

**Жуков Илья Павлович** – студент Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: использование вторичных ресурсов в дорожном строительстве.

**Доля Анатолій Григорович** – к. т. н., професор кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ. Наукові інтереси: використання техногенної сировини в дорожньому будівництві.

**Шатворян Денис Арменович** – студент ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ. Наукові інтереси: використання вторинних ресурсів в дорожньому будівництві.

**Смирнова Дар'я Валентинівна** – студентка ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ. Наукові інтереси: використання вторинних ресурсів в дорожньому будівництві.

**Жуков Ілля Павлович** – студент ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ. Наукові інтереси: використання вторинних ресурсів в дорожньому будівництві.

**Dolya Anatoliy** – Ph. D. (Engineering), Professor; Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: application of processed raw materials in road building.

**Shatvoryan Denis** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: use of secondary resources in road construction.

**Smirnova Daria** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: use of secondary resources in road construction.

**Zhukov Il'ya** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: use of secondary resources in road construction.

УДК 678+532.64+621.792

**В. В. НЕФЕДОВ, Н. М. ЗАЙЧЕНКО**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТИ ВТОРИЧНОГО  
ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА И ШЛАКА ТЭС**

**Аннотация.** Исследована совместимость компонентов полимерного композиционного материала, в качестве которых использованы вторичный полиэтилентерефталат (ВПЭТФ), полученный путем переработки ПЭТФ-тары, а также шлак тепловых электростанций. Определены энергетические характеристики поверхности с помощью методики смачивания поверхности исследуемых материалов тестовыми жидкостями и нахождения краевых углов смачивания по методу лежащей капли. С помощью графического метода, основанного на уравнении ван Осса-Чодери-Гуда, определены составляющие свободной поверхностной энергии (СПЭ): Лифшица – ван-дер-Ваальса – кислотный и основной параметры. Выполнен расчет термодинамической работы адгезии между вышеуказанными материалами.

**Ключевые слова:** полимерный композиционный материал, адгезия, кислотно-основное взаимодействие, угол смачивания, свободная поверхностная энергия, теория ван Осса-Чодери-Гуда.

Решающую роль в обеспечении прочностных характеристик дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов (ПКМ) играет адгезионное взаимодействие между наполнителем и полимерным связующим. Известно, что на образование межфазных связей влияют кислотно-основные взаимодействия [1]. Согласно современным представлениям наиболее сильное межфазное взаимодействие достигается тогда, когда один из материалов обладает кислотными свойствами, а другой – основными [2]. Соответственно, если обе фазы имеют исключительно основные либо кислотные группы или обе нейтральны, то кислотно-основные взаимодействия отсутствуют. Поэтому первоочередной задачей для достижения высокой адгезии является определение кислотных и основных характеристик поверхности наполнителя и связующего.

В качестве объекта исследования использована ранее опубликованная разработка [3]. Предлагаемое технологическое решение заключается в использовании вторичного полиэтилентерефталата в качестве связующего и золошлаковых отходов ТЭС в качестве наполнителя для производства строительных композиционных материалов.

Для изучения взаимодействия между вышеуказанными компонентами ПКМ был использован метод оценки энергетических характеристик материалов с помощью смачивания тестовыми жидкостями. В основе данного метода положены выражения для определения термодинамической работы адгезии ( $W_a$ ).

По Оуэнсу и Вэндту [4] термодинамическая работа адгезии равна:

$$W_a = 2 \left( \sqrt{\gamma_s^{LW} \gamma_L^{LW}} + \sqrt{\gamma_s^{AB} \gamma_L^{AB}} \right) \quad (1)$$

где  $\gamma_s^{LW}, \gamma_L^{LW}$  – составляющая Лифшица – ван-дер-Ваальса для исследуемой поверхности тестовой жидкости соответственно;  
 $\gamma_s^{AB}, \gamma_L^{AB}$  – кислотно-основная составляющая СПЭ.

Согласно Оссу с коллегами [5, 6] кислотно-основная составляющая СПЭ ( $\gamma^{AB}$ ) разделяется на кислотный ( $\gamma^+$ ) и основной параметры ( $\gamma^-$ ):

$$\gamma^{AB} = 2\sqrt{\gamma^+ \gamma^-} . \quad (2)$$

Вышеуказанными авторами был разработан получивший широкое распространение метод ван Осса-Чодери-Гуда (вОЧГ) [5, 6]:

$$W_a = \gamma_L (\cos \theta + 1) = 2 \left( \sqrt{\gamma_s^{LW} \gamma_L^{LW}} + \sqrt{\gamma_s^+ \gamma_L^-} + \sqrt{\gamma_s^- \gamma_L^+} \right). \quad (3)$$

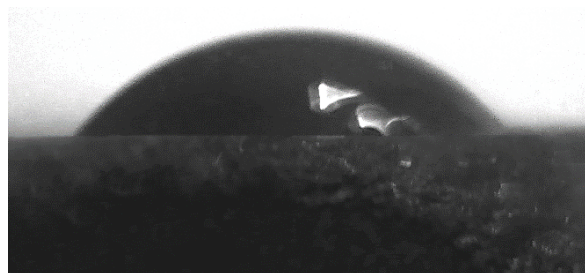
Для использования данного выражения необходимо знать составляющие СПЭ для тестовых жидкостей ( $\gamma_L, \gamma_L^{LW}, \gamma_L^+, \gamma_L^-$ ) и косинус краевого угла смачивания тестовой жидкостью исследуемой твердой поверхности ( $\cos \theta$ ).

Краевой угол смачивания поверхности образцов тестовыми жидкостями был определён по методу лежащей капли [7]. Набор тестовых жидкостей включал в себя дистиллированную воду, глицерин, анилин, фенол, формамид, этиленгликоль, диметилсульфоксид. Данные жидкости часто используются в отмеченных выше методиках [4–9] и имеют известные значения составляющих СПЭ [8], которые приведены в таблице 1.

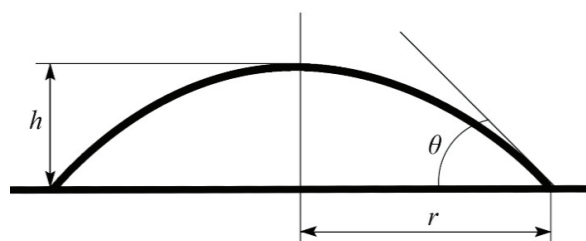
**Таблица 1** – Составляющие СПЭ тестовых жидкостей [8]

Тестовая жидкость	$\gamma_s^{LW}$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\gamma_s^{AB}$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\gamma_s^+$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\gamma_s^-$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\gamma_s$ , мДж/м <sup>2</sup>
Дистиллированная вода	22	50,2	28,3	22,2	72,2
Глицерин	33,9	29,8	32,7	6,8	63,7
Анилин	41,2	2	0,2	5,7	43,2
Водный раствор фенола (88 %)	37,8	2,6	6,4	0,3	40,4
Формамид	31,8	25,7	5,2	32,4	57,5
Этиленгликоль	29	19	12,1	7,5	48
Диметилсульфоксид	34,9	8,7	2,1	9,1	43,6

В качестве образцов были использованы пластины, вырезанные из ПЭТ тары, и крупные зерна шлака ТЭС (15–20 мм) с отполированной поверхностью. Образцы были предварительно высушены в сушильном шкафу для устранения влияния влаги на энергетические характеристики поверхности. Далее на испытываемую поверхность наносились с помощью шприца тестовые жидкости (5–10 капель каждой). С помощью цифровой камеры в режиме макросъёмки были сделаны снимки капель (рис. 1). Измерение геометрических характеристик капель, необходимых для расчета косинусов краевых углов смачивания (рис. 2) на полученных снимках, проводилось попиксельно с помощью графического редактора Adobe Photoshop.



**Рисунок 1** – Фотография профиля капли этиленгликоля на поверхности шлака ТЭС.



**Рисунок 2** – Геометрические характеристики капли:  $h$  – высота;  $r$  – радиус;  $\theta$  – краевой угол смачивания.

Косинусы краевых углов смачивания были рассчитаны по формуле [7]:

$$\cos \theta = \frac{r^2 - h^2}{r^2 + h^2}, \quad (4)$$

где  $r$  – наибольший радиус капли;  
 $h$  – высота капли.

Для определения составляющей Лифшица – ван-дер-Ваальса, кислотных и основных параметров СПЭ использовался метод, разработанный Н. В. Соковой с коллегами [9]. Это графический метод, основанный на многомерной аппроксимации. В данном методе уравнение (3) приводится к уравнению плоскости имеющему вид  $z = Ax + By + C$ :

$$\frac{\gamma_L(1+\cos\theta)}{2\sqrt{\gamma_L^-}} = \frac{\sqrt{\gamma_L^{LW}}}{\sqrt{\gamma_L^-}} \sqrt{\gamma_s^{LW}} + \frac{\sqrt{\gamma_L^+}}{\sqrt{\gamma_L^-}} \sqrt{\gamma_s^-} + \sqrt{\gamma_s^+}. \quad (5)$$

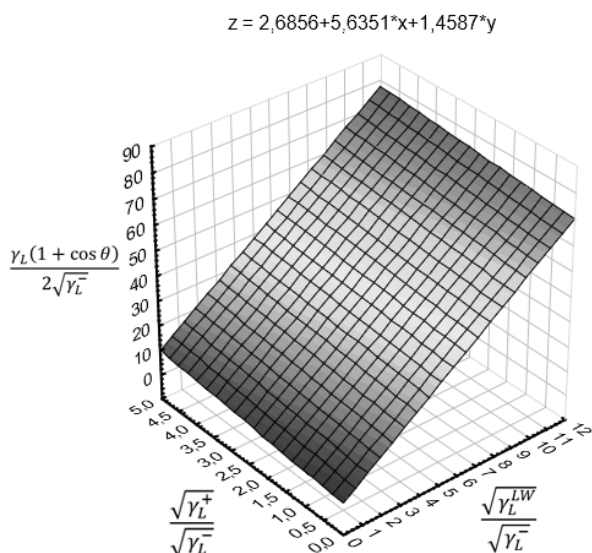
Для расчета необходимы значения параметров СПЭ тестовых жидкостей (табл. 2) и экспериментально определенные значения косинусов краевых углов смачивания поверхности исследуемых материалов этими жидкостями ( $\cos \theta$ ). Далее с использованием многомерной аппроксимации строится

плоскость в координатах  $\left( \frac{\sqrt{\gamma_L^{LW}}}{\sqrt{\gamma_L^-}}, \frac{\sqrt{\gamma_L^+}}{\sqrt{\gamma_L^-}}, \frac{\gamma_L(1+\cos\theta)}{2\sqrt{\gamma_L^-}} \right)$ . Вычисление коэффициентов А, В и С для уравне-

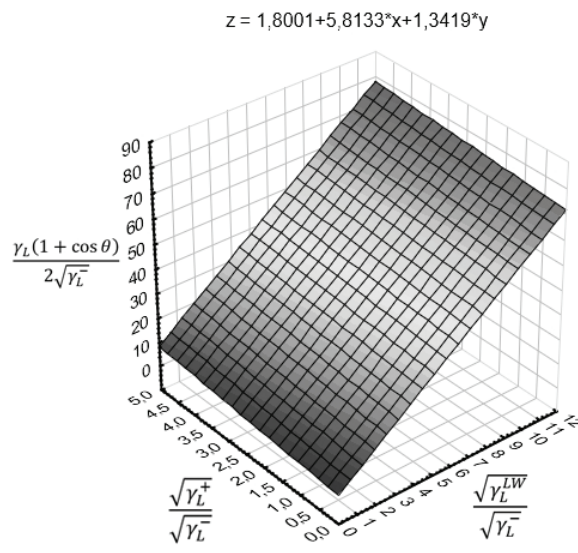
ния плоскости производилось с помощью программного обеспечения StatSoft STATISTICA. По данной методике коэффициент А равен значению корня компонента Лифшица – ван-дер-Ваальса СПЭ ( $\sqrt{\gamma_s^{LW}}$ ); коэффициент В – значению корня основного параметра ( $\sqrt{\gamma_s^-}$ ); коэффициент С – значению корня кислотного параметра ( $\sqrt{\gamma_s^+}$ ). Полученные графики и уравнения представлены на рисунках 3 и 4.

**Таблица 2** – Составляющие СПЭ исследуемых материалов

Исследуемый материал	$\gamma_s^{LW}$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\gamma_s^+$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\gamma_s^-$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\gamma_s^{AB}$ , мДж/м <sup>2</sup>	$\gamma_s$ , мДж/м <sup>2</sup>
ВПЭТФ	32,8	7,2	2,1	7,8	40,6
Шлак ТЭС	33,8	3,2	1,8	4,8	38,6



**Рисунок 3** – График поверхности и уравнение плоскости для ВПЭТФ.



**Рисунок 4** – График поверхности и уравнение плоскости для шлака ТЭС.

Для определения адгезии связующего к наполнителю целесообразно использовать термодинамическую работу адгезии [10]. Для расчета работы адгезии ВПЭТФ и шлаком ТЭС использовано уравнение (3):

$$W_a = 2\left(\sqrt{\gamma_1^{LW}\gamma_2^{LW}} + \sqrt{\gamma_1^+\gamma_2^-} + \sqrt{\gamma_1^-\gamma_2^+}\right) = 78,98 \text{ мДж/м}^2. \quad (6)$$

## ВЫВОД

Полученное значение работы адгезии свидетельствуют об образовании относительно прочного адгезионного контакта между фазами разрабатываемого ПКМ, что обусловлено наличием как кислотных, так и основных групп на поверхности изучаемых материалов, что положительно влияет на адгезионную связь между компонентами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кинлок, Э. Адгезия и адгезивы. Наука и технология [Текст] / Э. Кинлок. – М. : Мир, 1991. – 484 с. – ISBN 5-03-002028-4.
2. Van Oss, C. J. The mechanism of phase separation of polymers in aqueous media – Apolar and polar systems [Текст] / C. J. Van Oss, M. K. Chaudhury, R. J. Good // Separation Sci. Technol. – 1989. – Vol. 24. – P. 13.
3. Нефедов, В. В. Композиционный строительный материал на основе полимерных и золошлаковых отходов [Текст] / В. В. Нефедов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. 2016-3(119). – С. 99–103.
4. Owens, D. K. Estimation of Surface Free Energy of Polymers [Текст] / D. K. Owens, R. C. Wendt // J. Appl. Polymer Sci. – 1969. – Vol. 13. – P. 17–40.
5. Van Oss, C. J. Additive and nonadditive surface tension components and the interpretation of contact angles [Текст] / C. J. Van Oss, R. J. Good, M. K. Chaudhury // Langmuir. – 1988. – № 4. – P. 884–891.
6. Van Oss, C. J. Estimation of the polar surface tension parameters of glycerol and formamide, for use in contact angle measurements on polar solids [Текст] / C. J. Van Oss, R. J. Good // J. Dispersion Science and technology. – 1990. – № 11. – P. 75–81.
7. Зимон, А. Д. Адгезия жидкости и смачивание [Текст] / А. Д. Зимон. – М. : Химия, 1974. – 414 с.
8. Нгуен Дык Ань. Поверхностные энергетические характеристики компонентов, составляющих адгезионные соединения полимерных композиций и металлов [Текст] : диссертация ... кандидата химических наук : 02.00.11 / Нгуен Дык Ань. – Казань, 2016. – 131 с.
9. On the Evaluation of the Acidity and Basicity Parameters of the Surface Free Energy of Polymers [Текст] / I. A. Starostina, N. V. Makhrova, O. V. Stoyanov, I. V. Aristov // Journal of Adhesion. – 2012. – V. 88. – P. 751–765.
10. Богданова, Ю. Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов [Текст] : учеб. пособ. / Ю. Г. Богданова. – М. : МГУ им. М. В. Ломаносова, 2010. – 68 с.

Получено 27.12.2016

### В. В. НЕФЕДОВ, Н. М. ЗАЙЧЕНКО ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНІ ВТОРИННОГО ПОЛІЕТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТУ І ШЛАКУ ТЕС ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

**Анотація.** Досліджено сумісність компонентів полімерного композиційного матеріалу, в якості яких використані вторинний поліетилентерефталат (ВПЕТФ), отриманий шляхом переробки ПЕТФ-тари, а також шлак теплових електростанцій. Визначено енергетичні характеристики поверхні за допомогою методики змочування поверхні досліджуваних матеріалів тестовими рідинами і знаходження крайових кутів змочування за методом лежачої краплі. За допомогою графічного методу, заснованого на рівнянні ван Осса-Чодері-Гуда, визначені складові вільної поверхневої енергії (СПЕ): Ліфшиця-ван дер-Ваальса, кислотний і основний параметри. Виконано розрахунок термодинамічної роботи адгезії між вищевказаними матеріалами.

**Ключові слова:** полімерний композиційний матеріал, адгезія, кислотно-основна взаємодія, кут змочування, вільна поверхнева енергія, теорія ван Осса-Чодері-Гуда.

### VLADISLAV NEFEDOV, ZAICHENKO MYKOLA ENERGY CHARACTERISTICS OF THE SURFACE OF POLYTHENE TEREPHTHALATE AND SLAG OF TPS Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** It has been examined the compatibility of the components of polymeric composite material, where a secondary polythene (rPET) was used, obtained by processing of PET containers, as well as thermal power stations slag. The energy characteristics of the surface have been obtained by using the technique of wetting the surface of the materials by test liquids finding edge interfacial angles by laying drop method. Surface of free energy (SFE) of components identified (Lifshitz – van der Waals, acid and base parameters) were obtained by the graphical method based on the equation of van Oss-Chaudhury-Good. The thermodynamic work of adhesion between the above materials was calculated.

**Key words:** polymer composite material, adhesion, acid-base interaction, interfacial angle, surface free energy, van Oss-Chaudhury-Good theory.

**Нефедов Владислав Васильевич** – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: утилизация промышленных и твердых бытовых отходов, полимерные композиционные материалы.

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

**Нефедов Владислав Васильович** – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: утилізація промислових і твердих побутових відходів, полімерні композиційні матеріали.

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

**Nefedov Vladislav** – Assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: recycling of industrial and municipal solid waste, polymer composite materials.

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

УДК 625.8

**С. С. АЛЮК, Я. Д. ХРАНЦЕВ, Д. И. БОРОДАЙ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АДГЕЗИОННОЙ ДОБАВКИ «АДГЕЗОЛ-6»  
НА ПОКАЗАТЕЛЬ СЦЕПЛЕНИЯ БИТУМА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ЩЕБНЯ**

**Аннотация.** Выполнен анализ проблемы недостаточной водостойкости и морозостойкости асфальтобетонных покрытий с использованием стандартного битума. Установлена необходимость модификации битумов адгезионными добавками с целью повышения сцепления органического вяжущего с поверхностью минерального материала. Исследовано изменение показателя сцепления битума с поверхностью гранитного щебня при введении адгезионной добавки «Адгезол-6». Установлено, что введение битумной присадки «Адгезол-6» повышает адгезию исходного битума без значительного изменения его качественных характеристик, при котором модифицированное вяжущее соответствует требованиям, предъявляемым к исходной марке битума.

**Ключевые слова:** нефтяной дорожный битум; адгезия; адгезионная присадка «Адгезол-6».

**ФОРМУЛИРОВАНИЕ НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ**

Автодорожные покрытия уличной сети города Донецка работают в сложных условиях комплексного воздействия высокоинтенсивной временной нагрузки от автомобильного транспорта в сочетании со сложными природными условиями, что значительно снижает долговечность и остаточный ресурс асфальтобетонных покрытий. Негативное воздействие природных условий на асфальтобетонное покрытие характеризуется термоокислительными процессами в условиях высоких летних температур (температура покрытия на глубине 2 см составляет около 60 °С); продолжительным водонасыщением из-за неудовлетворительной работы системы поверхностного водоотвода; большим количеством циклов замораживания и оттаивания в зимний период. В подобных условиях асфальтобетонные покрытия подвергаются интенсивному старению, которое сопровождается трещинообразованием и потерей эксплуатационных характеристик прочности и ровности покрытия в первые 2–3 года эксплуатации. В результате значительно увеличиваются расходы на ремонтные мероприятия.

В целях оптимизации распределения финансовых средств при содержании и эксплуатации уличной сети города Донецка актуальной является задача разработки мероприятий, направленных на увеличение срока службы асфальтобетонных покрытий.

Проблема недостаточной долговечности асфальтобетонных покрытий известна и подробно изучена. Одной из основных причин недостаточной долговечности является низкая водостойкость и морозостойкость асфальтобетонных основ на основе обычных дорожных битумов марок БНД, качественные характеристики которых не позволяют обеспечить прочное и долговечное сцепление вяжущего с поверхностью минеральных материалов (щебня и песка) [1–4].

Одним из основных способов повышения адгезии битума к поверхности щебня является модификация вяжущего поверхностно-активными веществами (адгезионными добавками), которые при этом не должны оказывать негативного влияния на другие физико-механические свойства исходного битума [5–8]. Основной задачей адгезионной модификации битума является определение влияния количества добавки на его физико-химические свойства с целью определения оптимального расхода вводимого ПАВ. Оптимальный расход добавки в этом случае варьируется в зависимости от показателей качества исходных материалов (битума и щебня).

**Целью работы** является исследование влияния адгезионной добавки «Адгезол-6» на показатель сцепления битума с поверхностью щебня.



## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Для проведения исследования использовались следующие материалы:

- битум нефтяной дорожный марки БНД 60/90 производства ООО «Волгограднефтепереработка»;
- гранитный щебень фракции 5-20 мм Тельмановского месторождения;
- битумная присадка «Адгезол-6» ТУ 0257-003-99907291-2010.

Для определения физико-химических свойств исходного битума и битума, модифицированного адгезионной добавкой, применялись стандартные методы исследования органических вяжущих: глубина проникания иглы по ГОСТ 11501, растяжимость по ГОСТ 11505, температура размягчения по ГОСТ 11506, температура хрупкости по ГОСТ 11507, температура вспышки по ГОСТ 4333.

Определение качества сцепления битумного вяжущего с поверхностью щебня выполнялось согласно ГОСТ 12801 и заключалось в визуальной оценке степени сохранности пленки битумного вяжущего на зернах щебня после его кипячения в дистиллированной воде.

В качестве адгезионной модифицирующей добавки использовалась присадка «Адгезол-6», представляющая собой органическую композицию на основе продуктов взаимодействия талового масла с полиалкилполиаминовыми соединениями. Основываясь на рекомендациях производителя, для определения оптимального расхода адгезионной добавки в битумное вяжущее присадка «Адгезол-6» вводилась в количестве 0,2, 0,3 и 0,4 % от массы битума. Технологический процесс приготовления проб осуществлялся следующим образом: предварительно подготовленный и обезвоженный битум марки БНД 60/90 нагревался до температуры 145 °С. Адгезионная присадка подогревалась на водяной бане до температуры 35–40 °С. Введение присадки в битум осуществлялось при помощи стеклянной палочки на аналитических весах с дальнейшим тщательным перемешиванием до полного растворения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно заявлению производителя, адгезионная добавка «Адгезол-6» применяется при строительстве и ремонте автодорожных и аэродромных покрытий и предназначена для улучшения адгезии и водостойкости дорожных битумов с целью обеспечения высокой степени сцепления битумов с различными по природе минеральными материалами, в том числе с гранитным щебнем и песком, обладающими повышенными кислотными свойствами.

Эффект от введения добавки заключается в увеличении межремонтных сроков службы дорожного покрытия с последующим сокращением материальных затрат на эксплуатацию и ремонт автодорожных покрытий.

Для оценки влияния количества вводимой адгезионной добавки на свойства битумного вяжущего, в том числе на качество сцепления с поверхностью щебня, были выполнены лабораторные испытания, результаты которых приводятся в таблице.

**Таблица** – Показатели качества битумного вяжущего, модифицированного адгезионной добавкой

Наименование показателей	Требования ГОСТ 22245	Состав битумного вяжущего			
		БНД 60/90	БНД 60/90 + 0,2 % «Адгезол-6»	БНД 60/90 + 0,3 % «Адгезол-6»	БНД 60/90 + 0,4 % «Адгезол-6»
Температура размягчения, °С, не менее	47	52	50	50	50
Глубина проникания иглы, при 25 °С	61–90	73	73	74	76
при 0 °С, не менее	20	23	23	24	25
Растяжимость при 25 °С, см, не менее	55	87,7	80,4	81	82,5
Температура хрупкости по Фраасу, °С, не выше	–15	–16	–16	–16	–16
Температура вспышки, °С, не менее	230	276	275	274	275
Индекс пенетрации	–1÷+1	–0,28	–0,28	–0,24	–0,16
Сцепление с щебнем кислой породы, баллы	–	2	3	4	5

Анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод о том, что введение битумной присадки «Адгезол-6» улучшает адгезионные свойства исходного битумного вяжущего без значительного изменения его качественных характеристик, при котором модифицированное вяжущее соответствует требованиям, предъявляемым к исходной марке битума. При этом качество сцепления битума с щебнем повышается с увеличением количества добавки. Оценке качества сцепления «отлично» (5 баллов) по ГОСТ 12801 соответствует введение добавки в количестве 0,4 % по массе вяжущего.

## ВЫВОДЫ

Выполненные исследования влияния адгезионной добавки «Адгезол-6» на показатель сцепления битума с поверхностью щебня позволили определить рекомендуемое количество добавки, необходимое для обеспечения требуемого адгезионного взаимодействия рассматриваемых исходных материалов. Следует учесть, что определенный оптимальный расход добавки в количестве 0,4 % от массы битума должен корректироваться при изменении характеристик битумного вяжущего и минерального материала. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение физико-механических свойств асфальтобетонов, модифицированных адгезионной добавкой к битуму, и оценке эффективности их использования при ремонте покрытий уличной сети города Донецка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, Ю. Э. Качество битума. Чем оно определяется? [Текст] / Ю. Э. Васильев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – № 2. – С. 27–28.
2. Порадек, С. В. Ещё раз о технологии улучшения битума добавками [Текст] / С. В. Порадек // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006. – № 3. – С. 30–31.
3. Порадек, С. В. Как улучшить старый битум из хранилища [Текст] / С. В. Порадек // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 1. – С. 32–34.
4. Опанасенко, О. Как улучшить битум? Влияние добавок на устойчивость битума к термоокислению [Текст] / О. Опанасенко, О. Лукша // Автомобильные дороги. – 2008. – № 6. – С. 122–124.
5. Соломенцев, А. Б. Использование азотосодержащих адгезионных ПАВ в органических вяжущих и в асфальтобетоне [Текст] / А. Б. Соломенцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2002. – № 2. – С. 24–26.
6. Соломенцев, А. Б. Классификация и номенклатура модифицированных добавок в битум [Текст] / А. Б. Соломенцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 1. – С. 14–16.
7. Порадек, С. В. Как выбрать адгезионную добавку [Текст] / С. В. Порадек // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2005. – № 3. – С. 45–46.
8. Худякова, Т. С. Сравнительный анализ эффективности адгезионных добавок разных марок [Текст] / Т. С. Худякова // Дорожная держава. – 2008. – № 6. – С. 66–69.

Получено 28.12.2016

С. С. АЛЮК, Я. Д. ХРАНЦЕВ, Д. І. БОРОДАЙ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АДГЕЗІЙНОЇ ДОБАВКИ «АДГЕЗОЛ-6» НА  
ПОКАЗНИК ЗЧЕПЛЕННЯ БІТУМУ З ПОВЕРХНЕЮ ЩЕБЕНЮ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

**Анотація.** Виконано аналіз проблеми недостатньої водостійкості і морозостійкості асфальтобетонних покриттів з використанням стандартного бітуму. Встановлено необхідність модифікації бітумів адгезійними добавками з метою підвищення зчеплення органічного в'язучого з поверхнею мінерального матеріалу. Досліджено зміну показника зчеплення бітуму з поверхнею гранітного щебню при введенні адгезійної добавки «Адгезол-6». Встановлено, що введення бітумної присадки «Адгезол-6» покращує адгезію вихідного бітуму без значної зміни його якісних характеристик, при якому модифіковане в'язуче відповідає вимогам до бітуму вихідної марки.

**Ключові слова:** нафтовий дорожній бітум, адгезія, адгезійна присадка «Адгезол-6».

SERGEY ALUK, YAROSLAV KHRANTSEV, DENIS BORODAY  
RESEARCH OF INFLUENCE OF ADHESION ADDITION «ADGEZOL-6» ON  
QUALITY OF BITUMEN COUPLING WITH THE AGGREGATE SURFACE  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The analysis of problem of insufficient water resistance and frost-resistance of asphalt pavements with the use of ordinary bitumen was done. The necessity of modification of bitumens is set by adhesion additions with the purpose of increase of coupling of astringent with a surface mineral material. Change of quality of coupling of bitumen with the surface of granite aggregate at introduction of the adhesion additive «Adgezol-6» is investigated. It is established that introduction of the bituminous additive «Adgezol-6» improves the adhesion properties initial bituminous binder without the considerable change of its qualitative characteristics, at that the modified astringent conforms to the requirements produced to the initial brand of bitumen.

**Key words:** bitumen; adhesion; the adhesion additive «Adgezol-6».

**Алюк Сергей Сергеевич** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: инновационные технологии ремонта асфальтобетонных покрытий.

**Хранцев Ярослав Дмитриевич** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: инновационные технологии ремонта асфальтобетонных покрытий.

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

**Алюк Сергій Сергійович** – магістрант ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: інноваційні технології ремонту асфальтобетонних покриттів.

**Хранцев Ярослав Дмитрович** – магістрант ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: інноваційні технології ремонту асфальтобетонних покриттів.

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

**Aluk Sergey** – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: innovative technology of asphalt pavements repair.

**Khrantsev Yaroslav** – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: innovative technology of asphalt pavements repair.

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

УДК 625.8

**Д. Н. ГОНЧАРОВ, С. А. ТУМАНОВА, Е. Т. БОРОДАЙ, Д. И. БОРОДАЙ**

ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗУЕВСКОЙ ТЭС**

**Аннотация.** Выполнен анализ целесообразности применения вторичных ресурсов (отходов производства) в дорожном строительстве. Установлено, что отвалы ТЭС являются источником загрязнения воздушного и водного бассейнов и увеличивают минерализацию грунтовых вод, в связи с чем проблема утилизации золошлаковых отходов актуальна как для экономики, так и для экологии региона. Исследованы физико-механические свойства золошлаковых материалов Зуевской ТЭС. Установлена возможность их использования в качестве конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог с покрытиями всех типов при условии укрепления портландцементом. Определены составы золошлаковых смесей, укрепленных цементом.

**Ключевые слова:** отходы производства, золошлаковые смеси, укрепление цементом, земляное полотно; дорожная одежда.

### **ФОРМУЛИРОВАНИЕ НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ**

При сжигании угля на тепловых электростанциях (ТЭС) образуется большое количество золошлаковых отходов, оказывающих негативное влияние на все компоненты окружающей природной среды. Среди главных экологических проблем, возникающих при образовании и размещении золошлаковых отходов, выделяют следующие [1–3]:

- накопление токсичных элементов в продуктах сжигания угля;
- расположение золошлакоотвалов вблизи крупных городов;
- поступление токсичных микроэлементов в атмосферный воздух, загрязнение окружающей среды прилегающего района;
- загрязнение токсичными элементами, тяжелыми металлами поверхностных и подземных источников воды, почвы при складировании и хранении золошлаковых материалов на золоотвале;
- отчуждение больших территорий с целью строительства золоотвалов;
- использование на большинстве ТЭС технологического оборудования, которое не соответствует требованиям экологической безопасности;
- низкий процент утилизации золошлаковых отходов.

В России золы и золошлаковые смеси образуются на 200 ТЭС (ТЭЦ, ГРЭС), и только приблизительно на 20 из них имеются установки для сухого улавливания золы. Объем золошлаковых отходов после сжигания углей, сланцев и торфа, по данным Всероссийского теплотехнического научно-исследовательского института (ВТИ), составляет 40-50 млн т в год [4]. В Донбассе накоплено более 146 млн тонн золошлаковых отходов. Под отвалами занято около 1,5 тыс. га территории. Приведенные факты свидетельствуют об актуальности проблемы утилизации золошлаковых отходов.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Уровень утилизации золошлаков ТЭС в России и Украине составляет около 10 %; в Индии и Китае – более 50 %, во Франции и в Германии – 70 %, а в Финляндии – около 90 % их текущего выхода. Научные исследования и опыт повторного использования техногенных отходов свидетельствует о том, что золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива пригодны для применения во многих отраслях экономики как [4]:

- удобрение в сельском хозяйстве;
- шихта для получения алюминия и концентрат для получения железа в металлургии;
- сырье для цементов и бесклнкерных вяжущих, бетонов (тяжелых, легких, ячеистых), пористых заполнителей, силикатных, керамических, теплоизоляционных и других материалов в строительной индустрии;
- материал для возведения земляного полотна дорог, устройства укрепленных оснований дорожных одежд, использования в качестве заполнителя и минерального порошка в асфальтобетонах в дорожном строительстве.

В Советском Союзе исследования по использованию золошлаковых материалов в дорожном строительстве наиболее активно проводились в 70–80 годы XX века в связи с правительственными постановлениями по утилизации топливных отходов ТЭС [4]. В этот период был разработан и утвержден ряд нормативных документов, устанавливающих требования и регулирующих правила применения зол и золошлаковых материалов в дорожном строительстве [5–8].

Проблема использования золошлаковых материалов в дорожном строительстве не потеряла своей актуальности и в настоящее время. Результаты научных исследований и опыта применения этих материалов за последние десятилетия легли в основу действующих нормативных документов. В России это ОДМ 218.2.031-2013 «Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве» [9], в Украине – ГБН В.2.3-37641918-554:2013 «Слои дорожной одежды из каменных материалов, отходов промышленности и грунтов, укрепленные цементом. Проектирование и строительство» [10], СОУ 42.1-37641918-104:2013 «Золы-уноса и смеси золошлаковые тепловых электростанций для дорожных работ. Технические условия» [11].

Так как химический, минерально-фазовый и зерновой состав, а также физико-механические свойства золошлаковых материалов изменяются в широких пределах для отдельных ТЭС, то в каждом конкретном случае для их использования в дорожном строительстве необходимым является исследование физико-механических свойств исходного материала с целью сопоставления полученных результатов с требованиями нормативных документов [9–11] и разработки рекомендаций по применению.

**Целью работы** является исследование физико-механических свойств золошлаковых материалов Зуевской ТЭС и разработка рекомендаций по применению в дорожном строительстве.

## МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Определение зернового состава золошлаковой смеси выполнено в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-232:2010 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» с использованием стандартного набора сит согласно ГОСТ 6613.

Определение плотности уплотненного образца золошлаковой смеси проводили в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.1-12:2009 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности».

Определение показателей предела прочности при сжатии и коэффициента морозостойкости образцов из золошлаковой смеси, укрепленной цементом, выполнено в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-207:2009 «Материалы щебеночные, гравийные и песчаные, обработанные неорганическими вяжущими. Технические условия».

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Зерновой состав золошлаковой смеси приведен в таблице 1.

Согласно полученным результатам по определению зернового состава установлено, что золошлаковая смесь относится к мелкозернистому типу, с максимальной крупностью зерен до 20 мм. Однако в естественном состоянии золошлаковая смесь использоваться в конструкции дорожной одежды не может, так как не удовлетворяет требованиям ГБН В.2.3-37641918-554:2013 по зерновому составу. В этом случае необходимо обогатить золошлаковую смесь и ввести в ее состав фракцию 10...20 мм минерального материала.

Испытания по определению плотности золошлаковой смеси выполнены при влажности от 4 до 10 %. Максимальная плотность получена при влажности смеси 6 %. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Зерновой состав золошлаковой смеси

Показатель	Размер отверстий сит, мм									
	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	< 0,071
Частные остатки, %	4	12	23	23	12	2	1	4	8	10
Полные остатки, %	4	16	39	62	74	76	77	81	89	99

Таблица 2 – Определение плотности золошлаковой смеси

№ п/п	Влажность, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого материала, г/см <sup>3</sup>
1	4	2,10	2,02
2	6	2,24	2,10
3	8	2,23	2,12
4	10	2,22	2,13

Результаты таблицы 2 свидетельствуют о том, что после уплотнения золошлаковых материалов могут быть достигнуты физико-механические показатели, сравнимые с показателями прочности щебеночно-песчаных смесей.

Для определения физико-механических свойств золошлакового материала на основании указаний нормативных документов [9–10] были запроектированы составы смесей с добавлением каменного материала фракции 10...20 мм в количестве 15 % и портландцемента марки ПЦ-1-400. Количество цемента изменялось от 2 до 6 % по массе смеси. Испытания образцов выполнены после 28 суток набора прочности. Результаты определения зависимости прочности золошлаковой смеси от содержания в ней портландцемента приведены на рисунке.

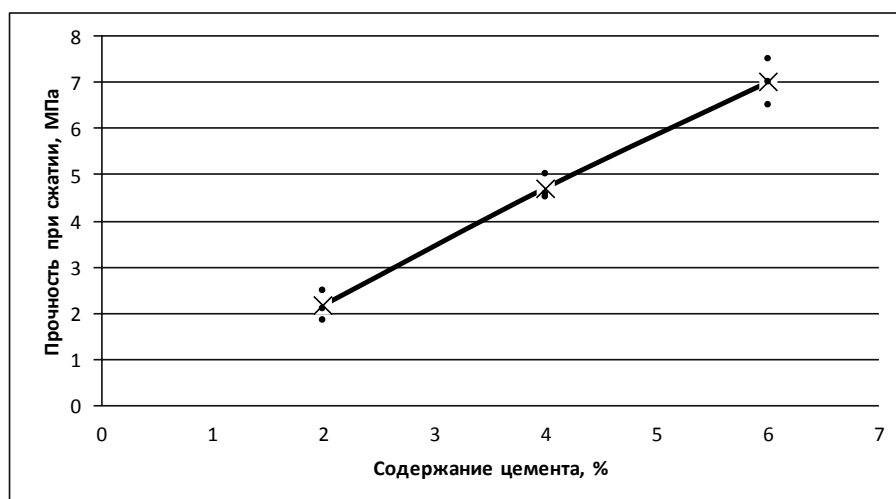


Рисунок – Зависимость предела прочности при сжатии золошлаковой смеси от содержания цемента.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что при условии введения гранулометрической добавки каменного материала фракции 10...20 мм в золошлаковые материалы Зуевской ТЭС при укреплении цементом в количестве 2 % могут быть получены смеси с маркой по прочности М20, удовлетворяющей требованиям ГБН В.2.3-37641918-554:2013. Прочностные показатели золошлакового материала при введении 4 и 6 % цемента соответствуют маркам М40 и М60. Такие смеси могут применяться в слоях основания дорожных одежд капитального типа. Минимальная толщина слоя из золошлаковой смеси, укрепленной цементом, в этом случае должна быть не менее 15 см [10].

## ВЫВОДЫ

Выполненные исследования физико-механических свойств золошлаковых материалов Зуевской ТЭС свидетельствуют о возможности их использования для строительства конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог с покрытиями всех типов при условии укрепления портландцементом. Количество вводимого портландцемента определяет марку получаемого материала и

соответственно область его применения. Направлениями для дальнейших исследований может быть изучение возможности использования золошлаковых смесей в качестве материала для устройства земляного полотна или в качестве гранулометрической добавки к связным глинистым и пылеватым грунтам земляного полотна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носков, А. С. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба [Текст] / А. С. Носков, М. А. Савинкина, Л. Я. Анищенко. – Новосибирск : Изд. ГПНТБ СО АН СССР, 1990. – 177 с.
2. Пал, М. Х. Энергия и защита окружающей среды [Текст] / М. Х. Пал. – Падеборн : Изд-во FIT-Verlag, 1996. – 449 с.
3. Малый, Э. А. Справочник по утилизации отходов ТЭС [Текст] / Э. А. Малый, М. Л. Дорфман. – М. : [б. и.], 1995. – 158 с.
4. Путилин, Е. И. Применение зол уноса и золошлаковых смесей при строительстве автомобильных дорог [Текст] : Обзорная информация отечественного и зарубежного опыта применения отходов от сжигания твердого топлива на ТЭС / Е. И. Путилин, В. С. Цветков. – М. : Гос. дор. науч. исслед. ин-т ФГУП «СОЮЗДОРНИИ», 2003. – 57 с.
5. ВСН 185-75. Ведомственные строительные нормы. Технические указания по использованию зол уноса и золошлаковых смесей от сжигания различных видов твердого топлива для сооружения земляного полотна и устройства дорожных оснований и покрытий автомобильных дорог [Текст]. – Введ. 01-08-1975. – М. : Минтрансстрой, 1976. – 44 с.
6. Методические рекомендации по использованию золошлаковых смесей ТЭС для устройства укрепленных оснований и морозозащитных дорожных одежд [Текст] : Методические рекомендации / И. Л. Гулячков [и др.]. – М. : Союздорнии, 1977. – 14 с.
7. Методические рекомендации по использованию золошлаковых материалов для устройства оснований автомобильных дорог [Текст] : Методические рекомендации / И. Л. Гулячков [и др.]. – М. : Союздорнии, 1981. – 14 с.
8. Методические рекомендации по определению экономически рациональной области использования отходов ТЭС и ГРЭС, в дорожном строительстве [Текст] : Методические рекомендации / В. А. Хлебников. – М. : Союздорнии, 1987. – 50 с.
9. ОДМ 218.2.031-2013. Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве [Текст] : Отраслевой дорожный методический документ / разраб. В. В. Сиротюк, Е. В. Иванов. – М. : Росавтодор, 2014. – 59 с.
10. ГБН В.2.3-37641918-554:2013. Шари дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості і ґрунтів, укріплених цементом. Проектування та будівництво [Текст]. – Взамен ВБН В.2.3-218-002-95 ; чинний від 2013-11-01. – К. : Укравтодор, 2013. – 43 с.
11. СОУ 42.1-37641918-104:2013. Золы-уноса и смеси золошлаковые тепловых электростанций для дорожных работ. Технические условия [Текст]. – Взамен РСН 288-91 ; введ. 01.08.2013. – К. : Укравтодор, 2013. – 19 с.

Получено 29.12.2016

#### Д. М. ГОНЧАРОВ, С. О. ТУМАНОВА, К. Т. БОРОДАЙ, Д. І. БОРОДАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗОЛОШЛАКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ЗУЇВСЬКОЇ ТЕС ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Виконано аналіз доцільності застосування вторинних ресурсів (відходів виробництва) в дорожньому будівництві. Встановлено, що відвали ТЕС є джерелом забруднення повітряного і водного басейнів і збільшують мінералізацію ґрунтових вод, у зв'язку з чим проблема утилізації золошлакових відходів актуальна як для економіки, так і для екології регіону. Досліджено фізико-механічні властивості золошлакових матеріалів Зуївської ТЕС. Встановлено можливість їх використання як конструктивних шарів дорожнього одягу автомобільних доріг з покриттями усіх типів за умови зміцнення портландцементом. Визначено склади золошлакових сумішей, зміцнені цементом.

**Ключові слова:** відходи виробництва, золошлакові суміші, зміцнення цементом, земляне полотно, дорожній одяг.

DMITRIY GONCHAROV, SVETLANA TUMANOVA, EKATERINA BORODAY, DENIS BORODAY

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASH MATERIALS OF ZUEVKA TPP

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The analysis of the feasibility of the use of secondary resources (waste products) in road construction has been carried out. It was found that the thermal power plant dumps are a source of pollution of air and water and increased salinity of groundwater, and therefore the problem of disposal of ash and slag waste is relevant for the economy and for the environment of the region. The physical and mechanical properties of ash materials of Zuevka TPP have been examined. It has been found out the possibility of their use as structural layers of pavements of roads to cover all types of supported strengthening Portland. The compositions of ash mixtures, reinforced cement have been determined.

**Key words:** waste production, slag mixture, strengthening of cement, roadbed, pavement.

**Гончаров Дмитрий Николаевич** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности в дорожном строительстве.

**Туманова Светлана Александровна** – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности в дорожном строительстве.

**Бородай Екатерина Таеровна** – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

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

**Гончаров Дмитро Миколайович** – магістрант ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості в дорожньому будівництві.

**Туманова Світлана Олександрівна** – студент ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості в дорожньому будівництві.

**Бородай Катерина Таєрівна** – асистент кафедри технології будівельних конструкцій, виробів та матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетони.

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

**Goncharov Dmitriy** – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of industrial wastes in road construction.

**Tumanova Svetlana** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of industrial wastes in road construction.

**Boroday Ekaterina** – assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat-resistant binders and concretes.

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



УДК 625.8

**Д. С. НАУМЕНКО, А. С. ЧМЫРЬ, Д. И. БОРОДАЙ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ  
СЛАНЦЕВ С ЦЕЛЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В КОНСТРУКЦИИ  
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

**Аннотация.** Выполнен анализ целесообразности использования местных материалов в дорожном строительстве. Исследованы физико-механические свойства глинистых сланцев. Установлено, что низкая прочность и морозостойкость глинистых сланцев не позволяет использовать их в конструкции земляного полотна. Исследованы физико-механические свойства глинистых сланцев, укрепленных цементом. Установлен оптимальный расход цемента, при котором прочностные характеристики сланцев удовлетворяют нормативным требованиям к грунтам земляного полотна.

**Ключевые слова:** местные материалы, земляное полотно, укрепление грунтов, глинистый сланец.

**ФОРМУЛИРОВАНИЕ НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ**

Для дорожного строительства характерным является потребление большого количества минеральных материалов. Для возведения земляного полотна и дорожной одежды автомобильной дороги необходимы значительные объемы грунтов, а также различных каменных материалов. Для линейных земляных работ в слабопересеченной местности потребность в таких материалах составляет 12... 24 тыс. м<sup>3</sup> на 1 км автомобильной дороги.

В случае отсутствия в районе строительства источников этих материалов их транспортировка на большие расстояния ведет к увеличению стоимости строительных работ. Одним из основных направлений снижения стоимости строительства автомобильных дорог является использование местных материалов, для которых не требуются дальние перевозки автомобильным транспортом, а также исключены перевозки железнодорожным транспортом. Исходя из этого, к местным, а следовательно, к доступным для применения и дешевым материалам следует относить как повсеместно залегающие, широко распространенные природные грунты различного состава, так и твердые обломочные отходы производства и некондиционные каменные материалы, называемые искусственными (техногенными) грунтами [1].

Однако особенности физико-механических свойств местных материалов ограничивают их применение в дорожных конструкциях в чистом виде. В этом случае необходимым условием их использования является укрепление при помощи различных вяжущих веществ.

Разработка различных методов укрепления грунтов была начата в Советском Союзе в конце 20...30-х годов XX века [1]. Первым нормативным документом, обобщившим опыт разработок по укреплению грунтов в дорожном строительстве, стали СН 25-74 [2], которые позже были дополнены рядом методических рекомендаций [3–6]. Современными основными нормативными документами, устанавливающими требования к укреплению грунтов неорганическими вяжущими, в Российской Федерации является ГОСТ 23558-94 [7], в Украине – ГБН В.2.3-37641918-554:2013 [8]. Опыт СоюздорНИИ был обобщен в ОДМ «Руководство по грунтам и материалам, укрепленным неорганическими вяжущими» [9].

Наиболее распространенными материалами для возведения земляного полотна автомобильных дорог являются грунты (песчаные, глинистые и суглинистые). Гораздо реже из-за трудностей при

уплотнении используются каменные материалы из прочных скальных горных пород (гравий, щебень, дресва). В меньшем объеме при возведении земляного полотна используют мягкие породы, которые по прочности занимают промежуточное значение между прочными (скальными) породами и грунтами. К таким породам относятся аргиллиты, глинистые и песчано-глинистые сланцы.

Отличительной особенностью сланцев является ориентированное размещение породообразующих минералов, вследствие чего они способны раскалываться на пластинки (сланцеватость). Сланцеватость является причиной того, что в конструкции земляного полотна автомобильных дорог в результате комплексного воздействия механических нагрузок и природных факторов (увлажнение – высушивание, замерзание – оттаивание) сланцы могут разрушаться из-за повышенной усадки. Поэтому при использовании сланцев в каждом конкретном случае необходимы лабораторные исследования их физико-механических свойств с целью разработки рекомендаций по их применению в конструкции земляного полотна автомобильных дорог.

Проблема отсутствия грунтов, обладающих необходимыми физико-механическими свойствами для возведения земляного полотна автомобильных дорог, актуальна для условий строительства в городе Донецке. На отдельных участках территории города при проведении земляных работ были обнаружены выходы на поверхность глинистых сланцев, образцы которых были приняты для исследования возможности их применения в дорожном строительстве.

**Целью работы** является исследование физико-механических свойств глинистых сланцев и разработка рекомендаций по их применению в конструкции земляного полотна при строительстве автомобильных дорог в городе Донецке.

### МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Исследования по определению физико-механических свойств сланцев проводились по стандартным методикам согласно действующим нормативным документам:

- ДСТУ Б В.2.1-17:2009 «Грунты. Методы лабораторного определения физических свойств»;
- ДСТУ Б В.2.1-12:2009 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности»;
- ДСТУ Б В.2.1-19:2009 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава»;
- ДСТУ Б В.2.1-4-96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформированности».

Результаты испытаний образцов сланцев приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Физико-механические свойства глинистых сланцев

Наименование показателей	Значение показателей
Плотность частиц, г/см <sup>3</sup>	2,49
Плотность скелета при стандартном уплотнении, г/см <sup>3</sup>	2,29
Объемный вес (насыпная плотность), г/см <sup>3</sup>	0,75
Оптимальная влажность при стандартном уплотнении, %	14,1
Предел текучести мелкозема фр. 0,315...0,071 мм, %	31
Предел раскатывания (пластичности) мелкозема фр. 0,315...0,071 мм, %	20
Прочность на сжатие, МПа	1,35
Число пластичности	7
Испытания на морозостойкость (после 15 циклов)	не выдерживает
Внешний вид	комковатый материал темно-серого цвета
Гранулометрический состав, содержание фракций, %	
5,0 мм	0,13
2,5 мм	1,62
1,25 мм	6,59
0,63 мм	19,25
0,315 мм	37,42
0,14 мм	33,88
0,071 мм	1,11

Результаты испытаний, представленные в таблице 1, позволяют сделать вывод о том, что глинистые сланцы с подобными физико-механическими свойствами в чистом виде нецелесообразно использовать при сооружении земляного полотна автомобильной дороги. Это связано с тем, что низкие показатели прочности и морозостойкости не соответствуют нормативным требованиям, предъявляемым к грунтам для возведения земляного полотна автомобильных дорог.

Одним из решений проблемы недостаточной прочности и морозостойкости местного грунта может быть укрепление его при помощи минеральных вяжущих веществ. Основываясь на опыте укрепления малопрочных грунтов в дорожном строительстве [1–6, 9], а также принимая во внимание рекомендации действующих нормативных документов [7–8], принято решение об исследовании физико-механических свойств глинистых сланцев, укрепленных портландцементом марки ПЦ-1-400.

Задача исследования заключалась в определении оптимального количества добавки цемента, при котором физико-механические свойства укрепленного грунта будут соответствовать нормативным требованиям к грунту земляного полотна автомобильных дорог.

Предел прочности при сжатии и предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов определялись согласно ДСТУ Б В.2.7-214. Морозостойкость и коэффициент морозостойкости определены по ДСТУ Б В.2.7-48.

Ориентировочное количество цемента принято в количестве 3,0, 3,5, 4,0 и 5,0 % по массе согласно рекомендациям [8].

Результаты определения физико-механических свойств образцов сланцев, укрепленных цементом, приведены в таблице 2.

**Таблица 2** – Физико-механические свойства глинистых сланцев, укрепленных цементом

Наименование показателей	Количество цемента, % по массе			
	3,0	3,5	4,0	5,0
Плотность скелета при стандартном уплотнении, г/см <sup>3</sup>	2,67	2,71	2,80	2,91
Оптимальная влажность при стандартном уплотнении, %	5,3	5,0	4,8	4,6
Водопоглощение, %	16,5	17,2	17,4	17,9
Прочность при сжатии R <sub>сж</sub> , МПа	2,8	3,3	4,6	5,1
Прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии R <sub>сж.в.</sub> , МПа	2,5	3,1	4,5	4,9
Предел прочности на растяжение при изгибе R <sub>р</sub> , МПа	0,32	0,43	0,54	0,60
Морозостойкость циклы МРЗ, не менее 10	выдержал	выдержал	выдержал	выдержал
Коэффициент морозостойкости	0,4	0,6	0,7	0,7

Сравнивая результаты исследования, приведенные в таблице 2, с требованиями, предъявляемыми к физико-механическим свойствам материалов, укрепленных цементом, согласно [8], можно сделать вывод, что рассматриваемые образцы глинистых сланцев при укреплении их портландцементом ПЦ-1-400 в количестве 3,5 % по массе грунта соответствуют марке по прочности М20 и могут быть рекомендованы для устройства рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог.

## ВЫВОДЫ

Выполненные исследования физико-механических свойств глинистых сланцев свидетельствуют о том, что в природном состоянии эти грунты непригодны для использования в конструкции земляного полотна автомобильных дорог вследствие низкой прочности и морозостойкости, которые вызваны особенностями строения (сланцеватостью). Однако в случае отсутствия рядом с местом строительства подходящих грунтов для возведения земляного полотна целесообразно использование для этих целей глинистых сланцев при укреплении их цементом в количестве не менее 3,5 % по массе грунта, что обеспечит прочность и устойчивость земляного полотна.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фурсов, С. Г. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами [Текст] / С. Г. Фурсов. – М. : Информавтодор, 2007. – 76 с. : ил. – (Автомобильные дороги и мосты : обзор. информ. ; вып. 3).
2. Инструкция по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов [Текст] : СН 25-74 / ред. И. Д. Демин [и др.] . – М. : Стройиздат, 1975. – 129 с.

3. Методические рекомендации по укреплению местных грунтов верхней части земляного полотна неорганическими вяжущими [Текст] : Методические рекомендации / разраб. Ю. М. Васильев, М. Г. Мельникова, Т. Е. Полтаранова. – М. : Союздорнии, 1977. – 19 с.
4. Методические рекомендации по совершенствованию методов проектирования дорожных одежд с основаниями из укрепленных грунтов и материалов [Текст] : Методические рекомендации / разраб. И. И. Теляев, Ю. М. Васильев. – М. : Союздорнии, 1977. – 19 с.
5. Методические рекомендации по укреплению грунтов малопрочных каменных материалов и отходов промышленности вяжущими для использования их при строительстве дорог (в том числе в нечерноземных областях РСФСР) [Текст] : Методические рекомендации / сост. И. Л. Горячков [и др.]. – М. : Союздорнии, 1978. – 25 с.
6. ГОСТ 23558-94. Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 23558-79 ; введ. 01.01.1995. – М. : Стандартинформ, 2005. – 8 с.
7. БН В.2.3-37641918-554:2013. Шари дорожнього одягу з кам'яних матеріалів, відходів промисловості і ґрунтів, укріплених цементом. Проектування та будівництво [Текст] . – Взамен БН В.2.3-218-002-95 ; чинний від 2013-11-01. – К. : Укравтодор, 2013. – 43 с.
8. Руководство по грунтам и материалам, укрепленным неорганическими вяжущими [Текст] : Отраслевой дорожный методический документ / разраб. С. Г. Фурсов [и др.]. – М. : Росавтодор, 2003. – 36 с.

Получено 30.12.2016

Д. С. НАУМЕНКО, А. С. ЧМИР, Д. І. БОРОДАЙ  
ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЛИНИСТИХ  
СЛАНЦІВ З МЕТОЮ ВИКОРИСТАННЯ ЇХ В КОНСТРУКЦІЇ ЗЕМЛЯНОГО  
ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Виконано аналіз доцільності використання місцевих матеріалів в дорожньому будівництві. Досліджено фізико-механічні властивості глинистих сланців. Встановлено, що низька міцність і морозостійкість глинистих сланців не дозволяє використовувати їх в конструкції земляного полотна. Досліджено фізико-механічні властивості глинистих сланців, укріплених цементом. Встановлено оптимальні витрати цементу, за яких міцнісні характеристики сланців задовольняють нормативні вимоги до ґрунтів земляного полотна.

**Ключові слова:** місцеві матеріали, земляне полотно, зміцнення ґрунтів, глинистий сланець.

DENIS NAUMENKO, ALINA CHMYR, DENIS BORODAY  
INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SHALE  
IN ORDER TO USE THEM IN THE EMBANKMENT  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The analysis of the feasibility of using local materials in road construction has been carried out. The physical and mechanical properties of shale have been examined. It has been found out that low strength and frost-resistance of shale is not possible to use them in the embankment. The physical and mechanical properties of shale reinforced cement have been examined. It has been found out the optimal consumption of cement, in which the strength characteristics of the shale satisfy regulatory requirements for embankment soil.

**Key words:** local materials, embankment, soil strengthening, shale.

**Науменко Денис Сергеевич** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности в дорожном строительстве.

**Чмырь Алина Сергеевна** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: использование отходов промышленности в дорожном строительстве.

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

**Науменко Денис Сергійович** – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості в дорожньому будівництві.

**Чмир Аліна Сергіївна** – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: використання відходів промисловості в дорожньому будівництві.

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

**Naumenko Denis** – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of industrial wastes in road construction.

**Chmyr Alina** – master's student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: using of industrial wastes in road construction.

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

УДК 666.972.55

**И. Ю. ПЕТРИК, В. Н. ГУБАРЬ, С. В. КОРНИЕНКО**

ГООУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ Sika Visco Crete 5-600 N PL НА  
ПОДВИЖНОСТЬ ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНЫХ ПАСТ С РАЗЛИЧНЫМ  
СОДЕРЖАНИЕМ ЗОЛЫ-УНОСА ТЭС**

**Аннотация.** При исследовании цементно-зольных паст с различным содержанием золы взамен части портландцемента установлено, что на увеличение подвижности цементно-зольного теста и снижение его вязкости оказывает влияние добавка суперпластификатор Sika Visco Crete 5-600 N PL. Пластифицирующие добавки разрушают зольные и цементные флоккулы и оказывают стабилизирующее действие, препятствующее расслоению золоцементных композиций в результате седиментационных явлений. Также при возрастании содержания золы-уноса подвижность возрастает. Этот эффект связан со снижением трения в дисперсии между сферическими частицами золы, оптимизацией гранулометрического состава смеси цемента с золой, а также увеличением количества теста вяжущего.

**Ключевые слова:** суперпластификатор Sika Visco Crete 5-600 N PL, портландцемент, минеральные добавки, зола-уноса, цементно-зольные пасты, подвижность, вискозиметр Сутгарда.

**ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Одной из важнейших проблем в производстве бетона и железобетонных изделий является экономия цемента при обеспечении высокого качества конструкций. Технология бетона к настоящему времени располагает широким набором приемов, позволяющих в конкретных условиях снижать удельный расход цемента без ухудшения строительно-технических свойств бетона. В последние годы с этой целью предложено в пластифицированных бетонных смесях использовать активные минеральные добавки и наполнители [1].

Активными минеральными или гидравлическими добавками называют природные и искусственные материалы, которые способны к химическому взаимодействию с продуктами твердеющего цемента, в результате чего обеспечиваются некоторые изменения в свойствах цемента [2].

Роль минеральной добавки в бетонной смеси: содержание дисперсных частиц в смеси не меняется (добавка вводится по объему взамен части цемента); вся вводимая добавка идет на увеличение содержания дисперсных частиц в смеси (взамен части мелкого заполнителя – кварцевого песка). Имеются также промежуточные варианты, когда добавка частично заменяет цемент, а частично песок. При этом пуццолановая активность проявляется при любых способах введения добавок, а микронаполняющий эффект, – лишь при росте содержания дисперсных частиц в смеси [3].

Первоначально минеральные добавки пользовались в композиционных вяжущих включением в портландцемент инертных или гидравлически активных компонентов. Использование добавок суперпластификаторов позволило существенно увеличить эффект, достигаемый при введении наполнителей. Высокодисперсные активные минеральные добавки в пластифицированных цементных системах с пониженным водосодержанием влияют на условия структурообразования и синтеза свойств бетонов. Суперпластификаторы обеспечивают высокую подвижность и связность бетонных смесей при низких значениях водоцементного отношения, длительную сохраняемость их свойств. В результате открывается новое направление в технологии бетона, реализующее значительные резервы экономии цемента, повышения прочности, улучшения ряда других свойств бетона [1].

**Целью** настоящей работы является установление влияния добавки Sika Visco Crete 5-600 N PL на подвижность цементно-зольных паст с различным содержанием золы-уноса ТЭС.

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Исследованиями и практикой установлена эффективность введения сухих пылевидных зол при изготовлении цементно-зольных паст, бетонных и растворных смесей в качестве активных минеральных добавок и микронаполнителей.

Под термином «зола-уноса» (летучая зола) понимается тонкодисперсный минеральный порошок, образующийся во время сжигания порошкообразного угля на современных электростанциях в высокотемпературных топках (эксплуатационная температура около 1 400 °С). Летучие вещества и уголь сгорают, в то время как большинство таких минеральных включений в угле, как глины, кварц и шпат, расплавляются. Расплавленное вещество быстро транспортируется в низкотемпературные зоны, где оно затвердевает в виде сферических частиц. Часть минерального вещества агломерируется с образованием шлака, но большинство его улетает с потоком отходящих газов и улавливается электрофильтрами [4].

Применение золы-уноса улучшает свойства бетонных смесей и бетонов по нескольким направлениям: снижение расхода воды при обеспечении такой же подвижности смеси; увеличение объема теста вяжущего, что обеспечивает повышение удобоукладываемости; модифицирование состава продуктов гидратации цемента в результате пуццолановой реакции с гидроксидом кальция и связывания щелочей.

В составах обычных бетонов содержание золы-уноса, применяемой взамен части портландцемента, как правило, не превышает 15...20 %. Однако в этом случае не решаются проблемы повышения сульфатостойкости бетона, стойкости к щелочной коррозии заполнителей и термического трещинообразования [5].

Канадские ученые (V. M. Malhotra, P. K. Mehta [6, 7]) утверждают, что достижение бетонами высоких показателей физико-механических свойств и долговечности основывается на следующих принципах: расход золы взамен части портландцемента составляет не менее 50 % в составе вяжущего; расход портландцемента – не более 200 кг/м<sup>3</sup>; содержание воды затворения – не более 130 л/м<sup>3</sup> (обязательное применение суперпластификатора).

Согласно [4], суперпластификаторы принадлежат к новому классу добавок, которые способны снизить водопотребность до 30 %. К преимуществам использования суперпластификаторов относят получение бетонных смесей с высокой удобоукладываемостью и производство высокопрочных бетонов при пониженном содержании воды и расходе цемента.

Одним из мировых лидеров по производству добавок для высокопрочных бетонов является концерн Sika. Добавка Sika Visco Crete 5-600 N PL предназначена для изготовления высококачественных бетонов и бетонных смесей с увеличенным временем сохранения подвижности. Она обеспечивает ускоренный набор ранней прочности бетона (возраст 3 суток) при увеличенном времени сохранения подвижности бетонной смеси (~ 90–120 мин.); высокое водоредуцирование (до 40 %); повышение прочности, водонепроницаемости и долговечности бетона или снижение расхода цемента при неизменных характеристиках бетона за счет высокого водоредуцирования; возможность изготовления высокоподвижных и самоуплотняющихся бетонных смесей [8].

### ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментальных исследований использованы следующие материалы:

- вяжущее вещество: портландцемент (ПЦ) Амвросиевского комбината СЕМ I-42,5 N;
- минеральная добавка: зола-уноса (ЗУ) Зуевской ТЭС;
- суперпластификатор (СП): Sika Visco Crete 5-600 N PL.

Для исследования влияния добавки Sika Visco Crete 5-600 N PL на подвижность цементно-зольных паст с различным содержанием золы-уноса ТЭС запроектировано две серии составов (А – без суперпластификатора; Б – с добавлением суперпластификатора). В каждой серии предусмотрено по три состава, в которых замена части портландцемента золой-уносом составляет соответственно 0; 15 и 45 % (табл.).

Показатели подвижности цементно-зольных паст определяли с помощью вискозиметра Суттарда по распылу цементно-зольной пасты (рис. 1).

Таблица – Состав цементно-зольных паст

Серия	№	ЗУ, %	В/(ПЦ+ЗУ) (В/Ц)	Расход материалов, г/л				Объем вяжущего, см <sup>3</sup>
				В, мл	ПЦ	ЗУ	СП, мл	
А	1	0	0,2	140	700	–	-	491
	2	15			595	105		502
	3	45			385	315		524
Б	4	0		133	700	–	7	498
	5	15			595	105		509
	6	45			385	315		531



Рисунок 1 – Определение подвижности цементно-зольных паст

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании цементно-зольных паст с различным содержанием золы взамен части портландцемента установлено, что при небольшом содержании золы в составе цементной пасты частицы с различным по знаку электрокинетическим зарядом флокулируют вследствие кулоновского притяжения, что обуславливает снижение подвижности пасты (рис. 2).

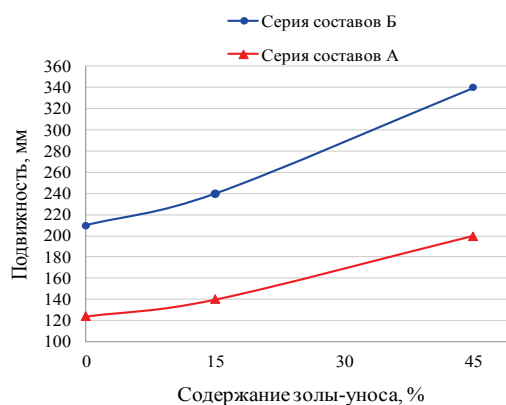


Рисунок 2 – Зависимость подвижности цементно-зольных паст от содержания золы-уноса ТЭС.

В случае, когда расход золы высокий, в цементно-зольной системе преобладает отрицательный интегральный заряд частиц, при этом происходит их электростатическое отталкивание, что обеспечивает повышение подвижности пасты [9]. Данный эффект связан также со снижением трения в дисперсии между сферическими частицами золы, оптимизацией гранулометрического состава смеси цемента с золой, а также увеличением количества вяжущей части в бетонной смеси (зола имеет меньшую истинную плотность, чем портландцемент) [10].

На увеличение подвижности цементно-зольной пасты и снижение ее вязкости оказывает влияние и добавка суперпластификатора Sika Visco Crete 5-600 N PL. Согласно [11], пластифицирующие добавки разрушают зольные и цементные флокулы и оказывают стабилизирующее действие, препятствующее расслоению золоцементных композиций в результате седиментационных явлений.



## ВЫВОДЫ

1. Повышение подвижности цементно-зольной пасты с добавлением суперпластификатора Sika Visco Crete 5-600 N PL основано на совокупности электростатического и пространственного эффекта снижения трения компонентов цементно-зольной пасты.

2. При исследовании цементно-зольных паст с различным содержанием золы взамен части портландцемента установлено, что при возрастании содержания золы-уноса взамен части цемента подвижность возрастает. Этот эффект связан со снижением трения в дисперсии между сферическими частицами золы, оптимизацией гранулометрического состава смеси цемента с золой, а также увеличением количества вяжущей части.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цементные бетоны с минеральными наполнителями [Текст] / Л. И. Дворкин, В. И. Соломатов, В. Н. Выровой, С. М. Чудновский ; Под ред. Л. И. Дворкина. – К. : Будивэльник, 1991. – 136 с.
2. ГОСТ Р 56196-2014. Добавки активные минеральные для цементов. Общие технические условия [Текст]. – Взамен ГОСТ 25094-82 ; введен 01.01.1996 г. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1996. – 17 с.
3. Каримов, И. Влияние тонкодисперсных минеральных наполнителей на прочность бетона [Текст] / И. Каримов // Экспозиция. – 2008. – 3/Б (60) апрель. – С. 35–38.
4. Добавки в бетон [Текст] : Справ. пособие / Р. Ф. Фельдман, М. Коллепарди [и др.] ; Под ред. В. С. Рамачандрана ; Пер с англ. Т. И. Розенберг и С. А. Болдырева ; Под ред. А. С. Болдырева и В. Б. Ратинова. – М. : Стройиздат, 1988. – 575 с.
5. Зайченко, Н. М. Бетоны с высоким содержанием золы для массивных железобетонных конструкций [Текст] / Н. М. Зайченко, А. И. Сердюк // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2013. – Вип. 2013-1(99) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 137–144.
6. Malhotra, V. M. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete [Текст] / V. M. Malhotra, P. K. Mehta. – Ottawa : Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., 2002. – 101 p.
7. Mehta, P. K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete for Sustainable Development [Текст] / P. K. Mehta // Intern. Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 20-21 May 2004 : Proc. / Edited by Kejin Wang. – Beijing (China) : Iowa State University, 2004. – P. 3–13.
8. Добавки в бетон. Технический каталог [Электронный ресурс]. – Building Trust Sika®. – 3-е издание, 2015. – 119 с. – Режим доступа: [http://rus.sika.com/content/russia/main/ru/solutions\\_products/02/02a001/\\_jcr\\_content/parRight/download/file.res/Concrete%20catalogue.pdf](http://rus.sika.com/content/russia/main/ru/solutions_products/02/02a001/_jcr_content/parRight/download/file.res/Concrete%20catalogue.pdf).
9. Termkhajornkit, T. Nawa // Cem. Concr. Res. – 2004. – Vol. 34, No. 6. – P. 1017–1024.
10. Naik, T. R. Use of industrial byproducts in cementbased materials [Текст] / T. R. Naik, R. N. Kraus // Exploiting wastes in concrete : Proceedings International Conference (and Seminars) Held at the University of Dundee, Scotland, U.K. on 6–10 September 1999 / Edited by Ravindra K. Dhir and Trevor G. Jappy. – London : Thomas Telford, 1999. – P. 23–34.
11. Дворкин, Л. И. Эффективные цементно-зольные бетоны [Текст] : [Монография] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин, Ю. А. Корнейчук. – Ровно : [б. и.], 1998. – 196 с. : ил. – Библиогр.: с. 192–193.

Получено 03.01.2017

І. Ю. ПЕТРИК, В. М. ГУБАР, С. В. КОРНІЄНКО  
ВПЛИВ ДОБАВКИ Sika Visco Crete 5-600 N PL НА РУХЛИВІСТЬ  
ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНИХ ПАСТ З РІЗНИМ ВМІСТОМ ЗОЛИ-ВИНЕСЕННЯ  
ТЕС  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** При дослідженні цементно-зольних паст з різним вмістом золи замість частини портландцементу встановлено, що на збільшення рухливості цементно-зольного тіста і зниження його вязкості впливає добавка суперпластифікатор Sika Visco Crete 5-600 N PL. Пластифікувальні добавки руйнують зольні і цементні флокули і виявляють стабілізуючу дію, яка перешкоджає розшаруванню золоцементних композицій в результаті седиментаційних явищ. Також при зростанні вмісту золи-винесення рухливість зростає. Цей ефект пов'язаний зі зниженням тертя в дисперсії між сферичними частинками золи, оптимізацією гранулометричного складу суміші цементу з золою, а також збільшенням кількості в'язучого тіста.

**Ключові слова:** суперпластифікатор Sika Visco Crete 5-600 N PL, портландцемент, мінеральні добавки, зола-винесення, цементно-зольні пасты, рухливість, віскозиметр Суттарда.

IRINA PETRIK, VICTOR GUBAR, SERGEY KORNIENKO  
THE INFLUENCE OF ADDITIVES SIKa VISCO CRETE 5-600 N PL ON THE  
MOBILITY OF CEMENT-ASH PASTES WITH DIFFERENT CONTENTS OF FLY  
ASH THERMAL POWER PLANT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Through studies of cement-ash pastes with different contents of ash to replace a portion of Portland cement it has been found out that the increase in the mobility of cement-fly ash dough and a reduction of its viscosity are influenced by the addition of superplasticizer Sika Visco Crete 5-600 N PL. Softening additives destroy ash and cement flocculi and have a stabilizing effect, preventing the stratification solacement compositions in the result of the sedimentation phenomena. The mobility increases in the process of fly ash content increasing. This effect was associated with a reduction in friction variance between the spherical ash particles, optimizing the grain size composition of the mixture of cement with fly ash, and an increase in the number of test binder.

**Key words:** superplasticizer Sika Visco Crete 5-600 N PL, Portland cement, mineral additives, fly ash, cement-fly ash pastes, mobility, viscosity Suttard.

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

**Губарь Виктор Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: неразрушающий контроль бетона строительных конструкций.

**Корниенко Сергей Викторович** – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе золы-уноса ТЭС с повышенными эксплуатационными свойствами.

**Петрик Ірина Юріївна** – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: високоякісні бетони з підвищеним вмістом золи-винесення ТЕС.

**Губар Віктор Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: неруйнівний контроль бетону будівельних конструкцій.

**Корнієнко Сергій Вікторович** – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони на основі золи-винесення ТЕС з підвищеними експлуатаційними властивостями.

**Petrik Irina** – assistant, Technologies of Building Constructions, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-quality concretes with high content of fly ash of thermal power plants.

**Gubar Victor** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Constructions, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: nondestructive testing of concrete building structures.

**Kornienko Sergey** – master's student, Technologies of Building Constructions, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concrete based on fly ash of thermal power plants with high performance properties.

УДК 666.946.1

**Е. В. ЕГОРОВА, С. В. ЛАХТАРИНА, В. Г. ВЕШНЕВСКАЯ, И. В. АСОЕВ**  
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **САМОУПЛОТНЯЮЩИЙСЯ БЕТОН С ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫМ МОДИФИКАТОРОМ**

**Аннотация.** Приведены данные о влиянии содержания полифункционального модификатора, состоящего из микрокремнезема Стахановского завода ферросплавов, диспергированного в среде суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната и щелочного активатора твердения вяжущего – гидроксида натрия на реологические свойства бетонных смесей и прочностные свойства бетона. Показано, что щелочной активатор в составе полифункционального модификатора позволяет осуществить частичную замену портландцемента молотым доменным гранулированным шлаком, повышая при этом прочность бетона при сжатии как в ранние, так и поздние сроки твердения. Установлено, что бетонная смесь с полифункциональным модификатором характеризуется более высокой удобоукладываемостью (подвижностью) и стойкостью к сегрегации.

**Ключевые слова:** самоуплотняющийся бетон, полифункциональный модификатор, удобоукладываемость (подвижность), стойкость к сегрегации, предел прочности при сжатии.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Определяющими особенностями самоуплотняющихся бетонных смесей является их высокая удобоукладываемость, сочетающая две противоположные по своей природе характеристики: низкое предельное напряжение сдвигу, которое предопределяет высокую текучесть смеси, и повышенную вязкость, обеспечивающую стабильность и связность смеси [1]. Согласно данным [2], предельное напряжение сдвигу СУБ (менее 60 Па) значительно меньше, чем у обычного бетона (100...1 000 Па), в то же время пластическая вязкость практически одинакова (20...200 Па·с). Решение этой комплексной задачи обеспечивает:

- заполняющую способность (filling ability) – способность СУБ при неограниченной текучести полностью заполнять все пустоты в опалубке под действием собственного веса;
- способность к преодолению препятствий (passing ability) – способность СУБ преодолевать препятствие в виде узких сечений опалубки и формовочной оснастки, промежутки между стержнями арматуры без расслоения или блокирования крупного заполнителя;
- сопротивление сегрегации (resistance to segregation) – способность СУБ оставаться однородной по составу без расслоения при транспортировке и формовании.

Заполняющая способность обеспечивается повышенной деформируемостью цементной пасты, что достигается применением эффективных суперпластификаторов, оптимальным водовязущим отношением, использованием минеральных добавок (наполнителей) с непрерывной гранулометрией [3–4]. При этом дисперсные частицы размером менее 90 мкм в количестве 500...600 кг/м<sup>3</sup> обеспечивают стойкость бетонной смеси к расслоению [3–6].

В то же время, остаются не полностью решенными проблемы, связанные с деформационными характеристиками самоуплотняющихся бетонов – повышенной усадкой и ползучестью, пониженным модулем упругости. Большое влияние на свойства смесей и бетонов может оказывать проблема совместности применяемых в составе СУБ модификаторов между собой и с портландцементом. Кроме того, стоимость основных добавок – суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных эфиров, а также микрокремнезема, остается достаточно высокой. Это обуславливает необходимость

поиска решений по разработке составов полифункциональных модификаторов, основу которых составляют различные отходы промышленности, обеспечивающие получение бетонных смесей и бетонов с нормируемыми показателями качества.

**Целью работы** является оценка влияния полифункционального модификатора на реологические свойства бетонных смесей и прочностные свойства бетона.

## ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении экспериментов использованы следующие материалы:

- портландцемент ПЦ I-500 Н производства ПАО «Хайдельберг Цемент Украина» (г. Амвросиевка);
  - молотый доменный гранулированный шлак (ДГШ) Донецкого металлургического завода;
  - микрокремнезем из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов;
  - песок кварцевый Краснолиманского месторождения;
  - щебень гранитный Кальчикского карьера фракции 5...20 мм ( $D = 20$  мм);
  - натр едкий технический (ГОСТ 2263-79);
  - суперпластификатор (на основе полиметиленафталинсульфоната: С-3 (ТУ 2481-001-51831493-00)).
- Составы бетонных смесей приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Составы самоуплотняющихся бетонных смесей

Смесь	Содержание компонентов, кг·м <sup>-3</sup>						
	ПЦ	Заполнитель		МК	ДГШ	СП	NaOH
		П	Щ				
СУБ-1	442	885	796	33,5	0	6,64	0
СУБ-2	287		746		155		6,65

Технологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей определены в соответствии с Европейскими директивами по самоуплотняющимся бетонам [4].

Для оценки способности СУБ преодолевать препятствия (passing ability) использовали Л-образный ящик («L-box») с длиной основания 700 мм, в конструкции которого имеется открывающаяся задвижка и три вертикальных арматурных стержня. Оценку стойкости бетонной смеси к сегрегации проводили по показателю равномерности распределения заполнителя в трехсекционной цилиндрической форме общей высотой 450 мм, высотой секции 150 мм и диаметром 150 мм, разделяемой на секции двумя задвижками.

Физико-механические свойства бетонов определяли по стандартным методикам. Прочностные показатели бетонов определяли на образцах-кубах с размером ребра 0,07 м.

Диспергирование агрегированного микрокремнезема осуществлялось в лабораторной бисерной мельнице. Разновидности бисерных мельниц обеспечивают тонину помола от 6 нм до 200 мкм.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительные испытания бетонных смесей контрольного состава (СУБ-1) и с полифункциональным модификатором (СУБ-2) (таблица 1) показывают, что текучесть смеси СУБ-2 на 11 % выше, чем СУБ-1 (таблица 2).

**Таблица 2** – Реологические свойства самоуплотняющихся бетонных смесей

Смесь	Свойства			
	$D_p$ , мм	$T_{500}$ , с	$PA=H_2/H_1$	SR, %
СУБ-1	538	2,0	0,86	13,7
СУБ-2	565	2,0	0,82	9,5

В соответствии с Европейским руководством по самоуплотняющимся бетонам [4] исследуемый состав СУБ с полифункциональным модификатором относится к следующим классам: SF1 (подвижность, мм), VS1/VF1 ( $T_{500}$ , с), PA2 (проникающая способность), SR2 (стойкость к сегрегации, %).

Органоминеральные добавки, введенные в цементную систему в виде композиций (смесей), предпочтительнее в сравнении с каждой из них в отдельности. Их сочетание с суперпластификаторами при оптимизации гранулометрического состава заполнителей позволяет получить высокопрочные

самоуплотняющиеся бетоны (более 70 МПа), при этом характеризующиеся достаточной вязкостью для предотвращения расслоения смеси и седиментации крупного заполнителя [7].

Сравнительные испытания бетонов контрольного состава (СУБ-1) и с полифункциональным модификатором (СУБ-2) показывают, что щелочной активатор в составе полифункционального модификатора позволяет осуществить частичную замену (35 %) портландцемента молотым доменным гранулированным шлаком, повышая при этом прочность бетона при сжатии как в ранние, так и поздние сроки твердения (таблица 3). При этом отмечено также повышение модуля упругости и усадки бетона при высушивании.

**Таблица 3** – Свойства самоуплотняющихся бетонов

Смесь	Свойства				
	Прочность при сжатии, МПа, сут.			$E_b$ (90 сут.), ГПа	$\varepsilon_{cd}$ , мм/м
	3	28	90		
СУБ-1	12,2	25,7	36,4	40,2	0,58
СУБ-2	21,4	32,4	45,8	42,3	0,64

## ВЫВОДЫ

Установлено, что в соответствии с Европейским руководством по самоуплотняющимся бетонам исследуемые составы СУБ с полифункциональным модификатором относятся к следующим классам: SF1 (подвижность, мм), VS1/VF1 (Т500, с), PA2 (проникающая способность), SR2 (стойкость к сегрегации, %). Сравнительные испытания бетонов контрольного состава и с полифункциональным модификатором показывают, что щелочной активатор в составе полифункционального модификатора позволяет осуществить частичную замену (35%) портландцемента молотым доменным гранулированным шлаком, повышая при этом прочность бетона при сжатии как в ранние, так и поздние сроки твердения. При этом отмечено также повышение модуля упругости и усадки бетона при высушивании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Łazniewska-Piekarczyk, B. The influence of selected new generation admixtures on the workability, air-voids parameters and frost-resistance of self compacting concrete [Текст] / B. Łazniewska-Piekarczyk // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 31. – P. 310–319.
2. Wallevik, O. H. Rheology – a scientific approach to develop Self compacting concrete [Текст] / O. H. Wallevik // The 3rd Intern. Symp. on Self-compacting Concrete / [O. H. Wallevik, I. Nielsson, ed.]. – Bagneux, France : RILEM Publications S.A.R.L., 2003. – P. 23–31.
3. Okamura, H. Mix Design for Self-Compacting Concrete [Текст] / H. Okamura, K. Ozawa // Concrete Library of JSCE. – 1995. – No. 25. – P. 107–120.
4. The European Guidelines for Self-Compacting Concrete [Текст] : Specification, Production and Use The European Precast Concrete Organisation [et al.]. – [S. l.] : SCC European Project Group, 2005. – 63 p.
5. Ahmed, S. A. R. Review article on Self-Compacting Concrete [Текст] / Sabry Abdel Raheem Ahmed. – [S. l.] : Civil Engineering Department, Faculty of Engineering Altahadi University, 2003. – 52 p.
6. Properties of self-compacting concrete with slag fine aggregates [Текст] / M. Shoya, S. Sugita, Y. Tsukinaga, M. Aba, K. Tokuhasi // Creating with Concrete : Proceedings of the Intern. Conf. Dundee / Eds: R. K. Dhir, N. A. Henderson. – London : Thomas Telford, 1999. – P. 121–130.
7. Батудаева, А. В. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей [Текст] / А. В. Батудаева, Г. С. Кардунян, С. С. Каприелов // Бетон и железобетон. – 2005. – № 4. – С. 14–18.

Получено 04.01.2017

**О. В. ЕГОРОВА, С. В. ЛАХТАРИНА, В. Г. ВЕШНЕВСЬКА, И. В. АСОЕВ**  
**БЕТОН, ЩО САМОУЩІЛЬНЮЄТЬСЯ, З ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИМ**  
**МОДИФІКАТОРОМ**

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Наведено дані щодо впливу вмісту поліфункціонального модифікатора, що складається з мікрокремнезему Стахановського заводу феросплавів, диспергованого в середовищі

суперпластифікатора на основі поліметиленафталінсульфонату і лужного активатора твердіння в'язучого – гідроксиду натрію на реологічні властивості бетонних сумішей та міцність бетону. Показано, що лужний активатор в складі поліфункціонального модифікатора дозволяє здійснити часткову заміну портландцементу меленим доменним гранульованим шлаком, підвищуючи при цьому міцність бетону при стисканні як в ранні, так і пізні терміни твердіння. Встановлено, що бетонна суміш з поліфункціональним модифікатором характеризується більш високою рухливістю і стійкістю до сегрегації.

**Ключові слова:** бетон, що самоущільнюється, поліфункціональний модифікатор, легкоукладальність (рухливість), стійкість до сегрегації, межа міцності при стисканні.

ELENA YEGOROVA, SERHII LAKHTARYNA, VICTORIA VESHNEVSKAYA,  
ISO ASOYEV  
SELF-COMPACTING CONCRETE WITH A MULTIFUNCTIONAL MODIFIER  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** It has been given the data of the influence of the multifunctional modifier content consisting of microsilica Stakhanov Ferroalloy factory dispersed in the superplasticizing admix environment based on polynaphthalene sulfonate, alkali activator and curing the binder – sodium hydroxide on the rheological properties of concrete mixtures and mechanical properties of the concrete was. It has been shown that the alkaline activator as part of multifunctional modifier allows partial replacement of Portland cement with ground granulated blast furnace slag, while increasing the compressive strength of concrete in the early and later stages of hardening. It has been found out that the concrete mix with a multifunctional modifier has higher workability (flow ability) and resistance to segregation.

**Key words:** self-compacting concrete, multifunctional modifier, workability (flowability), resistance to segregation, limit of compressive strength.

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

**Лахтарина Сергей Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: конструкционные легкие бетоны с повышенным коэффициентом конструктивного качества.

**Вешневская Виктория Геннадьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: неразрушающий контроль бетона строительных конструкций.

**Асоев Исо Валерьевич** – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: свойства модифицированных бетонов.

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

**Лахтарина Сергій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: конструкційні легкі бетони з підвищеним коефіцієнтом конструктивної якості.

**Вешневська Вікторія Геннадіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: неруйнівний контроль бетону будівельних конструкцій.

**Асоєв Ісо Валерійович** – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: властивості модифікованих бетонів.

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

**Lakhtaryna Serhii** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: structural lightweight concrete with increased coefficient of the constructive quality.

**Veshnevskaya Victoria** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: non-destructive inspection of concrete building structures.

**Asoyev Iso** – master's student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: properties of modified concrete.

УДК 624.04:697.137

**Г. М. ВАСИЛЬЧЕНКО, Р. Н. КРАВЕЦ**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **АНАЛИЗ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ С ФАСАДНОЙ СИСТЕМОЙ «СТЕНОЛИТ»**

**Аннотация.** В статье выполнен анализ тепловлажностных характеристик наружной стены с фасадной системой «СТЕНОЛИТ» на примере фрагмента фасада. Для расчета были выбраны три варианта конструктивного решения: 1 – фасадные панели крепятся к наружной стене без утеплителя; 2 – в конструкцию добавляется слой утеплителя; 3 – в конструкции выполнена вентилируемая воздушная прослойка. На первом этапе определено сопротивление теплопередаче конструкции наружной стены здания, на втором этапе рассчитывался влажностный режим ограждения. На основе анализа конструктивных и теплотехнических особенностей наружных ограждений, а также нормативных требований к энергоэффективности и теплозащите зданий выявлены наиболее эффективные типы конструкций наружного ограждения зданий при применении навесной фасадной системы «СТЕНОЛИТ». Даны рекомендации по обеспечению нормативных требований по повышению тепловой эффективности наружных стен здания.

**Ключевые слова:** утеплитель, вентилируемая фасадная система, теплоизоляция, сопротивление теплопередаче, влажность, наружное ограждение.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Особое место среди комплекса проблем, связанных с повышением эффективности использования зданий, занимают вопросы энергосбережения, так как потребление и стоимость энергии в мире имеют стойкую тенденцию к росту, в том числе и на отопление зданий. Одним из направлений решения проблем технической эксплуатации зданий является применение эффективных энергосберегающих технологий и конструктивных решений наружного ограждения. Эксплуатационные показатели здания в значительной степени зависят от необходимого температурно-влажностного режима конструкций наружных стен, покрытия, цокольного перекрытия. Основными теплотехническими требованиями, которые предъявляются к наружным ограждающим конструкциям здания, являются сопротивление теплопередаче и предупреждение конденсации водяного пара на поверхности и (или) внутри ограждающих конструкций при определённых условиях.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Аналитический обзор литературы [6–11] позволяет сделать некоторые выводы о состоянии, тенденциях и направлениях развития технологий фасадной облицовки зданий на современном этапе. Наружные стены здания – это комплексная инженерная конструкция, выполняющая ограждающую функцию для поддержания необходимого баланса температурно-влажностного режима между атмосферой и внутренним пространством здания. Оптимизация наружных ограждающих конструкций здания предусматривает создание оболочки, одновременно отвечающей требованиям функциональности, эффективной теплоизоляции, минимальных эксплуатационных затрат, приемлемой стоимости. К основным мероприятиям по оптимизации наружных ограждающих конструкций зданий относятся: толщина и качество теплоизоляции; применение многослойных ограждений с эффективной теплоизоляцией; улучшение влажностного режима наружных ограждений; устройство в наружных ограждениях замкнутых и вентилируемых воздушных прослоек. Вентилируемые воздушные прослойки можно применять как для снижения поступлений теплоты в тёплый период года, так и для снижения потерь теплоты в холодный период.



Для анализа теплотехнических характеристик выбрана фасадная система «СТЕНОЛИТ». Термопанели «СТЕНОЛИТ» разработаны российско-японскими производителями современных фасадных отделочных материалов. Панели по весу составляют лишь 1/6 веса аналогов (СКАНРОК, МАРМАРОК и т. д.), легко монтируются, прочны. Придают новый вид старым зданиям, не требуют дорогостоящей подготовки закрываемых поверхностей. Монтаж «СТЕНОЛИТА» можно проводить круглогодично. «Изюминка» такого фасадного материала заключается в его структуре, которая состоит из: формованных стальных листов, покрытых коррозионно-стойкой краской и алюмоцинком и теплоизоляционного слоя – пенополиуретана, который обеспечивает хорошие теплоизоляционные свойства. Система имеет соответствующие конструктивные решения и теплотехнические характеристики, которые регламентируются фирмой производителем ООО «СТЕНОЛИТ».

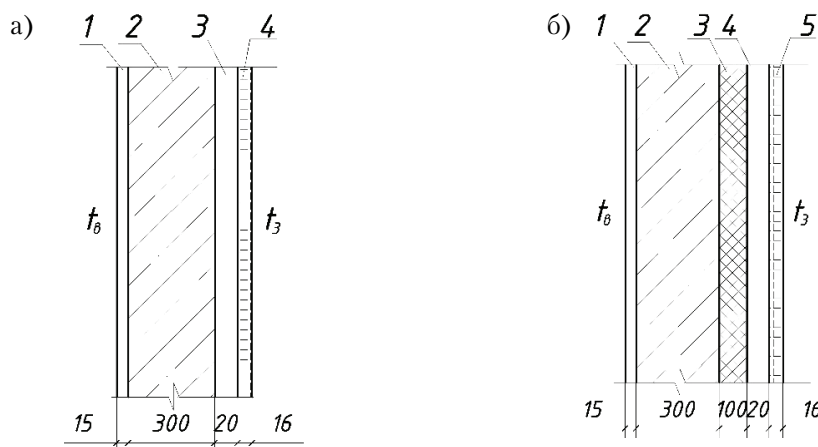
В основных нормативных документах по теплоизоляции зданий ДБН В.2.6-31 [1] и ДСТУ Б В.2.6.189 [2] приведены основные требования к конструированию наружных ограждений с замкнутыми и вентилируемыми воздушными прослойками. Более подробно требования к конструированию фасадной теплоизоляции и отделки индустриальными элементами с вентилируемыми воздушными прослойками прописано в общих технических условиях на использование (ДСТУ Б В.2.6-35 [5]).

### ЦЕЛИ

Исследование теплотехнических характеристик фасадной системы «СТЕНОЛИТ» согласно нормативным документам, действующим на территории Донбасса.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для проверки возможности применения фасадной системы «СТЕНОЛИТ» при новом строительстве и термомодернизации существующих зданий в г. Донецке были выполнены теплотехнические расчеты наружного ограждения. Расчет ведется для трех вариантов конструктивного решения наружной стены облицованной фасадной системой «СТЕНОЛИТ». Конструктивные схемы расположения фасадной системы показаны на рисунке 1а, б.



**Рисунок 1** – Конструктивная схема расположения фасадной системы «СТЕНОЛИТ»: а) вариант 1; б) варианты 2, 3.

Для примера выбран фрагмент конструкции наружной стены из ячеистых блоков монолитного каркасного здания с фасадной теплоизоляцией в пределах одного этажа. По вертикали фрагмент ограничен несущими колоннами здания, по горизонтали – монолитным перекрытием. Несущая часть стены выполнена на основе кладки блоков из ячеистого бетона толщиной 300 мм, плотностью 600 кг/м<sup>3</sup>, теплоизоляционный слой – минераловатные плиты ROCKWOOL плотностью 80 кг/м<sup>3</sup>. Минераловатные плиты крепятся к несущей стене при помощи пластиковых дюбелей с металлическим стержнем. Количество дюбелей из расчета 5 шт. на 1 м<sup>2</sup>. С внутренней стороны наружных стен устраивается известково-песчаная штукатурка толщиной 15 мм. Плиты «СТЕНОЛИТ» крепятся к наружной поверхности стены при помощи несущих кронштейнов, являясь при этом внешним экраном фасадной системы с воздушным зазором на отnose. Высота этажа 3,3 м, размеры в осях между

колоннами 6,6 м. Размеры фрагмента фасада составляют 3,3×6,6 м. На фрагменте имеются две оконные конструкции размерами 1,5×1,8 м и 0,9×1,8 м. Общая площадь непрозрачной части фрагмента фасада равна 17,46 м². Общий вид фрагмента приведен на рисунке 2.

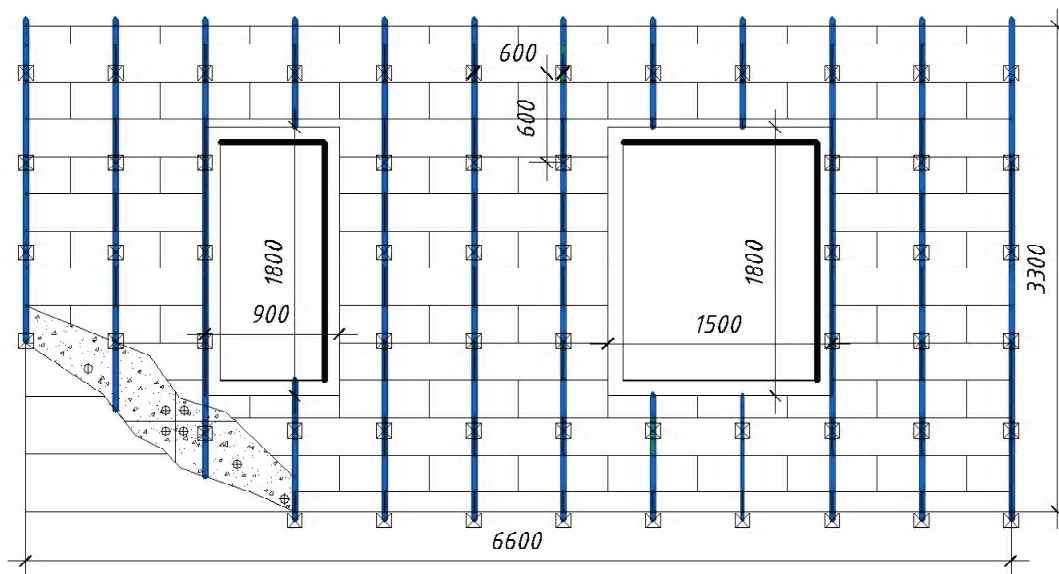


Рисунок 2 – Общий вид фрагмента фасада

Расчет ведется в два этапа. На первом этапе определяется сопротивление теплопередаче конструкции наружной стены согласно нормативным документам ДБН [1] и ДСТУ [2].

Вариант 1 (слои 1, 2, 4, 5) – фасадная система крепится к наружной поверхности стены, образуя при этом воздушный зазор шириной 20 мм. Вариант 2 (слои 1, 2, 3, 4, 5) – предусматривает дополнительный слой утеплителя на наружной поверхности стены. Воздушная прослойка рассматривается замкнутой. Для 1 и 2 вариантов в зазоре предусмотрено теплоотражающее покрытие из алюминиевой фольги. Сопротивление теплопередаче замкнутой воздушной прослойки с теплоотражающим экраном из алюминиевой фольги (односторонняя тип А), принято из Приложения В, таблица В.2 2 при средней температуре воздуха в прослойке меньшей 0 °С, и составляет 0,3 м²К/Вт. В варианте 3, в отличие от варианта 2, рассматривается вентилируемая воздушная прослойка – 20 мм.

Исходные данные приняты согласно приложению В (таблица В.2) 1 для офисных зданий:  $t_a = 20$  °С;  $\phi_v = 50$  %. Согласно ДБН В.2.6-31 [1] минимально допустимое значение приведенного сопротивления теплопередаче для непрозрачных частей наружных стен в I-й температурной зоне эксплуатации (г. Донецк) составляет  $R_{qmin} = 3,3$  м²·К/Вт. Определяем сопротивление теплопередаче наружных стен одномерного температурного поля по формуле:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (1)$$

где  $\alpha_B, \alpha_3$  – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной ограждающей конструкции, Вт/(м²·К), принимаем согласно Приложению Б [2], и:  $\alpha_B = 8,7$  Вт/(м²·К);  $\alpha_3 = 12$  Вт/(м²·К) при замкнутой воздушной прослойке и 23 Вт/(м²·К) – для вентилируемой;  
 $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя наружных стен, м;  
 $\lambda_{ip}$  – расчетная теплопроводность материала  $i$ -го слоя наружных стен в расчетных условиях, Вт/(м·К), принимаем согласно Приложению А [2], для условий эксплуатации «Б».

Конструктивно назначаем толщину теплоизоляционного слоя – 100 мм. Расчетные характеристики заносим в таблицу 1.

Однако для расчета приведенного сопротивления теплопередаче необходимо учитывать теплопроводные включения, относящиеся к непрозрачной ограждающей конструкции, такие как: откосы оконных проемов в зоне: надоконной перемычки, подоконника, рядового примыкания – линейные элементы; дюбели для крепления минераловатных плит – точечные элементы; несущие кронштейны для крепления элементов подсистемы навесного фасада.

Таблица 1 – Расчетные характеристики слоев конструкции стены

№ слоя	Наименование слоя	Плотность, $\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>	Толщина, $\delta$ , м	Теплопроводность, $\lambda$ , Вт/(м·К)	Сопротивление теплопередаче, $R_{\Sigma}$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт
1	Известково-песчаный раствор	1 600	0,015	0,810	0,019
2	Блоки из ячеистого бетона	600	0,300	0,18	1,67
3	Утеплитель – минераловатные плиты ROCKWOOL	50	0,100	0,048	2,08
4	Замкнутая воздушная прослойка (вентилируемая воздушная прослойка)*	– (–)*	0,020 (0,020)*	– (–)*	0,19 (–)*
5	Облицовка фасадной системой СТЕНОЛИТ(*)	1 700	0,016	0,04 (–)*	0,400 (–)*

**Примечание** (–)\* – вентилируемая воздушная прослойка и облицовка, не учитываются в расчете, согласно пункта 4.11.6 [2].

Для вышеупомянутых теплопроводных включений по проектным данным и данным приложений Г и Д [2] определяют количественные показатели характеристики линейных и точечных коэффициентов теплопередачи. Сводные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Теплопроводные включения и их количественное выражение

Наименование теплопроводного включения	Протяженность, м	Кол-во, шт.	Линейный коэф. теплопередачи, $k$ , Вт/(м·К)	Точечный коэф. теплопередачи, $\psi$ , Вт/К
Оконный откос в зоне перемычки	2,4	–	0,063	–
Оконный откос в зоне подоконника	2,4	–	0,035	–
Оконный откос в зоне рядового примыкания	7,2	–	0,049	–
Дюбели для крепления минераловатных плит	–	95	–	0,005
Несущие кронштейны для крепления подблицовочных элементов навесного фасада	–	12	–	0,015

По результатам расчета сопротивление теплопередаче по основному полю составило: для 1 варианта  $R_{\Sigma} = 2,58$ ; варианта 2 – 5,08; варианта 3 – 4,35 м<sup>2</sup>·К/Вт.

На основании данных таблицы 2 определяем приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен по формуле 3 [2]:

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k} \quad (2)$$

Согласно нормативным требованиям ДБН [1] должно выполняться условие:

$$R_{\Sigma np} \geq R_{qmin} \quad (3)$$

По результатам расчета приведенное сопротивление теплопередаче составило для 1 варианта  $R_{\Sigma np} = 2,18$ ; варианта 2 – 3,73; варианта 3 – 4,01 м<sup>2</sup>·К/Вт. То есть, конструктивное решение, выполненное по второму и третьему варианту, обеспечивает необходимое сопротивление теплопередаче  $R_{qmin} = 3,3$  м<sup>2</sup>·К/Вт, для I-ой температурной зоны, в которой находится г. Донецк. Вариант 1 можно применять для промышленных зданий с сухим и нормальным режимом эксплуатации конструкций, для которых согласно таблице 3 [1]  $R_{qmin} = 1,7$  м<sup>2</sup>·К/Вт.

На втором этапе рассчитывался влажностный режим по разделу 6 [1]. Для наружного ограждения необходимо выполнение условия:

$$\Delta w \leq \Delta w_d, \quad (4)$$

где  $\Delta w$  – увеличение влажности материала в толще слоя конструкции, в котором может происходить конденсация влаги, за холодный период года, % по массе;  
 $\Delta w_d$  – допустимое увеличение влажности материала, % по массе, устанавливаемое согласно таблице 7 [1] в зависимости от вида материала.

Для системы «СТЕНОЛИТ» коэффициент паропроницания принят согласно техническим характеристикам, предоставленным компанией – производителем ООО «СТЕНОЛИТ». В зависимости от климатического района и назначения здания приняты следующие микроклиматические (по [1]) и климатические (по [3]) показатели: расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 20$  °С; средняя температура наружного воздуха (январь),  $t_{\text{с}} = -5,2$  °С; расчетная относительная влажность водяного пара внутреннего воздуха  $\phi_{\text{в}} = 50$  %; средняя относительная влажность водяного пара наружного воздуха  $\phi_{\text{с}} = 86$  %. Расчетные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные данные для определения паропроницания

№ слоя	Наименование слоя	Плотность, $\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>	Толщина, $\delta$ , м	Сопrotивление теплопередаче, $R_i$ , м <sup>2</sup> ·К/Вт	Кэф. паропроницания $\mu$ , мг/(м·ч·Па)	Сопrotивление паропроницанию, $R_{ni}$ , м <sup>2</sup> ·ч·Па/мг
1	Известково-песчаный раствор	1 600	0,015	0,019	0,120	0,125
2	Блоки из ячеистого бетона	600	0,300	1,670	0,170	1,76
3	Утеплитель – минераловатные плиты	50	0,100	2,080	0,520	0,192
4	Замкнутая воздушная прослойка с отражающим экраном	–	0,020	0,300	–	–
	(Вентилируемая воздушная прослойка)*	–	0,020	–	–	–
5	Облицовка фасадной системой «СТЕНОЛИТ»	170	0,016	0,400	–	–

Зона конденсации в середине ограждения определяется характером распределения парциального давления водяного пара  $e(x)$  и насыщенного водяного пара  $E(x)$  в толще слоев ограждающей конструкции на расстоянии  $x$  от внутренней поверхности.

Определяются значения температур  $t(x)$ , °С по поперечному разрезу ограждения на границах слоев:

$$t(x) = t_B - \frac{t_B - t_{3B}}{R_{\Sigma}} \cdot \left( \frac{1}{\alpha_B} R_x \right). \quad (5)$$

По результатам расчетов в варианте 1 конденсация пара во всех сечениях конструкции не происходит. Величина парциального давления не должна превышать давления насыщенного водяного пара, которое соответствует температуре в прослойке  $t_{np}$ . В противном случае в слое происходит конденсат (на внутренней поверхности облицовки или элементах крепления), который свидетельствует о недостаточном движении воздуха в прослойке. Расчеты показали, что в вариантах 2 и 3 между утеплителем и системой «СТЕНОЛИТ» зафиксировано увеличение влажности на  $\Delta w = 22$  и  $21$  % соответственно при допустимом значении  $\Delta w_d = 2,5$  %. Очевидно, что это недопустимые значения и такая конструкция не может быть пригодна для использования облицовки фасада.

## ВЫВОДЫ

1. По величине сопротивления теплопередаче конструкция с фасадной системой «СТЕНОЛИТ» возможна к применению в I-м климатическом районе для промышленных (вариант1), жилых и общественных зданий (вариант 2, 3).

2. По величине сопротивления паропроницанию конструктивные решения фасадной системы должны быть дополнены слоями, которые снизят значения паропроницания. Это могут быть паробарьерные пленки АНТИКОНДЕНСАТ™, «TYVEK» и др.

3. При разработке конструктивной схемы вентилируемой фасадной системы с использованием облицовки «СТЕНОЛИТ» (для недопущения конденсата на утеплителе или внутренней поверхности облицовки) необходимо выполнять дополнительные расчеты скорости движения, температуры и влажности воздуха в прослойке. Для этого можно использовать методики, например, СП 50.13330.2012 [10].

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель [Текст]. – [Чинні від 2017-05-01]. – К. : Мінрегіон України, 2017. – 30 с. – (Державні будівельні норми України).
2. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель [Текст]. – [Чинний з 01.01.2014]. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 55 с. – (Державний стандарт України).
3. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013. Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огорожувальних конструкцій [Текст]. – [Чинний з 01.01.2014]. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 30 с. – (Державний стандарт України).
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія [Текст]. – [Чинний з 01.11.2011]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 124 с. – (Державний стандарт України).
5. ДСТУ Б В.2.6-35:2008. Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентиляційним повітряним прошарком. Загальні технічні умови [Текст]. – [Чинний з 01.12.2008]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 25 с. – (Державний стандарт України).
6. Рекомендации по проектированию навесных фасадных систем с вентилируемым воздушным зазором для нового строительства и реконструкции зданий [Текст] / [С. В. Николаев, Ю. Г. Граник и др.]. – М. : Москомархитектура, 2002. – 42 с.
7. ДСТУ Б В.2.7-137:2008 2011. Блоки з ніздрюватого бетону стінові дрібні [Текст]. – [Чинний з 01.10.2008]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 25 с. – (Державний стандарт України).
8. EN ISO 13788:2001. Hydro thermal performance of building component sand building elements – Internal surface temperature to a void critical surface humidity an interstitial condensation – Calculation methods [Текст]. – Replace ISO/FDIS 13788 (2000-04) ; introduced 01.07.2001. – Brussels : CEN, 2001. – 38 p.
9. Батинич, Радивое. Теплотехнический расчет (доклад) [Электронный ресурс] // Информационная система по строительству. / «Ной-хаус.ру». – [Б. м. : б. и.], [2000–2010]. – Режим доступа : [http://www.know-house.ru/info\\_new.php?r=walls2&uid=35](http://www.know-house.ru/info_new.php?r=walls2&uid=35)
10. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий [Текст]. – Введ. 2013-07-01. – М. : Министерство регионального развития РФ, 2012. – 82 с.
11. Гагарин, В. Г. Расчет теплозащиты фасадов с вентилируемым воздушным зазором Текст / В. Г. Гагарин, В. В. Козлов, Е. Ю. Цыкановский // Журнал АВОК. – 2004. – № 2. – С. 20–26.

Получено 09.01.2017

### Г. М. ВАСИЛЬЧЕНКО, Р. М. КРАВЕЦЬ АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ З ФАСАДНОЮ СИСТЕМОЮ «СТЕНОЛИТ» ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У статті виконано аналіз тепловологісних характеристик зовнішньої стіни з фасадною системою «СТЕНОЛИТ» на прикладі фрагмента фасаду. Для розрахунку були обрані три варіанти конструктивного рішення: 1 – фасадні панелі кріпляться до зовнішньої стіни без утеплювача, 2 – в конструкцію додається шар утеплювача, 3 – в конструкції виконано вентиляційний повітряний прошарок. На першому етапі визначено опір теплопередачі конструкції зовнішньої стіни будівлі, на другому етапі розраховувався вологісний режим огорожі. На основі аналізу конструктивних і теплотехнічних особливостей зовнішніх огорожень, а також нормативних вимог до енергоефективності та теплозахисту будинків виявлені найбільш ефективні типи конструкцій зовнішнього огороження будівель при застосуванні навісної фасадної системи «СТЕНОЛИТ». Дано рекомендації щодо забезпечення нормативних вимог та підвищення теплової ефективності зовнішніх стін будівлі.

**Ключові слова:** утеплювач, вентиляційна фасадна система, теплоізоляція, опір теплопередачі, вологість, зовнішнє огороження.

GALINA VASILCHENKO, ROMAN KRAVETS  
ANALYSIS OF THERMAL CALCULATIONS OF THE OUTER WALL FROM THE  
FRONT SYSTEM «STENOLIT»

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** This article gives an analysis of the heat and humidity characteristics of exterior wall with a front system «STENOLIT» for example, a fragment of the facade. To calculate the three variants of constructive solutions were selected: 1 – facade panels are fixed to the outer wall without insulation, 2 – in the design adds a layer of insulation, 3 – in the construction of ventilated air layer is made. During the first stage defined thermal resistance of the outer walls of the building construction, the second phase was calculated humidity fence mode. Based on the analysis of structural and thermal characteristics of the outer fences, as well as regulatory requirements for energy efficiency and thermal protection of buildings it has been identified the most effective types of external fencing structures of buildings in the application of a hinged facade system «STENOLIT». Recommendations to ensure the regulatory requirements to improve the thermal efficiency of the external walls of the building have been given.

**Key words:** insulation, ventilated facade systems, thermal insulation, heat resistance, humidity, external fence.

**Васильченко Галина Михайловна** – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: строительная физика, энергоэффективность зданий; численное моделирование температурных полей и тепловых потоков узловых соединений ограждающих конструкций зданий, проектирование и теоретические расчеты вентилируемых фасадных систем.

**Кравец Роман Николаевич** – магистрант кафедры архитектуры промышленных и гражданских зданий ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: строительная физика, энергоэффективность зданий, проектирование и теоретические расчеты вентилируемых фасадных систем.

**Васильченко Галина Михайлівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури промислових і цивільних будівель ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будівельна фізика, енергоефективність будівель; чисельне моделювання температурних полів та температурних потоків вузлових з'єднань огорожувальних конструкцій будівель, проектування та теоретичні розрахунки вентильованих фасадних систем.

**Кравець Роман Миколайович** – магістрант кафедри архітектури промислових і цивільних будівель ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будівельна фізика, енергоефективність будівель, проектування та теоретичні розрахунки вентильованих фасадних систем.

**Vasilchenko Galina** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Architecture Industrial and Civil of Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: building physics, energy efficiency of buildings, and Numerical simulation of temperature fields and heat fluxes joint connections of building enclosures, design and theoretical calculations ventilated facade systems.

**Kravets Roman** – master's student, Architecture Industrial and Civil of Buildings Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: building physics, energy efficiency of buildings, design and theoretical calculations ventilated facade systems.

УДК 692.5(691.328)

**Л. А. РЯБИЧЕВА, В. В. ЗАСЬКО, Л. Н. ПОЙДА**

Луганский национальный университет имени Владимира Даля

## **АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ФИБРОБЕТОНА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

**Аннотация.** С помощью центрального композиционного ортогонального плана полного факторного эксперимента выполнен анализ влияния состава фибробетона на его физико-механические свойства. Фибра получена из шлифовальных отходов жаропрочной стали. Математической моделью процесса являются функции, связывающие параметры оптимизации: плотность, прочность при сжатии, при растяжении на изгиб с составом фибробетона. Установлено, что увеличение содержания воды затворения в цементе приводит к уменьшению плотности и прочностных свойств; повышение содержания песка в цементе обеспечивает рост плотности и прочностных свойств. Повышение концентрации фибры до 4,5 % приводит к улучшению качества фибробетона. Для увеличения прочностных свойств бетона рекомендуется содержание фибры в цементе в пределах 2,0...4,5 %, что обеспечивает устойчивость показателей прочности и плотности.

**Ключевые слова:** фибробетон, прочность при сжатии, прочность на растяжение при изгибе, плотность, соотношение воды и цемента, а также песка и цемента.

### **ФОРМУЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ**

Для промышленных регионов характерной особенностью является концентрация нескольких отраслей промышленности, связанных с накоплением промышленных отходов. Одним из направлений по снижению объемов техногенных отходов является вовлечение вторичных продуктов в качестве добавок в состав строительных материалов, в частности при производстве бетонных смесей. Армирование бетонов дисперсными отходами машиностроения обеспечит повышение качества строительных материалов.

### **АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

В настоящее время накоплен опыт практического применения композиционных материалов (бетонов) на основе цементных матриц дисперсно-армированных волокнами [1]. Результаты исследований свидетельствуют о целесообразности и эффективности применения дисперсно-армированных бетонов и растворов для изготовления различных строительных изделий [2, 3]. Применение фибробетонов обеспечивает повышение трещиностойкости, ударной стойкости, вязкости разрушения, увеличение прочности на сжатие и растяжение, снижение деформаций усадки и ползучести, повышение износостойкости строительных изделий и конструкций [4].

Повысить прочность бетона при растяжении на изгиб можно введением в него различного вида фибр: металлических, минеральных, синтетических [5, 6]. Фибробетонная композиция образуется объемным сочетанием матрицы из бетона и равномерно распределенных в ней армирующих волокон, а упрочнение бетонов волокнами основано на том, что материал бетонной матрицы посредством касательных сил, действующих на поверхности раздела, передает волокнам приложенную нагрузку. В работе [7] показана возможность применения в качестве армирующей добавки шлифовальных отходов жаропрочной стали 40X10C2M и карбида кремния.

**Целью работы** является проектирование состава фибробетона, упрочненного шлифовальными отходами жаропрочной стали, методом математического планирования эксперимента.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Оценку физико-механических свойств дисперсно-упрочненного бетона выполняли на основе полного трехфакторного эксперимента 23 [8]. Математической моделью процесса являются функции, связывающие параметры оптимизации: плотность, прочность при сжатии, прочность при растяжении на изгиб. При проведении эксперимента варьировали следующими факторами: отношением по массе вода/цемент (В/Ц), цемент/песок ((Ц/П), объемным содержанием фибры в цементе (Ф/Ц). Выбор факторов оптимизации состава бетона производили исходя из технологической и экономической целесообразности и получения материала с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Перечень уровней варьирования принятых факторов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы и уровни варьирования

Факторы	Обозначение	Уровни варьирования		
		нижний	средний	верхний
Водоцементное отношение В/Ц	$X_1$	0,3	0,4	0,5
Отношение Ц/П	$X_2$	0,33	0,66	0,99
Отношение Ф/Ц	$X_3$	0,5	2,5	4,5

В процессе экспериментальных исследований получены уравнения регрессии, связывающее зависимости основных физико-механических свойств фибробетона от принятых факторов и уровней их варьирования.

$$Y(\rho) = 2637,8 - 0,92X_1 + 0,23X_2 + 0,08X_3 - 1\,401,4X_1X_2 + 67,09X_1X_3 + 5,89X_2X_3;$$

$$Y(R_{сж28}) = 64,14 - 0,89X_1 + 0,33X_2 + 0,02X_3 - 31,0X_1X_2 + 2,24X_1X_3 + 0,04X_2X_3.$$

$$Y(R_{раст28}) = 13,06 - 0,67X_1 + 0,42X_2 + 0,12X_3 - 16,18X_1X_2 + 1,96X_1X_3 + 0,13X_2X_3.$$

Статистический анализ уравнений регрессии оценивали по трем критериям: однородности дисперсий, значимости коэффициентов и адекватности, которую проверяли с помощью критерия Фишера. Полученное значение расчетного критерия Фишера ( $F_p$ ) сравнивали с табличным ( $F_t$ ) в зависимости от числа степеней свободы для принятого уровня значимости. Модель считается адекватной, так как соблюдено условие:  $F_p < F_t$ .

Геометрические интерпретации экспериментально-статистических моделей основных физико-механических свойств фибробетона приведены на рисунках 1–3.

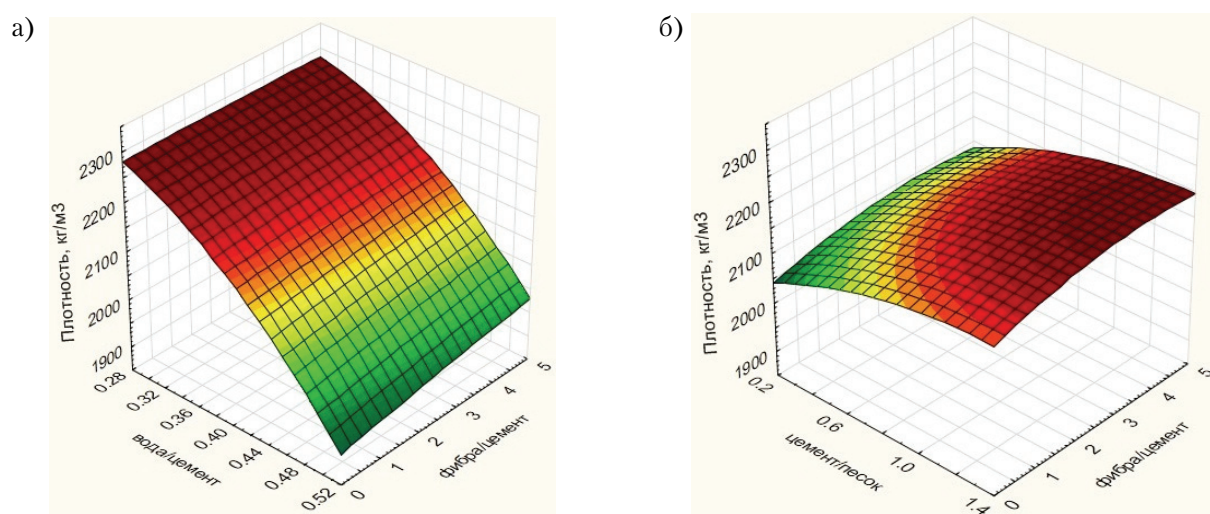
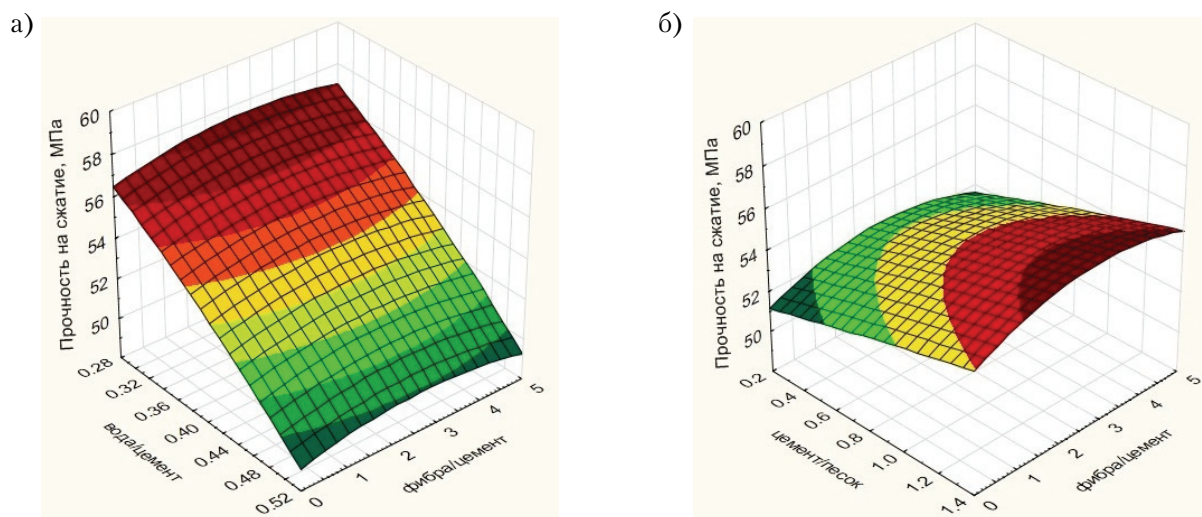
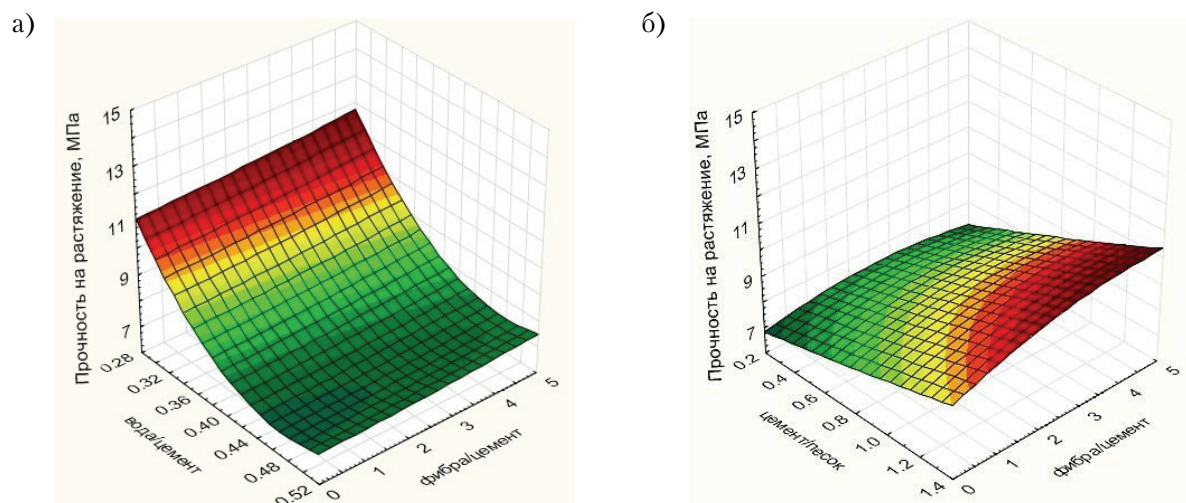


Рисунок 1 – Изоповерхности плотности фибробетона в возрасте 28-ми суток в зависимости от отношения:  
а) вода/цемент; б) цемент/песок.





**Рисунок 2** – Изоповерхности прочности при сжатии фибробетона в возрасте 28-ми суток в зависимости от отношения: а) вода/цемент; б) цемент/песок.



**Рисунок 3** – Изоповерхности прочности при растяжении на изгиб фибробетона в возрасте 28-ми суток в зависимости от отношения: а) вода/цемент; б) цемент/песок.

Как видно из рисунка 1 а, плотность фибробетона с увеличением содержания воды в цементе уменьшается (плотность не может сжиматься) от 2 280 кг/м<sup>3</sup> до 1 890 кг/м<sup>3</sup>, с увеличением содержания фибры до 4,5 % возрастает до 2 285 кг/м<sup>3</sup>. Содержание песка в цементе в меньшей степени влияет на плотность (рис. 1б). При росте отношения песок/цемент от 0,2 до 1,4 плотность изменяется всего на 2,5 %. Увеличение содержания фибры до 4,5 % приводит к росту плотности до 2 200 кг/м<sup>3</sup>.

Увеличение времени твердения бетона до 28 суток приводит к устойчивому росту прочности на сжатие в пределах 54...57 МПа при отношении вода/цемент 0,28...0,32 и фибра/цемент 1,5...4,5 % (рис. 2а). Следует отметить, что максимальную прочность материал имеет при отношении фибра/цемент 3 % и при отношении цемент/песок в пределах 1,00...1,32.

Прочность на растяжение при изгибе фибробетона в возрасте 28 суток растет с уменьшением отношения вода/цемент до 11 МПа, а в зависимости от содержания фибры в цементе увеличивается до 11,8 МПа (рис. 3а). Наибольшая прочность на растяжение при изгибе получена при содержании фибры в цементе 4,5 % и цемента в песке 1,32 (рис. 3б).

Следует отметить, что содержание воды в цементе и цемента в песке влияет на прочность фибробетона как при растяжении, так и при сжатии. В общем случае увеличение отношения вода/цемент

приводит к уменьшению плотности и прочностных свойств; увеличение отношения песок/цемент обеспечивает рост плотности и прочностных свойств. Содержание фибры в цементе в пределах 2,0...4,5 обеспечивает устойчивость прочности и плотности.

## ВЫВОДЫ

Методом трехфакторного планирования эксперимента получены уравнения регрессии, описывающие зависимости физико-механических свойств от состава фибробетона. Построены изоповерхности плотности, прочности при сжатии и прочности на растяжение при изгибе в возрасте 28-ми суток твердения фибробетона. Содержание воды в цементе и песка в цементе влияют на прочность фибробетона при сжатии и растяжении. В общем случае увеличение содержания воды в цементе приводит к снижению плотности и прочностных свойств; увеличение содержания песка в цементе обеспечивает увеличение плотности и прочностных свойств. Для повышения прочностных свойств бетона рекомендуется содержание фибры в цементе в пределах 2,0...4,5 %, что обеспечивает стабильность прочности и плотность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михеев, Н. М. К вопросу о классификации стальных фибр для дисперсного армирования бетонов [Текст] / Н. М. Михеев, К. В. Талантова // Бетон и железобетон. – 2003. – № 2. – С. 9–11.
2. Талантова, К. В. Создание элементов конструкций с заданными свойствами на основе сталефибробетонов [Текст] / К. В. Талантова // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 2008. – № 10. – С. 4–9.
3. Волков, И. В. Фибробетон: состояние и перспективы применения [Текст] / И. В. Волков // Промышленное и гражданское строительство. – 2002. – № 8. – С. 37–38.
4. Schmidt, M. Ultra-Hochfester Beton: Perspektive für die Betonfertigteileindustrie [Текст] / M. Schmidt // Betonwerk+Fertigteil-Technik. – 2003. – № 3. – С. 16–29.
5. Буров, Ю. С. Технология строительных материалов и изделий [Текст] / Ю. С. Буров. – М. : Высшая школа, 1972. – 464 с.
6. Бутт, Ю. М. Технология вяжущих веществ [Текст] / Ю. М. Бутт, С. Д. Окорочков, М. М. Сычев [и др.]. – М. : Высшая школа, 1965. – 619 с.
7. Рябичева, Л. А. Использование отходов шлифования автомобильных клапанов в строительных материалах ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении [Текст] / Л. А. Рябичева, В. В. Засько // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением в машиностроении : Сб. науч. трудов. – 2016. – № 2(17). – С. 186–192.
8. Адлер, Ю. П. Введение в планирование эксперимента [Текст] / Ю. П. Адлер. – М. : Металлургия, 1969. – 159 с.

Получено 09.01.2017

## Л. О. РЯБИЧЕВА, В. В. ЗАСЬКО, Л. М. ПОЙДА АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФІБРОБЕТОНУ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Луганський національний університет імені Володимира Даля

**Анотація.** З ростом центрального композиційного ортогонального плану повного факторного експерименту виконано аналіз впливу складу фибробетону на його фізико-механічні властивості. Фібру отримано із шліфувальних відходів жароміцної сталі. Математичною моделлю є функції, які пов'язують параметри оптимізації: щільність, міцність при стисканні, при розтягу на згинанні зі складом фибробетону. Підвищення кількості води у цементі приводить до зменшення щільності та міцності; збільшення кількості піску у цементі забезпечує збільшення підвищення щільності та міцності. Збільшення кількості фибри до 4,5 % приводить до поліпшення якості фибробетону. Для збільшення міцності бетону рекомендується масова концентрація фибри у цементі 2,0...4,5 %, що забезпечує запропоновану міцність та щільність.

**Ключові слова:** фибробетон, міцність при стисканні, міцність при розтягу на згинанні, щільність, відношення води і цементу, а також піску і цементу.

LYUDMULA RYABICHEVA, VITALI ZACKO, LEONID POIDA  
ANALYSIS OF QUALITY OF FIBROUS CONCRETE BY METHOD OF  
MATHEMATICAL PLANNING OF EXPERIMENT

Vladimir Dahl Lugansk National University

**Abstract.** With orthogonal central composite plan of full factorial experiment it has been analyzed the effect of fiber-reinforced concrete structure on its physical and mechanical properties. Fiber has been obtained from the grinding of waste heat resistant steel. The mathematical model of the process is a function of linking optimization parameters: density, compressive strength, tensile bending with the composition of fiber-reinforced concrete. It has been found out an increase in water content of the cement mixing reduces the density and strength properties; increase in the content of sand in the cement provides a growth density and strength properties. Increasing concentration to 4,5 % fiber results in an improved quality of fiber-reinforced concrete. To increase the strength properties of the concrete it has been recommended the fibers content in the cement in the range of 2,0...4,5 %, which ensures the stability of the strength and density.

**Key words:** fibrous concrete, the compressive strength, tensile strength in bending, a density ratio of water and cement, and sand and cement.

**Рябичева Людмила Александровна** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения и строительства Луганского национального университета имени Владимира Даля. Научные интересы: получение новых материалов со специальными свойствами из отходов промышленности.

**Засько Виталий Васильевич** – старший преподаватель кафедры материаловедения и строительства Луганского национального университета имени Владимира Даля. Научные интересы: перспективные строительные материалы.

**Пойда Леонид Николаевич** – старший преподаватель кафедры материаловедения и строительства Луганского национального университета имени Владимира Даля. Научные интересы: компьютерное моделирование строительных изделий, расчеты на прочность.

**Рябичева Людмила Олександрівна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри матеріалознавства і будівництва Луганського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: одержання нових матеріалів зі спеціальними властивостями із відходів промисловості.

**Засько Віталій Васильович** – старший викладач кафедри матеріалознавства і будівництва Луганського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: перспективні будівельні матеріали.

**Пойда Леонид Миколайович** – старший викладач кафедри матеріалознавства і будівництва Луганського національного університету імені Володимира Даля. Наукові інтереси: комп'ютерне моделювання будівельних виробів, розрахунки на міцність.

**Ryabicheva Lyudmula** – D.Sc. (Eng), Associate Professor, Head of the Material and Civil Engineering Department, Vladimir Dahl Lugansk National University. Scientific interest: receiving new materials with special properties from waste of the industry.

**Zacko Vitali** – senior teacher, Material and Civil Engineering Department, Vladimir Dahl Lugansk National University. Scientific interest: perspective construction material.

**Poyda Leonid** – senior teacher, Material and Civil Engineering Department, Vladimir Dahl Lugansk National University. Scientific interest: computer modeling of construction products, calculations on durability.

УДК 669.018.046:621.74.047

**В. В. БЕЛОУСОВ<sup>а</sup>, А. Я. БАБАНИН<sup>б</sup>**<sup>а</sup> ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», <sup>б</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»**ОСОБЕННОСТИ ПОТОЧНОГО УДАЛЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
ВКЛЮЧЕНИЙ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ  
МНЛЗ**

**Аннотация.** Методом численного моделирования выполнены исследования движения неметаллических включений в виде алюмината кальция химического состава  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  в циркуляционных потоках в промежуточном ковше МНЛЗ в зависимости от их радиуса. Установлено, что для удаления НВ диаметром 100–30 мкм достаточно организовать восходящие потоки, а для удаления включений диаметром менее 30 мкм необходимо применять дополнительные устройства для продувки металла аргоном через пористую вставку.

**Ключевые слова:** конструкционные стали, неметаллические включения, численное моделирование, алюминаты кальция.

Современные требования к повышению качества конструкционных сталей, применяемых в гражданском и промышленном строительстве, машино- и автомобилестроении, судостроении, обуславливают необходимость повышения чистоты металла по неметаллическим включениям (НВ). Окончательным технологическим звеном, позволяющим осуществить их удаление, является промежуточный ковш машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [1]. Поэтому исследование влияния гидродинамических потоков металла в промежуточном ковше на удаление НВ является актуальной задачей.

Исследования проводили методом численного моделирования. Приняты следующие допущения:

- в процессе поточного рафинирования во включении не происходят никаких термодинамических, физических и химических процессов, оказывающих влияние на их движение;
- в связи с малыми размерами и массой включений, коллективная составляющая диффузионной скорости их движения не оказывают влияние на гидродинамические процессы.

Для оценки движения НВ в циркуляционных потоках применяли критерий Ричардсона ( $Ri$ ), который равен отношению потенциальной энергии тела, погружённого в жидкость к его кинетической энергии:

$$Ri = \frac{(\rho_0 - \rho_\beta) \bar{g} x}{\rho_\beta v^2} \quad \text{или} \quad Ri = \frac{Ar}{Re^2}, \quad (1)$$

где  $\rho_0$  – плотность жидкости;  
 $\rho_\beta$  – плотность НВ;  
 $\bar{g}$  – ускорение свободного падения;  
 $x$  – радиус НВ;  
 $v$  – скорость движения циркуляционного потока.

Если число Ричардсона меньше единицы, то сила Архимеда ( $Ar$ ) не играет существенной роли для течения. Если оно больше единицы, то сила плавучести доминирует (в том смысле, что конвекция не может эффективно перемешать расслоившуюся по плотности среду).

Исследования проводились для неметаллических включений с плотностью  $\rho_\beta = 3032 \text{ кг/м}^3$  и радиусами включений: 5, 10, 15 и 20 мкм. Перечисленные параметры необходимы для определения числа

Архимеда ( $Ar$ ), которое характеризует движение тел во внешней среде (жидкость или газ), возникающее вследствие неоднородности плотности в системе «тело – внешняя среда» [2]:

$$Ar = \frac{\bar{g}x^3(\rho_0 - \rho_\beta)}{\rho_0\nu^2}. \quad (2)$$

Для определения критерия Рейнольдса ( $Re$ ), характеризующего отношение динамических сил к вязкостным:

$$Re = \frac{vx}{\nu}, \quad (3)$$

необходимо знать скорость движения НВ. Для этого определяется диффузионная скорость движения НВ, согласно закону Стокса характеризующая движение НВ в неподвижной среде:

$$\bar{w} = \frac{2x^2\bar{g}(\rho_0 - \rho_\beta)}{9\mu}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость среды.

Тогда коллективная скорость движения НВ относительно расплава задается формулой:

$$\bar{v} = (1 - k\alpha)\bar{w} + k\alpha\bar{V}, \quad (5)$$

где  $v$  и  $V$  – относительная скорость НВ и скорость расплава соответственно;  
 $k \in [0, 1]$  – эмпирический коэффициент захвата, который определяет долю частицы, захваченной газовой фазой. Очевидно, чем он больше, тем меньше частица;  
 $\alpha$  – газовая фаза, распределение которой описывалось в работе [3]. Максимальная скорость движения расплава в ПК, согласно расчетам проведенных в работе [4] составляет 0,44 м/с (расчеты проводились для 43-тонного ПК МК Азовсталь).

В противовес силам плавучести на НВ действует гидродинамическое сопротивление, которое зависит от формы тела, скорости потока и чисел подобия:

$$\chi = c_v \frac{\rho_0 v^2}{2} S, \quad (6)$$

где  $c_v$  – безразмерный коэффициент сопротивления, зависящий от подобия критериев – Рейнольдса [5];  
 $S$  – характерная для данного тела площадь.

Результаты расчетов указанных величин сведены в таблицу 1.

**Таблица 1** – Результаты расчетов

Радиус НВ, м	$Ar$	$\chi$ , н/м <sup>2</sup>	$\bar{w}$ , м/с	$\bar{V}$ , м/с	$Re$	$Ri$
0,000005	0,0007075	0,017584	$3,14 \cdot 10^{-06}$	0,3998	1,999	0,000177052
0,000010	0,00566	0,035168	$1,26 \cdot 10^{-05}$	0,3996	3,996	0,000354459
0,000015	0,0191025	0,052752	$2,83 \cdot 10^{-05}$	0,3994	5,991001	0,00053222
0,000020	0,04528	0,070336	$5,03 \cdot 10^{-05}$	0,3992	7,984002	0,000710338

Как видно, чем меньше коэффициент гидродинамического сопротивления ( $\chi$ ), тем больше включение структурировано в гидродинамический поток. С ростом радиуса НВ, критерий плавучести ( $Ar$ ) растет в параболической зависимости, гидродинамическое сопротивление – почти линейно. Кроме того, силы плавучести ( $Ar$ ) не влияют существенно на движение НВ к области шлака. Однако влияние конвекции (кинетической энергии, которую характеризует критерий  $Re^2$ ) для НВ с малым радиусом не существенно.

Это подтверждают графические зависимости, представленные на рисунках 1 и 2.

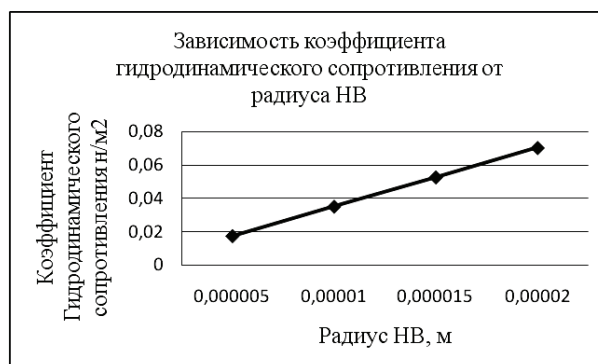
Таким образом, силы плавучести с увеличением радиуса частицы значительно вырастают, то гидродинамическое сопротивление растет несущественно. А это значит, что попав в восходящий поток, частица малого радиуса может всплывать, а в нисходящем потоке – увлекаться в нижние слои расплава.

Если число Ричардсона меньше единицы, то сила Архимеда ( $Ar$ ) не играет существенной роли для течения. Если оно больше единицы, то сила плавучести доминирует (в том смысле, что конвекция не

может эффективно перемешать расслоившуюся по плотности среду). Если рассчитать этот критерий для НВ, то получается следующая картина (таблица 2).



**Рисунок 1** – Зависимость числа Архимеда от радиуса НВ.



**Рисунок 2** – Зависимость коэффициента гидродинамического сопротивления от радиуса НВ.

**Таблица 2** – Зависимость критерия Ричардсона от радиуса НВ

Радиус НВ, м	Критерий Рейнольдса	Критерий Ричардсона
0,000005	1,999	0,000177052
0,00001	3,996	0,000354459
0,000015	5,991001	0,00053222
0,00002	7,984002	0,000710338

Понятно, что силы плавучести не играют существенной роли в движении НВ в область шлака. Однако, наименьшее влияние конвекции (кинетической энергии) имеет место у НВ с малым радиусом. Что же касается коллективной скорости движения НВ, то при увеличении радиуса НВ в 2 раза, скорость уменьшается на 0,6 %. В таблице 1 представлена зависимость коллективной скорости движения НВ от радиуса:

Установлено, что силы плавучести с увеличением радиуса частицы значительно вырастают, а гидродинамическое сопротивление растет несущественно и попав в восходящий поток, частица малого радиуса может всплывать, а в нисходящем потоке – увлекаться в нижние слои расплава, т. е. оставаться в потоке. Для удаления НВ диаметром 100–30 мкм достаточно организовать восходящие потоки, а для удаления включений диаметром менее 30 мкм, необходимо применять продувку металла аргоном через пористую вставку. Полученные результаты применялись в условиях конвертерного цеха ПАО МК «Азовсталь».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Контроль неметаллических включений – ключевая проблема современной металлургии и материаловедение стали и сплавов железа [Текст] / А. И. Зайцев, И. Г. Родионова, А. А. Немтинов [и др.] // Проблемы черной металлургии и материаловедение. – 2007. – № 1. – С. 11–23.
2. Bloom, F. Mathematical Modeling of the Flotation Deinking Process [Текст] / F. Bloom, T. J. Heindel // Mathematical and Computer Modeling. – 1997. – V. 25, Issue 5, March. – P. 13–58.
3. Белоусов, В. В. Затвердевание металлов и металлических композиций [Текст] : Учебник / В. В. Белоусов, Ф. В. Недопекин, В. Е. Хрычиков, В. А. Лейбензон [и др.]. – Киев : Наукова думка, 2009. – 412 с.
4. Белоусов, В. В. Численное моделирование процессов перемешивания при продувке ванны агрегата «ковш-печь» [Текст] / В. В. Белоусов, В. Ф. Комаров, Е. И. Куликов // Математичне моделювання. – 2007. – № 2 (17). – С. 61–63.
5. Белоусов, В. В. Роль турбулентности в процессах непрерывного рафинирования стали в ванне промежуточного ковша МНЛЗ [Текст] / В. В. Белоусов // Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях : Сб. научн. тр. / под ред. А. Н. Смирнова. – Донецк : Ноулидж, 2013. – С. 157–161.

Получено 09.01.2017

В. В. БІЛОУСОВ <sup>a</sup>, А. Я. БАБАНИН <sup>b</sup>

### ОСОБЛИВОСТІ ПОТОЧНОГО ВИДАЛЕННЯ НЕМЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ МАЛИХ РОЗМІРІВ В ПРОМІЖНОМУ КОВШІ МБЛЗ

<sup>a</sup> ДОУ ВПО «Донецький національний університет», <sup>b</sup> ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Методом чисельного моделювання виконані дослідження руху неметалічних включень у вигляді алюмінату кальцію хімічного складу  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  в циркуляційних потоках в проміжному ковші МБЛЗ в залежності від їх радіусу. Встановлено, що для видалення НВ діаметром 100–30 мкм досить організувати висхідні потоки, а для видалення включень діаметром менше 30 мкм необхідно застосовувати додаткові пристрої для продувки металу аргоном через пористу вставку.

**Ключові слова:** конструкційні сталі, неметалеві включення, чисельне моделювання, алюмінати кальцію.

VYACHESLAV BILOUSOV <sup>a</sup>, ANATOLY BABANIN <sup>b</sup>

### FEATURES OF THIS REMOVAL OF NONMETALLIC INCLUSIONS OF SMALL SIZE IN THE TUNDISH LADLE OF CONTINUOUS CASTING MACHINE

<sup>a</sup> Donetsk National University, <sup>b</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** By the method of numerical simulations it has been carried out the investigations of nonmetallic inclusions (NMI) in the form of calcium aluminates composition  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  in the circulation flow in the intermediate ladle caster according to their radius. It has been found out that to remove NMI 100–30 micron diameter sufficiently organize updrafts, and to remove particles with a diameter less than 30 microns it is necessary to use additional devices for blowing argon through the porous metal insert.

**Key words:** constructional steel, nonmetallic inclusions, numerical simulation, calcium aluminates.

**Белоусов Вячеслав Владимирович** – доктор технических наук, заведующий кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии ГОУ ВПО. Научные интересы: математическое моделирование гидродинамических и тепломассобменных процессов в металлургических изделиях.

**Бабанин Анатолий Яковлевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей, технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: конструкционные трубные стали для производства труб большого диаметра магистральных газо- нефтепроводов.

**Білоусов Вячеслав Володимирович** – доктор технічних наук, завідувач кафедри фізики нерівноважних процесів, метрології та екології ДОНУ ВПО. Наукові інтереси: математичне моделювання гідродинамічних і тепломассобмінних процесів в металургійних виробках.

**Бабанін Анатолій Якович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, технологічних машин та обладнання ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: конструкційні трубні сталі для виробництва труб великого діаметру магістральних газо-нафтопроводів.

**Bilousov Vyacheslav** – D.Sc. (Eng.), Professor, the Head of the Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology Department, Donetsk National University. Scientific interests: mathematical modeling of hydrodynamic and heat and mass processes in metallurgical products.

**Babanin Anatoly** – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Technical Maintenance and Service of Cars and Technological Machines and Equipment Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: structural steel pipes for the production of large-diameter pipes for main gas and oil pipelines.



УДК 666.974.2

**А. Н. ЕФРЕМОВ, М. С. АЛЕКСЕЕВ, Д. Ю. БУКИНА, Д. С. КОВАЛЕВ, Д. В. РОСИК**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ КВАРЦЕВОГО ПЕСКА В БЕТОНАХ  
ОТСЕВАМИ КАМНЕДРОБЛЕНИЯ И ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСЬЮ  
ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**Аннотация.** Исследовано влияние содержания фракции 0–0,16 мм на подвижность смесей и прочность обычных бетонов с использованием мелкого заполнителя из золошлаковой смеси, отсевов гранита и известняка. Установлена целесообразность замены кварцевого песка золошлаковой смесью, отсевами гранита и известняка фракции 0–2,5 мм. Показано, что содержание в отсевах до 10 % фракции 0–0,16 мм повышает, а до 20 % не снижает прочность бетонов.

**Ключевые слова:** мелкий заполнитель бетонов, золошлаковая смесь, отсевы гранита и известняка, подвижность смесей и прочность бетонов.

**ВВЕДЕНИЕ**

В Донецкой области отсутствуют месторождения качественного кварцевого песка для бетонов. Доступный в настоящее время песок, например, Ясиноватского карьера очень мелкий, с модулем крупности – Мк менее 1. К тому же, в песке содержится до 10 % пылеватых и глинистых примесей. Песок можно отнести к монофракционному (более 90 % фр. 0,16–0,315 мм), что предопределяет его высокую межзерновую пустотность, а значит, при прочих равных условиях, и повышенный расход цемента в бетонах и строительных растворах [1].

В то же время Донецкая область располагает практически неограниченными запасами техногенного сырья песчаной фракции, использование которого для бетонов допускается действующими стандартами [2, 3]. К ним в первую очередь можно отнести отсеvy камнедробления и золошлаковые смеси ТЭС. Так, только на Зуевской и Старобешевской тепловых электростанциях выход золошлаковых смесей составляет соответственно: 1,52 (15 % шлака) и 0,72 (28,5 %) миллиона тонн в год.

При производстве металлургических известняка и доломита на Докучаевском флюсо-доломитном комбинате и Комсомольском рудоуправлении в советское время ежегодно в отвалы подавалось около 3 млн. тонн некондиционной щебенисто-песчаной смеси фракции 0–5 мм и более.

Донецкая область располагала мощными дробильно-сортировочными предприятиями по производству щебня для бетонов из гранита, песчаника. Годовой выход некондиционных отсевов фр. 0–5 мм, складываемых в отвалы, только на ПО «Донецкнерудпром» в конце 80-х годов составлял более 5 млн тонн.

Характерной особенностью указанного техногенного сырья является нестабильность состава и в первую очередь содержание пылевой фракции. Именно эта фракция влияет на водопотребность бетонных смесей, здесь сконцентрированы примеси, посторонние по химическому составу к основному материалу. Влияние этих примесей на технологические и механические свойства портландцемента и бетона изучены недостаточно.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Установить закономерности влияния зернового состава золошлаковой смеси, отсевов известняка и гранита на технологические и эксплуатационные свойства бетонов на основе портландцемента.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях в качестве песчаного сырья применялись золошлаковая смесь Зуевской ТЭС, отсеvy гранита Тельмановского карьера и известняка Комсомольского рудоправления. Для сравнения в качестве мелкого заполнителя применялся вольский кварцевый песок. Зерновой состав использованного сырья приведен в таблице 1. Исследования проводились по стандартным методикам [4–6].

Таблица 1 – Зерновой состав материалов

Материал	Вид остатка	Остаток ( %) на ситах с ячейкой, мм							Мк
		5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	дно	
Кварцевый песок	Частный фр. 0–5 мм	0	0	6,2	76,8	16,3	0,5	0,2	–
	Полный фр. 0–5 мм	–	–	6,2	83,0	96,3	96,8	–	2,82
Золошлак ТЭС	Частный фр. 5–10мм	11,5	26,6	16,9	7,2	12,3	9,2	16,3	–
	Частный фр. 0–5 мм	–	30,0	19,1	8,1	13,9	10,4	18,5	–
	Полный фр. 0–5 мм	–	30,0	49,1	57,2	71,1	81,5	–	2,89
	Частный фр. 0–2,5 мм	–	–	27,3	11,6	19,8	14,9	26,4	–
	Полный фр. 0–2,5 мм	–	–	27,3	38,9	58,7	73,6	–	1,98
Отсев известняка	Частный фр. 0–20 мм	20,8	28,4	20,1	6,5	9,7	6,8	7,7	–
	Частный фр. 0–5 мм	–	35,8	25,4	8,3	12,2	8,6	9,7	–
	Полный фр. 0–5 мм	–	35,8	61,2	69,5	81,7	90,3	–	3,40
	Частный фр. 0–2,5 мм	–	–	39,6	12,9	19,0	13,4	15,1	–
	Полный фр. 0–2,5 мм	–	–	39,6	52,5	71,5	84,9	–	2,48
Отсев гранита	Частный фр. 0–20 мм	4,2	37,4	16,0	9,1	15,6	13,4	4,2	–
	Частный фр. 0–5 мм	–	39,0	16,7	9,5	16,3	14,0	4,5	–
	Полный фр. 0–5 мм	–	39,0	55,7	65,2	81,5	95,5	–	3,37
	Частный фр. 0–2,5 мм	–	–	27,4	15,6	26,7	22,9	7,4	–
	Полный фр. 0–2,5 мм	–	–	27,4	43,0	69,7	92,6	–	2,33

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ приведенных данных показывает, что кварцевый песок и золошлаковая смесь характеризуются зерновым составом, близким к оптимальному для бетонов. Песчаные фракции 0–5 мм отсеvов гранита и известняка содержат значительное количество зерен 2,5–5,0 мм и по модулю крупности относятся к пескам повышенной крупности.

Если же фракцию 2,5–5,0 мм отнести к крупному заполнителю, то фракции 0–2,5 мм обоих отсеvов будут характеризоваться оптимальным модулем крупности, т. е. оптимальным зерновым составом.

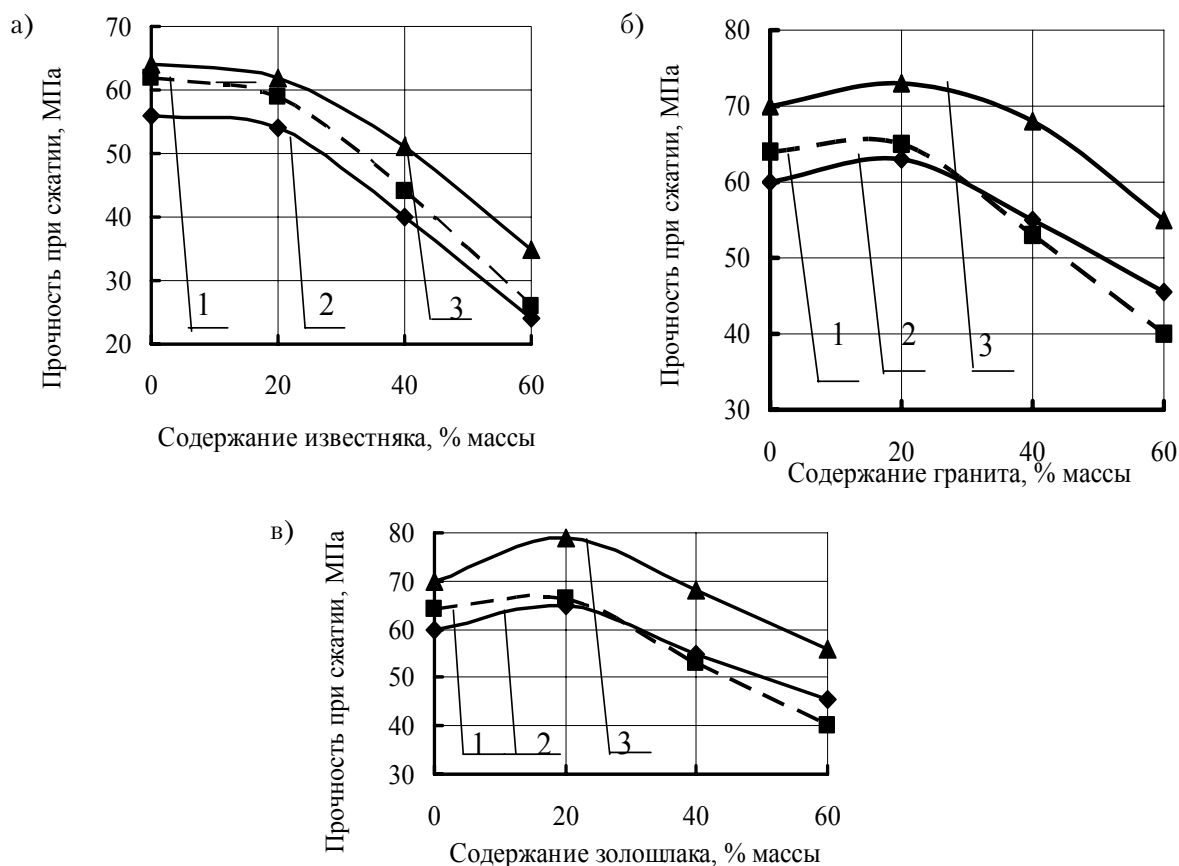
Изучены основные физико-механические свойства песчаной и щебенистой фракций отсеvов камнедробления и золошлака ТЭС. Показатели этих свойств приведены в таблице 2. Их анализ показывает, что они типичны для этих материалов, а щебенистые фракции могут быть использованы для получения бетонов классов В40 или марок М500 и выше [7].

Таблица 2 – Физико-механические свойства материалов

Материал	Фракция, мм	Дробимость, % (марка)	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		Межзерновая пустотность
			насыпная	зерновая	
Известняк	10–20	13,6 (800)	1350	2420	0,44
	5–10	13,1 (800)	1355	2420	0,44
	0–2,5	–	1365	2425	0,44
Гранит	5–10	12,8 (1200)	1390	2640	0,47
	0–2,5	–	1420	2640	0,46
Золошлак ТЭС	5–10	17,7 (1000)	1390	2050	0,33
	0–2,5	–	1456	2110	0,31

Исследовано влияние содержания пылеватых фракций на активность и прочность камня портландцемента ПЦ I, твердеющего в нормальных условиях, при пропаривании и автоклавировании (рисунок 1). Эти результаты свидетельствуют о том, что добавка 20 % дисперсного известняка от массы смешанного вяжущего практически не изменяют активность портландцемента при всех условиях

твердения. При дальнейшем повышении содержания пылевой фракции известняка происходит прямо пропорциональное снижение прочности цементного камня. Однако при введении в портландцемент 40 % известняка образцы сохраняют 70–80 % прочности.



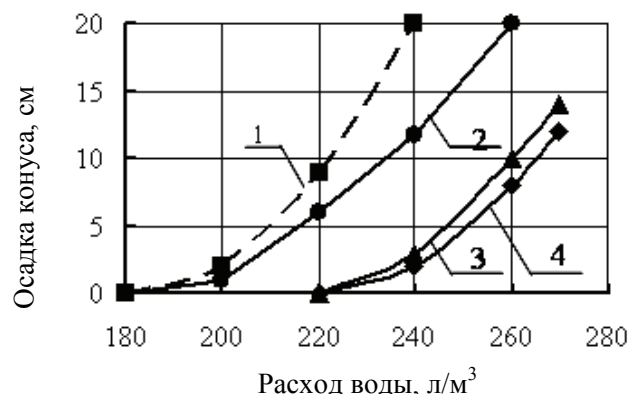
**Рисунок 1** – Влияние содержания пылевых добавок фракции менее 0,16 мм на прочность цементного камня после: 1 – нормального твердения; 2 – пропаривания; 3 – автоклавирования.

Введение 20 % пылевого гранита при всех условиях твердения увеличивает активность цемента на 4–5 %, а при дальнейшем повышении содержания добавки до 40 % сохраняет 83–97 % прочности бездобавочного цементного камня. Причем остаточная прочность тем выше, чем выше температура твердения образцов, что свидетельствует о химической активности пылевого гранита.

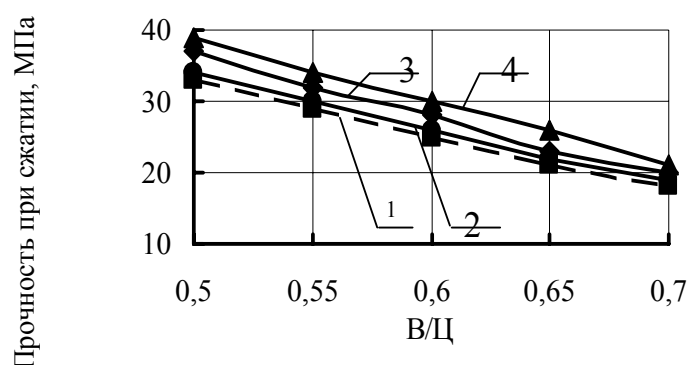
Еще более высокую пуццолановую активность проявляет пылевая фракция золошлака ТЭС. Так, при введении 20 % тонкодисперсного золошлака активность смешанного вяжущего увеличивается на 4–13 %, максимально при автоклавной обработке. При дальнейшем увеличении содержания добавки происходит практически прямо пропорциональный сброс прочности образцов, но они сохраняют после нормального твердения, пропаривания и автоклавирования соответственно: 83, 92 и 97 % прочности при содержании 40 % золошлака и 63, 76 и 79 % при его введении в количестве 60 %.

Проведены сравнительные исследования зависимости подвижности бетонных смесей на техногенных песках и кварцевом песке (рисунок 2). Установлено, что бетонные смеси на известковом и гранитном отсевах имеют примерно одинаковую подвижность при одинаковом расходе воды.

Однако, по сравнению с кварцевым песком, для получения смесей с одинаковой подвижностью при использовании отсевов расход воды должен быть увеличен на 30–40 литров, т. е. примерно на 15–20 %. Такое различие, наиболее вероятно, можно объяснить тем, что отсева имеют зерна угловатой формы в отличие от частиц песка с гладкой, окатанной поверхностью. Поэтому межзерновое трение между частицами отсевов выше, а подвижность бетонных смесей, при прочих равных условиях, ниже. Зависимости прочности бетонов на всех видах мелкого заполнителя от водоцементного отношения сохраняют прямолинейный характер (рисунок 3). При одинаковом В/Ц бетоны на техногенных мелких заполнителях имеют на 5–20 более высокую прочность.



**Рисунок 2** – Зависимость подвижности бетонной смеси от расхода воды и вида мелкого заполнителя:  
1 – кварцевый песок; 2 – золошлак ТЭС; 3 – известняк 0–2,5 мм; 4 – гранит 0–2,5 мм.



**Рисунок 3** – Зависимость прочности бетонов при сжатии от В/Ц бетонной смеси и вида мелкого заполнителя:  
1 – кварцевый песок; 2 – гранит 0–2,5 мм; 3 – известняк 0–2,5 мм; 4 – золошлак 0–2,5 мм.

### ВЫВОДЫ

- дефицитный качественный кварцевый песок можно заменить техногенным сырьем Донбасса песчаной фракции;
- при учете особенностей и контроле качества на основе этого сырья можно получать бетоны марок до 500 и выше.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю. М. Технология бетона [Текст] / Ю. М. Баженов. – М. : АСВ, 2007. – 524 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-210:2010. Пісок з відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови [Текст]. – На заміну ДСТУ Б В.2.7-210:2009 ; чинні з 29.11.2010. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 13 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-211:2009. Суміші золошлакові теплових електростанцій для бетонів. Технічні умови [Текст]. – Уведено вперше (зі скасуванням в Україні ГОСТ 25592-91) ; чинний від 2010-09-01. – К. : Укрархбудінформ, 2000. – 12 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-232:2010. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань [Текст]. – Введ. вперше (зі скасуванням ГОСТ 8735-88) ; чинні з 05.05.2010. – К. : Мінрегіонбуд, 2010. – 44 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-114:2002 (ГОСТ 10181-2000). Суміші бетонні. Методи випробувань [Текст]. – На заміну ГОСТ 10181.0-81 – ГОСТ 10181.0-81 ; введ. 31.01.2002. – К. : Держкомітет архітектури, будівництва і житлової політики України, 2002. – 28 с.
6. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками [Текст]. – Уведено вперше (зі скасуванням в Україні ГОСТ 10180-90) ; чинний від 2010-09-01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 43 с.
7. ДСТУ Б В.2.7-43-96. Бетони важкі. Технічні умови [Текст]. – Уведено вперше ; чинний від 1997-01-01. – К. : Держкомістобудування України, 1997. – 21 с.

Получено 09.01.2017

О. М. ЄФРЕМОВ, М. С. ОЛЕКСІЄВ, Д. Ю. БУКІНА, Д. С. КОВАЛЬОВ, Д. В. РОСІК  
ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ЗАМІНИ КВАРЦОВОГО ПІСКУ У БЕТОНАХ  
ЗОЛОШЛАКОВОЮ СУМІШШЮ, ВІДСІВАМИ ГРАНІТУ ТА ВАПНЯКУ  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Досліджено вплив вмісту фракції 0–0,16 мм на рухливість сумішей і міцність звичайних бетонів з використанням дрібного заповнювача зі золошлакової суміші, відсівів граніту та вапняку. Встановлено доцільність заміни кварцового піску золошлаковою сумішшю, відсівами граніту фракції 0–2,5 мм. Показано, що вміст у відсівах до 10 % фракції 0–0,16 мм підвищує, а до 20 % не знижує міцність бетонів.

**Ключові слова:** дрібний заповнювач бетонів, золошлакова суміш, відсіви граніту та вапняку, рухливість сумішей та міцність бетонів.

ALEXANDER YEFREMOV, MAXIM AKEKSEEV, DAREY BUKINA,  
DENIS KOVALEV, DENIS ROSIK  
CASTING OF POSSIBILITY OF REPLACEMENT OF QUARTZ SAND IN  
CONCRETES MIXE OF FLY-ASH AND SLAG OF THERMAL PLANTS,  
SCREENING OF GRANITE AND LIMESTONE  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Influence of the maintenance of fraction of 0–0,16 mm on mobility of mixes and strength of usual concrete with use of a small filler from mixe of fly-ash and slag of thermal plants, screening of granite and limestone are investigated. The expediency of replacement to quartz sand by fraction of 0–2,5 mm of fly-ash and slag of thermal plants, screening of granite and limestone are establish. It are show that the maintenance in screening to 10 % raised fractions of 0–0,16 mm, and to 20 % did not reduce strength of concrete.

**Key words:** a small filler of concrete, mixe of fly-ash and slag of thermal plants, screening of granite and limestone, mobility of mixes and durability of concrete.

**Ефремов Александр Николаевич** – доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, огнестойкие бетоны.

**Алексеев Максим Сергеевич** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе промышленных отходов.

**Букина Дарья Юрьевна** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе промышленных отходов.

**Ковалев Денис Сергеевич** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе промышленных отходов.

**Росик Денис Сергеевич** – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе промышленных отходов.

**Єфремов Олександр Миколайович** – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів, вогнетривкі бетони.

**Олексієв Максим Сергійович** – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони на основі промислових відходів.

**Букіна Дар'я Юріївна** – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони на основі промислових відходів.

**Ковальов Денис Сергійович** – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони на основі промислових відходів.

**Росік Денис Віталійович** – магістрант ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони на основі промислових відходів.

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

**Alekseev Maxim** – graduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

**Bukina Darey** – graduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

**Kovalev Denis** – graduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

**Rosik Denis** – graduate student of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

УДК 624.131.23, 624.131.4, 624.138.4

**А. В. ПИСАРЕНКО, В. И. БРАТЧУН**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЗАКРЕПЛЯЮЩЕГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ  
АКТИВНОЙ КРЕМНИЕВОЙ КИСЛОТЫ И ПОЛИАКРИЛАМИДА ДЛЯ  
УСИЛЕНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТОВ**

**Аннотация.** В статье рассматривается устранение просадочных свойств и улучшение механических свойств грунтов закреплением силоксановыми структурами. Выполнен подбор оптимального состава закрепляющего раствора на основе активной кремниевой кислоты и полиакриламида. Приведены характеристики показателей качества просадочного грунта при его взаимодействии с разработанным составом, а также в сравнении с жидким стеклом.

**Ключевые слова:** просадочные грунты, силоксановые структуры, активная кремниевая кислота.

**ПОСТАНОВКА НАУЧНОЙ ПРИКЛАДНОЙ ЗАДАЧИ**

Просадочные грунты широко распространены на территории России и Украины. Неравномерность деформаций основания просадочных грунтов, как правило, требует применения мероприятий, обеспечивающих нормативные условия эксплуатации строительных объектов. В соответствии с действующими нормативными документами [1, 2] одним из приоритетных направлений защиты зданий на просадочных грунтах является устранение просадочных свойств грунта его уплотнением, закреплением и т. д. Методы механического уплотнения, как правило, связаны с динамическим воздействием на грунт и соответственно имеют ограниченную область применения. В условиях плотной городской застройки, реконструкции или при восстановлении эксплуатационной пригодности поврежденных зданий гораздо большее распространение получили способы инъекционного закрепления различными растворами. При этом в указанных выше условиях имеются определенные ограничения в доступе к основанию существующих фундаментов, особенно если закрепление выполняется без остановки технологических процессов, происходящих в здании. В связи с этим актуальным является минимизация количества точек инъекций, которой можно добиться путем увеличения радиуса распространения инъекционного раствора в грунтовом массиве.

**Целью работы является** обоснование и разработка состава закрепляющего раствора для улучшения строительных свойств грунтов оснований, обеспечивающего большую проникающую способность по сравнению с традиционными рецептурами.

**ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

При рассмотрении процесса инъекционного закрепления грунтов следует различать физические особенности введения и распространения инъекционных растворов в процессе нагнетания и механизма формирования закрепленного грунта. Физические особенности инъекционного процесса определяются дисперсностью и реологическими свойствами инъекционных растворов, а также характером проницаемости грунтов. Знание соответствующих параметров дает возможность с той или иной степенью достоверности определять область применения конкретного раствора, виды оборудования и технологии подготовки и введения растворов в грунт.

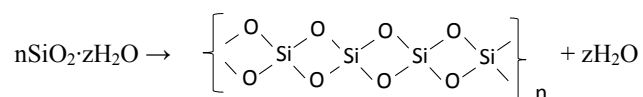
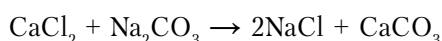
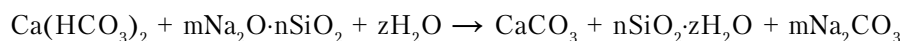
В настоящее время для закрепления просадочных грунтов, как правило, используется однорастворная или двухрастворная силикатизация, в которой в качестве основного инъекционного раствора

используется водный раствор силиката натрия или жидкого стекла ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ). Раствор подается в иньектор под давлением 10–15 атмосфер на глубину до 15–20 м. При этом упрочненная зона создается вокруг иньектора радиусом 0,4–1,0 м в зависимости от коэффициента фильтрации грунта.

При обводнении грунта, обусловленном паводком, разрушением водопроводных коммуникаций, для защиты зданий и сооружений целесообразно использовать эффект Томса.

В этом случае более предпочтительно использование полимерных присадок, обеспечивающих снижение вязкости жидкости и ускорения процесса обезвоживания.

Из литературных источников [3, 4] известно применение силикатизации для закрепления слабых грунтов. Однако при использовании силикатизации следует учитывать то, что этот способ обеспечит положительный эффект только при полимеризации кремниевой кислоты с образованием силоксановых структур. Согласно химизму процесса жидкое стекло не образует полимерных структур. Полимеризация может происходить при наличии в увлажненном грунте гидрокарбонатных ионов. Процесс происходит по следующей схеме:



Для осуществления полимеризации очевидна необходимость наличия кислых ингредиентов. Таким образом, при закреплении грунта в паводковый период, когда исходная вода практически не содержит кислых соединений, силикатирование не обеспечит положительного эффекта.

Возникает необходимость приготовления заранее активированного реагента – активной кремниевой кислоты. Кроме этого, необходимо учитывать требуемую скорость полимеризации. Например, в аварийных ситуациях, когда возникает необходимость создания экрана из силоксановых структур, процесс полимеризации может быть ускорен за счет присадки в закрепляющий раствор катализаторов процесса.

Наиболее подходящей системой, удовлетворяющей всем требованиям, является система, основанная на взаимодействии силикатов натрия с кислотой с образованием  $\text{SiO}_2$ . В этой системе, как известно, при низких значениях pH кремнезем вначале полимеризуется до очень небольших дисперсных частиц ( $d = 6\text{--}12$  нм) [5–7]. Этот процесс сопровождается заметным повышением вязкости, что обусловлено связыванием большого количества воды с поверхности частиц.

Одним из важнейших свойств дисперсных систем является их устойчивость. Устойчивость коллоидной системы на основе  $\text{SiO}_2$  характеризуется временем ее жизни в практически неизменном состоянии. Наибольшее теоретическое и практическое значение имеет седиментационная устойчивость, которая характеризует способность системы к равномерному распределению частиц по всему объему системы. Коллоидные системы, особенно лиозоли, имеющие частицы малого размера, обладают достаточно высокой седиментационной устойчивостью [8]. Причины седиментационной неустойчивости заключены в самих признаках коллоидного состояния системы – её гетерогенности и высокой дисперсности, что обуславливает достаточно высокое значение свободной поверхностной энергии, являющейся основной причиной неустойчивости коллоидной системы. Снижение поверхностной энергии, а значит и более устойчивое состояние системы возможно либо в результате уменьшения поверхности (коагуляция), либо при уменьшении поверхностного натяжения за счёт адсорбции третьего компонента – стабилизатора на границе раздела фаз (стабилизация). Следовательно, присутствие в системе стабилизатора может обеспечивать постоянство размера частиц и служит необходимым условием существования коллоидной системы.

Метод получения золя активной кремниевой кислоты основан на химической реакции силиката натрия (жидкого стекла) с кислотами или их солями с образованием кремниевой кислоты  $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , которая в дальнейшем полимеризуется. На начальном этапе полимеризация идет до мелких дисперсных частиц с последующим «замораживанием» активной кремниевой кислоты.

Для эксперимента принято жидкое стекло – силикат натрия  $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$  по ГОСТ 13078-81 с содержанием  $\text{SiO}_2$  – 24,8–34 % (средний 29,4 %);  $\text{Na}_2\text{O}$  – 8,1–13,3 % (средний 10,7 %), плотностью 1,36–1,45 г/см<sup>3</sup> (средний 1,4 г/см<sup>3</sup>); силикатный модуль  $n = 2,7\text{--}3,4$  (средний 3).

В качестве активаторов приняты кислоты и соли:



- уксусная кислота  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ;
- ортофосфорная кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ;
- соляная кислота  $\text{HCl}$ ;
- сульфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ;
- нитрат аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

Подбор состава инъекционного раствора осуществлялся по таким критериям: время стабильности раствора (время перехода из состояния золя в гель), кинематическая вязкость раствора, доступность исходных реагентов.

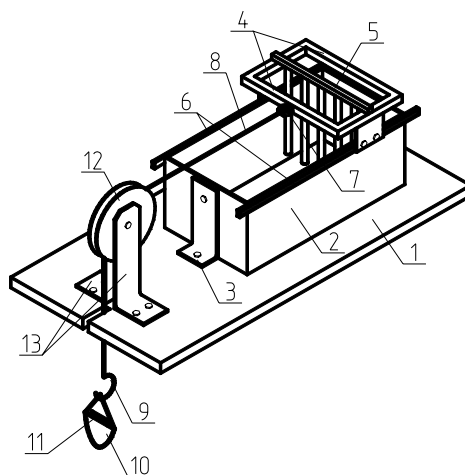
Пропорции компонентов подбирались по молекулярной массе из расчета выхода в составе золя 3–9 %  $\text{SiO}_2$ , или в концентрации «замороженного» золя – 0,5–3,0 %.

«Заморозка» активной кремниевой кислоты осуществлялась добавлением 0,05 % водного раствора анионоактивного полиакриламида Esofloc (ТУ 2414-002-74301823-2007).

В качестве закрепляющего состава был выбран золь кремниевой кислоты, полученный реакцией жидкого стекла с сульфатом аммония и содержанием оксида кремния 6 % в растворе до его «заморозки» [9]. Реакцию получения в общем виде можно представить как:



При исследовании процессов закрепления грунтов наибольшее распространение получил метод оценки глубины и скорости погружения конуса в закрепленный грунт. Однако при использовании такого метода условия эксперимента не соответствуют практическим условиям. На практике среда, в которой «работают» элементы зданий и сооружений, находится в движении. Поэтому для исследования процесса закрепления возникает необходимость создания конструкции, в которой обеспечивается возможность перемещения элементов по отношению к среде. Для этих целей была разработана и запатентована установка, представленная на рис. 1 [10].



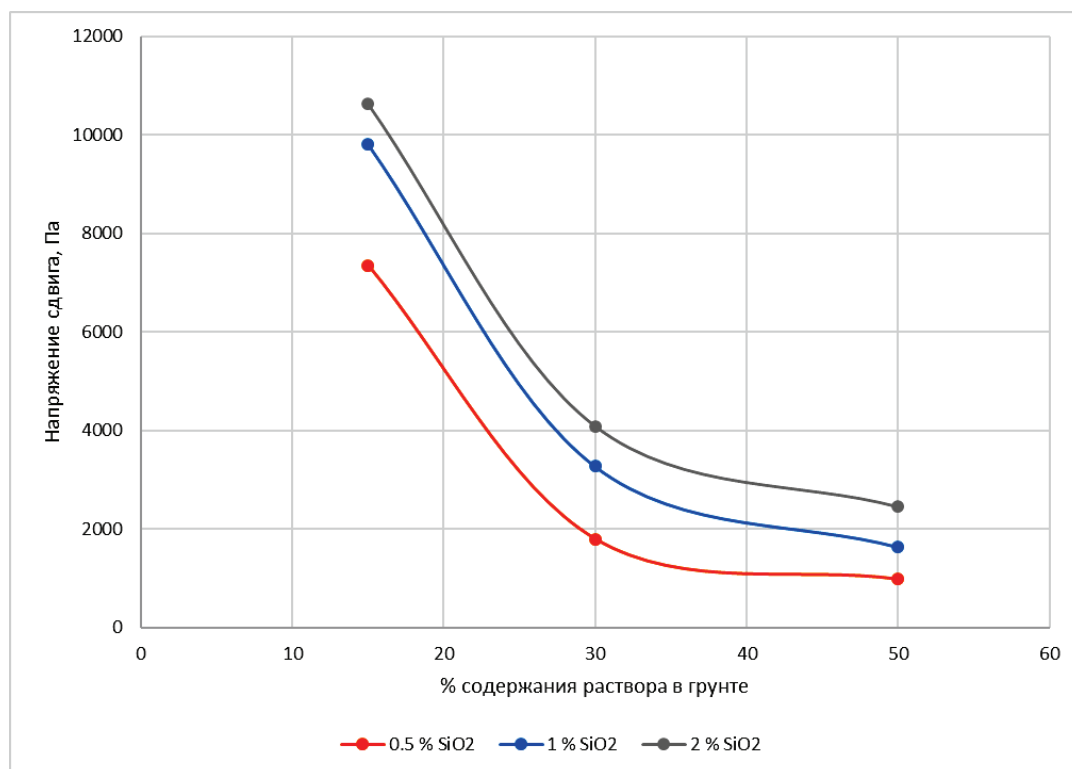
**Рисунок 1** – Экспериментальная установка по оценке тиксотропных характеристик грунта: 1 – база, с размерами в плане 580×280 мм; 2 – короб с гидроизоляцией; 3 – элементы крепления; 4 – каркас; 5 – решетка (металлический прут 5 шт., диаметром 6 мм длиной 145 мм); 6 – металлические шариковые направляющие; 7 – буксировочное кольцо; 8 – металлический трос; 9 – крюк; 10 – чаша; 11 – груз; 12 – направляющий ролик; 13 – крепление ролика к базе.

Рассматривались варианты просадочного грунта при взаимодействии в разных процентных соотношениях с грунтом (15, 30, 50 %):

- с водой, как модель водонасыщенного грунта;
- с жидким стеклом;
- с раствором активной кремниевой кислоты при содержании  $\text{SiO}_2$  – 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 %.

При этом по полученным данным для образца определялись следующие характеристики: скорость движения  $V$ , мм/с; жесткость образца  $G$ , Н/м; количество движения  $K$ , Н·м/с; напряжение  $\sigma$ , Па; динамическая вязкость  $\mu$ , Па·с; напряжение сдвига, Па.

Напряжение сдвига характеризует начальное напряжение, при котором происходят сдвиговые деформации в грунте. График зависимости напряжений сдвига от % содержания раствора в грунте при разных концентрациях  $\text{SiO}_2$  в растворе приведен на рис. 2.



**Рисунок 2** – Зависимость напряжения сдвига от % содержания раствора в грунте при разных концентрациях  $\text{SiO}_2$  в растворе.

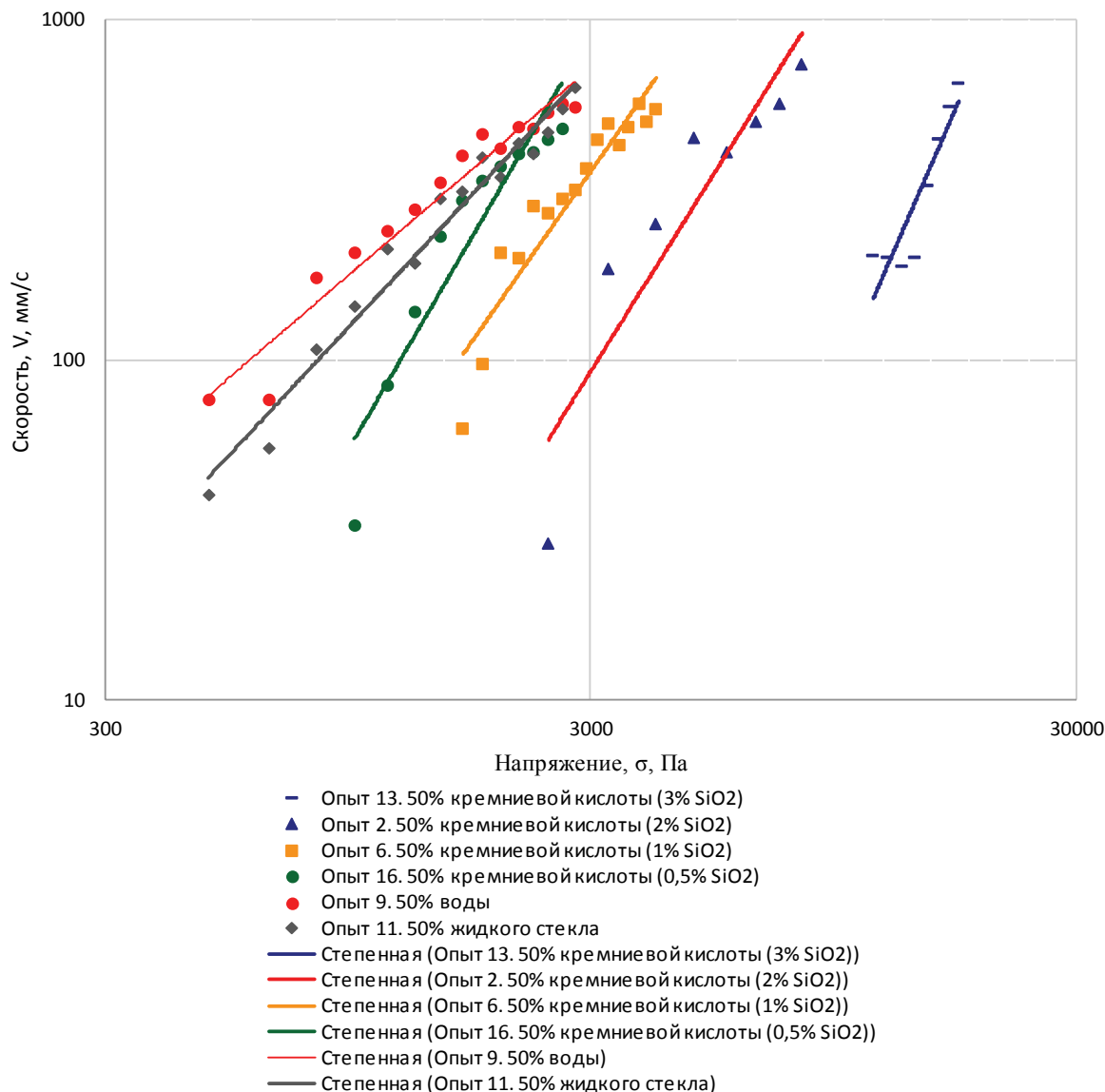
Из рисунка 2 видно, что напряжение сдвига при концентрации раствора в грунте выше 30 % практически не меняется и резко возрастает при снижении концентрации менее 30 %. Характерно, что при равных концентрациях растворов в грунте чем выше содержание  $\text{SiO}_2$ , тем больше напряжение сдвига.

Установлено, что большей скоростью и меньшей вязкостью обладает грунт при водонасыщении водой (рис. 3). Раствор активной кремниевой кислоты обладает большей жесткостью по сравнению с жидким стеклом, характерно, что жесткость раствора увеличивается при увеличении содержания  $\text{SiO}_2$  в растворе золя кремниевой кислоты.

## ВЫВОДЫ

1. Выполнены экспериментальные исследования по получению золя кремниевой кислоты при различных реагентах. На основании критериев отбора разработан закрепляющий раствор на основе золя кремниевой кислоты из распространенных и доступных в производстве материалов, таких как жидкое стекло и сульфат аммония, с применением закрепляющего раствора на основе анионоактивного полиакриламида Есфлос.

2. Для определения характеристик работы закрепляющего раствора с просадочным грунтом был проведен эксперимент на разработанной для этих целей установке. По результатам эксперимента раствор оптимизированного состава обладает большей текучестью (динамическая вязкость выше на 28–33 %). Жесткость грунта с закрепляющим раствором увеличивается при повышении содержания  $\text{SiO}_2$  в растворе от 0,5 до 3,0 % в 8–10 раз.



**Рисунок 3** – Зависимости скорости  $v$  от напряжения  $\sigma$  при различных закрепляющих составах растворов в грунте при 50%-ом отношении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Shvets, V. B. Prognosis of foundations under the load increasing in time and cyclic [Текст] / V. B. Shvets, V. G. Shapoval, S. P. Candzuba, S. O. Popovichenko // Theoretical Foundations in Civil Engineering. – Warsaw, 1994. – P. 221–225.
- Massarsch, K. R. Deformation properties of fine-grained soils from seismic tests. Keynote lecture [Текст] / K. R. Massarsch // International Conference on Site Characterization / ISC'2, 19–22 Sept. – 2004, Porto, 14 p.
- Исаев, В. С. Особенности производства работ при газовой силикатизации грунтов [Текст] / В. С. Исаев, В. Ю. Зеленский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1981. – № 6. – С. 87–97.
- Мулюков, Э. И. Из опыта химического закрепления грунтов в Германии [Текст] / Э. И. Мулюков // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1975. – № 5. – С. 44–45.
- Айлер, Р. Химия кремнезема [Текст] / Р. Айлер ; пер. с англ. Л. Т. Журавлева. – М. : Мир, 1982. – Ч. 1. – 412 с.
- Айлер, Р. Химия кремнезема [Текст] / Р. Айлер ; пер. с англ. Л. Т. Журавлева ; Под ред. д-ра техн. наук проф. В. П. Прянишникова. – М. : Мир, 1982. – Ч. 2. – 712 с.
- Дзисько В. А. Основы методов приготовления катализаторов [Текст] / В. А. Дзисько. – Новосибирск : Новосибирска Наука, 1983. – 263 с.
- Урьев, Н. Б. Структурированные дисперсные системы [Текст] / Н. Б. Урьев // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 6. – С. 42–47.

9. Писаренко, А. В. Метод химического закрепления просадочного грунта коллоидным раствором на основе золя кремниевой кислоты с добавлением полиакриламида [Электронный ресурс] / А. В. Писаренко, В. В. Яркин, С. П. Высоцкий // Сборник материалов международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании» г. Москва, 16–17 ноября 2016 г. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. – М. : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2017. – С. 282–286. – Режим доступа : [http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2017/integr\\_pt1.pdf](http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2017/integr_pt1.pdf). – ISBN 978-5-7264-1451-5.
10. Пат. № 114230 Украина МПК G01N 3/24. Установка для дослідження тиксотропних характеристик ґрунтів [Текст] / С. П. Высоцкий, А. В. Писаренко ; заявитель и патентообладатель С. П. Высоцкий, А. В. Писаренко ; заяв. 04.05.2016 ; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. – 10 с.

Получено 09.01.2017

**А. В. ПИСАРЕНКО, В. І. БРАТЧУН**  
**АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАКРІПЛЮВАЛЬНОГО РОЗЧИНУ НА ОСНОВІ**  
**АКТИВНОЇ КРЕМНІЄВОЇ КИСЛОТИ І ПОЛІАКРИЛАМІДУ ДЛЯ**  
**ПОСИЛЕННЯ ПРОСАДНИХ ҐРУНТІВ**  
**ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»**

**Анотація.** У статті розглядається усунення просадних властивостей і поліпшення механічних властивостей ґрунтів закріпленням силосановими структурами. Виконано підбір оптимального складу закріплювального розчину на основі активної кремнієвої кислоти і поліакриламід. Наведено характеристики показників якості просадного ґрунту при його взаємодії з розробленим складом, а також в порівнянні з рідким склом.

**Ключові слова:** просадні ґрунти, силосанові структури, активна кремнієва кислота.

**ANASTASIYA PISARENKO, VALERY BRATCHUN**  
**ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF A FIXING SOLUTION BASED ON ACTIVE**  
**SILICIC ACID AND POLYACRYLAMIDE FOR STRENGTHENING SUBSIDENCE**  
**SOILS**  
**Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture**

**Annotation.** The article deals with the elimination of subsidence properties and the improvement of the mechanical properties of soils by fixing siloxane structures. The optimal composition of the fixing solution based on active silicic acid and polyacrylamide was selected. The characteristics of the quality indicators of the subsidence soil during its interaction with the developed composition as well as in comparison with liquid glass are given.

**Key words:** subsidence ground, siloxane structures, active silicic acid.

**Писаренко Анастасія Валеріївна** – асистент кафедри техносферної безпеки ГОУ ВПО «Донбасська національна академія будівництва і архітектури». Научні інтереси: дослідження напружено-деформованого стану споруд на просадочних ґрунтах.

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

**Писаренко Анастасія Валеріївна** – асистент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження напружено-деформованого стану будівель і споруд на просадочних ґрунтах.

**Братчун Валерій Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одязів

на основі модифікованих органічних в'язучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

**Pisarenko Anastasia** – assistant, Safety Technospheric Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: research of the stress-strain state of buildings and structures on subsidence grounds.

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

## СОДЕРЖАНИЕ

КИЦЕНКО Т. П., КУЛИШ А. В. Огнеупорные алюмосиликатные бетоны на основе модифицированных щелочных вяжущих	5
ЛЕВЧЕНКО В. Н., НЕВГЕНЬ Н. А., ХРАМОГИН А. А. Архитектурно-строительная реконструкция и ее влияние на интенсификацию эксплуатируемых производственных зданий	10
БРАТЧУН В. И., ПАКТЕР М. К., БЕСПАЛОВ В. Л., ГУЛЯК Д. В., ПАРАЩЕВИН Р. В., МАНДЫЧ А. С. Идентификация дисперсных структур в нефтяных битумах методом ДСК	16
БРАТЧУН В. И., СТАВЦЕВ В. В., РОМАСЮК Е. А., ДЕМЕШКИН В. П., ЖЕВАНОВ В. В., ВОВК Т. С. Измерение прогибов асфальтобетонного образца-балочки с применением емкостного датчика	25
РОМАСЮК Е. А., ВЕРЕЦУН А. А., БОЙКО Д. С., АБАЗА М. А. Бетоны из дисперсно-армированных холодных органо-минеральных смесей с повышенными деформационно-прочностными свойствами	34
ХАЗИПОВА В. В., ЧИТАЛАДЗЕ А. Ю. О повышении экологической безопасности при производстве бетонных смесей на органических вяжущих	41
ПАКТЕР М. К., БЕСПАЛОВ В. Л., САМОЙЛОВА Е. Э., СТУКАЛОВ А. А., АНАНЬЕВ Е. В., НАУМЕНКО Д. С. Влияние модификации нефтяного дорожного битума реакционноспособными олигомерами на его термоокислительную стабильность в слоях различной толщины	45
БРЫЖАТЫЙ О. Э., КРОТЮК В. И., ЛЕМЕШЕНКО Р. Ю., ФУНЬКО М. В., МЕЛЬНИКОВА А. А. Особенности теплопереноса в железобетонных элементах при циклических воздействиях повышенных температур и увлажнении	53
ЗАГОРОДНЯЯ А. В. Литые дорожные асфальтополимерсеробетоны повышенной долговечности	57
ВИШТОРСКИЙ Е. М. О возможностях создания производственной базы для выпуска ячеистых бетонов в Луганской области	61
НАЗАРОВА А. В., АЛ-МАРШДИ КОСАЙ САХИБ РАДИ, КОВАЛЕНКО Д. С. Эффективные способы минимизации усадочного трещинообразования в цементобетоне	65
КОВАЛЕНКО Д. С. Перспективы использования техногенного сырья Луганского региона в строительной индустрии	71
ДРОЗД Г. Я., ХВОРТОВА М. Ю. Состояние поверхностных водоемов и их экологические последствия	76
НАГОРНАЯ Н. П. Анализ и прогнозирование динамики развития экономической системы предприятий строительных материалов с использованием рядов Фурье	84
ЛОЙКО Д. П., КИБЗУН В. Н., ПАВЛУШЕНКО Ю. А. Оценка безопасности геотекстильных материалов методом фотоколориметрии	89
ДОЛЯ А. Г., ШАТВОРЯН Д. А., СМЕРНОВА Д. В., ЖУКОВ И. П. Эффективное использование пород шахтных отвалов в дорожном строительстве	94
НЕФЕДОВ В. В., ЗАЙЧЕНКО Н. М. Энергетические характеристики поверхности вторичного полиэтилентерефталата и шлака ТЭС	102
АЛЮК С. С., ХРАНЦЕВ Я. Д., БОРОДАЙ Д. И. Исследование влияния адгезионной добавки «Адгезол-6» на показатель сцепления битума с поверхностью щебня	107
ГОНЧАРОВ Д. Н., ТУМАНОВА С. А., БОРОДАЙ Е. Т., БОРОДАЙ Д. И. Исследование физико-механических свойств золошлаковых материалов Зуевской ТЭС	111
НАУМЕНКО Д. С., ЧМЫРЬ А. С., БОРОДАЙ Д. И. Исследование физико-механических свойств глинистых сланцев с целью использования их в конструкции земляного полотна автомобильных дорог	116
ПЕТРИК И. Ю., ГУБАРЬ В. Н., КОРНИЕНКО С. В. Влияние добавки Sika Visco Crete 5-600 N PL на подвижность цементно-зольных паст с различным содержанием золы-уноса ТЭС	121

ЕГОРОВА Е. В., ЛАХТАРИНА С. В., ВЕШНЕВСКАЯ В. Г., АСОЕВ И. В. Самоуплотняющийся бетон с полифункциональным модификатором	126
ВАСИЛЬЧЕНКО Г. М., КРАВЕЦ Р. Н. Анализ теплотехнических расчетов наружной стены с фасадной системой «СТЕНОЛИТ»	131
РЯБИЧЕВА Л. А., ЗАСЬКО В. В., ПОЙДА Л. Н. Анализ качества фибробетона методом математического планирования эксперимента	138
БЕЛОУСОВ В. В., БАБАНИН А. Я. Особенности поточного удаления неметаллических включений малых размеров в промежуточном ковше МНЛЗ	143
ЕФРЕМОВ А. Н., АЛЕКСЕЕВ М. С., БУКИНА Д. Ю., КОВАЛЕВ Д. С., РОСИК Д. В. Оценка возможности замены кварцевого песка в бетонах отсевами камнедробления и золошлаковой смесью тепловых электростанций	148
ПИСАРЕНКО А. В., БРАТЧУН В. И. Анализ свойств закрепляющего раствора на основе активной кремниевой кислоты и полиакриламида для усиления просадочных грунтов	154

## ЗМІСТ

КІЩЕНКО Т. П., КУЛІШ А. В. Вогнетривкі алюмосилікатні бетони на основі модифікованих лужних в'язучих	5
ЛЕВЧЕНКО В. М., НЕВГЕНЬ М. О., ХРАМОГІН О. А. Архітектурно-будівельна реконструкція та її вплив на інтенсифікацію експлуатованих виробничих будівель	10
БРАТЧУН В. І., ПАКТЕР М. К., БЕСПАЛОВ В. Л., ГУЛЯК Д. В., ПАРАЩЕВІН Р. В., МАНДИЧ А. С. Ідентифікація дисперсних структур в нафтових бітумах методом ДСК	16
БРАТЧУН В. І., СТАВЦЕВ В. В., РОМАСЮК Є. О., ДЕМЕСШКІН В. П., ЖЕВАНОВ В. В., ВОВК Т. С. Вимірювання прогинів асфальтобетонного зразка-балочки з використанням ємнісного датчика	25
РОМАСЮК Є. О., ВЕРЕЦУН О. О., БОЙКО Д. С., АБАЗА М. А. Бетони з дисперсно-армованих холодних органо-мінаральних сумішей з підвищеними деформаційно-міцнісними властивостями	34
ХАЗИПОВА В. В., ЧИТАЛАДЗЕ А. Ю. Про підвищення екологічної безпеки при виробництві бетонних сумішей на органічних в'язучих	41
ПАКТЕР М. К., БЕСПАЛОВ В. Л., САМОЙЛОВА О. Е., СТУКАЛОВ О. А., АНАНЬЄВ Є. В., НАУМЕНКО Д. С. Вплив модифікації нафтового дорожнього бітуму реакційноздатними олігомерами на його термоокислювальну стабільність в шарах різної товщини	45
БРИЖАТИЙ О. Е., КРОТЮК В. І., ЛЕМЕШЕНКО Р. Ю., ФУНЬКО М. В., МЕЛЬНИКОВА Г. А. Особливості тепло перенесення у залізобетонних елементах при циклічних діях підвищених температур та зволоження	53
ЗАГОРОДНЯ А. В. Литі дорожні асфальтополімерсеробетони підвищеної довговічності	57
ВИШТОРСЬКИЙ Є. М. Про можливості створення виробничої бази для випуску ніздрюватих бетонів в Луганській області	61
НАЗАРОВА А. В., АЛ-МАРШДІ КОСАЙ САХІБ РАДІ, КОВАЛЕНКО Д. С. Ефективні способи мінімізації зсіданого тріщиноутворення в цементобетоні	65
КОВАЛЕНКО Д. С. Перспективи використання техногенної сировини Луганського регіону у будівельній індустрії	71
ДРОЗД Г. Я., ХВОРТОВА М. Ю. Стан поверхневих водоймищ та їх екологічні наслідки	76
НАГОРНА Н. П. Аналіз і прогнозування динаміки розвитку економічної системи підприємств будівельних матеріалів з використанням рядів Фур'є	84
ЛОЙКО Д. П., КІБЗУН В. М., ПАВЛУШЕНКО Ю. О. Оцінка безпеки геотекстильних матеріалів методом фотоколориметрії	89
ДОЛЯ А. Г., ШАТВОРЯН Д. А., СМІРНОВА Д. В., ЖУКОВ І. П. Ефективне використання пород шахтних відвалів в дорожньому будівництві	94
НЕФЕДОВ В. В., ЗАЙЧЕНКО Н. М. Енергетичні характеристики поверхні вторинного поліетилентерефталату і шлаку ТЕС	102
АЛЮК С. С., ХРАНЦЕВ Я. Д., БОРОДАЙ Д. І. Дослідження впливу адгезійної добавки «Адгезол-6» на показник зчеплення бітуму з поверхнею щебеню	107
ГОНЧАРОВ Д. М., ТУМАНОВА С. О., БОРОДАЙ К. Т., БОРОДАЙ Д. І. Дослідження фізико-механічних властивостей золошлакових матеріалів Зуївської ТЕС	111
НАУМЕНКО Д. С., ЧМИР А. С., БОРОДАЙ Д. І. Дослідження фізико-механічних властивостей глинистих сланців з метою використання їх в конструкції земляного полотна автомобільних доріг	116
ПЕТРИК І. Ю., ГУБАР В. М., КОРНІЄНКО С. В. Вплив добавки Sika Visko Crete 5-600 N PL на рухливість цементно-зольних паст з різним вмістом золи-винесення ТЕС	121
ЄГОРОВА О. В., ЛАХТАРИНА С. В., ВЕШНЕВСЬКА В. Г., АСОЄВ І. В. Бетон, що самоущільнюється, з поліфункціональним модифікатором	126



ВАСИЛЬЧЕНКО Г. М., КРАВЕЦЬ Р. М. Аналіз теплотехнічних розрахунків зовнішньої стіни з фасадною системою «СТЕНОЛИТ»	131
РЯБІЧЕВА Л. О., ЗАСЬКО В. В., ПОЙДА Л. М. Аналіз якості фібробетону методом математичного планування експерименту	138
БІЛОУСОВ В. В., БАБАНІН А. Я. Особливості поточного видалення неметалевих включень малих розмірів в проміжному ковші МБЛЗ	143
ЄФРЕМОВ О. М., ОЛЕКСІЄВ М. С., БУКІНА Д. Ю., КОВАЛЬОВ Д. С., РОСІК Д. В. Оцінка можливості заміни кварцового піску у бетонах золошлаковою сумішшю, відсівами граніту та вапняку	148
ПИСАРЕНКО А. В., БРАТЧУН В. І. Аналіз властивостей закріплювального розчину на основі активної кремнієвої кислоти і поліакриламід у для посилення просадних ґрунтів	154

## CONTENTS

KITSENKO TATYANA, KULISH ANASTASIYA. Fire-Resistant Alumina-Silicate Concretes Based on Modified Alkaline Binders	5
LEVCHENKO VIKTOR, NEVGEN NIKOLAI, KHRAMOGIN ALEKSANDR. Refurbishment of Process Buildings	9
BRATCHUN VALERY, PAKTER MIXAIL, BESPALOV VITALY, GULYAK DENIS, PARASCHEVIN ROMAN, MANDYCH ANASTASIA. Identification of Structures Dispersed in Oil Bitumen by DSC	16
BRATCHUN VALERY, STAVTSEV VALERY, ROMASYUK EVGENY, DEMESCHKIN VALENTIN, ZHEVANOV VIACHESLAV, VOVK TATIANA. Measurement of Deflection of Asphalt Concrete Sample-Ravine using Capacitive Sensors	25
ROMASYUK EVGENY, VERETSUN ALEXANDER, BOYKO DARIA, ABAZA MARINA. Concrete of Glass Fiber Cold Organic-Compounds with Improved Deformation-Strength Properties	34
KHAZIPOVA VERA, CHITALADZE ANNA. About Ecological Safety Increase in the Production of Concrete Mixtures Based on Organic Binders	41
PAKTER MIXAIL, BESPALOV VITALY, SAMOYLOVA HELEN, STUKALOV ALEKSANDR, ANANIEV YEVHEN, NAUMENKO DENIS. Effect of Modification Petroleum Bitumen by Reactivity Oligomers its Thermal Oxidative Stability in Layers of Varying Thickness	45
BRIZHATY OLEG, KROTIUK VLADIMIR, LEMESHENKO RUSLAN, FUNKO MAKSIM, MELNIKOVA ANNA. Peculiarities of the Heat Transfer in Concrete Elements under Cyclical Heightened Temperatures and Humidifying	53
ZAGORODNYAYA ANASTASIA. Cast Concrete Road Asphalt and Polymeric Sulfur Concretes of High Durability	57
VISHTORSKIY EVGENIY. The Possibility of Establishing of Production Base for Cellular Concrete Production in Lugansk Region	61
NAZAROVA ANTONINA, AL-MARSHDI QOSAI SAHIB RADI, KOVALENKO DENIS. Effective Ways of Minimizing of Shrinkage Crack Formation in Cement Concrete	65
KOVALENKO DENIS. Prospects of using the Technogenic Raw Material of Lugansk People's Republic in the Building Industry	71
DROZD GENNADIY, KHVORTOVA MARINA. State of Surface Water Bodies and their Environmental Impact	76
NAGORNA NINA. Analysis and Prediction of the Dynamics of Economic Development of Enterprises of Construction Materials using Fourier Series	84
LOYKO DMITRY, KIBZUN VALENTINA, PAVLUCHENKO JULIA. Safety Assessment of Geotextiles materials by the method of photocolormetry	89
DOLYA ANATOLIY, SHATVORYAN DENIS, SMIRNOVA DARIA, ZHUKOV IL'YA. Effective Use Of Rocks Mine Dumps In Road Construction	94
NEFEDOV VLADISLAV, MYKOLA ZAICHENKO. Energy Characteristics of the Surface of Polythene Terephthalate and Slag of TPS	102
ALUK SERGEY, KHRANTSEV YAROSLAV, BORODAY DENIS. Research of Influence of Adhesion Addition «Adgezol-6» on Quality of Bitumen Coupling with the Aggregate Surface	107
GONCHAROV DMITRIY, TUMANOVA SVETLANA, BORODAY EKATERINA, BORODAY DENIS. Investigation of Physical and Mechanical Properties of Ash Materials of Zuevka TPP	111
NAUMENKO DENIS, CHMYR ALINA, BORODAY DENIS. Investigation of Physical and Mechanical Properties of Shale in Order to use them in the Embankment	116

PETRIK IRINA, GUBAR VICTOR, KORNIENKO SERGEY. The Influence of Additives Sika Visco Crete 5-600 N PL on the Mobility of Cement-Ash Pastes with Different Contents of Fly Ash Thermal Power Plant	121
YEGOROVA ELENA, LAKHTARYNA SERHII, VESHNEVSKAYA VICTORIA, ASOYEV ISO. Self-Compacting Concrete with a Multifunctional Modifier	126
VASILCHENKO GALINA, KRAVETS ROMAN. Analysis of Thermal Calculations of the Outer Wall From the Front System «STENOLIT»	131
RYABICHEVA LYUDMULA, ZACKO VITALI, POIDA LEONID. Analysis of Quality of Fibrous Concrete by Method of Mathematical Planning of Experiment	138
BILOUSOV VYACHESLAV, BABANIN ANATOLY. Features of this Removal of Nonmetallic Inclusions of Small Size in the Tundish Ladle of Continuous Casting Machine	143
YEFREMOV ALEXANDER, AKEKSEEV MAXIM, BUKINA DAREY, KOVALEV DENIS, ROSIK DENIS. Casting of Possibility of Replacement of Quartz Sand in Concretes Mixe of Fly-Ash and Slag of Thermal Plants, Screening of Granite and Limestone	148
PISARENKO ANASTASIYA, BRATCHUN VALERY. Analysis of the Properties of a Fixing Solution Based on Active Silicic Acid and Polyacrylamide for Strengthening Subsidence Soils	154