

ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



ВЫПУСК 2018-4(132)

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ
ДОСТИЖЕНИЯ СТУДЕНТОВ
СТРОИТЕЛЬНО-АРХИТЕКТУРНОЙ
ОТРАСЛИ
ТОМ 2. ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ, ИЗДЕЛИЙ И
МАТЕРИАЛОВ**

ГОУ ВПО “Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры”

ВЕСТНИК

**Донбасской национальной академии
строительства и архитектуры**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Издается с декабря 1995 года
Выходит 8 раз в год

Выпуск 2018-4(132)

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ
ДОСТИЖЕНИЯ СТУДЕНТОВ
СТРОИТЕЛЬНО-АРХИТЕКТУРНОЙ
ОТРАСЛИ**

**ТОМ 2. ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ, ИЗДЕЛИЙ
И МАТЕРИАЛОВ**

Макеевка 2018

ДООУ ВПО “Донбаська національна академія
будівництва і архітектури”

ВІСНИК

**Донбаської національної академії
будівництва і архітектури**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Видається з грудня 1995 року
Виходить 8 разів на рік

Випуск 2018-4(132)

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ДОСЯГНЕННЯ
СТУДЕНТІВ БУДІВЕЛЬНО-АРХІТЕКТУРНОЇ
ГАЛУЗІ**

**ТОМ 2. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ
КОНСТРУКЦІЙ, ВИРОБІВ І
МАТЕРІАЛІВ**

Макіївка 2018

Основатель и издатель

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации серия ААА № 000094

выдано 17.01.2017 г. Министерством информации ДНР

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

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

Выпускается по решению ученого совета

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Протокол № 9 от 29.05.2018 г.

Редакционный совет:

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

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

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

Зайченко Н. М., д. т. н., профессор – ответственный редактор выпуска.

Редакционная коллегия:

Алехин А. М., к. т. н., доцент;

Бенаи Х. А., д. арх., профессор;

Братчун В. И., д. т. н., профессор;

Бумага А. Д., к. т. н., доцент;

Горохов Е. В., д. т. н., профессор;

Зайченко Н. М., д. т. н., профессор;

Левин В. М., д. т. н., профессор;

Лукьянов А. В., д. т. н., профессор;

Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор;

Рожков В. С., к. т. н., доцент;

Югов А. М., д. т. н., профессор;

Яркова Н. И., к. э. н., доцент.

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

Программное обеспечение С. В. Гавенко

Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано к выпуску 29.06.2018

Адрес редакции и издателя

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

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

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

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

<http://vestnik.donnasa.ru>

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

Выпущено в полиграфическом центре

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

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

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

Засновник і видавець

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»
Свідцтво 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 29.05.2018 р.

Редакційна рада:

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

Редакційна колегія:

Алехін А. М., к. т. н., доцент;	Левін В. М., д. т. н., професор;
Бенаї Х. А., д. арх., професор;	Лук'янов О. В., д. т. н., професор;
Братчун В. І., д. т. н., професор;	Мущанов В. П., д. т. н., професор;
Бумага О. Д., к. т. н., доцент;	Рожков В. С., к. т. н., доцент;
Горохов Є. В., д. т. н., професор;	Югов А. М., д. т. н., професор;
Зайченко М. М., д. т. н., професор;	Яркова Н. І., к. е. н., доцент.

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

Підписано до випуску 29.06.2018

Адреса редакції і видавця

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

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

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

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

УДК 693.52

Е. М. ВИШТОРСКИЙ

ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет»

ОЦЕНКА СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПЕНОБЕТОНОВ НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

Аннотация. В данной статье приведен сравнительный анализ свойств пенообразователей «ПО-6НП» и «Эталон». Получены показатели кратности и стабильности пен при различных концентрациях пенообразователей, результаты свидетельствуют о пригодности пен для производства неавтоклавного пенобетона. Проведено исследование влияния пластифицирующих добавок «Glenium 115» и «Sika Mix Plus» на кратность и стабильность пен. Пластификатор «Sika Mix Plus» может быть использован в качестве добавки для пенного раствора «Эталон». Пластификатор «Glenium 115» ухудшает характеристики полученной пены «ПО-6 НП», а в случае с пенным раствором «Эталон» обладает пеногасящим эффектом, поэтому не может быть использован в качестве добавки для производства пенобетонных неавтоклавного твердения с данными пеноконцентрациями.

Ключевые слова: ячеистый бетон, пенобетон, пенообразователь, кратность, стабильность, пластификатор.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Пенообразователь оказывает двойственное действие на качество пенобетона. С одной стороны, он способствует формированию пористой структуры пенобетона и обеспечивает ему заданную среднюю плотность, с другой – введение пенообразователя приводит к замедлению процессов схватывания и твердения вяжущего, частичной деструкции цементной системы, уменьшению прочности конечного продукта. Поэтому при производстве пенобетона возникает задача правильного выбора типа пенообразователя и определения его оптимальной концентрации.

Объем пустот, образуемый пеной, составляет 60...90 % объема пенобетонных изделий и соответственно свойства пенообразователя и получаемой из него пены являются одним из главных факторов, определяющих технологию и свойства готовой продукции.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В лаборатории Ангарского государственного технического университета был исследован протеиновый пенообразователь «Foamcem» итальянского производства. Для данного пенообразователя характерны невысокие показатели устойчивости. В диапазоне значений концентрации раствора 0,9...1,2 % выявляется критическая концентрация мицеллообразования. Это признак достаточности содержания поверхностно-активного вещества для формирования вполне устойчивой пены при приготовлении пеноцементного раствора [1].

В Белгородском государственном техническом университете выполнялись испытания кратности и стойкости белкового пенообразователя «Reniment SB31 L» (Италия) и синтетического «Пеностром» (Россия). Стойкость белкового пенообразователя при минимальной концентрации составила 10 минут, при последующем увеличении его количества наблюдается увеличение стойкости и при концентрациях 6...16 % этот показатель примерно одинаков. Синтетический пенообразователь имеет максимальную стойкость в диапазоне концентраций 1...2 %, дальнейшее увеличение концентрации приводит к незначительному снижению стойкости [2].

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Пенообразователи – это вещества, водные растворы которых образуют пену [3]. Пенообразующих веществ известно много, но в производстве пенобетона могут быть применены пенообразователи, которые обеспечивают следующие требования:

- 1) прочность пленок пены должна быть такой, чтобы пена не разрушалась при механическом смешивании ее с минеральной частью бетона и обеспечивала устойчивость свежизготовленной пенобетонной смеси вплоть до схватывания и образования достаточной пластической прочности бетона;
- 2) обеспечивать большой выход пены по отношению к взятому раствору (кратность пены) и мелкоячеистую структуру;
- 3) обладать вязкостью пленок пены, препятствующей расслоению пенобетонной смеси и обеспечивающей равномерное распределение минеральных составляющих раствора по всему объему.

Пригодность пенообразователей зачастую оценивается по двум показателям: кратность и стабильность, и иногда дополнительно по коэффициенту использования пены [4–6]. Причем последний показатель, как правило, используют только для экономической оценки рациональности применения пенообразователей.

В качестве рассматриваемых пенообразователей был использован пенообразователь «ПО-6НП» Новочеркасского завода синтетических продуктов и белковый пенообразователь «Эталон» челябинской фирмы «Аист». В качестве пластифицирующих добавок использован «Glenium 115» немецкой фирмы BASF и «Sika Mix Plus» швейцарского производства. Характеристики пенообразователей и характеристики пластифицирующих добавок представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики пенообразователей

Наименование показателя	«ПО-6 НП»	«Эталон»
Внешний вид	Жидкость светло-коричневого цвета	Жидкость темно-вишневого цвета
Кратность пены	Не ниже 4	7–50
Плотность при 20°С, кг/м ³	1 100–1 160	1 110–1 120
Водородный показатель (рН)	6,5–7,5	6,5–8,0

Таблица 2 – Сравнительные характеристики пластификаторов «Glenium 115» и «Sika Mix Plus»

Наименование показателя	«Glenium 115»	«Sika Mix Plus»
Внешний вид	Непрозрачная белая жидкость	Жидкость темно-коричневого цвета
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1 005–1 009	990–1 030
Расход от массы цемента, %	0,3–1,2	0,05–0,20

Приготовление пен выполнялось в высокооборотном миксере со скоростью 1 200 об/мин. Время приготовления – 4 мин. Предполагаемая технология получения пенобетона – одностадийная. Контроль кратности и стабильности пен выполнен в соответствии с рекомендациями НИИЖБ [7].

Пена из 2 % раствора «Эталон» имеет кратность ниже, чем у пенообразователя «ПО-6 НП», но при этом стабильность ее выше, чем стабильность пены, полученной из пенообразователя «ПО-6 НП». При увеличении концентрации раствора на основе «ПО-6 НП» до 4 % удается увеличить кратность пены и ее стабильность (рис. 1, 2), но при такой концентрации раствора возможно будет увеличиваться негативное влияние на прочность полученного пенобетона.

Так как одностадийная технология получения пенобетонов предполагает введение пенообразователя после приготовления раствора, то необходимо знать, как вводимые добавки в пенобетонную смесь влияют на свойства пены. Исходя из этого, проводилось определение оптимального содержания модифицирующих добавок, при котором наблюдалась наибольшая кратность и стабильность свойств пены.

Пластификатор «Glenium 115» оказывает пеногасящее действие на полученную пену «Эталон», однако пластификатор «Sika Mix Plus» улучшает исходные свойства пены. Это можно объяснить различной природой пластификаторов и пенообразователей, а также степенью их совместимости.

При введении добавки «Sika Mix Plus» в минимальном количестве 0,05 % от массы цемента при условном В/Ц отношении равном 0,27 (данное значение использовалось при определении сроков схватывания и кинетики твердения цементного камня) в 2 % раствор «Эталон» наблюдается увеличение кратности с 14 до 16 (рис. 3) и увеличение стабильности с 53 до 65 % (рис. 4) по сравнению с

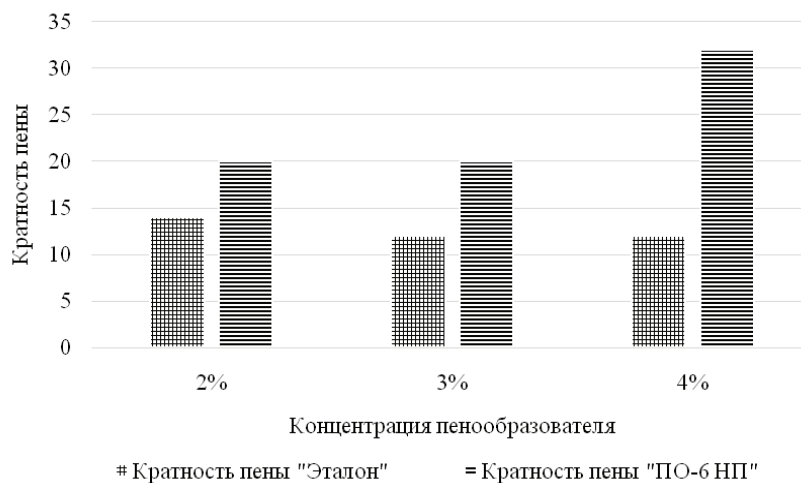


Рисунок 1 – Кратность полученных пен.

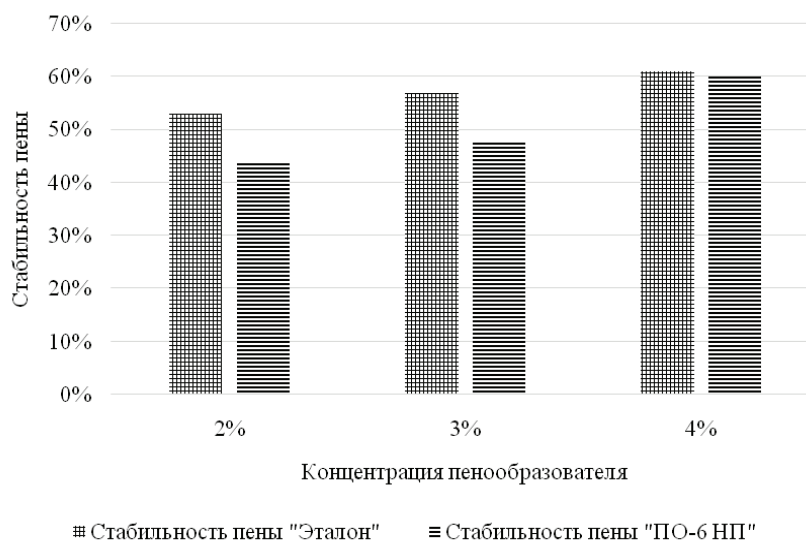


Рисунок 2 – Стабильность полученных пен.

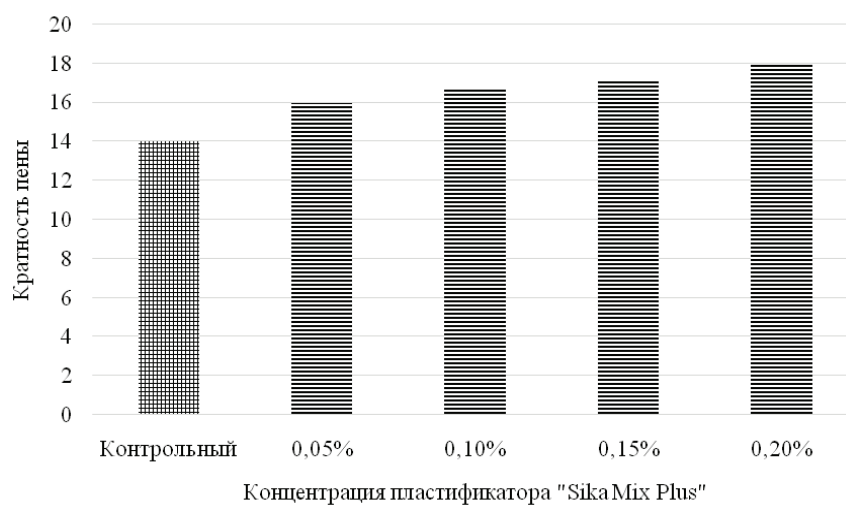


Рисунок 3 – Зависимость кратности пены 2 % раствора «Эталон» от концентрации пластификатора «Sika Mix Plus».

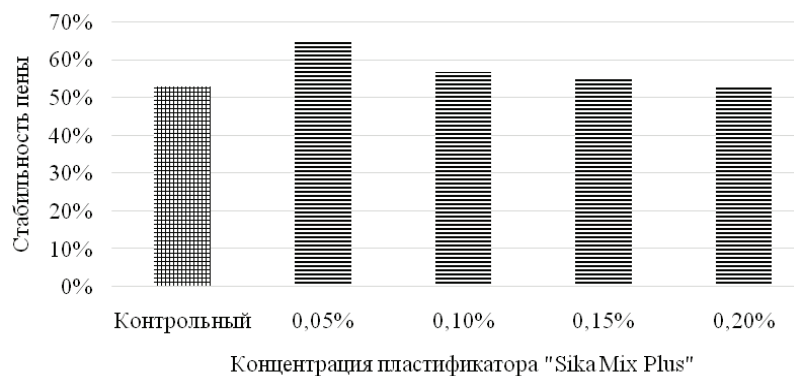


Рисунок 4 – Зависимость стабильности пены 2 % раствора «Эталон» от концентрации пластификатора «Sika Mix Plus».

контрольным составом. При увеличении концентрации пластификатора «Sika Mix Plus» кратность пены увеличивается, а стабильность снижается.

Поскольку при концентрации 4 % пенообразователь «ПО-6 НП» показал оптимальные характеристики полученной пены, было проведено исследование влияния пластификатора «Glenium 115» на свойства пены.

При введении минимальной концентрации пластификатора кратность снижается в 2 раза по сравнению с контрольным составом (рис. 5). Стабильность полученной пены с применением пластификатора также снижается с 60 до 53 % (рис. 6). В целом пластификатор «Glenium 115» оказывает негативное влияние на свойства полученной пены из 4 % раствора «ПО-6 НП».

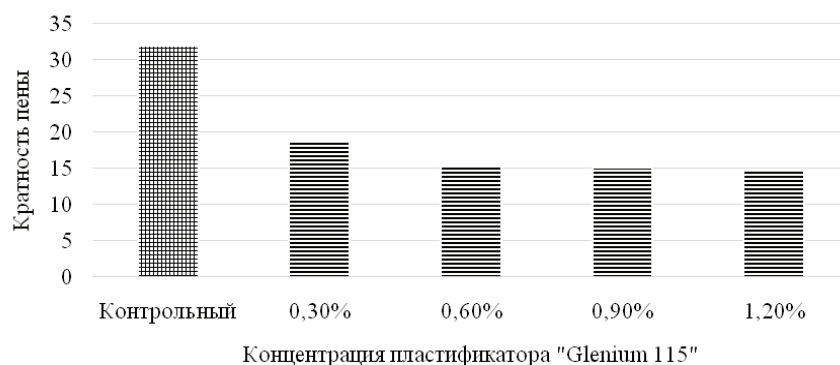


Рисунок 5 – Зависимость кратности пены 4 % раствора «ПО-6 НП» от концентрации пластификатора «Glenium 115».

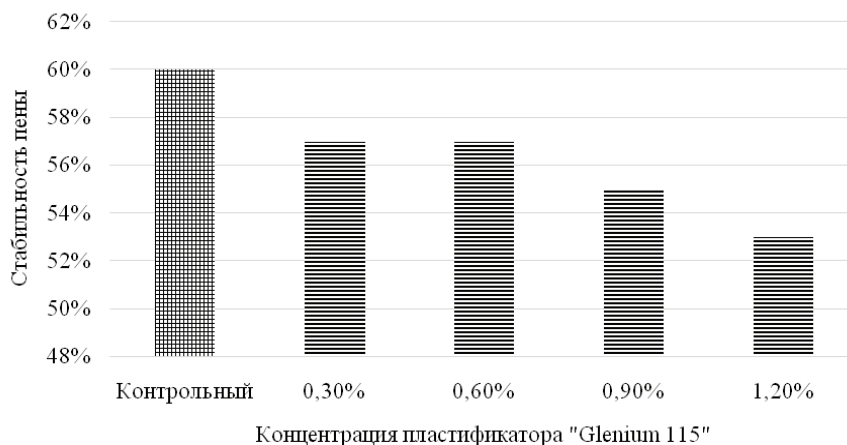


Рисунок 6 – Зависимость стабильности пены 4 % раствора «ПО-6 НП» от концентрации пластификатора «Glenium 115».

ВЫВОДЫ

Как показывает опыт производства пенобетона показателей кратности и стабильности пены недостаточно, чтобы оценить пригодность пенообразователя, поскольку оценивается лишь качество полученной пены без учета поведения пенообразователя в цементном тесте.

Пенообразователи в основном являются поверхностно-активными веществами и в силу своей природы оказывают влияние на физические свойства пенобетона. При этом, за исключением пластифицирующего эффекта, влияние пенообразователей, как правило, является негативным, поскольку вызывает замедление процесса твердения, что в последствии приводит к ухудшению прочностных характеристик пенобетонных изделий. Поэтому, кроме оценки качества пены, полученной из пенообразователя, необходимо также оценивать влияние пенообразователей на физические свойства цемента и в конечном итоге на свойства пенобетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устойчивость пен на протеиновых пенообразователях [Текст] / А. И. Савенков, С. В. Тюлькин, А. О. Плосконосова, Р. А. Гринюк // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2017. – № 1. – С. 128–129.
2. Кобзев, В. А. Влияние природы пенообразователей на его свойства [Текст] / В. А. Кобзев, А. В. Сумин, В. В. Нелюбова и др. // VII международный молодежный форум «Образование, наука, производство»: сборник трудов конференции, 20–22 октября 2015 г., г. Белгород. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – 2015. – С. 629–632.
3. Ружинский, С. И. Все о пенобетоне [Текст] / С. Ружинский, А. Портник, А. Савиных. – СПб.: ООО «Стройбетон», 2006. – 636 с. – ISBN 5-90319-701-9.
5. Горлов, Ю. П. Технология теплоизоляционных материалов [Текст] / Ю. П. Горлов, А. П. Меркин, А. А. Устенко. – М.: Стройиздат, 1980. – 399 с.
6. Кобидзе, Т. Е. Взаимосвязь структуры пены, технологии и свойств получаемого пенобетона [Текст] / Т. Е. Кобидзе, В. Ф. Коровяков, А. Ю. Киселев, С. В. Лисов // Строительные материалы. – 2005. – № 1. – С. 26–29.
7. Шахова, Л. Д. Технология пенобетона. Теория и практика [Текст]: монография. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 248 с.
8. Рекомендации по изготовлению и применению изделий из неавтоклавного ячеистого бетона [Текст]. – Введ. 1986-04-03 / НИИ бетона и железобетона. – М.: НИИЖБ, 1986. – 33 с.

Получено 02.04.2018

Є. М. ВИШТОРСЬКИЙ ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕЯКИХ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ПІНОБЕТОНІВ БЕЗАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДІННЯ ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет»

Анотація. У статті наведено порівняльний аналіз властивостей піноутворювачів «ПО-6 НП» та «Еталон». Отримано показники кратності і стабільності піни при різних концентраціях піноутворювачів, результати свідчать про придатність піни для виробництва неавтоклавного пінобетону. Проведено дослідження впливу пластифікуючих добавок «Glenium 115» та «Sika Mix Plus» на кратність та стабільність піни. Пластифікатор «Sika Mix Plus» може бути використаний як добавка для пінного розчину «Еталон». Пластифікатор «Glenium 115» погіршує характеристики отриманої піни «ПО-6 НП», а у випадку з пінним розчином «Еталон» має ефект піногасіння, тому не може бути використаний як добавка для виробництва пінобетону безавтоклавного твердіння з даними піноконцентрами.

Ключові слова: піздрюватий бетон, пінобетон, піноутворювач, кратність, стабільність, пластифікатор.

EVGENIY VISHTORSKIY ESTIMATION OF THE PROPERTIES OF SOME BLOWING AGENTS FOR FOAM CONCRETE OF NON-AUTOCCLAVE HARDENING SEI LPR «Lugansk National Agrarian University»

Abstract. This article presents a comparative analysis of the properties of foaming agents «PO-6 NP» and «Etalon». The indexes of the multiplicity and stability of foams at various concentrations of foaming agents are obtained, the results indicate the suitability of foams for the production of non-autoclaved foam concrete. The effect of plasticizing additives «Glenium 115» and «Sika Mix Plus» on the multiplicity and stability of

foams has been studied. The plasticizer «Sika Mix Plus» can be used as an additive for a foam solution «Etalon». The plasticizer «Glenium 115» deteriorates the characteristics of the foam «PO-6 NP», and in the case of the foam solution «Etalon» it has a defoaming effect, therefore it can not be used as an additive for the production of foam concrete of non-autoclaved hardening with these foam concentrates.

Key words: cellular concrete, foam concrete, foaming agent, multiplicity, stability, plasticizer.

Вишторский Евгений Михайлович – аспирант кафедры архитектуры и строительных конструкций ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: ячеистые бетоны, пенобетоны, отвечающие современным требованиям.

Вишторський Євген Михайлович – аспірант кафедри архітектури та будівельних конструкцій ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: ніздрюваті бетони, пінобетони, які відповідають сучасним вимогам.

Vishtorskiy Evgeniy – post-graduate student, Architecture and Building Structures Department, SEI LPR «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests: cellular concrete, foam concrete, meeting modern requirements.

УДК 691.167

А. В. ЗАГОРОДНЯЯ

ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет»

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
ЛИТЫХ АСФАЛЬТОПОЛИМЕРСЕРОБЕТОНОВ**

Аннотация. Сформулированы теоретические положения о закономерностях формирования структуры литых асфальтополимерсеробетон с комплексно модифицированной микроструктурой, с прочной и эластичной пространственной матрицей, с высокой релаксационной способностью в области отрицательных температур. Показано, что наиболее рациональным способом повышения долговечности асфальтобетонов является комплексное регулирование микроструктуры модификацией битума дивинил-стирольным термоэластопластом ДСТ-30 совместно с технической серой и поверхностной активацией минерального порошка растворами олигомеров или полимеров, теоретически исследованы процессы взаимодействия модифицированных органических вяжущих и активированного минерального порошка. Приведены физико-механические и деформационно-прочностные свойства асфальтобетонов, содержащих битумополимерное вяжущее.

Ключевые слова: литой асфальтополимерсеробетон, микроструктура, поверхностно активированный минеральный порошок, битумополимерное вяжущее.

ФОРМУЛИРОВКА НАУЧНОЙ ПРИКЛАДНОЙ ЗАДАЧИ

Традиционные асфальтобетоны, согласно ДСТУ Б В.2.7-119:2011 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный», характеризуются неудовлетворительной деформативностью и сдвигоустойчивостью, способностью противостоять динамическим и долговременным статическим нагрузкам от транспортного потока, температурно-влажностным режимам различных агрессивных сред (кислот, щелочей) и т. д. [1, 2]. Повышение долговечности асфальтобетона возможно при создании такой структуры, которая рационально сочетает наиболее плотную упаковку полидисперсных частиц минерального остова (микроструктура плавно переходит в мезоструктуру, а затем в макроструктуру) и непрерывную пространственную сетку эластичного вяжущего с высокими значениями адгезии и когезии при минимально возможной толщине асфальтовяжущего вещества.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследования, выполненные научными школами под руководством В. И. Братчуна, Л. Б. Гезенцева, Н. В. Горелышева, В. А. Золотарева, И. В. Королева, В. В. Мозгового, П. А. Ребиндера, И. А. Рыбьева и др., рассматривают структуру асфальтобетона как результат физико-химического взаимодействия между компонентами органического вяжущего и минерального материала [3–5, 14]. Доказано, что сцепление структурных элементов (зерен минерального материала) посредством коагуляционных контактов осуществляется в основном через равновесные по толщине тонкие прослойки органического вяжущего. Следовательно, свойства микроструктуры (структура асфальтовяжущего) определяют работу асфальтобетона в дорожной одежде. Также, основное внимание, уделяется регулированию качества микроструктуры асфальтобетона. Первостепенное значение придается соотношению между минеральным порошком и битумом, которое следует назначать достаточно высоким, а также качеству органического вяжущего и минерального порошка.

В работах [6, 7] показано, что рациональной следует считать такую структуру асфальтобетона, в которой сдвигоустойчивость обеспечивается только за счет сопротивления сдвигу минерального остова без участия битума. Так для получения сдвигоустойчивого бетона следует проектировать II

тип макроструктуры асфальтобетона, которая позволит эффективно использовать как свойства пленок органического вяжущего, разделяющих полидисперсные минеральные частицы, так и пространственный каркас, образованного зернами щебня, способствующего повышению сдвигоустойчивости за счет увеличения плоскостей скольжения и их шероховатости.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Важнейшей составляющей структуры долговечного асфальтобетона является контактная зона – зона взаимодействия органического вяжущего с поверхностью минеральных материалов. При этом сцепление структурных элементов (зерен минерального материала) посредством коагуляционных контактов осуществляется в основном через равновесные по толщине тонкие прослойки органического вяжущего. Следовательно, свойства микроструктуры (структура асфальтовяжущего) будут определять работу асфальтополимерсеробетона в дорожной одежде [8].

Наиболее эффективным способом модификации литых асфальтобетонных смесей, обеспечивающих эластичность матрицы и прочную связь на поверхности раздела фаз «органическое вяжущее – минеральный материал» является комплексное регулирование макро-, мезо- и микроструктуры асфальтобетона введением в органическое вяжущее полимера и поверхностная активация щебня, песка и минерального порошка.

Необходимым условием эффективного влияния полимерана свойства органических вяжущих, являются совместимость этих компонентов, которая определяется, прежде всего, количеством и химическим составом масел битума. Только при этом условии можно получить существенное улучшение структуры и свойств органических вяжущих (этому способствуют близость параметров растворимости полимера и компонентов дисперсионной среды ОВ).

В качестве полимерной добавки, создающей пространственную эластичную структурную сетку в битуме, рассмотрен блоксополимер бутадиена и стирола типа СБС (в виде порошка или крошки) марки ДСТ-30 (рис. 1) по ТУ 38.403267-99.

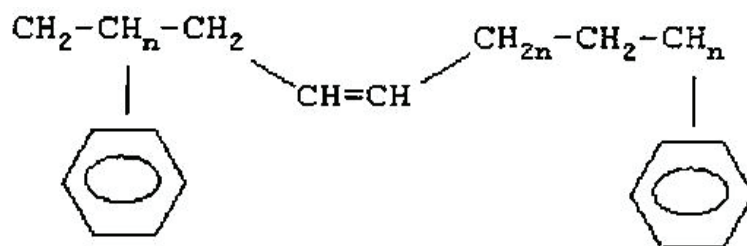


Рисунок 1 – Структурная формула дивинил-стирольного блоксополимера.

Дивинил-стирольные термоэластопласты, по параметрам растворимости к мальтенам битума, ближе полистирольные участки молекулярной цепочки, следовательно, полистирол растворяется битумными маслами лучше, чем полибутадиен. Но полистирол является жёсткоцепным полимером, переходящим в застеклованное состояние при 90 °С, что препятствует образованию истинного раствора полистирола в битумных маслах при температурах эксплуатации асфальтобетонного покрытия. Полибутадиен – гибкоцепной полимер с температурой стеклования –70 °С способен образовывать истинный раствор с термодинамически плохим растворителем при указанных условиях [9].

Прибавление дивинил-стирольного блоксополимера ДСТ-30 к битуму приводит к адсорбированию полимером мальтенов. Оставшиеся свободные молекулы мальтенов способны связываться с асфальтенами. Создается ситуация, когда два высокомолекулярных соединения растворены в одном и том же растворителе, что способствует образованию гетерогенного растворителя. Поскольку две фазы имеют разные плотности, неперемешиваемые растворы при хранении и высокой температуре имеют тенденцию к расслоению. Параметры растворения зависят от температуры, следовательно, пока не установится постоянная температура, невозможно определить, относится ли смесь к совместимому или несовместимому типу.

Дивинил-стирольные термоэластопласты хорошо совмещаются с битумами, так как имеют относительно невысокую молекулярную массу: 80 000–100 000. Структура пространственной сетки образуется уже при 5%-ном содержании ДСТ-30, придавая продукту эластичность и обуславливая его совместимость в широком температурном диапазоне [10].

При дальнейшем повышении концентрации ДСТ-30 в битуме происходит выделение в отдельную фазу асфальтосмолистой части битума, не являющейся растворителем для полимера. Это говорит о том, что повышение концентрации смол препятствует формированию собственно полимерной сетки. Следствием этого может являться различная эффективность модификации полимером битумов разных структурных типов.

В качестве модифицируемой среды целесообразно использовать битум III структурного типа, как это принято в экономически развитых странах Европы, России и Украине. В этом случае в битуме при оптимальной концентрации полимера образуется самостоятельная пространственная полимерная сетка, прочность которой будет определяться количеством узлов и энергией взаимодействия в них, а эластичность кинетической гибкостью цепей между узлами сетки.

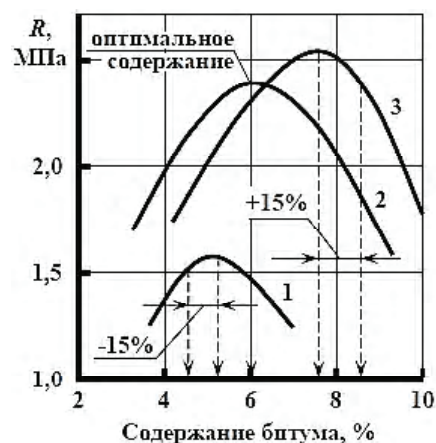
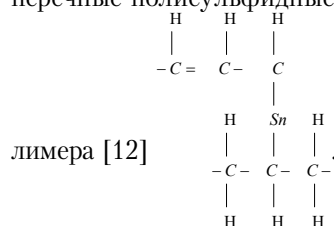


Рисунок 2 – Зависимость прочности при 20 °С холодного (1), горячего (2) и литого (3) асфальтобетона от содержания битума.

Содержание в литом асфальтополимерсеробетоне битума больше оптимального, определяемого по максимуму прочности асфальтобетона (рис. 2). Такое количество битума почти полностью заполняет поры (их до 20 %) минерального остова [6, 11].

Для упрочнения пространственной сетки битумополимерную композицию следует структурировать технической серой.

По мере увеличения концентрации элементарной серы происходит увеличение общей структурированности системы в результате того, что незначительная часть серы принимает участие в вулканизации дивинил-стирольного термоэластопласта ДСТ-30 (образуются преимущественно моносulfидные $-C-S-C-$ и поперечные полиsulfидные связи между макромолекулами сопо-



лимера [12]

До 10 % мас. серы вступает в химическое взаимодействие с углеводородами битума, в результате чего происходит S- дегидрирование и образование высокомолекулярных асфальтеноподобных или угленподобных веществ полимерных сульфидов углерода. Часть серы растворяется (20...26 % мас.). Остальная сера диспергируется в битуме до коллоидного состояния. Это приводит к усилению коагуляционного структурообразования в битумополимерсерном вяжущем за счет взаимодействия частиц серы через прослойки полимера. Таким образом в битумополимерсерном вяжущем возникает трехмерная сопряженная сетка, узлами которой являются асфальтены, химически связанная сера, кристаллы серы и коллоидно-диспергированная сера.

Важное место в технологии асфальтополимерсеробетона отводится выбору структурирующего компонента битума – минерального порошка (наполнителя). Комплексное модифицирование микроструктуры бетонов на органических вяжущих приводит к формированию более развитых адсорбционно-сольватных слоев на поверхности активированного минерального порошка.

Механическое диспергирование карбонатных горных пород приводит к появлению в поверхностных слоях ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} . Наряду с явлением аморфизации выделяется CO_2 и образуются CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$. При измельчении твердых тел, реакционная способность возрастает вследствие возникновения новых поверхностей, изменения структуры поверхностного слоя, а также образования свободных радикалов и ионов, которые легко вступают в химическое взаимодействие с обычными насыщенными молекулами.

В результате неравномерного распределения внутренних напряжений или локализации энергии удара на отдельных участках цепи олигомера возникают критические напряжения, в результате чего происходит разрыв ковалентных связей в молекуле олигомера, что приводит к образованию активных частиц (свободных радикалов, ионов или ион-радикалов) [13].

Кроме взаимодействия активных участков свежесформированных поверхностей минеральных частиц и эпоксидной смолы, следует ожидать реализацию донорно-акцепторных связей из-за того, что олигомеры эпоксидной смолы содержат в цепи атомы кислорода с неподеленной парой электронов, а катионы кальция, которые содержатся в минеральном порошке, имеют свободные орбитали.

Минеральный порошок активируют растворами термоэластопластов, например, марки ДСТ-30, а битум модифицируют комплексной добавкой, включающей 2 % дивинил-стирольного блоксополимера ДСТ-30 и 30...40 % технической серы. На поверхности минерального порошка формируется структурированный слой модификатора, приводящий к резкому усилению межмолекулярного взаимодействия на поверхности раздела фаз «битумополимерсерное вяжущее – минеральный порошок». Это создает прочную и эластичную пространственную матрицу асфальтополимерсеробетона с высокой адгезией и когезией.

Важную роль в формировании структуры минерального остова литого асфальтополимерсеробетона играют песок и щебень. В частности, щебень играет роль высокопрочного структурообразующего компонента, который заполняет наибольший объем бетона [6].

Минеральная часть литых асфальтобетонных смесей, применяемых в Украине, отличается большим содержанием зерен щебня и минерального порошка (таблица).

Таблица – Гранулометрические составы минеральной части литых смесей (извлечение из СОУ 42.1-37641918:2013)

Вид смеси по крупности, мм	Содержание зерен, %, на ситах с размером отверстий, мм									
	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
15	0–10	5–25	40–55	45–66	50–70	57–72	63–80	70–84	74–85	15–26
10		0–20	35–50	42–62	52–68	59–73	65–78	70–84	74–85	15–26
песчаная			0–10	10–25	33–50	55–71	68–77	75–82	77–85	15–23

Песок же заполняет основной объем пустот в щебеночном каркасе, при этом не оказывая структурирующего влияния на пограничные битумные слои [14].

Компоненты комплексно модифицированной микроструктуры сорбируют большую часть масел и смол, тем самым замедляя интенсивность испарения и избирательной диффузии низкомолекулярных углеводородов внутрь минеральных зерен. Кроме того, увеличивается энергия активации реакции поликонденсации групп веществ, составляющих битум, что также влияет на повышение долговечности литого асфальтополимерсеробетона.

ВЫВОДЫ

Таким образом, сформулированы теоретические положения о закономерностях формирования структуры литых асфальтополимерсеробетонов с комплексно модифицированной микроструктурой, с прочной и эластичной пространственной матрицей, с высокой релаксационной способностью в области отрицательных температур. Показано, что наиболее рациональным способом повышения долговечности асфальтобетонов является комплексное регулирование микроструктуры модификацией битума дивинил-стирольным термоэластопластом ДСТ-30 совместно с технической серой и поверхностной активацией минерального порошка растворами олигомеров или полимеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по применению литого асфальтобетона для строительства дорожных покрытий [Текст]. – М. : Союздорнии, 1975. – 17 с.
2. ТУ 5718-002-04000633-2006. Смесей асфальтобетонные литые и литой асфальтобетон [Текст] / канд. техн. наук Л. В. Городецкий, д-р техн. наук А. В. Руденский. – Взамен ТУ 400-24-158-89* ; введ. 2006-01-01 / Комплекс архитектуры, строительства, развития и реконструкции города Москвы, Департамент градостроительной политики, развития и реконструкции города, ГУП НИИ Московского строительства ГУП «НИИМОССТРОЙ». – М. : [б. и.], 2006. – 19 с.
3. Золотарев, В. А. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы с добавками в дорожном строительстве [Текст] / В. А. Золотарев, В. И. Братчун // Всемирная дорожная ассоциация. Технический комитет «Нежесткие дороги» (S8). – Харьков : ХНАДУ, 2003. – 229 с.
4. Горельшев, Н. В. Взаимодействие битума и минерального порошка в асфальтовом бетоне [Текст] / Н. В. Горельшев // Труды МАДИ. – М., 1955. – Вып. 10. – С. 20–23.
5. Гохман, Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон [Текст] / Л. М. Гохман. – М. : ЗАО «ЭконИнформ», 2008. – 117 с.
6. Золотарев, В. А. Дорожные битумные вяжущие и асфальтобетоны [Текст] : учебник в 2 ч. Часть 2. Дорожные асфальтобетоны / В. А. Золотарев. – Харьков : ХНАДУ, 2016. – 204 с.

7. Братчун, В. И. Модифицированные деги и дегтебетоны повышенной долговечности [Текст] / В. И. Братчун, В. А. Золотарев. – Макеевка : МОН Украины, ДонГАСА, 1998. – 226 с.
8. О технологических и физико-механических свойствах асфальтобетона с комплексно-модифицированной микро-, мезо- и макроструктурой [Текст] / В. Л. Беспалов, В. И. Братчун, Ахмет Талиб Мутташар Мутташар [и др.] // Актуальные проблемы физико-химического материаловедения : сб. тезисов по материалам международной научно-практической конференции, 30 сентября–4 октября 2013 г., г. Макеевка. – 2013. – Макеевка : ДонНАСА, 2013. – С. 92–99.
9. ОДМ 218.2.003-2007 Рекомендации по использованию полимерно-битумных вяжущих материалов на основе блок-сополимеров типа СБС при строительстве и реконструкции автомобильных дорог [Текст]. – Введ. 2007-02-01 / СоюздорНИИ. – М. : Росавтодор, 2007. – 120 с.
10. Vibeke, Wegan The Structure of Polymer Modified Binders and Corresponding Asphalt Mixtures [Текст] / Vibeke Wegan, Bernard Brulé // Danish Road Institute. – 1999. – № 92. – 28 p.
11. Brule, B. La microscopie de fluorescence appliquee a l'observation des bitumes thermoplastiques [Текст] / B. Brule, M. Druon // Bull. Liaison Labo P. et. Ch. – 1975. – № 79. – P. 11–14.
12. Гурарий, Е. М. Влияние серы на структурообразование в битумах [Текст] / Е. М. Гурарий // Труды СоюзДорНИИ. – М. : [б. и.], 1971. – Вып. 44. – С. 137–145.
13. Братчун, В. И. Об особенностях формирования граничных слоев на поверхности раздела фаз «минеральный порошок (МП) – модифицированное органическое вяжущее» [Текст] / В. И. Братчун, М. К. Пактер, В. Л. Беспалов, Е. Э. Самойлова // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури, Макіївка. – 2003. – Вип. 1(38). – С. 3–8.
14. Гезенцевей, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов: [Текст] / Л. Б. Гезенцевей. – М. : Стройиздат, 1971. – 256 с.

Получено 03.04.2018

А. В. ЗАГОРОДНЯ

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ЛИТИХ ДОРОЖНІХ АСФАЛЬТОПОЛІМЕРСІРКОБЕТОНІВ

ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет»

Анотація. Сформульовані теоретичні положення про закономірності формування структури литого асфальтополімерсіркобетону з комплексно модифікованою мікроструктурою, з міцною і еластичною просторовою матрицею з високою релаксаційною здатністю в зоні негативних температур. Показано, що найбільш раціональним способом підвищення довговічності асфальтобетону є комплексне регулювання мікроструктури модифікацією бітуму дивініл-стирольним термоеластопластом ДСТ-30 спільно з технічною сіркою з поверхневою активацією мінерального порошку розчинами олігомерів або полімерів, теоретично досліджені процеси взаємодії складових в модифікованих органічних в'язучих і активованого мінерального порошку. Наведені фізико-механічні і деформаційно-міцнісні властивості асфальтобетонів, що містять бітумополімерне в'язуче.

Ключові слова: литий асфальтополімерсіркобетон, мікроструктура, механоактивований мінеральний порошок, бітумополімерне в'язуче.

ANASTASIA ZAGORODNYAYA

THE THEORETICAL PATTERNS OF FORMATION OF CAST CONCRETE ROAD ASPHALT AND POLYMERIC SULFUR CONCRETES STRUCTURE

SEI «Lugansk National Agrarian University»

Abstract. Theoretical regulations on regularities of formation of structure of a cast concrete road asphalt and polymeric sulfur concretes with in a complex modified microstructure in which the strong and elastic space matrix with high relaxation ability in the field of the negative temperatures is created are formulated. It is shown that the most rational way of increase in a longevity of asphalt concrete is complex regulation of a microstructure modification of bitumen on the basis of block butadiene-styrene copolymer like DST-30 together with technical sulfur with surface activation of mineral powder solutions of oligomers or polymers and investigated processes of interaction of components in modified organic knitting. Physic mechanical and straining and strength properties of the asphalt concrete containing bitumen and polymeric knitting are studied.

Key words: cast concrete road asphalt and polymeric sulfur concretes, microstructure, the surface activated mineral powder, the modified bitumen.

Загородняя Анастасия Викторовна – аспирант кафедры землеустройства, строительства автомобильных дорог и геодезии ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: разработка теоретических положений о закономерностях формирования структуры и физико-механических свойств литого асфальто-полимерсеробетона.

Загородня Анастасія Вікторівна – аспірант кафедри землеустрою, будівництва автомобільних доріг і геодезії ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: розробка теоретичних положень про закономірності формування структури і фізико-механічних властивостей литого асфальтополімерсіркобетону.

Zagorodnyaya Anastasia – post-graduate student, Land Management, Road Construction and Geodesy Department, SEI «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests development of theoretical provisions on the regularities of the formation of structure and physic and mechanical properties of cast concrete road asphalt and polymeric sulfur concretes.

УДК 69.003.658.012

М. М. РОДЫГИНА, А. В. ПАРАМОНОВА
ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УХУДШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Аннотация. В статье приведены характеристики технического состояния строительных конструкций, а также алгоритм определения технического состояния объекта. Благодаря данной методике возможно спрогнозировать, какие конструкции требуют капитального ремонта, находятся в предаварийном и аварийном состоянии.

Ключевые слова: техническое состояние, аварийное состояние, износ, степень поврежденности, надежность объекта, разрушающий фактор.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Существующая система надзора за состоянием строительных конструкций не позволяет досконально проследить процесс старения конструкций. Так как строительные конструкции зданий и сооружений различного назначения, в том числе промышленного, находятся в сложном взаимодействии с окружающей средой и подвергаются воздействию многочисленных факторов, в первую очередь механических и физико-химических, в результате чего происходит их постепенный износ и последующие разрушения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Установлено отсутствие единого жестко регламентированного порядка оформления отчетов по оценке технического состояния конструкций, оценке возможностей переустройства зданий и сооружений, что приводит к возникновению аварийных ситуаций, а в некоторых случаях аварий с обрушениями и человеческими жертвами. Поскольку массовое строительство жилых зданий начиналось и развивалось в одно время, примерно 60-е годы прошлого века, к настоящему времени моральный износ таких объектов вырос в республиканскую проблему [5].

ЦЕЛЬ

Целью работы является разработка методики количественной оценки технического состояния строительных конструкций. Это позволит спрогнозировать ухудшение строительной конструкции и усовершенствовать организационные решения по эксплуатации производственных объектов.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Визуальная оценка состояния железобетонных конструкций.

Состояние железобетонных конструкций визуально оценивается по характеру трещин, деформаций, внешнему виду железобетона.

Трещины могут быть доэксплуатационного периода и эксплуатационного периода. К первым относятся:

- Усадочные трещины, вызванные быстрым высыханием поверхностного слоя бетона.
 - Трещины, вызванные большим гидратационным нагревом при твердении бетона в массивных конструкциях.
 - Трещины технологического происхождения, возникшие в сборных железобетонных элемента в процессе изготовления.
 - Трещины в сборных железобетонных элементах силового происхождения, вызванные неправильным складированием, транспортировкой и монтажом, при которых конструкция подвергалась силовым воздействиям от собственного веса по схемам не предусмотренным проектом.
- Трещины, появившиеся в эксплуатационный период, можно разделить на следующие виды:
- Трещины, возникшие в результате температурных воздействий.
 - Трещины, вызванные неравномерностью осадок грунтового основания.
 - Трещины, обусловленные силовыми воздействиями, превышающими способность железобетонных элементов воспринимать растягивающие напряжения [4].

Для выявления степени поврежденности промышленных зданий и сооружений разработана методика количественной оценки поврежденности конструкций с выявлением признаков ухудшения технического состояния объектов, позволяющая выдавать рекомендации по локализации и устранению этих нарушений.

Единым оценочным показателем r -ой конструкции i -го вида является степень ее поврежденности E_{ir} . Числовое значение E_{ir} зависит от характера выявленных при осмотре дефектов и повреждений.

Абсолютно неповрежденной бездефектной конструкции присваивается $E_{ir} = 0$. Для конструкций, имеющих дефекты и (или) повреждения, отклонения от проектных решений, допущенные при установке, монтаже или возникшие в ходе их эксплуатации, $E_{ir} > 0$ определяется по системе правил с учетом характера нарушений качества, материала конструкции и их индивидуальных особенностей.

Принимается, что аварийное состояние конструкций (четвертая категория технического состояния) наступает при потере 18 % технической надежности [1]. Тогда, область сохранения эксплуатационных характеристик конструкции располагается в интервале поврежденности $0 < E < 0,18$. Категориям технического состояния могут быть присвоены следующие интервальные количественные оценки поврежденности: 1 категория $0 < E < 0,06$; 2 категория $0,06 < E < 0,12$; 3 категория $0,12 < E < 0,18$; 4 категория $0,18 < E < 0,24$.

Так как, при эксплуатации происходит непрерывное изменение качества конструкций, то для обобщенной характеристики ее фактического состояния на данный момент используется понятие категории технического состояния конструкции. Характеристики конструкций приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики технического состояния конструкций

Категория	Описание технического состояния конструкций
1	Исправное безопасное состояние; возможны незначительные повреждения и следы коррозии поверхности; отсутствуют признаки, свидетельствующие о потере несущей способности.
2	Работоспособное удовлетворительное безопасное состояние; незначительная потеря несущей способности вследствие повреждений от силовых воздействий и коррозионного разрушения, в основном в пределах поверхностного слоя.
3	Ограничено работоспособное условно безопасное состояние; снижение несущей способности в пределах, обеспечивающих надежность эксплуатации; результаты силовых воздействий носят явный характер; коррозионные нарушения обширны, в том числе со значительным поражением внутри конструкции.
4	Предаварийное состояние; безопасность дальнейшей эксплуатации сомнительна; принятие окончательного решения не может основываться на результатах осмотра.

Для получения оценки поврежденности объекта E устанавливается единая последовательность расчетных процедур, включающая: осмотр строительных конструкций, фиксацию результатов осмотра, экспертную количественную оценку степени поврежденности каждой конструкции E_{ir} , расчет E объекта.

Поврежденность объекта в целом определяется техническим состоянием его строительных конструкций и, в случае аварийного или предаварийного состояния хотя бы одной из них, квалифицируется соответственно (третья или четвертая категория). При работоспособном состоянии конструкции оценка поврежденности объекта должна выполняться по совокупности выявленных дефектов

и повреждений конструкций с учетом влияния каждой из них на прочность, устойчивость объекта (значимость конструкции).

Оценка поврежденности объекта рассчитывается как среднее арифметическое средnezавышенных степеней поврежденности несущих строительных конструкций всех видов в составе объекта n_i .

$$E = \frac{\sum_i \frac{\Sigma_r E_{ir} A_{ir}}{\Sigma_r A_{ir}}}{n_i} \quad (1)$$

Значимость конструкций A_{ir} назначается экспертно в баллах от одного до десяти в зависимости от ее вида, материала, технического состояния и роли в пространственной конструктивной схеме объекта. Выбор конкретного значения R_{ir} осуществляется экспертно лицом, подготавливающим информацию для расчета поврежденности объекта по зафиксированным результатам осмотра конструкций.

Для вычисления оценки поврежденности объекта должен быть завершен осмотр всех его конструкций (n_i видов); количество подлежащих осмотру конструкций каждого вида (1, 2, ... r , ... R) должно определяться правилами осмотра.

Расчетное значение E обосновывает отнесение объекта к одной из категорий технического состояния [2]. Характеристики категорий приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики категорий технического состояния объектов

Категория	Характеристики		Способ определения оценки поврежденности
	Описание эксплуатационных качеств	Количественная оценка	
1	Безопасность эксплуатации соблюдена; ремонт несущих конструкций не требуется; в составе объекта нет конструкций с $E_{ir} > 0,18$	$0 < E < 0,06$	Рассчитывается на основании степеней поврежденности осмотренных конструкций
2	Безопасность эксплуатации соблюдена; необходим ремонт, как правило, профилактический; возможна потребность в выборочном восстановительном ремонте; в составе объекта нет конструкций с $E_{ir} > 0,18$	$0,06 < E < 0,12$	Рассчитывается на основании степеней поврежденности осмотренных конструкций
3	Безопасность эксплуатации соблюдена и находится в зависимости от выполнения рекомендаций по результатам осмотра; необходимый ремонт, как правило, восстановительный; возможна потребность в выборочном капитальном ремонте; в составе объекта нет конструкций с $E_{ir} > 0,18$	$0,12 < E < 0,18$	Рассчитывается на основании степеней поврежденности осмотренных конструкций
4	Безопасность эксплуатации не обеспечивается; в составе объекта визуально определяются конструкции, находящиеся в угрожающем состоянии; продолжение эксплуатации допускается в виде исключения при соблюдении комплекса специальных условий	$0,18 < E < 0,24$	Значение E не рассчитывается; решение о дальнейшей эксплуатации может быть принято по результатам обследования технического состояния конструкций

При прогнозировании динамики технического состояния объектов принято, что в интервале $0 < E < 0,12$ (первая и вторая категории) тенденции и темпы снижения их эксплуатационной пригодности, включая развитие дефектов конструкций и вероятность их повреждения, остаются для данного объекта постоянными и не зависящими от фактического срока эксплуатации. Исходя из этого, рассчитывают запас времени от момента осмотра до перехода в следующую худшую категорию технического состояния t_1 и до перехода в состояние, требующее капитального ремонта t_2 .

Расчет этих величин основан на использовании аналитического выражения степени поврежденности при экспоненциальном законе снижения надёжности конструкций объекта в условии неизменной постоянной поврежденности k :

$$E = 1 - e^{-kt}, \quad (2)$$

где t – продолжительность эксплуатации до снижения степени поврежденности E . Условие $k = \text{const}$ выполняется для интервала $0 < E \leq 0,12$, т. е. для области от нижней границы первой категории технического состояния до верхней границы третьей категории. В этой области:

$$k = \frac{-\ln(1 - E_\phi)}{t_\phi}, \quad (3)$$

где E_ϕ – фактическое (определённое по результатам осмотра) значение поврежденности;
 T_ϕ – фактическая продолжительность эксплуатации объекта до момента осмотра от его ввода или последнего капитального ремонта, в годах.

Обозначим через t_{kp} критическую продолжительность эксплуатации объекта, после которой достигается 4 категория технического состояния E_{kp} .

Тогда,

$$t_1 = t_{kp1} - t_\phi, \quad (4)$$

$$t_2 = t_{kp2} - t_\phi. \quad (5)$$

Соответствующие критические поврежденности $E_{kp1} = E_{н.сл}$ (нижняя граница следующей худшей категории технического состояния) $E_{kp2} = 0,18$ (нижняя граница четвертой категории).

Для задаваемых значений E_{kp1} и E_{kp2} справедливы соотношения:

$$E_{kp1} = 1 - e^{-kt_{kp1}}, \quad (6)$$

$$E_{kp2} = 1 - e^{-kt_{kp2}}, \quad (7)$$

$$t_{kp1} = \frac{-\ln(1 - E_{kp1})}{k}, \quad (8)$$

$$t_{kp2} = \frac{-\ln(1 - E_{kp2})}{k}. \quad (9)$$

Подставляя значение k и заменяя t_{kp} суммой $(t_\phi + t)$, получим:

$$t_1 + t_\phi = \frac{-\ln(1 - E_{kp1})}{-\ln(1 - E_\phi)} \cdot t_\phi, \quad (10)$$

$$t_1 = t_\phi \left[\frac{\ln(1 - E_{kp1})}{\ln(1 - E_\phi)} - 1 \right]. \quad (11)$$

Аналогично:

$$t_{21} = t_\phi \left[\frac{\ln(1 - E_{kp2})}{\ln(1 - E_\phi)} - 1 \right] = t_\phi \left[\frac{\ln 0,82}{\ln(1 - E_\phi)} - 1 \right]. \quad (12)$$

ВЫВОД

Установление принадлежности объекта к одной из категорий, выдача заключений о его эксплуатационных характеристиках на момент осмотра и прогнозирование их динамики, формирование общих и частных рекомендаций по условиям дальнейшей эксплуатации позволит спрогнозировать динамику старения строительной конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам [Текст] / В. В. Гранев, В. Т. Ильин, А. М. Туголуков, А. Н. Добромислов. – Введ. 1989-01-01. – М. : ЦНИИПромзданий Госстроя СССР, 1979. – 42 с.
2. Пособие по обследованию строительных конструкций [Текст] / А. Г. Гиндоян. – Введ. 1997-01-01. – М. : АО ЦНИИПромзданий, 1997. – 222 с.

3. Регіональна програма «Реконструкція, модернізація, капітальний ремонт житлових будинків перших масових серій на період 2000–2005 рр.» [Електронний ресурс] / Луганська обласна державна адміністрація. – [Луганськ : б. в.], 2000. – Режим доступу: http://mpe.energy.gov.ua/oda/documents/official/official_717.html?template=33. – Загл. з екр.
4. Реконструкция зданий и сооружений [Текст] : учебное пособие для студентов строительных специальностей ВУЗов / Под ред. д. т. н., проф. А. Л. Шагина. – М. : Высшая школа, 1991. – 40 с.
5. Руководство по проведению паспортизации зданий и сооружений и техническому надзору на предприятиях [Текст]. – Луганськ : [б. и.], 2001. – 21 с.
6. Диагностика и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования [Текст] : учеб. пос. для вузов гражданской авиации / Под ред. И. М. Синдеева. – М. : Транспорт, 1984. – 191 с.
7. Проценко, К. І. Попередження аварійного стану промислових об'єктів і споруд [Текст] / К. І. Проценко // Пр. перша Всеукр. наук.-техн. конф. «Аварії будинків і споруджень й їхнє попередження» : збірник матеріалів. – К. : [б. в.], 1997. – С. 266.

Получено 04.04.2018

М. М. РОДИГІНА, А. В. ПАРАМОНОВА
ПРОГНОЗУВАННЯ ПОГІРШЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬНОЇ
КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ВИРОБНИЧОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ
МЕТОДИКИ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ЇХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет»

Анотація. У статті наведено характеристики технічного стану будівельних конструкцій, а також алгоритм визначення технічного стану об'єкта. Завдяки даній методиці можливо спрогнозувати, які конструкції вимагають капітального ремонту, знаходяться в передаварійному й аварійному стані.

Ключові слова: технічний стан, аварійний стан, знос основних фондів, ступінь пошкодження об'єкта, надійність об'єкта.

MARIA RODYGINA, ANASTASIYA PARAMONOVA
FORECASTING DETERIORATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE
CONSTRUCTION STRUCTURE OF INDUSTRIAL BUILDINGS ON THE BASIS
OF A METHODOLOGY FOR QUANTIFYING THEIR TECHNICAL CONDITION
SEI LPR «Lugansk National Agrarian University»

Abstract. The article presents the characteristics of the technical condition of building structures, as well as the algorithm for determining the technical condition of the object. Thanks to this technique, it is possible to predict which structures require major repairs, are in pre-emergency and emergency conditions.

Key words: technical condition, emergency condition, depreciation of fixed assets, degree of damage to the facility, destructive factor, reliability of the facility.

Родыгина Мария Михайловна – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой технологии и организации строительного производства ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: мониторинг технического состояния строительных конструкций, организационно-технологические проблемы процесса реновации зданий и сооружений.

Парамонова Анастасия Владимировна – магистрант строительного факультета ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет». Научные интересы: исследование зданий и сооружений.

Родигіна Марія Михайлівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технології та організації будівельного виробництва ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: моніторинг технічного стану будівельних конструкцій, організаційно-технологічні проблеми процесу реновації будівель і споруд.

Парамонова Анастасія Володимирівна – магістрант будівельного факультету ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет». Наукові інтереси: обстеження будівель та споруд.

Rodygina Maria – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Head of the Chair of Technology and Organization of Construction Production of SEI LPR «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests: monitoring the technical condition of building structures, organizational and technological problems of the renovation of buildings and structures.

Paramonova Anastasiya – Master's degree student, Civil Engineering Department, SEI LPR «Lugansk National Agrarian University». Scientific interests: inspection of buildings and structures.

УДК67.08:666.974.66

Д. С. КОВАЛЕНКО

ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет»

РАСШИРЯЮЩАЯ ДОБАВКА СУЛЬФОАЛЮМИНАТНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ БЕТОНОВ

Аннотация. В данной статье представлен обзор существующих расширяющих добавок, изготавливаемых и используемых для получения бетонов с компенсированной усадкой. Описаны добавки оксидные, алюминатно-оксидные и сульфоалюминатные. Расписан механизм действия каждой из типов добавок. Детально рассмотрена сульфоалюминатная расширяющая добавка, описан механизм её действия в твердеющем бетоне. Приведен перечень материалов техногенного происхождения для алюминатного и сульфатного компонентов, а также активного минерального компонента, которые наиболее подойдут для создания добавок такого качественного типа в региональных условиях Донбасса.

Ключевые слова: усадка, расширяющие добавки, оксидный тип, алюминатно-оксидный тип, сульфоалюминатный тип, отработанной катализатор, шлаки металлургии, ценосферы, горелая шахтная порода.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Несмотря на совершенствование технологии изготовления цементных композитов, которое привело к получению более высококачественных бетонов, это не смогло избавить их от одного из главных недостатков – усадки [1, 2]. Проблеме усадочных деформаций и ее влиянию на свойства бетона посвящены многие теоретические и экспериментальные исследования как в нашем регионе, так и за рубежом [3, 4, 5]. Усадка совместно с низкой прочностью бетона на растяжение повышает деформативность, снижает долговечность железобетонных конструкций за счет появления в них трещин, особенно в поверхностном слое [6].

Традиционным способом снижения усадочных деформаций бетона является сокращение количества воды затворения вкуче с применением пластифицирующих добавок, уменьшением расхода вяжущего, подбором фракционного состава заполнителей.

Также эту проблему могут решать применением расширяющих или напрягающих цементов, понижением содержания песка в бетоне, использованием бетонов со сниженным цементным содержанием в растворе, применением разнообразных агентов и добавок, способных компенсировать усадку, а также внутренним и внешним уходом за твердеющим бетоном [7, 8].

И так как производство расширяющихся цементов в Донбасском регионе отсутствует, то наиболее перспективным вариантом в нынешней ситуации является создание расширяющих добавок. Однако, в частности, на Донбассе, как и во многих странах СНГ, в отличие от зарубежных стран, применение на практике расширяющих добавок при производстве конструкций из бетона пока не получило большого распространения, так как не имеется достаточного количества сведений о свойствах добавок и результатов их применения в бетонах, нет достаточной изученности расширяющих добавок с химическими добавками направленного действия, ограничена номенклатура этих добавок и нет в наличии данных о долговечности бетонов на их основе [6].

Разработка и применение расширяющих добавок позволит получать бетоны с повышенными эксплуатационными характеристиками, а именно цементные бетоны с компенсированной усадкой.

Получение расширяющих добавок на минеральной основе с использованием различных отходов промышленности также позволит способствовать улучшению экологической обстановке в регионе.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

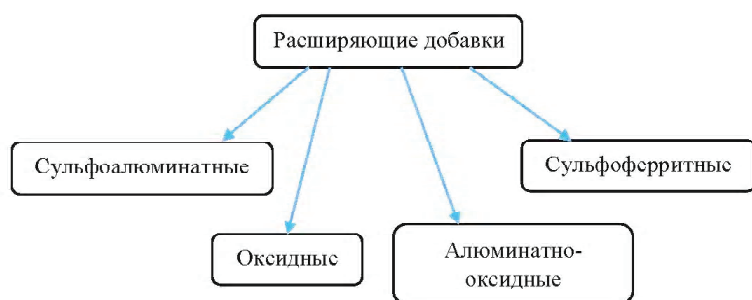


Рисунок 1 – Типы расширяющих добавок по качественному составу.

Анализируя данные, представленные в отечественной и зарубежной литературе, расширяющие добавки можно разделить условно на 4 типа, представленных на рис. 1.

Расширяющие добавки всех типов можно получать как спеканием сырьевой массы в камерных, туннельных и вращающихся печах, а также плавлением в доменных или электрических печах, так и с помощью механического помола готовых продуктов (в частности, отходов различных производств) [6].

Добавки оксидной группы получают в результате смешивания материалов с повышенным содержанием CaO или MgO (например, смеси с известняком и обожженным доломитом или готовая минеральная добавка «Сигб»). Непосредственно расширение происходит вследствие гидратации $\text{CaO}_{\text{св}}$ или $\text{MgO}_{\text{св}}$ последующим образованием гидроокисей. Так, иракский исследователь К. Маршди в своей работе [9] получил расширяющую оксидную добавку путем обжига доломитизированного известняка.

Главными компонентами алюминатно-оксидной добавки являются алюминийсодержащий материал с повышенным содержанием Al_2O_3 , сульфатосодержащий компонент и свободный оксид кальция $\text{CaO}_{\text{св}}$. В этом типе добавки расширение происходит как за счет образования гидросульфоалюмината кальция (ГСАК), также называемого этtringитом, так и за счет гидрооксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (по аналогии с оксидной группой).

Получение расширяющих добавок данной группы отражены во многих работах и патентах японских исследователей. В одном из патентов [10] авторы готовят добавку обжигом смеси из глины, извести и боксита; в другом [11] из смеси сульфата, извести и глины; в еще одном патенте [12] описывается технология, при которой расширяющая добавка получается плавлением сырьевой смеси белого боксита, ангидрита и извести; а в [13] предлагается технология совместного измельчения отдельно приготовленных алюминатов кальция, $\text{CaO}_{\text{св}}$ и CaSO_4 .

В своей работе М. Ю. Титов [6] испытал комплексную добавку из циклонной пыли керамзитового производства в качестве алюминатного компонента, гипсовый камень в качестве сульфатного и дополнительным активатором выступил обожженный доломит. Но по результатам экспериментов автор не рекомендует использовать такую добавку в качестве базовой из-за нестабильности состава сырьевых материалов.

В качестве сульфоалюминатной расширяющей добавки обычно выступает смесь из алюминатного и сульфатного компонента, а также активатора, т. е. дополнительного материала, использующегося для активизации добавки. В этом типе добавки расширение осуществляется при взаимодействии алюминатных и сульфатсодержащих фаз с образованием игольчатых кристаллов этtringита.

В качестве алюминатных компонентов могут применяться материалы, содержащие C_3A , CA_2 , C_{12}A_7 , $\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$ и т. д., а в качестве сульфатсодержащих – гипс, ангидрит и пр.

Сульфоалюминатная добавка является широко распространенной и подробно изученной. И в большинстве зарубежных научных трудах и патентах описывается получение данной добавки путем высокотемпературного обжига специально подготовленных материалов [14, 15].

Следует отметить, что добавки, которые получают путем обжига, по технологии их производства являются довольно сложными и недешевыми процессами. Хотя при этом они получают более стабильные химические и минералогические составы в сравнении с добавками, которые получают более простыми способами [6].

Целью данной статьи является обзор и установление наиболее подходящего техногенного сырья для оптимального варианта расширяющей добавки в региональных условиях Донбасса.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В региональных особенностях Донбасса целесообразно получать расширяющие добавки сульфоалюминатного типа на основе промышленных отходов, которых на этой территории накопилось в

огромном количестве. На рис. 2 показаны компоненты и местные промышленные отходы, которые в перспективе можно вовлекать в данную добавку.

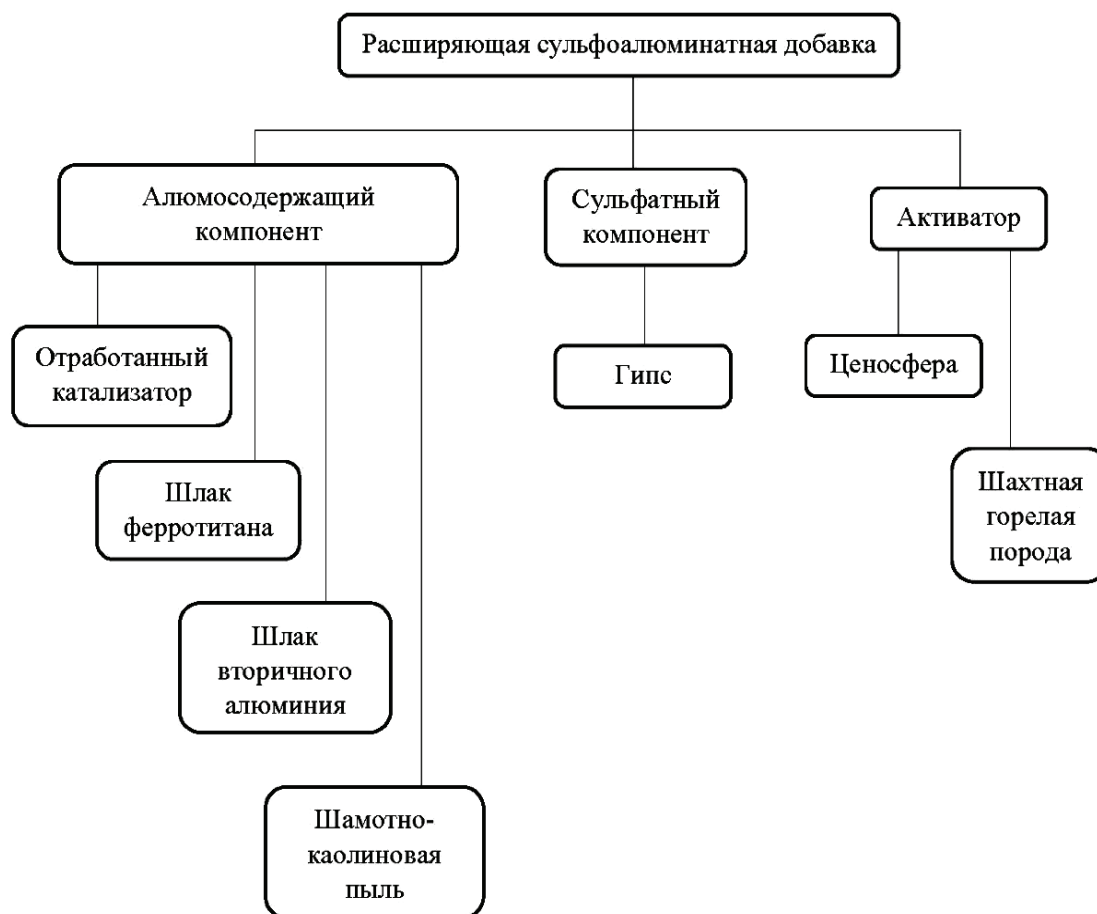


Рисунок 2 – Компоненты и местные сырьевые материалы для расширяющей сульфоалюминатной добавки.

Отработанные катализаторы К-905 Д2 и ГИАП 3-6 являются отходами химической промышленности, в частности ЧАО «Северодонецкое объединение Азот». Данные катализаторы используются при конверсии углеводородного сырья и после окончания срока эксплуатации направляются на утилизацию или переработку.

В статьях Ворожбиана и пр. [16, 17] отработанные катализаторы представлены в качестве высокоглиноземистого компонента (содержание Al_2O_3 до 90 %) при изготовлении глиноземистого цемента. И именно благодаря высокому содержанию окиси алюминия данный отход перспективно применять в качестве алюмосодержащего компонента.

Еще одним высокоалюминатным техногенным продуктом являются шлаки ферротитана, являющиеся отходами алюмотермического производства ферросплавов. Так, например, ООО «Мета-Д» (г. Днепродзержинск, Днепропетровская область) реализует данные шлаки, которые могут вмещать до 80 % оксида алюминия. Шлаки ферротитана по минералогическому составу представляют собой смесь низкоосновных алюминатов кальция, как правило диалюминатов кальция, которые при взаимодействии с гипсом образуют гидросульфоалюминат кальция, но с меньшей скоростью [18].

Также в качестве алюминатного компонента можно добавлять отход производства цветных металлов – шлак вторичного алюминия, который образуется в результате вторичной переплавки алюминиевого лома и может содержать до 66...81 % Al_2O_3 . Например, данный тип шлаков производится в ООО «Матеко» (г. Днепропетровск).

Шамотно-каолиновую пыль с содержанием оксида алюминия до 40 %, являющуюся промышленным отходом, также можно рассматривать как вариант алюминийсодержащего компонента. Данный отход чаще всего собирается с электрофильтров вращающихся печей при обжиге шамота. В

Донецком регионе на трех предприятиях по производству огнеупоров встречается шамотно-каолиновая пыль, а именно ЧАО «Великоанадольский огнеупорный комбинат» (пгт. Владимировка), ПАО «Красногоровский огнеупорный завод» (г. Красногоровка) и ОАО «Кондратовский огнеупорный завод» (г. Алексеево-Дружковка).

Традиционно в качестве сульфатного компонента применяется двуводный гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, считающийся наиболее стабильным сульфатсодержащим продуктом. Гипс находится в достаточном количестве в Донбассе.

Механизм расширения добавки в цементах и бетонах состоит в следующем: в цементном тесте наблюдаются образования кристаллов игольчатой формы гидросульфатоалюмината кальция ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$), увеличивающегося в объеме при взаимодействии двуводного гипса с гидроалюминатами кальция как алюминатного компонента, так и гидратирующего цемента.

Помимо сульфатного и алюминатного компонентов для подобных добавок также предусматривают дополнительные активаторы, которые могут обеспечивать интенсификацию процессов структурообразования.

В качестве активатора из местного сырья наиболее подходящими являются алюмосиликатные полые микросферы или шахтные горелые породы как вещества, имеющие в своем составе не менее 18 % оксида алюминия.

Алюмосиликатные полые микросферы, имеющие также название ценосферы, являются побочным продуктом пылеугольного сжигания твердого топлива, как результат специфической грануляции расплава минеральной части углей на ТЭС [19]. Ценосферы выделяют из сухой золы-уноса и золошлаковых смесей, которые поступают на золоотвалы ТЭС. Микросферы из близлежащих теплоэлектростанций имеют в своем химическом составе не менее 55 % SiO_2 и не менее 27 % Al_2O_3 .

Также высоким содержанием окиси алюминия характеризуются горелые породы шахтных терриконов, которые являются продуктом самообжига пустых пород, извлеченных на поверхность вместе с углем [20]. Горелая порода – одна из самых распространенных среди техногенного сырья Донбасса. Но при этом выделяется как наименее освоенный источник минерального сырья вследствие различия химического состава каждого отдельного террикона, даже на уровне региона. Добавление горелых пород как активной минеральной добавки возможно благодаря их пуццолановой активности, которая в свою очередь обусловлена наличием активных алюминатных ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$), кремнеземистых (SiO_2) и железистых компонентов (Fe_2O_3) [21].

ВЫВОДЫ

Разработка расширяющих добавок сульфатоалюминатного типа на основе местного техногенного сырья является перспективным направлением в условиях Донбасса. Во-первых, это позволит создавать цементные бетоны повышенного качества, а именно с компенсированной усадкой. Во-вторых, добавление промышленных отходов в добавку улучшит экологическую ситуацию в регионе. И в-третьих, вовлечение расширяющих добавок из местного сырья экономически выгоднее сравнении с применением дорогостоящих зарубежных добавок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлова И. П. Свойства цементных систем, модифицированных расширяющимися добавками сульфатсодержащего и сульфатоалюминатного типа [Текст] / И. П. Павлова, К. Беломесова // Инновации в бетоноведении, строительном производстве и подготовке инженерных кадров: сборник статей по материалам Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И. Н. Ахвердова и С. С. Атаева, Минск, 9–10 июня 2016 г. : в 2 ч. – Ч. 1 / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: Э. И. Батыновский, В. В. Бабицкий. – Минск, 2016. – С. 153–158.
2. Блищик, Н. П. Особенности и технические проблемы новых видов конструктивных бетонов [Текст] / Н. П. Блищик // Строительная наука и техника. Научно-технический журнал. – 2005 – № 1. – С. 55–64.
3. Десов, А. Е. Некоторые вопросы структуры, прочности и деформаций бетонов [Текст] / А. Е. Десов // Структура, прочность и деформации бетона. – М. : Стройиздат, 1976. – С. 65–72.
4. Шейкин, А. Е. Структура и свойства цементных бетонов [Текст] / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. – М., 1979. – 123 с.
5. Цилосани, З. Н. Усадка и ползучесть бетона [Текст] / З. Н. Цилосани / Акад. наук Груз. ССР. Ин-т строит. механики и сейсмостойкости. – Тбилиси : Изд-во Акад. наук Груз. ССР, 1963. – 174 с.
6. Титов, М. Ю. Бетоны с компенсированной усадкой на расширяющих добавках [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / М. Ю. Титов. – Москва, 2012. – 189 с.

7. Титов, М. Ю. Бетоны с повышенной прочностью на основе расширяющих добавок [Текст] / М. Ю. Титов // Строительные материалы. – 2012. – № 2. – С. 84–87.
8. Коваленко, Д. С. Перспективы создания экономичных бетонов с пониженной усадкой на основе отходов промышленности [Текст] / Д. С. Коваленко // Международный научно-практический журнал «Интеграция наук». – 2017. – Вып. № 3(7). – С. 65–70.
9. Маршди К. Модифицированный дорожный цементный бетон в условиях жаркого климата [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Маршди Косай Сахиб Ради – Харьков, 2015. – 179 с.
10. Patent 4452637 Japan, C04b 7/35. Expansive cement additive and cementitious material added therewith [Text] / Yuichi Suzukawa, Waichi Kobayashi, Shigeo Okabayashi, Hidefumi Ichinose ; original assignee Ube Industries Ltd. – №457,683 ; filed 13.01.1983 ; published 05.06.1984. – 5 p.
11. Patent 3801339 Japan, C04b 13/22. Expansive additive for lime cement and process for the preparation of the same [Text] / Hirokatsu Ogura, Tatsuo Takizawa, Yoshizo Ono, Yukuo Taketsume ; original assignee Denka Co Ltd. – №169,811 ; filed 06.08.1971 ; published 02.04.1974. – 5 p.
12. Patent 3510326 Japan, C04b 7/04, 7/32. Expansive cement and method of production of such cement [Text] / Minoru Miki ; original assignee Minoru Miki. – № 602,356 ; filed 06.12.1966 ; published 05.05.1970. – 8 p.
13. Patent 3666515 Japan, C04b. Process for the production of cement expansive additives [Text] / Kozi Nakagawa ; original assignee Denka Co Ltd. №46,363 ; filed 15.06.1970 ; published 30.05.1972. – 5 p.
14. Kawano. T. Product based on CaO as expansive agent [Текст] / T. Kawano // Gypsum – S – Lime. – 1972. – № 121. – P. 11–16.
15. Ворожбян, Р. М. К вопросу об использовании отходов водоочистки в производстве глиноземистого цемента [Текст] / Р. М. Ворожбян, Г. Н. Шабанова, А. Н. Корогодская // Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – № 27. – Вып. Химия, химическая технология и экология. – Харьков : НТУ «ХПИ». – С. 164–173.
16. Ворожбян Р. М. Разработка ресурсо-энергосберегающих составов вяжущих с использованием отходов химической промышленности [Текст] / Р. М. Ворожбян, Г. Н. Шабанова // Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2013. – Випуск 26. – С. 436–441.
17. Специальные цементы [Текст] / Т. В. Кузнецова, М. М. Сычев, А. П. Осокин и др. – СПб. : Стройиздат, 1997. – 315 с.
18. Компоненты золишлаков ТЭЦ [Текст] / Л. Я. Кизильштейн, И. В. Дубов, А. Л. Шпицглюз, С. Г. Парада. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 176 с.
19. Гамалий, Е. А. Горелые породы как активная минеральная добавка в бетон [Текст] / Е. А. Гамалий // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2008. – № 7(25). – С. 22–27.
20. Книгина, Г. И. Строительные материалы из горелых пород [Текст] / Г. И. Книгина. – М. : Стройиздат, 1966. – 207 с.

Получено 05.04.2018

Д. С. КОВАЛЕНКО
РОЗШИРЮВАЛЬНА ДОБАВКА СУЛЬФОАЛЮМІНАТНОГО ТИПУ НА
ОСНОВІ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ ДЛЯ БЕТОНІВ
ДООУ ЛНР «Луганський національний аграрний університет»

Анотація. У даній статті представлено огляд існуючих розширювальних добавок, що виготовляються та використовуються для отримання бетонів з компенсованою усадкою. Описані добавки оксидні, алюмінатно-оксидні і сульфоалюмінатні. Розписано механізм дії кожної з типів добавок. Детально розглянута сульфоалюмінатна розширювальна добавка, описано механізм її дії у твердкому бетоні. Наведено перелік матеріалів техногенного походження для алюмінатного та сульфатного компонентів, а також активного мінерального компонента, які найбільш підійдуть для створення добавок такого якісного типу в регіональних умовах Донбасу.

Ключові слова: усадка, розширювальні добавки, оксидний тип, алюмінатно-оксидний тип, сульфоалюмінатний тип, відпрацьований каталізатор, шлаки металургії, ценосфери, горіла шахтна порода.

DENIS KOVALENKO
SULFOALUMINATE TYPE EXPANSION AGENT BASED ON INDUSTRIAL
WASTES FOR CONCRETES
SEI LPR «Lugansk National Agrarian University»

Abstract. This article provides an overview of the existing expansion additives that are manufactured and used to produce concrete with compensated shrinkage. Oxide, aluminate-oxide and sulphoaluminate

additives are described. The mechanism of action of each type of additives is outlined. The sulphoaluminate expanding additive is considered in detail, the mechanism of its action in hardening concrete is described. The list of materials of technogenic origin for aluminate and sulphate components, as well as an active mineral component, are most suitable for creating additives of this quality in the regional conditions of the Donbas.

Key words: shrinkage, expanding additives, oxide type, aluminate-oxide type, sulfoaluminate type, spent catalyst, slags of metallurgy, cenospheres, burnt rocks of mine waste banks.

Коваленко Денис Сергеевич – аспирант кафедры архитектуры и строительных конструкций ГОУ ЛНР «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 архітектури та будівельних конструкцій ДООУ ЛНР «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, Architecture and Building Constructions Department, SEI LPR «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 678+532.64+621.792

В. В. НЕФЕДОВ, Н. М. ЗАЙЧЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ-УНОСА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Аннотация. В работе рассматривается структура полимерного композиционного материала, наполненного дисперсными частицами. Разрабатываемый материал включает в себя в качестве дисперсного наполнителя золу-уноса теплоэлектростанций, полимерной матрицы – вторичный полиэтилен-терефталат. Для построения пространственной модели композиционного материала и анализа распределения частиц в представительном элементе объема был использован модуль Digimat-FE, входящий в программный комплекс MSC Digimat. Изучен гранулометрический состав золы-уноса Зуевской тепловой электростанции в диапазоне 0,3...150 мкм, получено интегральное и дифференциальное распределение частиц. Исходя из результатов моделирования макроструктуры композиционного материала с заданным гранулометрическим составом наполнителя определена его максимальная объемная и массовая доля в сгенерированном представительном элементе объема.

Ключевые слова: композиционный материал, моделирование структуры, вторичный полиэтилен-терефталат, зола-уноса электростанций.

При проектировании полимерных композиционных материалов (КМ), наполненных дисперсными наполнителями, важную роль в понимании процессов структурообразования играет степень наполнения КМ. Для образования дисперсной структуры КМ полимерное связующее должно полностью смачивать частицы наполнителя, которые, в свою очередь, должны быть равномерно распределены в объеме КМ. При такой структуре в полимерной смеси при плотной упаковке дисперсных частиц происходит образование непрерывного пространственного каркаса, что позволяет достичь оптимальных прочностных свойств КМ [1]. Вследствие этого возникает необходимость оперировать данными о расположении частиц наполнителя в объеме композита. Для этого рационально построить трехмерную модель композиционного материала, опираясь на справочные и экспериментальные данные о свойствах материалов фаз. Современные программные комплексы позволяют создать пространственную модель композиционного материала, содержащего различные наполнители. Одним из таких решений является пакет программного обеспечения MSC Software Digimat. Digimat позволяет моделировать характеристики термопластичных и термореактивных пластмасс, а также композитных материалов с различной матрицей. Полученные характеристики материалов в дальнейшем могут быть переданы для выполнения расчетов в конечно-элементных пакетах [2, 3].

В качестве проектируемого материала выступает композит, включающий в себя дисперсный наполнитель золу-уноса теплоэлектростанций (ТЭС) и полимерную матрицу – вторичный полиэтилен-терефталат (ПЭТФ) [4].

Для построения пространственной модели (рис. 1) композиционного материала был использован модуль Digimat-FE, входящий в программный комплекс MSC Digimat. В Digimat-FE при моделировании структуры КМ используется конечно-элементный подход. Данный модуль предназначен для создания представительного элемента объема (ПЭО) армированного пластика. ПЭО – это минимальный объем материала, в котором содержится достаточное для статистического описания состояния тела число «носителей» – рассматриваемых механизмов процесса.

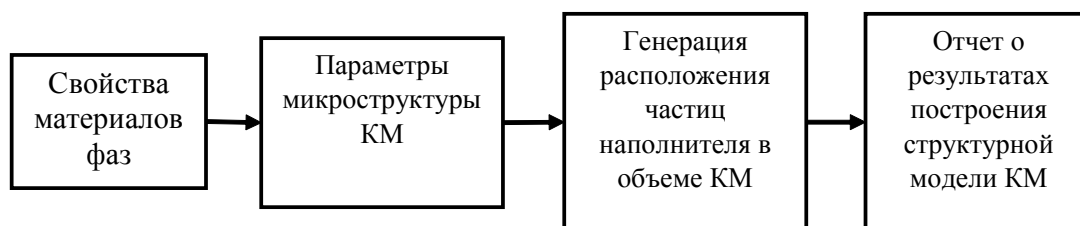


Рисунок 1 – Алгоритм построения пространственной модели КМ в MSC Digimat-FE.

Для изучения фракционного состава золы-уноса ТЭС использовался лазерный дифракционный анализатор размера частиц ANALYSETTE 22 Compact. Данный прибор имеет диапазон измеряемых размеров частиц от 0,3 до 300 мкм. Результаты анализа фракционного состава золы-уноса представлены в таблице и на рис. 2.

Таблица – Гранулометрический состав золы-уноса ТЭС

Размер частиц, мкм	Содержание фракции, %	Размер частиц, мкм	Содержание фракции, %
0,3–0,5	1,49	30–40	12,03
0,5–1	2,17	40–50	7,6
1–2	5,05	50–60	4,48
2–3	4,33	60–70	2,68
3–4	4,1	70–80	1,6
4–5	3,79	80–90	0,93
5–10	13,51	90–100	0,58
10–20	19,19	100–120	0,58
20–30	16,51	120–150	0,33

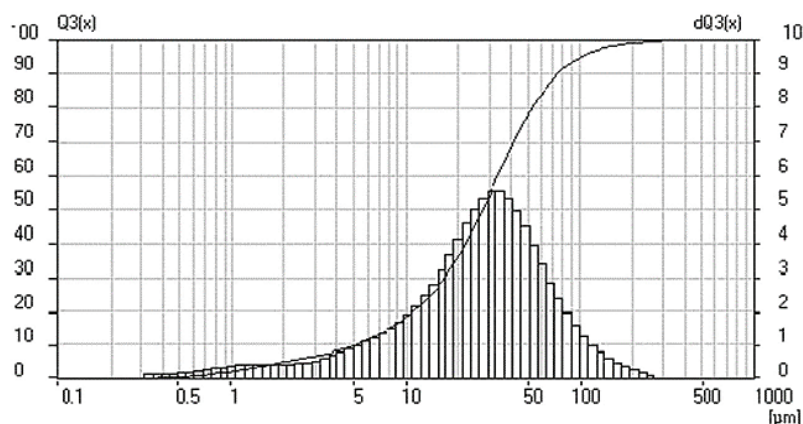


Рисунок 2 – Интегральное и дифференциальное распределение частиц золы-уноса по размерам.

Для расчета объемного содержания компонентов КМ в модуле Digimat-FE была определена истинная плотность золы-уноса и вторичного полиэтилентерефталата пикнометрическим методом, она составила 2,47 и 1,36 г/см³ соответственно.

При генерации макроструктуры КМ и определения максимальной степени наполнения ПЭО были приняты сферические частицы с установленным фракционным составом, т. к. известно, что зола-уноса состоит преимущественно из шарообразных стекловидных частиц [5]. Сгенерированная трехмерная модель представительного элемента объема КМ с размером 0,5×0,5×0,5 мм представлена на рис. 3.

В результате максимальная объемная доля наполнителя в сгенерированном ПЭО составила 34,46 %, а массовая доля – 48,84 %. Исходя из графика распределения размеров частиц в сгенерированном представительном элементе объема КМ (рис. 4) частицы с размером от 10 до 50 мкм занимают наибольший объем (74,9 %).

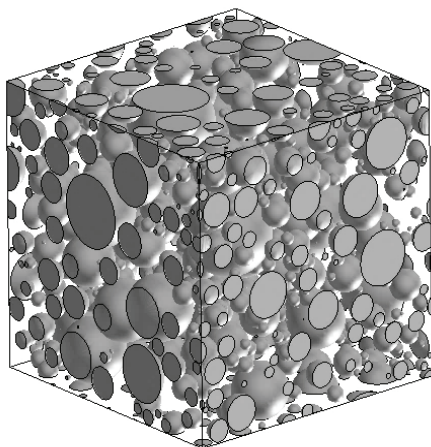


Рисунок 3 – Модель представительного элемента объема КМ с максимальной степенью наполнения.

Для изучения прочностных свойств, разрабатываемого КМ были изготовлены образцы методом термопрессования с установленной теоретически концентрацией дисперсного наполнителя (48,8 %). Предел прочности при сжатии образцов КМ был определен в соответствии с ASTM D695. Его среднее значение для серии из 10 образцов составило 50,2 МПа.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют подтвердить рациональность использования дисперсной золы-уноса ТЭС в качестве наполнителя для разрабатываемого КМ. Выбранный наполнитель имеет гранулометрический состав, позволяющий создать плотноупакованную дисперсную структуру КМ. Полученная теоретически максимальная объемная доля наполнителя в сгенерированной модели позволит провести дальнейшую оптимизацию состава по физико-механическим характеристикам образцов КМ.

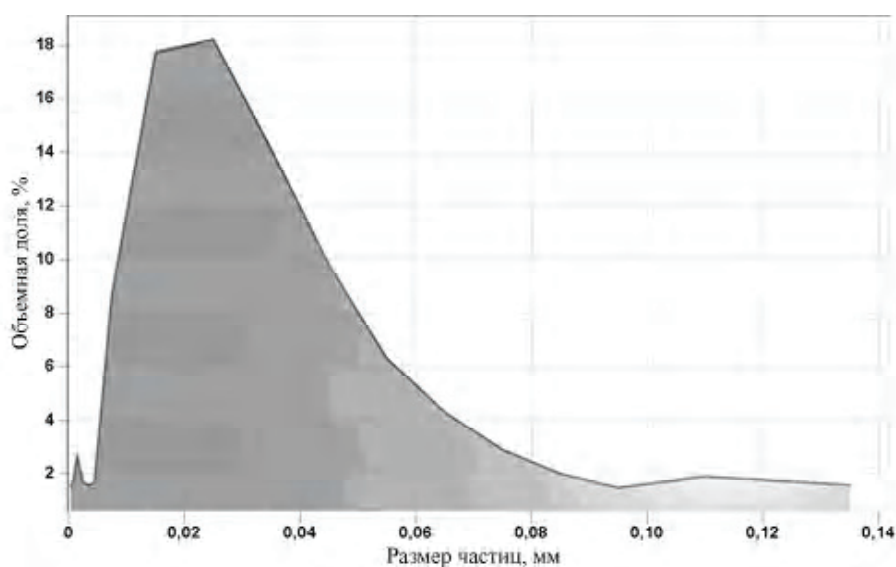


Рисунок 4 – График распределения размеров частиц в представительном элементе объема КМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кербер, М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология [Текст] : учеб. пособие / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин и др. ; под ред. А. А. Берлина. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.
2. Digimat – The Nonlinear Multi-scale Material and Structure Modeling Platform [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mscsoftware.com/product/digimat>. – Официальная страница.
3. Digimat for engineering plastics [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://documents.mscsoftware.com/sites/default/files/digimat_for_engineering_plastics1.pdf. – Официальная страница.
4. 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) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 99–103.
5. ГОСТ 25818-2017 Золо-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия [Текст]. – Введ 2018-03-01 / Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ им. А. А. Гвоздева), АО «НИЦ "Строительство"», ООО «ПЦВ». – М. : Стандарт-информ. – 2017. – 15 с.

Получено 06.04.2018

В. В. НЕФЕДОВ, М. М. ЗАЙЧЕНКО
МОДЕЛЮВАННЯ СТРУКТУРИ КОМПОЗИЦІЙНОГО ПОЛІМЕРНОГО
МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ ЗОЛИ-ВИНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ
ДОНБУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. У роботі розглядається структура полімерного композиційного матеріалу, наповненого дисперсними частинками. Розроблений матеріал включає в себе як дисперсного наповнювача золи-винесення теплоелектростанцій, полімерної матриці – вторинний поліетилентерефталат. Для побудови просторової моделі композиційного матеріалу й аналізу розподілу частинок в представницькому елементі об'єму було використано модуль Digimat-FE, що входить в програмний комплекс MSC Digimat. Вивчено гранулометричний склад золи-винесення Зуївської теплової електростанції в діапазоні 0,3...150 мкм, одержано інтегральний і диференціальний розподіл частинок. Виходячи з результатів моделювання макроструктури композиційного матеріалу із заданим гранулометричним складом наповнювача, визначена його максимальна об'ємна і масова частка у створеному представницькому елементі об'єму.

Ключові слова: композиційний матеріал, моделювання структури, вторинний поліетилентерефталат, зола-винесення електростанцій.

VLADISLAV NEFEDOV, MYKOLA ZAICHENKO
STRUCTURE MODELING OF COMPOSITE POLYMER MATERIAL BASED ON
FLY ASH OF POWER PLANTS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The paper deals with the structure of polymeric composite material filled with dispersed particles. The developed material includes as a dispersed filler fly ash of thermal power plants, and as a polymer matrix – secondary polyethylene terephthalate. To build a spatial model of the composite material and analyze the particle distribution in a representative volume element, the Digimat-FE module was used, which is a part of the MSC Digimat software package. The granulometric composition of fly ash of Zuevskaya thermal power plant in the range of 0.3-150 mkm was studied, the integral and differential particle distribution was obtained. Based on the results of modeling the macrostructure of a composite material with a specified granulometric composition of the filler, its maximum volume and mass fraction in the generated representative volume element has been determined.

Key words: composite material, structure modeling, secondary polyethylene terephthalate, fly ash.

Нефедов Владислав Васильевич – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: полимерные композиционные материалы на основе промышленных и твердых бытовых отходов.

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 ДОНБУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: полімерні композиційні матеріали на основі промислових і твердих побутових відходів,

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНБУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: високоміцні і особливо високоміцні бетони на основі модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Nefedov Vladislav – Assistant, Technology of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: polymer composite materials on the base of industrial and municipal solid waste.

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

УДК 666.972.16

Е. С. ЛОБОДА, Н. М. ЗАЙЧЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БЕТОНАХ ПРИ СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ С АГЕНТОМ ВНУТРЕННЕГО УХОДА

Аннотация. Новый метод тестирования на двух кольцах, согласно ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage, характерен для раннего поведения бетона, который расширяется и деформируется. В этом исследовании предлагается новая методология оценки потенциала растрескивания, который имеет последствия для смягчения (уменьшения, предотвращения) раннего растрескивания в бетонной смеси. Внутренний уход – это метод, когда абсорбирующий материал вводится в смесь, действуя как внутренний резервуар, который может уменьшить или устранить аутогенную и стесненную усадку в раннем возрасте, а также уменьшить потенциал раннего растрескивания вследствие пластической усадки или усадки при «самовысыхании».

Ключевые слова: аутогенная усадка, внутренний уход, легкий заполнитель, остаточное напряжение, ring test, высококачественный бетон, стесненная усадка.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Высококачественный бетон развивает растягивающие напряжения, когда он твердеет в стесненных, ограниченных условиях. Стандартные испытания могут использоваться для количественной оценки напряжений, возникающих в сжатых условиях. Стандартное стесненное кольцевое испытание является пассивным испытанием, в котором остаточные напряжения, которые развиваются из-за стеснения, могут являться количественно использованными деформациями, измеряемыми на внутреннем стальном кольце. Остаточное напряжение можно сравнить с прочностью бетона на растяжение, чтобы определить склонность смеси к растрескиванию. Предлагается новая методология оценки потенциала растрескивания, которая имеет последствия для смягчения (уменьшения, предотвращения) раннего растрескивания в бетонной смеси на установке «ring test», с внутренним уходом.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Раннее растрескивание высококачественного бетона является постоянной проблемой для изделий и конструкций. Трещины могут ускорять преждевременную коррозию арматуры и приводить к разрушению бетона, что увеличивает затраты на техническое обслуживание и сокращает срок службы [1, 2]. Несмотря на то что высококачественные бетоны с более низким водоцементным отношением (В/Ц) обеспечивают более высокую прочность и более низкую проницаемость, эти смеси могут быть особенно восприимчивы к раннему растрескиванию. Это растрескивание раннего возраста может развиваться в бетоне по целому ряду причин, при этом стеснение температурных (тепловых) и аутогенных изменений объема является значительным фактором. Стеснение этого объемного изменения окружающими элементами создает внутри бетона напряжение, что может привести к растрескиванию [3–5]. Смеси с низким водоцементным отношением испытывают большую аутогенную усадку, а также внешнюю сушку и термическую усадку [6]. Внутренний уход это метод, когда абсорбирующий материал вводится в смесь, действуя как внутренний резервуар, который выделяет воду по мере того, как требуется бетону. Внутренний уход может уменьшить или устранить аутогенную и стесненную

усадку в раннем возрасте, а также уменьшить потенциал раннего растрескивания вследствие пластической усадки или усадки при «самовысыхании» [7–9].

Цель продления срока службы бетонных конструкций такими технологиями, как внутренний уход, способствовали разработке тестов, которые могут быть использованы для множественных улучшений производительности в работе бетонных смесей. Одним из таких тестов является стесненный кольцевой тест – «ring test», как ASTM C1581-04. Устройство «ring test» обеспечивает сдержанность в отношении расширения и фиксирует сдержанное поведение расширяющихся бетонных образцов. Остаточное растягивающее напряжение развивается в образце, поскольку оно пытается сжиматься, но удерживается кольцом. Трещина возникает, если напряжение, которое возникает из-за стеснения (так называемого «остаточное напряжение»), превышает развивающуюся прочность на растяжение [8]. Стандарт предполагает, что относительный потенциал растрескивания смесей можно количественно оценить, сравнив количество времени, необходимое для растрескивания образцов. Соответственно изменения времени при быстром растрескивании указывают на относительно высокий потенциал растрескивания, тогда как более длительное время растрескивания указывает на более низкий потенциал растрескивания.

Этот метод позволяет определить время, когда высококачественный бетон может быть особенно чувствителен к растрескиванию. Кроме того, могут быть определены количественные характеристики воздействия постоянного напряжения на бетонный образец вплоть до появления сквозной трещины.

Целью данной работы является количественная оценка развития напряжений высококачественных бетонов в стесненных условиях с агентом внутреннего ухода.

Характеристика метода исследования. Для количественной оценки стесненной усадки бетона использована методика «ring test» (рис.), согласно ASTM C1581-04 *Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage*. Оборудование для проведения испытаний бетона в стесненных условиях представляет собой: кольцо внешнее диаметром 406 ± 3 мм и кольцо внутреннее диаметром 330 ± 3 мм, толщиной $12,5 \pm 1,0$ мм, высота всего оборудования составляет 150 ± 6 мм (рисунок). В полость между кольцами заливается бетонная смесь и во внутреннее кольцо устанавливаются тензометрические датчики. Как минимум используется два электрических тензодатчика для контроля напряжений (деформаций), развивающихся в стальном кольце. Система сбора данных должна быть совместима с измерительным прибором и автоматически записывать каждый тензодатчик независимо [10]. Регистрация деформаций осуществлялась модулем ввода-вывода «ОВЕН МВ-110-224.4ТД».

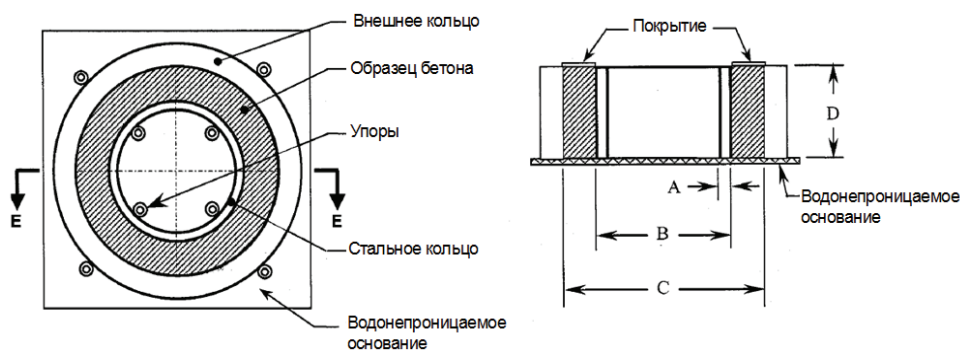


Рисунок – Метод исследования стесненной усадки бетон «ring test».

ЗНАЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Высококачественный бетон в области стесненного изменения неизбежно испытывает раннюю аутогенную усадку, сушку и тепловое изменение в раннем возрасте, которые могут вызвать растрескивание. Тест двойного кольца («ring test») может оценить напряжение, которое развивается, когда это изменение объема работает в сжатых стесненных условиях. Путем количественного определения деформаций, необходимых для образования трещин, можно определить напряжение, которое необходимо будет применять для того, чтобы вызвать растрескивание (называемое остаточной стрессовой способностью) смеси [8, 9]. Это важно при оценке технологий сокращения (уменьшение) усадки,

таких как внутренний уход, поскольку оно обеспечивает количественную оценку эффективности. Эта работа дает количественные данные о потенциальных преимуществах внутреннего ухода, которые могут сделать бетон более надежным с учетом снижения потенциала к растрескиванию в раннем возрасте.

Внутренний влажностный уход уменьшает или устраняет аутогенную усадку при самовысыхании путем подачи воды из пор мелкого водонасыщенного легкого заполнителя или частиц САП (супер абсорбирующий полимер). Уменьшая аутогенную усадку, растягивающие напряжения, которые возникают при стеснении бетона, также могут быть уменьшены или устранены. Поскольку смесь с содержанием САП содержит больше внутренней воды (для отверждения), которая также распределяется более равномерно, ожидается сокращение усадки и меньшее развитие остаточного напряжения, чем в обычной смеси.

Следует отметить, что добавление агента внутреннего ухода может снизить прочность на растяжение, прочность на сжатие и модуль упругости. Также использование САП уменьшает модуль упругости меньше, чем использование водонасыщенного легкого заполнителя в достаточно затвердевших системах. Это может быть объяснено тем фактом, что САП считается частью пасты и поддерживается в растворе, тогда как система предварительно водонасыщенного заполнителя частично заменяет легкий заполнитель. Можно заметить, что прочность на сжатие уменьшается за счет добавления САП. Подобное уменьшение обычно наблюдается при увеличении содержания воздуха, это может быть связано с прочностью в зависимости от размера или объема пустот, которые появляются в пастообразной фракции. На прочность при растяжении больше всего влияет объем легкого водонасыщенного заполнителя. Структура частиц данных заполнителей играет важную роль в общем разрушающем поведении раствора. Это указывает на тонкое, но важное различие между поведением, агентов внутреннего ухода, которые заменяют часть заполнителей, и агентов внутреннего ухода, заменяют часть объемной доли пасты (САП) [11]. Это область, где необходимы дальнейшие исследования.

Использование «ring test» показывает поведение и устранение усадки в раннем возрасте, в том числе и смесей с агентом внутреннего ухода. Преимуществом уменьшения аутогенной усадки при агенте внутреннего ухода можно наблюдать, сравнивая остаточные напряжения различных смесей. Это указывает на то, что агент внутреннего ухода смеси обеспечивает существенное сокращение аутогенной усадки в раннем возрасте, что может быть весьма полезным для снижения риска растрескивания в высококачественном бетоне раннего возраста, когда бетон имеет относительно низкую прочность.

ВЫВОДЫ

Данное обзорное исследование позволяет оценить потенциал растрескивания, который имеет последствия для смягчения (уменьшения, предотвращения) раннего растрескивания в бетонной смеси. Внутренний уход это метод, когда абсорбирующий материал вводится в смесь, действуя как внутренний резервуар, который может уменьшить или устранить аутогенную и стесненную усадку в раннем возрасте, а также уменьшить потенциал раннего растрескивания вследствие пластической усадки или усадки при «самовысыхании». Данная проблематика изучена теоретически, поставлены цели и обоснованы, выявлены достоинства и недостатки методики оценки развития напряжений в высококачественных бетонах с внутренним уходом для устранения аутогенной и стесненной усадки. Данная методика требует дальнейшего планирования экспериментального исследования на образцах различного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, K. Permeability Study of Cracked Concrete [Текст] / K. Wang, S. P. Shah // Cement and Concrete Research. – 1997. – V. 27, No. 3. – P. 381–393.
2. Yang, W. Prediction of Concrete Cracking under Coupled Shrinkage and Creep Conditions [Текст] / W. Yang, K. Wang, S. P. Shah // Proceedings of the 4th Materials Engineering Conference. – 1996. – Nov. 10. – P. 564–573.
3. See, H. T. Potential for Restrained Shrinkage Cracking of Concrete and Mortar [Текст] / H. T. See, E. K. Attiogbe, M. A. Miltenberger // Cement, Concrete and Aggregates. – 2004. – V. 26, No. 2. – P. 12–30.
4. Lura, P. Cracking in Cement Paste Induced by Autogenous Shrinkage [Текст] / P. Lura, O. M. Jensen, J. Weiss // Materials and Structures. – 2009. – V. 42. – P. 1089–1099.
5. Weiss, J. Prediction of Early-Age Shrinkage Cracking in Concrete [Текст] : PhD dissert. / J. Weiss. – Northwestern University, Evanston, IL, 1999. – 358 p.
6. Lura, P. Autogenous Shrinkage in High-Performance Cement Paste: An Evaluation of Basic Mechanisms [Текст] / P. Lura, O. M. Jensen, K. Van Breugel // Cement and Concrete Research. – 2003. – V. 33. – P. 223–232.

7. Cusson, D. Internal Curing of High-Performance Concrete with Pre-Soaked Fine Lightweight Aggregate for Prevention of Autogenous Shrinkage Cracking [Текст] / D. Cusson, T. Hoogveen // Cement and Concrete Research. – 2008. – V. 38. – P. 757–765.
8. Bentz, D. P. Internal Curing and Microstructure of High-Performance Mortars [Текст] / D. P. Bentz, P. E. Stutzman // Internal Curing of High-Performance Concretes: Laboratory and Field Experiences, SP-256, D. Bentz and B. Mohr, eds., American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2008. – P. 81–90.
9. Henkensiefken, R. Plastic Shrinkage Cracking in Internally Cured Mixtures Made with PreWetted Lightweight Aggregate [Текст] / R. Henkensiefken, P. Briatka, D. Bentz, T. Nantung, J. Weiss // Concrete International. – 2010. – V. 32, No. 1. – P. 49–54.
10. ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage [Текст]. – 01-07-2004. – United States : International, West Conshohocken. – 6 p.
11. Weiss, J. Shrinkage Cracking in Restrained Concrete Slabs: Test Methods, Material Compositions, Shrinkage Reducing Admixtures, and Theoretical Modeling [Текст] : ms thesis / J. Weiss. – Northwestern University : Evanston, 1997. – 138 p.

Получено 09.04.2018

К. С. ЛОБОДА, М. М. ЗАЙЧЕНКО

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА РОЗВИТКУ НАПРУЖЕНЬ У ВИСОКОЯКІСНИХ БЕТОНАХ ПРИ ОБМЕЖЕНИХ УМОВАХ З АГЕНТОМ ВНУТРІШНЬОГО ДОГЛЯДУ

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Новий метод тестування на двох кільцях, згідно з ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage, характерний для ранньої поведінки бетону, який розширюється і деформується. У цьому дослідженні пропонується нова методологія оцінки потенціалу розтріскування, який має наслідки для пом'якшення (зменшення, запобігання) раннього розтріскування в бетоні. Внутрішній догляд – це метод, коли абсорбуючий матеріал вводиться в суміш, діючи як внутрішній резервуар, який може зменшити або усунути аутогенну і стиснену усадку в ранньому віці, а також зменшити потенціал раннього розтріскування внаслідок пластичної усадки або усадки при «самовисиханні».

Ключові слова: аутогенна усадка, внутрішній догляд, легкий заповнювач, залишкове напруження, високоякісний бетон, обмежена усадка.

LOBODA KATERYNA, ZAICHENKO MYKOLA

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE DEVELOPMENT OF STRESS IN HIGH-PERFORMANCE CONCRETE IN RESTRAINED CONDITIONS WITH AN INTERNAL CURING AGENT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. A new test method for two rings, according to ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage, is characterized for early behavior of concrete that expands and deforms. This study proposes a new methodology for assessing the potential for cracking, which has implications for mitigating (reducing, preventing) early cracking in concrete. Internal curing is a method in which an absorptive material is incorporated into a mixture that acts as an internal reservoir that can reduce or eliminate early-age autogenous and restrained shrinkage and also reduce the potential for early cracking due to plastic shrinkage or shrinkage during «self-desiccation».

Key words: autogenous shrinkage, internal curing, lightweight aggregate, residual stress, ring test, high-performance concrete, restrained shrinkage.

Лобода Екатерина Сергеевна – аспирант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: высококачественные бетоны с компенсированной усадкой.

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.

Лобода Катерина Сергіївна – аспірант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів та матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: високоякісні бетони з компенсованою усадкою.

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

Loboda Kateryna – Post-graduate student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-performance concrete with restrained shrinkage.

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

УДК 666.972.53

Н. М. ЗАЙЧЕНКО, Е. С. ХРИСТИЧ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ЦЕМЕНТЫ С ВЫСОКОЙ РАННЕЙ ПРОЧНОСТЬЮ

Аннотация. Выполнена оптимизация состава композиционного портландцемента, содержащего в качестве минеральных добавок золу-уноса ТЭС и термоактивированный каолин (метакаолин). Показано, что с увеличением содержания комплексной минеральной добавки взамен части портландцемента снижается прочность вяжущего в ранние сроки твердения (2 сут.), что обусловлено замедляющим эффектом золы-уноса на кинетику роста прочности. При этом более высокое содержание метакаолина, полученного обжигом каолинита при температуре 750 °С, в составе комплексной добавки компенсирует замедляющий эффект золы-уноса. В проектном возрасте твердения оптимальное содержание минеральных добавок обеспечивает высокую прочность композиционного портландцемента, что обусловлено повышением степени гидратации цемента, формированием низкоосновных гидросиликатов кальция и устойчивых гидроалюминатов (гидроалюмосиликатов) кальция в составе продуктов гидратации по данным РФА.

Ключевые слова: композиционный портландцемент, зола-уноса ТЭС, метакаолин, прочность цементного камня, продукты гидратации.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последние годы важным показателем современных бетонов считается высокая скорость набора прочности. Учитывая, что в условиях монолитного строительства твердение бетона осуществляется без применения или с ограниченным применением тепловой обработки, вопрос ускорения твердения и формирования набора прочности бетона на обычных цементах ПЦ-500 и, особенно цементах с минеральными добавками, в том числе композиционными, оказывается принципиальным, поскольку кинетика роста ранней прочности предопределяет время достижения распалубочной прочности и сроков выполнения распалубочных работ, оборачиваемости оснастки и в целом продолжительности процесса строительства зданий [1].

Композиционными цементами принято называть гидравлические вяжущие вещества, состоящие из портландцемента и не менее двух неорганических материалов, которые принимают участие в реакциях гидратации и тем самым способствуют образованию продукта гидратации (вспомогательные цементирующие материалы) [2, 3]. В нормативных документах различных стран зафиксированы составы композиционных цементах на основе портландцементного клинкера, включающие минеральные добавки, скомбинированные между собой. Так, согласно ДСТУ Б В.2.7-46:2010 «Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови» (Украина) при производстве композиционного портландцемента (ПЦ II/A(B)-К) предусмотрено применение минеральных добавок в виде доменного гранулированного шлака, пуццоланы, золы-уноса и известняка, в то время как ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия» (Российская Федерация) и EN-197-1:2002 «Composition, Specifications and Conformity Criteria for Common Cements» (страны ЕС) предусматривают более широкий спектр минеральных добавок: доменный или электротермофосфорный гранулированный шлак, пуццолана, зола-уноса, глиеж или обожженный сланец, микрокремнезем, известняк.

Взаимодействие минеральных составляющих может оказывать различное влияние на свойства бетонных смесей и бетонов, при этом правильно подобранная и оптимизированная смесь минеральных добавок может обеспечивать синергетический эффект [4]. В то же время ряд минеральных добавок, близких по гранулометрическому составу к портландцементу, в частности молотый доменный

граншлак, зола-уноса, природные пуццоланы, как правило, замедляют гидратацию композиционных цементов в ранние сроки твердения.

Вследствие высокой степени полимеризации кремнекислородных тетраэдров, большая часть зол-уноса, в частности зола класса F (низкокальциевая), при обычной температуре медленно реагирует в составе цементного теста [5]. Нестабильность зол ТЭС по свойствам – дисперсности, химическому и минеральному составам, содержанию оксидов, щелочных металлов и несгоревшего топлива, а также пуццолановой активности сдерживает их применение при производстве цемента и бетона [6].

Ускорение гидратации портландцемента, содержащего комплекс минеральных добавок, включающий золу-уноса или молотый граншлак, может быть достигнуто при введении молотого известняка [7] или метакеолина [8, 9]. Последний получают путём обжига каолинита при температуре 650–800 °С. Метакеолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (AS_2) взаимодействует с гидроксидом кальция с образованием гидросиликатного геля CSH, содержащего алюминий, и кристаллических продуктов C_2ASH_8 , C_4AH_{13} , C_3AH_6 , состав которых зависит от соотношения AS_2/CH [10]. По данным [11] использование данной добавки позволяет добиться увеличения степени гидратации минерала C_3S на третьи сутки твердения на 10 %, 7-е сутки 85...90 %, 28-е сутки 90...95 %. При этом пуццолановая активность метакеолина во многом определяется степенью кристалличности каолинита – хорошо закристаллизованный исходный минерал трансформируется в менее активный метакеолин [10]. С другой стороны, следует учитывать тот факт, что метакеолин, как правило, обуславливает повышение водопотребности вяжущего, а также может способствовать образованию в цементном камне высокоосновных нестабильных алюминатных фаз, склонных к последующей перекристаллизации, вызывающей сбросы прочности камня при эксплуатации [12]. В этом случае применение низкокальциевой золы-уноса в комбинации с метакеолином можно считать целесообразным с учетом снижения водопотребности, также регулирования уровня pH твердеющего вяжущего и формирования камня из стабильных алюминатных фаз.

Целью настоящей работы является разработка и оптимизация состава композиционного портландцемента типа ПЦ II/Б-К с содержанием активных минеральных добавок в виде золы-уноса ТЭС и термоактивированного каолина суммарно в количестве 21...35 %, который характеризуется показателями прочности, в том числе в раннем возрасте твердения, сопоставимыми с показателями портландцемента марки 400Р с высокой ранней прочностью.

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения экспериментов были использованы следующие материалы:

- каолин марки KB-1 по ТУ У 08.1-00190503-413:2016 Владимирского месторождения, Донецкой области – содержание Al_2O_3 не менее 39 %, Fe_2O_3 – не более 1,5 %;
- метакеолин, полученный обжигом каолина в муфельной печи при температуре 750 °С в течение двух часов;
- зола-уноса Зуевской ТЭС, обработанная в электрическом сепараторе для регулирования гранулометрического состава и выделения частиц несгоревшего топлива (ППП);
- портландцемент ЦЕМ I 42,5Н Амвросиевского цементного комбината.

По результатам РФА (рентгеновский дифрактометр ARL X'TRA) степень кристалличности проб золы-уноса составила в среднем 25 % (преимущественно кварц и гематит), содержание аморфной фазы – 75 %. Средний размер частиц по полученным графикам интегрального и дифференциального распределения частиц (лазерный дифракционный анализатор размера частиц Analizette 22 Compact) составляет 19,8 мкм, содержание частиц размером менее 2 мкм – 7,6 %.

По результатам РФА (дифрактометр ДРОН 4-07) установлено, что дифрактограмма исходной пробы каолиновой глины характеризуется присутствием большого количества дифракционных отражений, соответствующих минералу каолиниту – $d = 0,717; 0,149; 0,358; 0,238; 0,233; 0,229$ нм (рис. 1а). Дифрактограмма снималась в пошаговом режиме $2\theta = 10\text{--}80^\circ$ с шагом $0,1^\circ$, время экспозиции 5 с в медном излучении $\lambda_{\text{CuK}\alpha 1} = 1,5405 \text{ \AA}$ при ускоряющем напряжении 27 кВ и токе 15 мА; щели для съёмки $0,5 \times 4 \times 0,25$ мм (0,5 – вертикальная коллимационная щель; 4 – горизонтальная коллимационная щель; 0,25 – щель на детекторе).

Обжиг каолиновой глины при температуре 750 °С в течение двух часов приводит к практически полному исчезновению на дифрактограмме дифракционных отражений минерала каолинита и появлению характерного диффузного гало в диапазоне $20\text{--}30^\circ 2\theta$ [13], что свидетельствует о полной трансформации каолинита в метакеолин с высокой пуццолановой активностью (рис. 1б).

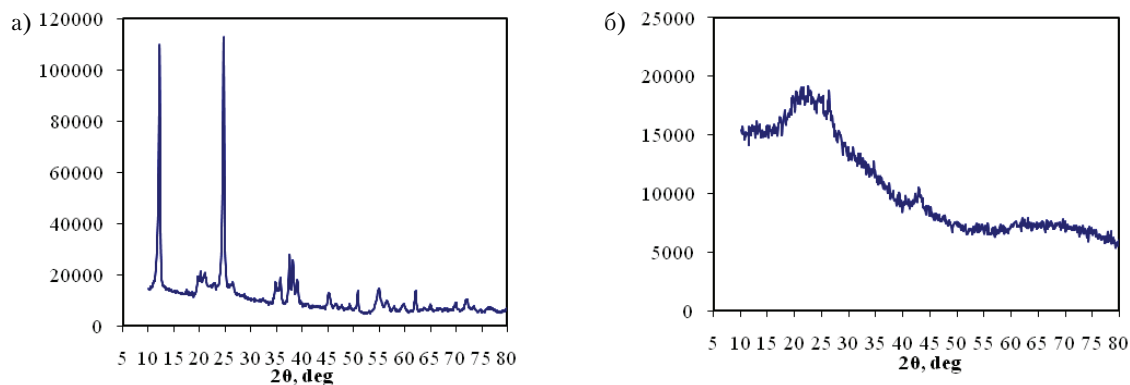


Рисунок 1 – Дифрактограммы исходной пробы каолина (а) и метаксаолина (б).

Для определения показателей прочности цементного камня формовали образцы-кубы с размером ребра 0,05 м из теста нормальной густоты, которые твердели в нормальных условиях. Водопотребность цементного теста определяли с помощью прибора Вика.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В соответствии с поставленной целью исследования необходимо получить композиционный портландцемент типа ПЦ II/Б-К по ДСТУ Б В.2.7-46:2010 с содержанием клинкера портландцемента 65...79 % и активных минеральных добавок в виде золы-уноса ТЭС и термоактивированного каолина суммарно в количестве 21...35 %, который характеризуется следующими показателями предела прочности при сжатии (активность): в возрасте 2 суток – не менее 15 МПа; в возрасте 28 суток – не менее 40 МПа (испытание согласно ГОСТ 310.4); в возрасте 2 суток – не менее 30 МПа; в возрасте 28 суток – не менее 55 МПа – для образцов в виде цементного камня. При оптимизации состава композиционного портландцемента приняты следующие факторы ПФЭ 2^k:

X_1 – суммарное содержание активной минеральной добавки (зола-уноса ТЭС + метаксаолин) взамен части портландцемента, %;

X_2 – содержание добавки метаксаолина в комплексе активных минеральных добавок (зола-уноса ТЭС + метаксаолин), %.

Функции отклика:

Y_1 – предел прочности при сжатии цементного камня в возрасте 2 суток, МПа;

Y_2 – предел прочности при сжатии цементного камня в возрасте 28 суток, МПа.

План и результаты эксперимента представлены в таблице.

Таблица – План-матрица и результаты эксперимента

№	Кодированные переменные		Натуральные значение		Функция отклика	
			Содержание МД, %	Содержание МТК в МД, %	Y_1	Y_2
	X_1	X_2	X_1 , %	X_2 , %	R_2 , МПа	R_{28} , МПа
1	–1	–1	20	25	32,2	53,9
2	–1	+1	20	35	38,5	52,0
3	+1	–1	30	25	25,7	68,5
4	+1	+1	30	35	29,6	62,4
5	0	0	25	30	35,4	58,7
6	Контрольный		0	0	45,3	69,4

Установлено, что с увеличением содержания комплексной минеральной добавки взамен части портландцемента снижается прочность вяжущего в ранние сроки твердения (2 сут.) в сравнении с контрольным составом цементного камня, что обусловлено замедляющим эффектом золы-уноса на кинетику роста прочности. При этом более высокое содержание метаксаолина, полученного обжигом каолинита при температуре 750 °С, в составе комплексной добавки частично компенсирует замедляющий эффект золы-уноса (составы №№ 2, 5). Более низкие показатели прочности камня вяжущего

состава № 4 обусловлены повышением водопотребности цементного теста при максимальном содержании минеральных добавок (рис. 2а).

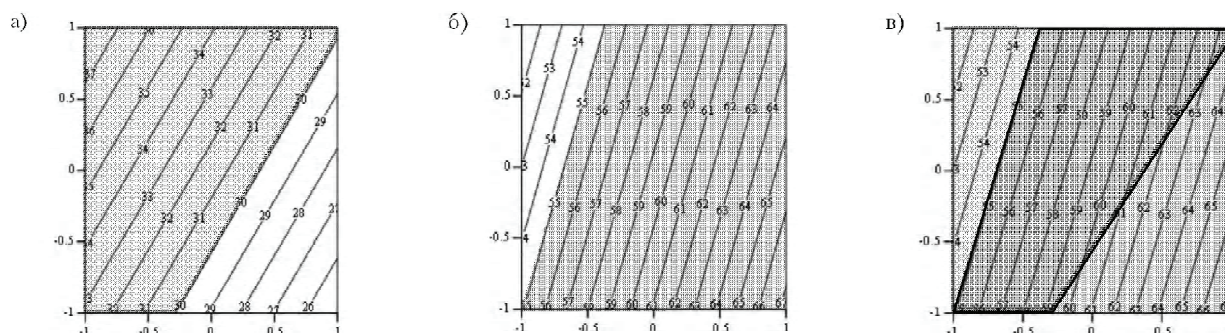


Рисунок 2 – Зависимость прочности при сжатии цементного камня в возрасте двух суток (а) и 28 суток (б) от содержания минеральных добавок и область оптимального содержания добавок (в).

В проектном возрасте твердения, напротив, с увеличением содержания комплекса минеральных добавок (состав № 3) прочность камня вяжущего повышается, практически приближаясь к показателю контрольного состава (рис. 2б). Оптимальное содержание минеральных добавок обеспечивает как высокую раннюю, так и проектную прочность композиционного портландцемента (рис. 2в).

$$Y_1 = 31,5 - 3,9X_1 + 2,6X_2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 59,2 + 6,2X_1 - 1,9X_2. \quad (2)$$

В проектном возрасте твердения высокие показатели прочности композиционного цемента обусловлены повышением степени гидратации цемента, формированием низкоосновных гидросиликатов кальция и устойчивых гидроалюминатов (гидроалюмосиликатов) кальция в составе продуктов гидратации по данным РФА (рис. 3).

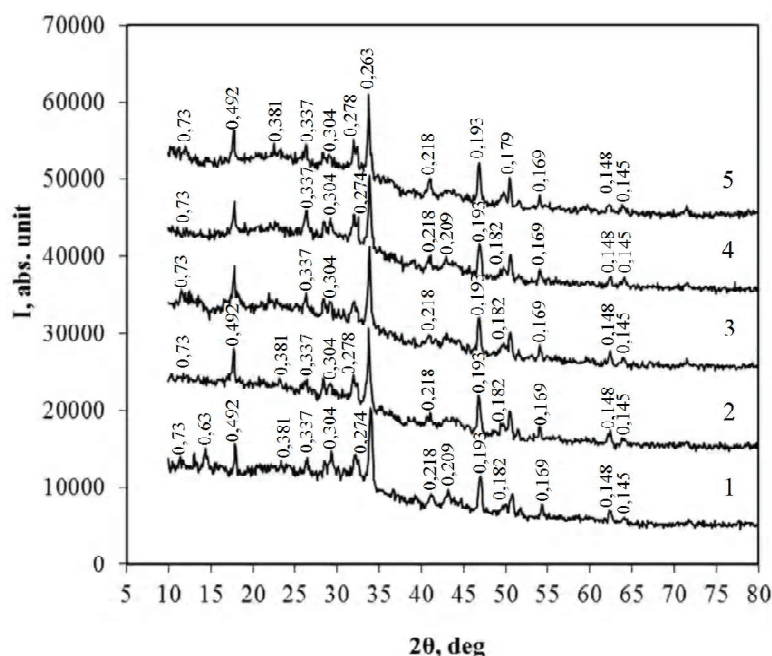


Рисунок 3 – Дифрактограммы образцов камня вяжущего в возрасте 28 суток твердения.

Установлено, что минимальная относительная интенсивность основных дифракционных отражений минерала алита – 0,277; 0,274; 0,218 нм, соответствует составам 3, 4 (рис. 4а). Это свидетельствует

о том, что как зола-уноса, так и метакраин стимулируют процесс гидратации клинкерных минералов с формированием продуктов гидратации в виде портландита – $d = 0,492; 0,263; 0,193; 0,179$ нм – более высокая интенсивность для составов №№ 1, 3, 4. При этом составы 3 и 4 демонстрируют большую интенсивность дифракционных отражений низкоосновных гидросиликатов кальция – $d = 0,730; 0,304; 0,182$ нм, что свидетельствует о более высокой степени связывания портландита.

Отмечена более высокая интенсивность линии кубического шестиводного гидроалюминатакальция $d = 0,337$ нм меньшая интенсивность линий, характерных для гексагонального восьмиводного

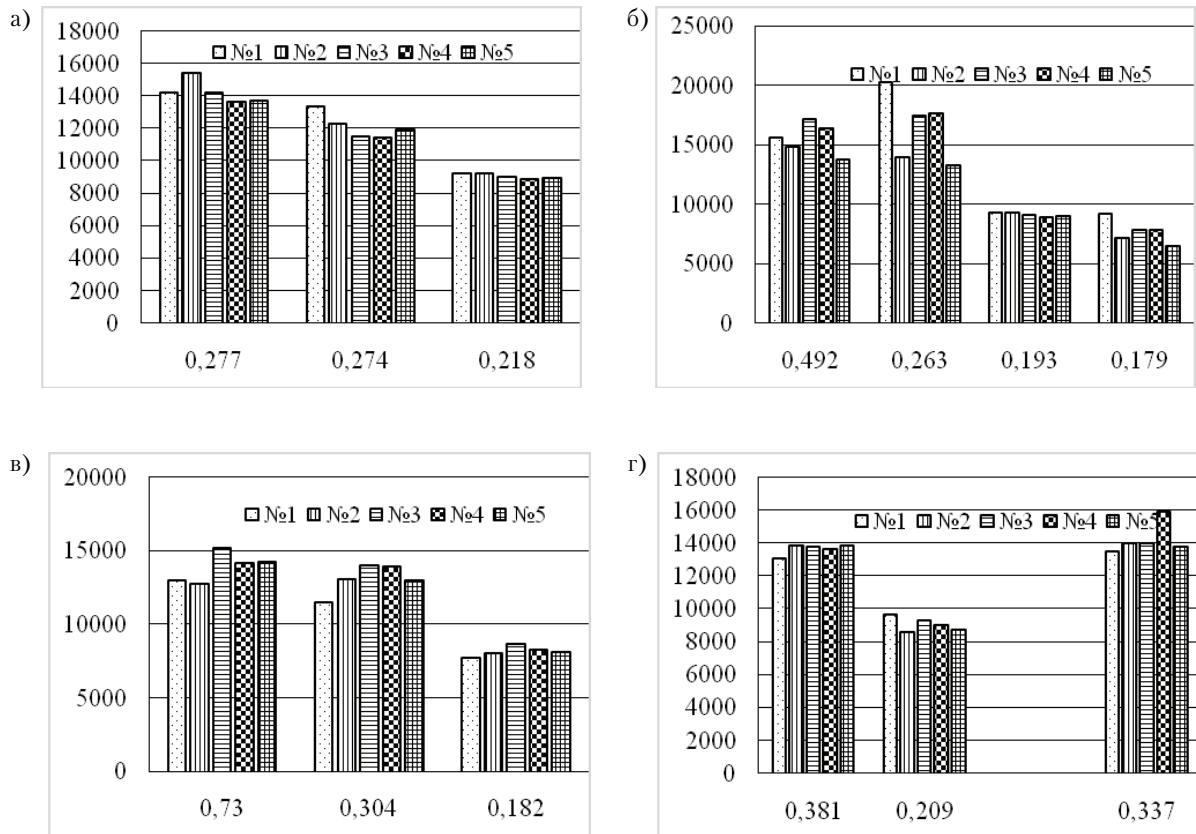


Рисунок 4 – Относительная интенсивность дифракционных отражений алита (а), портландита (б), низкоосновных гидросиликатов (в) и гидроалюмосиликатов кальция (г).

гидроалюмината кальция – $d = 0,381; 0,209$ нм, для состава с максимальным содержанием добавок № 4. Важным является также наличие в продуктах гидратации композиционного цемента некоторого количества мелкокристаллического гидрогеленита $d = 0,630$ нм (стретлингит $[\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_6][\text{AlSiO}_3(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$), который относится к AF_m -фазам и является кристаллохимическим аналогом C_2AH_8 , в котором между портландитообразными слоями $[\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_6]^+$ находятся анионы $[\text{AlSiO}_3(\text{OH})_2]^-$. Образование C_2ASH_8 способствует стабилизации гексагональных гидратных фаз камня на основе композиционного цемента [14].

ВЫВОДЫ

Установлено, что с увеличением содержания комплексной минеральной добавки взамен части портландцемента снижается прочность вяжущего в ранние сроки твердения (двух суток), что обусловлено замедляющим эффектом золы-уноса на кинетику роста прочности. При этом более высокое содержание метакраина, полученного обжигом каолинита при температуре 750°C , в составе комплексной добавки компенсирует замедляющий эффект золы-уноса. В проектном возрасте твердения оптимальное содержание минеральных добавок обеспечивает высокую прочность композиционного портландцемента, что обусловлено повышением степени гидратации цемента, формиро-

ванием низкоосновных гидросиликатов кальция и устойчивых гидроалюминатов (гидроалюмосиликатов) кальция в составе продуктов гидратации по данным РФА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демьянова, В. С. Методологические и технологические основы производства высокопрочных бетонов с высокой ранней прочностью для беспрогревных и малопрогревных технологий [Текст] : дис. ... докт. техн. наук: 05.23.05 / В. С. Демьянова. – Пенза : Пензенская государственная архитектурно-строительная академия, 2002. – 472 с.
2. Daderko, G. Specifying blended cements for performance and strength [Текст] / G. Daderko // The Construction Specifier. – 2003. – Vol. 56. – P. 26–31.
3. Тейлор, Х. Химия цемента [Текст] / Х. Тейлор ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1996. – 560 с.
4. Ferraris, C. F. The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete [Текст] / C. F. Ferraris, K. H. Obla, R. Hill // Cem. Concr. Res. – 2001. – Vol. 31, No 2. – P. 245–255.
5. Белякова, Ж. С. Экологические, материаловедческие и технологические аспекты применения зол в бетоне [Текст] / Ж. С. Белякова, Е. Г. Величко, А. Г. Комар // Строительные материалы. – 2001. – № 3. – С. 46–48.
6. The effect of water-to-cementitious material ratio on the durability of concrete containing fly ash [Текст] / S. Amey, H. Brown, J. Moreau, A. Atienza // Creating with Concrete: International Conf., 1999: Proc. – Dundee (Scotland), 1999. – P. 595–606.
7. Menendez, G. Strength development of ternary blended cement with limestone filler and blast-furnace slag [Текст] / G. Menendez, V. Bonavetti, E. F. Irassar // Cem. Concr. Comp. – 2003. – Vol. 25, No 1. – P. 61–67.
8. Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin [Текст] / K. A. Gruber, T. Ramlochan, A. Boddy [et al.] // Cem. Concr. Comp. – 2001. – Vol. 23, No 6. – P. 479–484.
9. Sabir, B. B. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review [Текст] / B. B. Sabir, S. Wild, J. Bai // Cem. Concr. Comp. – 2001. – Vol. 23, No 6. – P. 441–454.
10. The effect of dehydroxylation / amorphization degree on pozzolanic activity of kaolinite [Текст] / A. Shvarzman, K. Kovler, G. S. Grader, G. E. Shter // Cem. Concr. Res. – 2003. – Vol. 33, No 3. – P. 405–416.
11. Особенности гидратации и твердения цементных бетонов с добавками-модификаторами, содержащими метаксаолин [Текст] / А. А. Кирсанова, Ю. В. Ионов, А. А. Орлов, Л. Я. Крамар // Цемент и его применение. – 2015. – № 2. – С. 130–135.
12. Комплексный модификатор с метаксаолином для получения цементных композитов с высокой ранней прочностью и стабильностью [Текст] / А. А. Кирсанова, Л. Я. Крамар, Т. Н. Черных, Т. М. Аргынбаев, З. В. Стафеева // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 49–56.
13. He, C. Pozzolanic reactions of six principal clay minerals: Activation, reactivity assessments and technological effects [Текст] / С. Не, В. Osbaeck, E. Makovsky // Cem. Concr. Res. – 1995. – Vol. 25, No. 8. – P. 1691–1702.
14. Малоэнергетические модифицированные композиционные цементы [Текстовое (символьное) электронное издание] / М. А. Саницкий, Х. С. Соболев, Т. Е. Маркив, М. В. Штурмай // Высокотемпературные материалы и технологии в XXI веке : сборник Межд. научно-практ. конф., 12–13 ноября 2008 г., г. Москва / [Российская академия наук, Российская инженерная академия, Российское химическое общество им. Д. И. Менделеева, Международная академия керамики, Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева]. – М. : ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева», 2008. – С. 25–36.

Получено 10.04.2018

М. М. ЗАЙЧЕНКО, К. С. ХРИСТИЧ КОМПОЗИЦІЙНІ ЦЕМЕНТИ З ВИСОКОЮ РАННЬОЮ МІЦНІСТЮ ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Виконано оптимізацію складу композиційного портландцементу, що містить як мінеральні добавки золу-винесення ТЕС та термоактивований каолін (метаксаолін). Показано, що зі збільшенням вмісту комплексної мінеральної добавки замість частини портландцементу знижується міцність в'язучого в ранній термін твердіння (2 доби), що обумовлено уповільнюючим ефектом золи-винесення на кінетику зростання міцності. При цьому більш високий вміст метаксаоліну, одержаного випалюванням каолініту при температурі 750 °С, у складі комплексної добавки компенсує уповільнюючий ефект золи-винесення. У проектному віці твердіння оптимальний вміст мінеральних добавок забезпечує високу міцність композиційного портландцементу, що обумовлено підвищенням ступеня гідратації цементу, формуванням низкоосновних гидросиликатів кальцію і стійких гидроалюминатів (гидроалюмосиликатів) кальцію у складі продуктів гідратації за даними РФА.

Ключові слова: композиційний портландцемент, зола-винесення ТЕС, метаксаолін, міцність цементного каменю, продукти гідратації.

MYKOLA ZAICHENKO, KATERYNA KHRYSTYCH
HIGH EARLY STRENGTH COMPOSITE CEMENTS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The optimization of the composite Portland cement, containing fly ash and thermoactivated kaolin (metakaolin) as mineral additives has been done. It is shown that the early strength (2 days) of the composite binding decreases when the content of the complex mineral additive as a partial replacement of Portland cement increases. It is due to the retarding effect of fly ash on the kinetics of strength growth. On the other hand, the higher content of metakaolin obtained by heating kaolinite at a temperature 750 °C compensates for the retarding effect of fly ash in the complex additive. At the design age of hardening, the optimum content of mineral additives provides high strength of the composite Portland cement, which is due to increased degree of hydration of cement, the formation of low-basic calcium hydrosilicates and stable hydroaluminates (hydroaluminosilicates) of calcium in the composition of hydration products according to the XRD data.

Key words: composite Portland cement, fly ash, metakaolin, cement paste strength, hydration products.

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: технология и свойства модифицированных высокопрочных бетонов.

Христин Екатерина Сергеевна – магистрант кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с высокой ранней прочностью на основе композиционных цементов.

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: технологія та властивості модифікованих високоміцних бетонів.

Христин Катерина Сергіївна – магістрант кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони з високою міцністю в ранньому віці на основі композиційних цементів.

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

Khrystych Kateryna – Master's degree student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high early strength concretes based on composite cements.

УДК 666.972.5

Н. М. ЗАЙЧЕНКО, А. А. СОКОЛОВА

ГОО ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

УСАДКА И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ДОРОЖНЫХ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ С КОМПЛЕКСНЫМ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМ МОДИФИКАТОРОМ

Аннотация. В работе рассмотрено исследование влияния комплексного органоминерального модификатора на свойства дорожного цементного бетона. Установлено, что по мере увеличения содержания добавки, снижающей усадку бетона SRA, наблюдается уменьшение влажностной и стесненной усадки бетона на 23...37 и 6...40 % соответственно, а также скорости испарения и потерь массы вследствие испарения влаги с поверхности бетона на 26...48 %. С учетом пластифицирующего эффекта добавки SRA возможно снижение водоцементного отношения без ухудшения технологических свойств смесей, что обеспечит устранение негативного влияния добавки на прочность бетона.

Ключевые слова: дорожный цементный бетон, комплексный органоминеральный модификатор, добавка, снижающая усадку бетона Shrinkage Reducing Admixture (SRA).

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Рост интенсивности движения автомобилей, а также их грузоподъемности приводит к существенному возрастанию изнашивающего и разрушающего воздействия автомобилей на дорогу, следствием чего является необходимость в создании прочных дорожных одежд, улучшения транспортно-эксплуатационных качеств покрытий, а также увеличения срока их службы [1, 2].

Решение «дорожных» проблем подразумевает поиск наиболее эффективных материалов и конструкций для устройства дорожного полотна [3, 7]. Как показывает отечественный и мировой опыт, возрастающим требованиям движения, особенно на грузонапряженных магистралях, в наибольшей степени отвечают цементобетонные покрытия [1, 2].

Технология строительства дорог с применением цементобетонных покрытий используется в мире уже около 50 лет [4]. Удельный вес автомобильных дорог с цементобетонным покрытием в развитых странах составляет не менее 30 % от общего объема дорог: в ФРГ – 31 %, США – 35 %, Бельгии – 41 % [1, 5, 8]. Теория и практика убедительно показывают, что в любых климатических условиях, при любой интенсивности и любом составе движения цементобетонные покрытия являются наиболее долговечными. Опыт Германии показал, что после 28 лет эксплуатации в ремонте нуждаются 100 % асфальтобетонных покрытий и 5 % бетонных. Срок службы этих покрытий в среднем достигает порядка 30 лет. Так, при фактическом сроке службы цементобетонных покрытий в США в среднем 26 лет, асфальтобетонных – 16 лет, в Германии – соответственно 26 и 18 лет, за рубежом становится выполнимой задача обеспечить срок службы покрытий 50 лет и более долговечными [9].

Отличительной особенностью цементобетонных покрытий перед асфальтобетонными заключается в том, что при фактически одинаковой стоимости они характеризуются значительно большим межремонтным сроком эксплуатации. Цементобетонное покрытие в меньшей степени подвержено деформациям – на нем не появляются колеи, ямы, выбоины и волнообразность, тем самым обеспечивая транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог в течение всего срока эксплуатации [8, 11]. В то же время, для повышения конкурентоспособности цементобетонных покрытий в сравнении с асфальтобетонными необходимо совершенствовать свойства дорожного бетона, технологию строительства и конструкции покрытий на его основе. Повышение качества и долговечности цементобетонных покрытий может быть достигнуто за счет применения в составе бетона

комплекса органоминеральных модификаторов, а также мероприятий по уходу за свежесформованным бетоном.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Теоретические и экспериментальное обоснование получения состава высококачественного дорожного цементного бетона и исследование влияния комплексного органоминерального модификатора, представленного микрокремнеземом, суперпластификатором и добавкой, снижающей усадку, на свойства бетона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования выполнены согласно стандартным и специальным методам с использованием аттестованных средств измерительной техники и испытательного оборудования. Показатели стесненного расширения (стесненной усадки) определены согласно методике, приведенной в ASTM C 878/C 878M-09 «Standard Test Method for Restrained Expansion of Shrinkage-Compensating Concrete». Для исследования влияния температуры бетона и окружающего воздуха, относительной влажности воздуха и скорости ветра на скорость испарения влаги с поверхности бетона был смоделирован процесс укладки бетонного покрытия. Скорость ветра – средняя горизонтальная скорость потока воздуха измерялась над поверхностью испарения чашечным анемометром. Температура и относительная влажность воздуха были измерены над поверхностью испарения на ветреной стороне психрометр.

В качестве вяжущего вещества использован портландцемент (ПЦ) Амвросиевского завода ПЦ I-500 Н (активность 51,2 МПа, предел прочности на растяжение при изгибе 6,4 МПа), активной минеральной добавки – микрокремнезем (МК), агрегированный из шламонакопителей Стахановского завода ферросплавов с насыпной плотностью 620 кг/м³. Мелким заполнителем (П) служил отсев дробления гранитного щебня с показателем модуля крупности $M_k = 2,32$. Крупный заполнитель представлен гранитным щебнем (Щ) Торезского карьера (фракция 5–10 мм, насыпная плотность 1375 кг/м³, марка по прочности при раздавливании в цилиндре 1 200).

В качестве химических добавок использованы:

- суперпластификатор на основе модифицированного поликарбоксилатного эфира Sika ViskoCrete-3190, плотность 1,055...1,070 г/см³;
- добавка, снижающая усадку бетона на основе полипропиленгликолиевого полимера Маресуре SRA25, плотность 0,99±0,02 г/см³.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты сравнительных исследований влияния содержания комплексного органоминерального модификатора на кинетику твердения бетона представлены на рисунке 1 а, б. Их анализ свидетельствуют о том, что все составы бетона (таблица) показывают повышение показателя предела прочности на протяжении всего периода твердения.

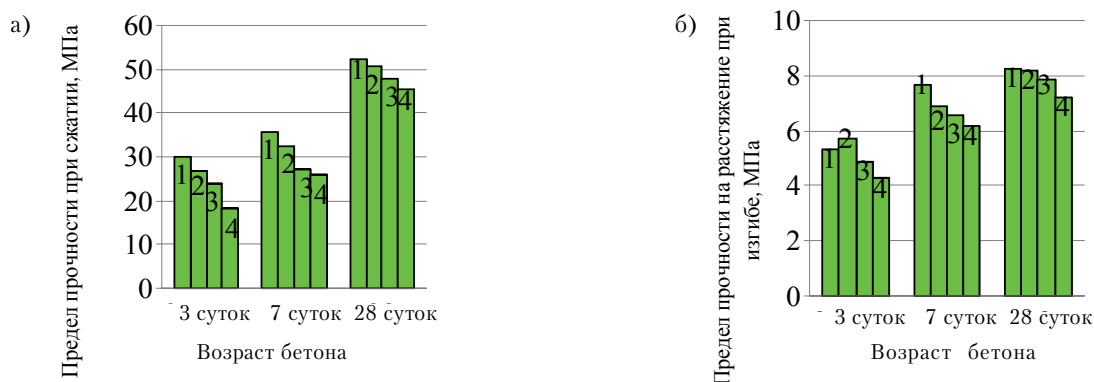


Рисунок 1 – Кинетика роста прочности бетона: а) предел прочности при сжатии; б) предел прочности на растяжение при изгибе.

Таблица – Состав бетонных смесей

№ состава	Расход компонентов, кг/м ³					Расход химических добавок, л/м ³	
	ПЦ	Щ	П	МК	В	Sika*	SRA25*
1	418	1 127	547	47	182	2,0	—
2	418	1 127	547	47	178	2,0	5,0
3	418	1 127	547	47	176	5,6	6,5
4	418	1 127	547	47	173	9,3	8,0

*Расход суперпластификатора Sika ViskoCrete-3190 принят 0,5–1–2 л /100 кг (ПЦ+МК); расход добавки Маресуре SRA25 – 1–1,5–2 л/100 кг (ПЦ+МК).

Установлено, что показатели предела прочности при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения для всех бетонных составов находятся в пределах 45...52 МПа, что превышает показатель средней прочности бетона класса В30 – 38,4 МПа.

Следует отметить, что максимальное содержание добавки, снижающей усадку бетона SRA25, замедляет твердение бетона в раннем возрасте (3 суток – на 30 %; 7 суток – 22 %) и не существенно влияет на прочность в более поздние сроки твердения (28 суток – на 8 %). Это объясняется тем, что добавка SRA снижает полярность воды затворения, что приводит к снижению растворения и ионизации в воде затворения щелочей. Следовательно, поровая жидкость имеет меньшую концентрацию щелочных ионов, что оказывает непосредственное влияние на скорость гидратации цемента и может обуславливать замедление гидратации и твердения [10]. Эта тенденция сохраняется и для показателей предела прочности на растяжение при изгибе.

После формования образцы бетона твердели в течение суток в формах, а бетонная поверхность была защищена от испарения влаги полиэтиленовой пленкой. После распалубки образцов и последующей их выдержке в воздушно-сухих условиях в бетоне развиваются усадочные деформации, которые наиболее характерно проявляются в бетоне контрольного состава № 1 (без содержания добавки SRA25), достигая в возрасте 90 суток величины: $\varepsilon = -0,567$ мм/м – стесненная усадка и $\varepsilon = -0,729$ мм/м – влажностная. Наличие в бетоне максимального количества добавки SRA25 (состав № 4) значительно снижает величину усадки бетона: $\varepsilon = -0,328$ мм/м – стесненная усадка, $\varepsilon = -0,445$ мм/м – влажностная.

Результаты сравнительных исследований влияния содержания комплексного органоминерального модификатора на усадочные деформации бетона представлены на рисунке 2 а, б.

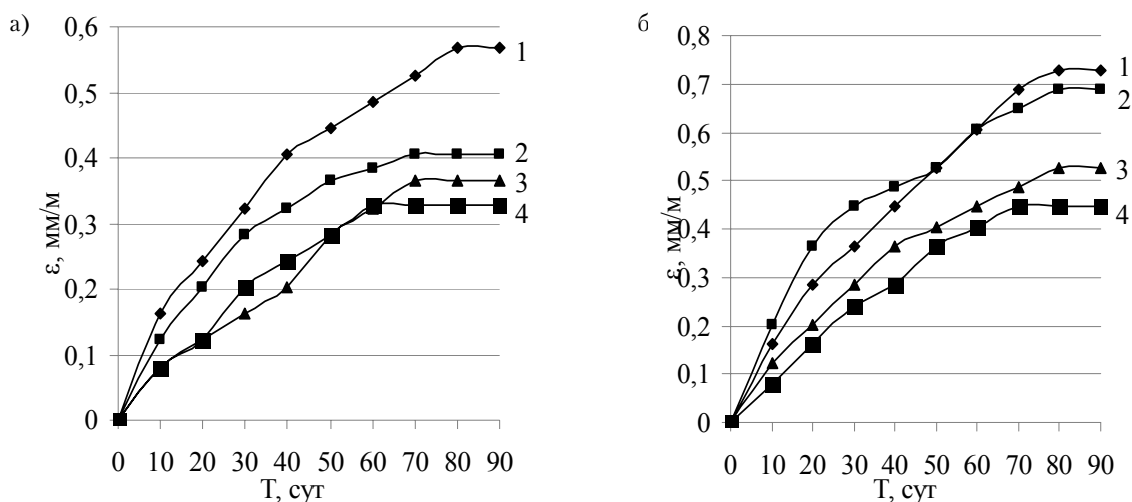


Рисунок 2 – Относительные деформации усадки бетона (ε): а) стесненная усадка; б) влажностная усадка.

Выявлено, что, кроме уменьшения поверхностного натяжения поровой жидкости, добавка SRA обеспечивает значительное снижение скорости испарения и потерь массы вследствие испарения влаги, особенно в ранние сроки твердения (рисунок 3). Значения показателей не превышает 0,5 кг/м²·ч, что соответствует рекомендациям Portland Cement Association [6].

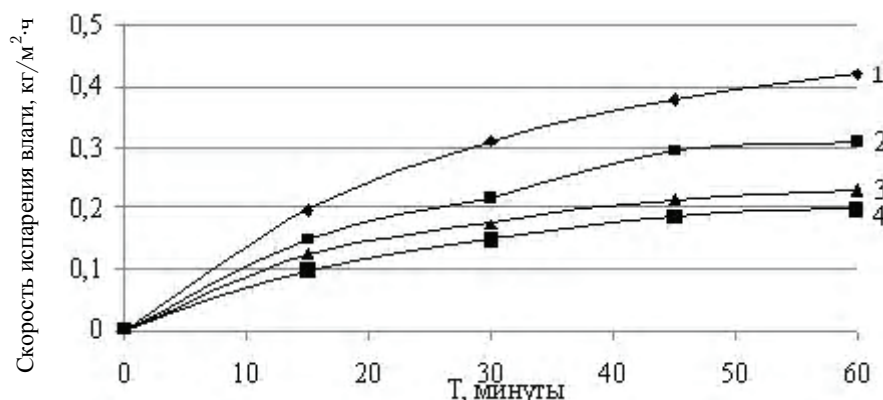


Рисунок 3 – Скорость испарения влаги с поверхности бетона.

ВЫВОДЫ

Установлено, что по мере увеличения содержания добавки, снижающей усадку бетона SRA, наблюдается уменьшение влажностной и стесненной усадки бетона на 23...37 и 6...40 % соответственно, а также скорости испарения и потерь массы вследствие испарения влаги с поверхности бетона на 26...48 %. В то же время, добавка SRA снижает прочность бетона как в раннем (3 суток – на 10...30 %; 7 суток – 8...22 %), так и проектном возрасте (28 суток – на 3...8 %). С учетом пластифицирующего эффекта добавки SRA возможно снижение водоцементного отношения без ухудшения технологических свойств смесей, что обеспечит устранение негативного влияния добавки на прочность бетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушаков, В. В. Магистральям России – Долговечные покрытия [Текст] / В. В. Ушаков // Российский информационно-технический журнал «Дороги Евразии». – 2014. – № 1. – 75 с.
2. Васильев, А. П. Ремонт и содержание автомобильных дорог [Текст] : Справочная энциклопедия дорожника в II томах. Том. II / Под общ. ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – Москва : Информавтодор, 2004. – 287 с.
3. Яромко, В. Н. Строительство автомобильных дорог [Текст] : учеб. пособие / В. Н. Яромко, Я. Н. Ковалева. – Минск : Высшая школа. 2016. – 417 с.
4. Васильев, А. П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог [Текст] : Справочная энциклопедия дорожника в II томах. Том. I / Под общ. ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. П. Васильева. – Москва : Информавтодор, 2005. – 552 с.
5. Якобсон, М. Я. Актуальность и перспективы применения цементобетона в дорожном строительстве [Текст] / М. Я. Якобсон, А. А. Кузнецова, А. С. Введенская, А. В. Бычков // Актуальные проблемы в современном строительстве. Системные технологии. – 2016. – № 18. – 71 с.
6. Зайченко Н. М. Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития [Текст] : учебное пособие / Н. М. Зайченко. – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 474 с.
7. Rajabipour, F. Interactions between shrinkage reducing admixtures (SRA) and cement paste's pore solution [Text] / F. Rajabipour, G. Sant, J. Weiss // Cement and Concrete Research. – 2008. – Vol. 38. – P. 606–615.
8. Bentz, D. P. Curing with shrinkage-reducing admixtures beyond drying shrinkage reduction [Text] / D. P. Bentz // Concrete International. – 2005. – Vol. 27, No. 10. – P. 55–60.
9. Khan, B. Effect of a Retarding Admixture on the Setting Time of Cement Pastes in Hot Weather [Text] / B. Khan, M. Ullah // JKAU: Eng. Sci. – 2004. – Vol. 15, No. 1. – P. 63–79.
10. Soroka, I. Hot Weather Concreting with Admixtures [Text] / I. Soroka, D. Ravina // Cement and Concrete Composites. – 1998. – Vol. 20, No. 2–3. – P. 129–136.
11. Folliard, K. J. Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixture [Text] / K. J. Folliard, N. S. Berke // Cement and Concrete Research. – 1997. – Vol. 27, No. 9. – P. 1357–1364.

Получено 12.04.2018

М. М. ЗАЙЧЕНКО, Г. О. СОКОЛОВА
УСАДКА І ТРИЩИНІСТІЙКІСТЬ ДОРОЖНІХ ЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ З
КОМПЛЕКСНИМ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИМ МОДИФІКАТОРОМ
ДОНБУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. У роботі розглянуто дослідження впливу комплексного органомінерального модифікатора на властивості дорожнього цементного бетону. Встановлено, що в міру збільшення вмісту добавки, що знижує усадку бетону SRA, спостерігається зменшення вологісної і обмеженої усадки бетону на 23...37 і 6...40 % відповідно, а також швидкості випаровування і втрат маси внаслідок випаровування вологи з поверхні бетону на 26...48 % . З урахуванням пластифікуючого ефекту добавки SRA можливе зниження водоцементного відношення без погіршення технологічних властивостей сумішей, що забезпечить усунення негативного впливу добавки на міцність бетону.

Ключові слова: дорожній цементний бетон, комплексний органомінеральний модифікатор, добавка, що знижує усадку бетону Shrinkage Reducing Admixture (SRA).

MYKOLA ZAICHENKO, ANNA SOKOLOVA
SHRINKAGE AND CRACK RESISTANCE OF ROAD CEMENT CONCRETES
WITH A COMPLEX ORGANOMINERAL MODIFIER
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. In this work, the study of the effect of a complex organomineral modifier on the properties of road cement concrete is considered. It has been found out that as the content of the additive reduces the shrinkage of concrete SRA, the moisture and shrinkage shrinkage of concrete decreases by 23...37 and 6...40 %, respectively, as well as evaporation rates and mass losses due to evaporation of moisture from the surface of concrete by 26...48 % . Taking into account the plasticizing effect of the SRA additive, it is possible to reduce the water-cement ratio without degrading the technological properties of the mixtures, which will ensure the elimination of the negative influence of the additive on the strength of the concrete.

Key words: road cement concrete, complex organomineral modifier, additive reducing concrete shrinkage (SRA).

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.

Соколова Анна Александровна – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с высокими эксплуатационными характеристиками.

Зайченко Микола Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНБУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: високоміцні і надвисокоміцні бетони на основі модифікованих дисперсних компонентів бетону.

Соколова Ганна Олександрівна – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНБУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: бетони з високими експлуатаційними характеристиками.

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

Sokolova Anna – Master's degree student; Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes with high performance characteristics.

УДК 666.974.2

А. Н. ЕФРЕМОВ, А. Н. ЛИЩЕНКО, Д. Ю. БУКИНА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

БЕСКЛИНКЕРНЫЕ ЩЕЛОЧНЫЕ ВЯЖУЩИЕ И БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования зависимости активности щелочных вяжущих от вида золошлакового отхода тепловых электростанций (ТЭС), концентрации раствора щелочного компонента и длительности твердения в нормальных условиях, при пропаривании и автоклавировании. Установлено, что при твердении в нормальных условиях активность вяжущих незначительная и составляет 2,5...12,0 МПа. При тепловлажностной обработке, особенно автоклавной, она существенно возрастает. Активность щелочных вяжущих на основе шлаков ТЭС в 1,5–2,0 раза превышает активность аналогичных составов на золе-унос. На основе разработанных вяжущих можно получать пропаренные и автоклавированные бетоны соответственно марок 100–200 и 300–400.

Ключевые слова: щелочные вяжущие, зола-унос и шлак тепловых электростанций, твердение в нормальных условиях, при пропаривании и автоклавировании.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных отходов промышленности Донбасса являются золошлаковые отходы тепловых электростанций (ТЭС). Только на семи крупных и средних электростанциях Донбасса, без учета малых ведомственных, при работе на полную мощность ежегодно образуется около семи млн тонн этих отходов. Максимальный уровень их утилизации в конце 80-х годов XX века не превышал 4 %. В основном золошлаковые отходы использовались как активная минеральная добавка и заполнитель в цементных бетонах. Расход отходов ТЭС в таких бетонах колебался от 1 до 10 % от массы бетона.

Новым направлением широкого применения зол и шлаков ТЭС в стройиндустрии может стать производство бетонов на основе щелочных алюмосиликатных вяжущих. Расход золошлаковых отходов в таких бетонах может достигать 98,5 % по массе.

Известно, что зола-унос по структуре существенно отличается от шлака ТЭС [1]. В золе-унос до 40...50 % материала может находиться в кристаллическом состоянии, шлак жидкого удаления на 100 % остеклован. Причем важно, что в золе-унос практически весь оксид алюминия находится в кристаллической фазе. Это, как установлено [2–8], является решающим фактором растворимости оксида алюминия в щелочных растворах и синтеза водостойких гидроалюмосиликатов типа $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot (2-4)SiO_2 \cdot nH_2O$.

Ранее в исследованиях щелочных вяжущих на фактор различной степени аморфизации оксида алюминия в золе-унос и шлаке ТЭС внимание не акцентировалось [9].

Цель работы – получение щелочных алюмосиликатных вяжущих на основе золошлаковых отходов ТЭС путем установления закономерностей влияния их вида (зола, шлак) на процессы синтеза прочности при различных условиях твердения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях использовался шлак, полученный отсевом из золошлаковой смеси фракции крупнее 0,316 мм с последующим помолом в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите 0,08 мм 12 %. Зола-унос отсеивалась из той же золошлаковой смеси через сито 0,08 с добавлением 12 % фракции 0,08...0,16 мм. Рентгенограммы шлака и золы, показанные на рисунке 1, указывают на то, что шлаковая составляющая практически полностью аморфизирована. В золе присутствует значительное количество кристаллических фаз. Причем глинозем в ней находится в виде кристаллического

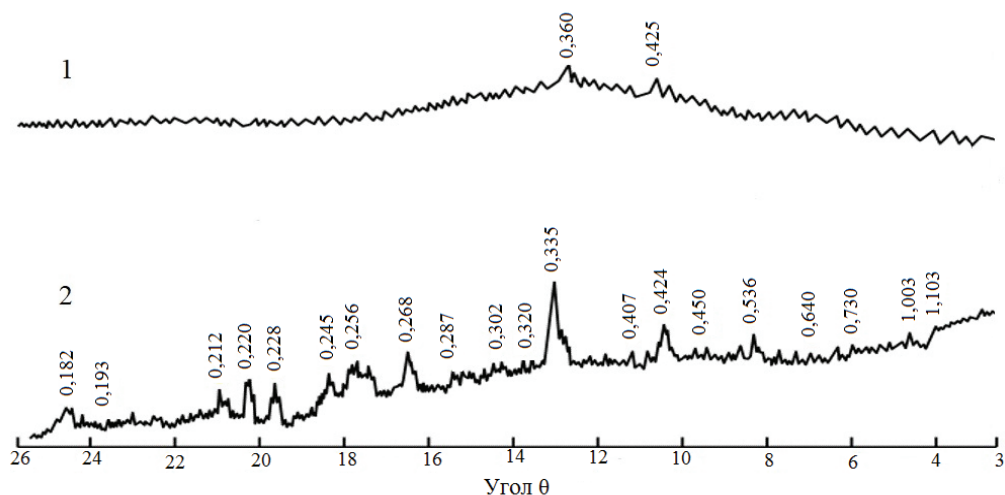


Рисунок 1 – Дифрактограммы: 1 – шлак ТЭС; 2 – зола ТЭС.

муллита, плохо растворимого в щелочных водных растворах (межплоскостные расстояния 0,335, 0,220, 0,341, 0,256 нм).

Испытание прочности производилось на образцах-кубах с ребром 2 см, заформованных из теста нормальной густоты.

Кроме особо оговоренных случаев затворение смесей, производилось раствором щелочного компонента (ЩК) плотностью 1,25 г/см³.

Нормальное твердение образцов происходило над водой, в эксикаторе. Также, исключая отдельные опыты, тепловлажностное твердение осуществляли после 16...20 часов выдержки в формах с изолированной верхней поверхностью по режиму 2,5 + 6 + 2 – 4 часа. Изотермический прогрев при пропаривании производился при температуре 95 °С, при автоклавировании – 173 °С (давление 0,8 МПа).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты сравнительного исследования зависимости активности вяжущих от вида отхода, концентрации раствора ЩК и длительности нормального твердения, приведенные на рисунках 2 и 3, свидетельствуют о низкой активности вяжущих. Однако они показывают, что активность вяжущих на основе шлака существенно превышает активность соответствующих композиций на золе, с увеличением концентрации раствора ЩК прочность образцов из обеих композиций, особенно шлаковых, заметно возрастает, с повышением плотности раствора щелочного компонента прочность вяжущих непрерывно растет.

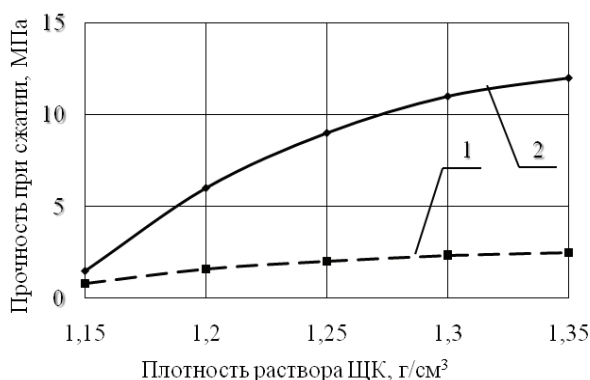


Рисунок 2 – Зависимость активности вяжущих нормального твердения на золе-унос (1) и молотом шлаке (2) ТЭС от плотности раствора ЩК.

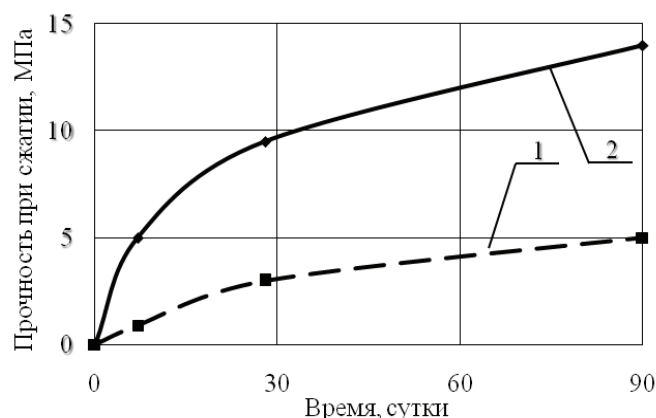


Рисунок 3 – Зависимость активности вяжущих нормального твердения на золе-уносе (1) и молотом шлаке (2) ТЭС от длительности твердения.

Результаты аналогичных исследований пропаренных вяжущих (рисунки 4 и 5), свидетельствуют о существенном росте активности вяжущих, особенно шлаковых, с увеличением плотности раствора ЩК с 1,15 до 1,25 г/см³. Похожий рост прочности образцов наблюдается при увеличении длительности изотермического пропаривания до 6...8 часов. При оптимальной концентрации раствора ЩК – 1,25 г/см³ и оптимальной длительности изотермического пропаривания активность вяжущих на шлаке в 3,0...3,5 раза превышает активность зольных композиций.

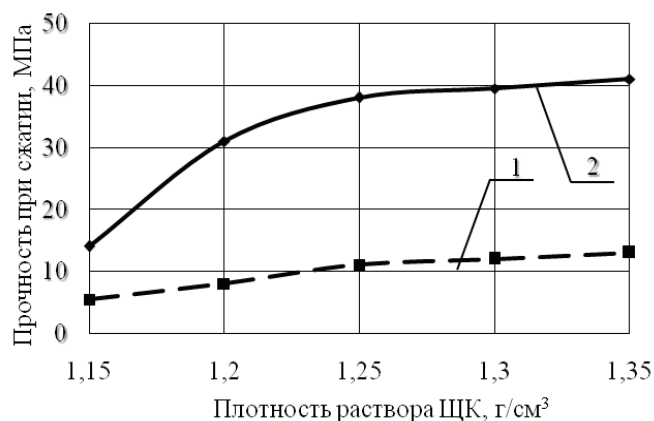


Рисунок 4 – Зависимость активности пропаренных вяжущих на золе-уносе (1) и молотом шлаке (2) ТЭС от плотности раствора ЩК.

Как известно [1], растворимость каркасных силикатов, особенно аморфных, в щелочных растворах резко возрастает при повышении температуры выше 160°. Это, по всей вероятности, и является причиной существенного повышения активности обоих видов вяжущих при автоклавной обработке. По сравнению с пропаренными образцами она возрастает в 1,5...2, раза, до 20...27 МПа на основе золы и до 45...60 МПа на основе шлака (рисунок 6).

ВЫВОДЫ

1. Активность щелочных вяжущих на основе шлаков ТЭС в 1,5...2,0 раза превышает активность аналогичных составов на основе золы-уноса, и основным определяющим фактором этого является практически полная аморфизация шлаков, особенно их алюмосиликатной составляющей, которая в золах в существенной мере закристаллизована.

2. Приемлемую для изготовления бетонов активность 25...35 МПа имеют пропаренные шлаковые вяжущие и автоклавированные зольные композиции, активность шлаковых автоклавированных составов возрастает до 50...65 МПа.

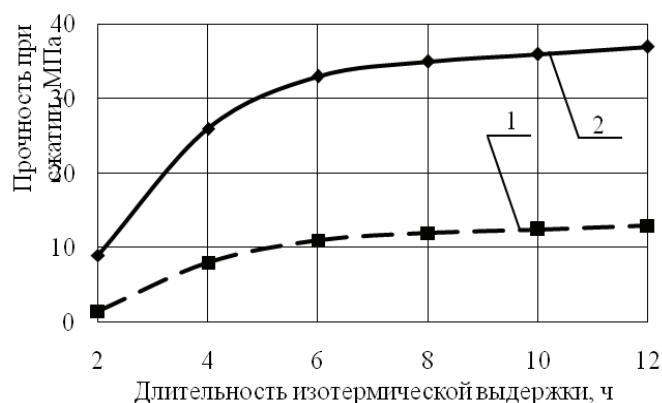


Рисунок 5 – Зависимость активности пропаренных вяжущих на золе-уносе (1) и молотом шлаке (2) ТЭС от длительности твердения.

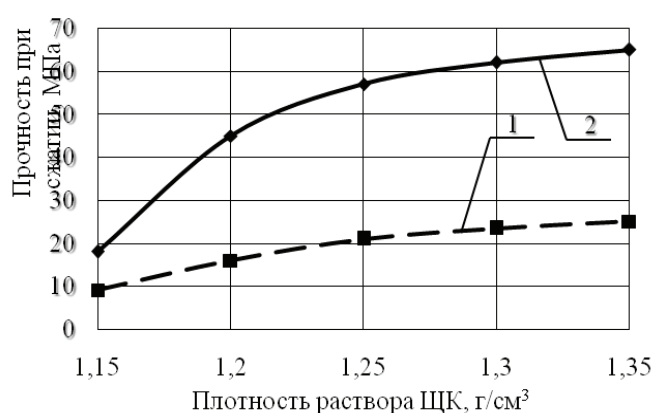


Рисунок 6 – Зависимость активности автоклавированных вяжущих на золе-уносе (1) и молотом шлаке (2) ТЭС от плотности раствора ЩК.

3. На основе разработанных вяжущих можно получать пропаренные и автоклавированные бетоны соответственно марок 100–200 и 300–400.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волженский А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
2. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны [Текст] / Под общ. ред. В. Д. Глуховского. – К.: Вища школа, 1979. – 232 с.
3. Krivenko, P. Alkaline Cements, Concretes and Structures: 50 Years of Theory and Practice [Текст] / P. Krivenko // International Conference «Alkaline Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha: Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 313–347.
4. Ефремов, А. Н. Огнеупорные бетоны на щелочных вяжущих с повышенными термомеханическими свойствами [Текст] / А. Н. Ефремов, П. В. Кривенко. – Макеевка: ДонНАСА, 2008. – 187 с.
5. Palomo, A. Nature of Alkali Aluminosilicate Polymers. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers [Текст] / A. Palomo, A. Fernandez-Jimenez // International Conference «Alkali Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha: Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 509–522.
6. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers [Текст] / J. S. J. Van Deventer, J. L. Provis, C. A. Rees et. al. // International Conference «Alkali Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha: Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 725–734.
7. Davidovits, J. Geopolymers – inorganic polymeric new materials [Текст] / J. Davidovits // Journal of Thermal Analysis. – 1991. – №37(8). – P. 1633–1656.
8. Rowles, V. Chemical optimization of the compressive strength of aluminosilicate geopolymers synthesised by sodium silicate activation of metakaolinite [Текст] / V. Rowles, B. O'. Connor // Journal of Materials Chemistry. – 2003. – №13(5). – P. 1161–1165.

9. ДСТУ Б В.2.7-181:2009 Будівельні матеріали. Цементи лужні. Технічні умови [Текст]. – На заміну ДСТУ Б В.2.7-24-95 ; чинні з 2009-08-01 / Науково-дослідний інститут в'язучих речовин і матеріалів ім. В. Д. Глуховського Київського національного університету будівництва і архітектури. – К. : Мінеріонбуд України, 2009. – 14 с.

Получено 16.04.2018

О. М. ЄФРЕМОВ, Г. М. ЛИЩЕНКО, Д. Ю. БУКИНА
БЕЗКЛІНКЕРНІ ЛУЖНІ В'ЯЖУЧІ І БЕТОНИ НА ОСНОВІ ЗОЛ І ШЛАКІВ
ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ
ДОНБУСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Анотація. Наведено результати порівняльного дослідження залежності активності лужних в'язучих від виду золошлакових відходів теплових електростанцій (ТЕС), концентрації розчину лугу і тривалості твердіння в нормальних умовах, при пропарюванні і автоклавованні. Встановлено, що при твердінні в нормальних умовах активність в'язучих незначна і становить 2,5...12,0 МПа. При тепловологісній обробці, особливо автоклавній, вона суттєво зростає. Активність лужних в'язучих на основі шлаків ТЕС в 1,5–2,0 рази перевищує активність аналогічних складів на основі золи-винесення. На основі розроблених в'язучих можна отримувати пропарені та автоклавні бетони відповідно марок 100–200 і 300–400.

Ключові слова: лужні в'язучі, зола-винесення і шлак теплових електростанцій, твердіння в нормальних умовах, при пропарюванні і автоклавованні.

ALEXANDER YEFREMOV, ANNA LISHENKO, DARYA BUKINA
NON-CLINKER ALKALINE BINDERS AND CONCRETES BASED ON ASHES AND
SLAGS OF THERMAL POWER PLANTS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The results of a comparative study of the dependence of the activity of alkaline binders on the ash and slag waste type of thermal power plants (TPP), the concentration of the alkali solution and the duration of hardening under normal conditions, with steaming and autoclaving are presented. It was found out that when hardening under normal conditions, the activity of binders is insignificant and is 2.5–12 MPa. With heat and moisture treatment, especially autoclave, it significantly increases. The activity of alkaline binders based on TPP slags is 1.5–2.0 times higher than the activity of similar compositions based on fly ash. Based on the developed binders, it is possible to produce steamed and autoclaved concretes, respectively, of grades 100–200 and 300–400.

Key words: alkaline binders, fly ash and slag of thermal power stations, hardening under normal conditions, with steaming and autoclaving.

Ефремов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, огнеупорные бетоны.

Лищенко Анна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

Букина Дарья Юрьевна – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе промышленных отходов.

Ефремов Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНБУСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ. Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів, вогнетривкі бетони.

Лищенко Ганна Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНБУСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ. Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетони.

Букина Дар'я Юріївна – магістрант ДОНБУСЬКОЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ. Наукові інтереси: бетони на основі промислових відходів.

Yefremov Alexander – D. Sc. (Engineering), a 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.

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

Bukina Darya – Master's degree student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

УДК 666.974.2

А. Н. ЕФРЕМОВ, А. Н. ЛИЩЕНКО, А. Л. БУНТЭ, Д. Г. МАЛИНИН
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ВЛИЯНИЕ ВИДА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (ТЭС) И УСЛОВИЙ ТВЕРДЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

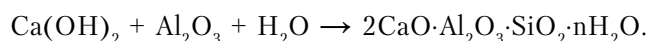
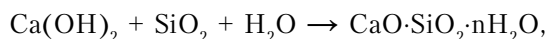
Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования зависимости активности портланд-цемента от содержания добавок золы-уноса и молотого шлака ТЭС. Установлено, что зависимости прочности портландцементного камня от содержания добавок соизмеримы, но прочность образцов с золой стабильно более высокая. Увеличение времени твердения в нормальных условиях, применение пропаривания и особенно автоклавирования позволяет сохранять активность смешанных вяжущих на уровне чистого портландцемента или терять ее в пределах менее 20...40 % при более высоком содержании добавок.

Ключевые слова: портландцемент, зола-унос и молотый шлак ТЭС, условия твердения, прочность.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Производство многокомпонентных цементов – одно из основных направлений технологического прогресса в цементной индустрии. По прогнозам ведущих ученых-цементников до 2020 г. выпуск многокомпонентных цементов достигнет 75...85 % от общего объема мирового производства [1]. Основным дополнительным компонентом таких цементов являются активные минеральные добавки, в первую очередь – золы и шлаки ТЭС (ДСТУ Б В. – 46:2011).

При полном химическом взаимодействии с водой в портландцементном камне образуется до 25 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Вклад гидроксида кальция в синтез прочности цементного камня незначительный, его прочность при сжатии не превышает 0,4...1,0 МПа, что в 50–100 раз ниже прочности гидросиликатов кальция – основных продуктов твердения портландцемента. При добавлении к портландцементу алюмосиликатных активных добавок типа зол и шлаков ТЭС, за счет активного аморфного кремнезема и глинозема, они взаимодействуют с гидроксидом кальция портландцемента, образуя из малопрочного продукта дополнительное количество гидросиликата и гидроалюмосиликата кальция, например гидрогеленита, по схемам [2–6]:



В зависимости от расхода цемента и воды пористость цементного камня в бетонах составляет 25...40 % от его объема. В строительных растворах она в 1,4...1,6 раз выше. Из общего объема пор бетона около 50 % его приходится на капиллярную и около 45 % – на гелевую пористость. В основном именно эти виды пор, особенно капиллярные, влияют на физико-механические свойства и долговечность бетонов и растворов [2, 7–10].

В процессе твердения общая пористость цементного камня уменьшается. При этом капиллярная пористость уменьшается быстрее, чем общая. Это объясняется тем, что капиллярные поры зарастают продуктами твердения, образующимися в более поздние сроки в уже затвердевшем камне. В цементах с активными минеральными добавками эти процессы идут длительно (годами), более глубоко, что существенно увеличивает плотность, прочность, водонепроницаемость, коррозионную стойкость, морозостойкость и др. свойства [7–10].

© А. Н. Ефремов, А. Н. Лищенко, А. Л. Бунтэ, Д. Г. Малинин, 2018

Известно, что зола-унос по структуре существенно отличается от шлака ТЭС [6, 11]. В золе-унос до 40...50 % материала может находиться в кристаллическом состоянии, шлак жидкого удаления на 100 % остеклован. Причем важно, что в золе-унос практически весь оксид алюминия находится в кристаллической фазе. Остеклованность, как установлено [5, 6, 11, 12], является решающим фактором растворимости оксидов кремния и алюминия в щелочных растворах и синтеза водостойких гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция.

Ранее в исследованиях цементов с добавками золошлаковых отходов ТЭС на фактор различной степени аморфизации золы-уноса и шлака ТЭС внимание не акцентировалось.

ЦЕЛИ

Получение портландцементов с высоким содержанием золошлаковых отходов ТЭС путем установления закономерностей влияния их вида (зола, шлак) на процессы синтеза прочности при различных условиях твердения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях использовался портландцемент ПЦ I с декларируемой маркой 500. Шлак ТЭС получали отсевом из золошлаковой смеси фракции крупнее 0,316 мм с последующим помолем в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите 0,08 мм 12 %. Зола-унос отсеивалась из той же золошлаковой смеси через сито 0,08 с добавлением 12 % фракции 0,08...0,16 мм. Рентгенограммы шлака и золы показали, что шлаковая составляющая практически полностью аморфизирована. В золе присутствует значительное количество кристаллических фаз. Причем глинозем в ней находится в виде кристаллического муллита. Испытание прочности при сжатии производилось на образцах – кубках с ребром 2 см, изготовленных из теста нормальной густоты. Твердение образцов происходило в нормальных условиях в камере с гидрозатвором, при пропаривании и автоклавировании по режиму 2,5 + 6 + 3 часа (температура изотермической выдержки соответственно 95 и 173 °C).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравнительные исследования влияния вида и содержания золошлакового отхода на активность портландцемента при твердении в нормальных условиях в течение 28 и 90 суток показали (рисунки 1 и 2), что характер влияния обеих добавок примерно одинаков. Введение золы-уноса стабильно показывает чуть более высокую активность смешанных вяжущих.

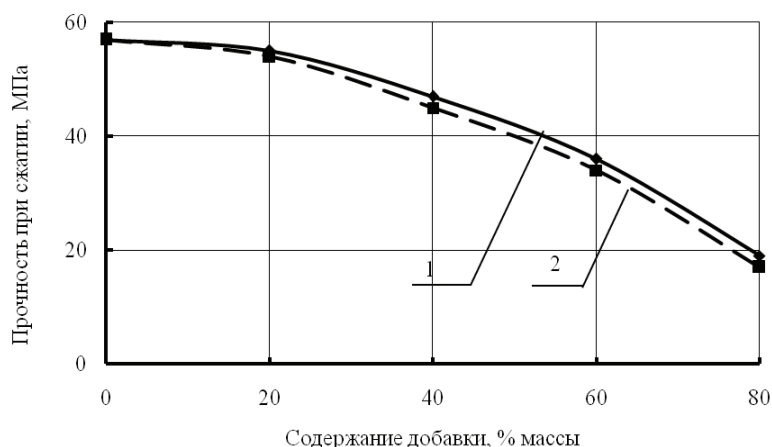


Рисунок 1 – Зависимость активности вяжущих нормального твердения (28 суток) от содержания золы-уноса (1) и молотого шлака (2) ТЭС.

После 28 суток твердения вяжущие практически сохраняют активность при введении 20 % добавок (падение прочности не превышает 5 %). При увеличении длительности нормального твердения до 90 суток без снижения прочности в вяжущие можно вводить примерно 30 % добавок.

После 28 суток образцы сохраняют примерно 80 и 60 % прочности бедобавочных композиций при содержании соответственно 40 и 60 % добавок. Аналогичные показатели после 90 суток твердения смещаются в область составов с несколько большим содержанием добавок – 45...47 и 60...63 %.

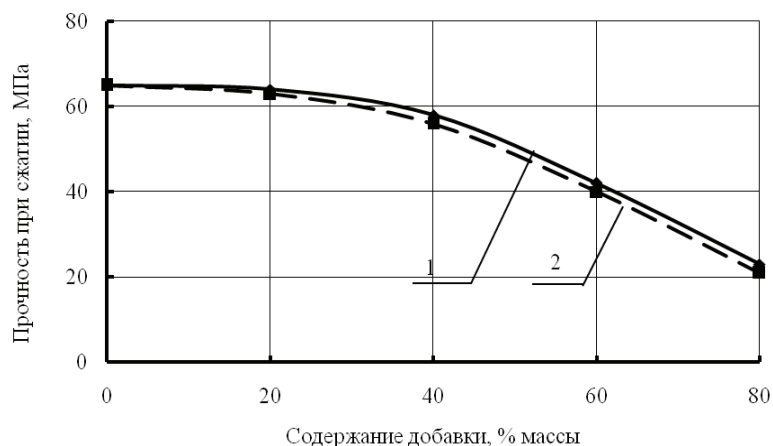


Рисунок 2 – Зависимость активности вяжущих нормального твердения (90 суток) от содержания золы-унос (1) и молотого шлака (2) ТЭС.

Влияние добавок на активность портландцемента при пропаривании примерно такое, как и при нормальном твердении в течение 28 суток. Единственное отличие – содержание добавок может быть увеличено. При снижении прочности не более, чем на 5 % – до примерно 25 %, при сохранении 80 и 60 % прочности бездобавочных композиций – соответственно до 45 и 65 % (рисунок 3).

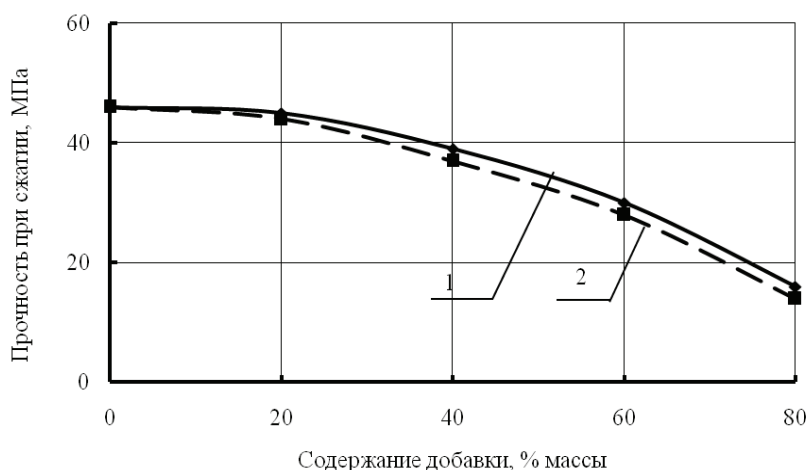


Рисунок 3 – Зависимость активности пропаренных вяжущих от содержания золы-унос (1) и молотого шлака (2) ТЭС.

Автоклавная обработка существенно активизирует взаимодействие золы с портландцементом (рисунок 4). Образцы с 20 % добавки показывают более высокую прочность, чем автоклавированный портландцементный камень.

При сохранении 95 % прочности содержание добавки может быть увеличено до 45...50 %, а при сохранении 80 и 60 % – соответственно до 65 и 80%.

ВЫВОДЫ

1. Зависимости прочности портландцементного камня от содержания золы-унос и молотого шлака ТЭС соизмеримы, но прочность образцов с золой стабильно более высокая, что указывает на нецелесообразность его применения взамен дисперсной золы-унос, не требующей помола.

2. Увеличение времени твердения в нормальных условиях, применение пропаривания и особенно автоклавирования позволяет сохранять активность смешанных вяжущих на уровне чистого портландцемента или терять ее в пределах не более 20...40 % при более высоком содержании золы-унос.

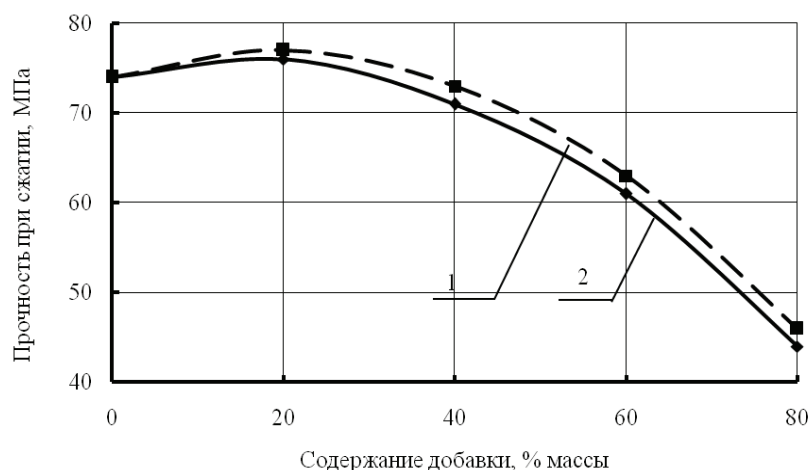


Рисунок 4 – Зависимость активности автоклавированных вяжущих от содержания золы-унос (1) и молотого шлака (2) ТЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саницкий, М. А. Модифіковані композиційні цементи [Текст] / М. А. Саницкий, Х. С. Соболев, Т. Є. Марків. – Львів : Вид. Львівської політехніки, 2010. – 132 с.
2. Горчаков, Г. И. Строительные материалы [Текст] / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1986. – 688 с.
3. Бутт, Ю. М. Химическая технология вяжущих материалов [Текст] / Ю. М. Бутт, М. М. Сычев, В. В. Тимашев. – М. : Высшая школа, 1980. – 472 с.
4. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А. В. Волженский. – М. : Стройиздат, 1986. – 464 с.
5. Массаца, Ф. Химия пуццолановых добавок и смешанных цементов [Текст] / Ф. Массаца // Шестой международный конгресс по химии цемента. Т. 3. – М. : Стройиздат, 1976. – С. 209–221.
6. Волженский, А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – М. : Стройиздат, 1984. – 256 с.
7. Баженов, Ю. М. Технология бетона [Текст] / Ю. М. Баженов. – М. : АСВ, 2007. – 524 с.
8. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона [Текст] / И. Н. Ахвердов. – М. : Высшая школа, 1981. – 464 с.
9. Москвин, Б. М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / Б. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев и др. – М. : Стройиздат, 1980. – 536 с.
10. Комохов, П. Г. Долговечность бетона и железобетона [Текст] / П. Г. Комохов, В. М. Латынов, Т. В. Латынова и др. – Уфа : Белая река, 1998. – 216 с.
11. Кривенко, П. В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков [Текст] / П. В. Кривенко, Е. К. Пушкарёва, В. И. Гоц и др. – К. : Изд. ООО «ИПК Экспресс-Полиграф», 2012. – 258 с.
12. Аваков, В. А. Сравнительная растворимость некоторых модификаций кремнезема [Текст] / В. А. Аваков // Строительные материалы. – 1972. – № 11. – С. 35–36.

Получено 17.04.2018

О. М. ЄФРЕМОВ, Г. М. ЛІЩЕНКО, Г. Л. БУНТЕ, Д. Г. МАЛИНІН
ВПЛИВ ВИДУ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕПЛОВИХ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ (ТЕС) ТА УМОВ ТВЕРДІННЯ НА АКТИВНІСТЬ
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Наведено результати порівняльного дослідження залежності активності портландцементу від вмісту добавок золи-виносу та меленого шлаку ТЕС. Встановлено, що залежності міцності портландцементного каменю від вмісту добавок сумірні, але міцність зразків із золою стабільно більш висока. Підвищення часу твердіння в нормальних умовах, застосування пропарювання і особливо автоклавовання дозволяє зберігати активність мішаних в'язучих на рівні чистого портландцементу або утрачати її в межах менш 20...40 % при більш високому вмісті добавок.

Ключові слова: портландцемент, зола-виносу та мелений шлак ТЕС, умови твердіння, міцність.

ALEXANDER YEFREMOV, ANNA LISHCHENKO, ANNA BUNTE,
DENIS MALININ
INFLUENCE OF ASH AND SLAG WASTES OF THERMAL POWER PLANTS
(TPP) AND CONDITIONS OF HARDENING ON PORTLAND CEMENT
ACTIVITY

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The results of a comparative study of the activity of Portland cement on the content of additives of ash-entrainment and ground slag TPP have been given. It was found out that the dependences of strength of Portland cement stone on the content of additives are commensurate, but the strength of samples with ash is consistently higher. Increasing the hardening time under normal conditions, the use of steaming and, especially, autoclaving allows to maintain the activity of mixed binders at the level of pure Portland cement or lose it within less than 20...40 % with a higher content of additives.

Key words: Portland cement, fly ash and slag of thermal power stations, conditions of hardening, strength.

Ефремов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, огнеупорные бетоны.

Лищенко Анна Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: огнеупорные вяжущие и бетоны.

Бунтэ Анна Леонидовна – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны на основе промышленных отходов.

Малинин Денис Геннадьевич – магистрант кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: неавтоклавные газобетоны.

Ефремов Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: в'язучі і бетоны на основі промислових відходів, вогнетривкі бетоны.

Лищенко Ганна Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вогнетривкі в'язучі та бетоны.

Бунте Ганна Леонидівна – магістрант ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетоны на основі промислових відходів.

Малинін Денис Геннадійович – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: неавтоклавні газобетоны.

Yefremov Alexander – D. Sc. (Engineering), 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; heat-resistant concretes.

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

Bunte Anna – Master's degree student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

Malinin Denis – Master's degree student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: cellular concretes.

УДК 666.973.6

А. Н. ЕФРЕМОВ, В. В. ХАУСТОВА, Д. Ю. БУКИНА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ
ГИДРОКСИДА НАТРИЯ, ДОМЕННОГО ГРАНШЛАКА И
ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Аннотация. В нормальных условиях твердения и при пропаривании влияние содержания золы и шлака ТЭС на прочность камня вяжущих практически одинаково, при введении 20...40 % добавок активность вяжущих сохраняется, а при последующем увеличении их содержания наблюдается постепенное, близкое к прямо пропорциональному, снижение активности. При автоклавировании отходы ТЭС проявляют значительно большую активность по отношению к шлакощелочному вяжущему, без снижения прочности содержание золы-унос может быть доведено до 40...60 %, а шлака примерно до 50...80 %, содержание добавок может быть повышено при увеличении длительности твердения и плотности раствора щелочного компонента.

Ключевые слова: шлакощелочные вяжущие, гидроксид натрия, зола-унос и шлак ТЭС, активность, условия твердения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Шлакощелочные бетоны – одни из наиболее перспективных материалов на основе бесклнкерных вяжущих. Они характеризуются высокими технологическими и эксплуатационными свойствами.

Как известно, шлакощелочные вяжущие – это композиции молотого доменного гранулированного шлака, затворенного водным раствором щелочного компонента. Наиболее типичным щелочным компонентом в них является гидроксид натрия. При концентрации раствора около 20 % он обеспечивает получение вяжущего марок до 400–500 с нормальными сроками схватывания, с повышенной скоростью твердения при обычной температуре, при пропаривании и автоклавировании.

Однако бетоны из таких композиций вяжущих имеют ряд недостатков:

- вследствие недостатка активного оксида алюминия в гранулированном доменном шлаке значительная часть гидроксида натрия в бетоне не связывается в водостойкие соединения и при миграции влаги на поверхность изделий образуются интенсивные высолы, что существенно ухудшает внешний вид конструкций, загрязняет окружающую среду при их смыве атмосферными осадками, удалении ветром;
- наличие свободного гидроксида натрия может вызвать щелочную коррозию бетона, повышает гигроскопичность и капиллярный подсос бетонов;
- из-за кризиса в черной металлургии, при существенном снижении производства чугуна доменный гранулированный шлак становится дефицитом.

Поэтому расширение сырьевой базы шлакощелочных вяжущих при одновременном синтезе новообразований, связывающих оксид натрия в водостойкие соединения, является актуальной задачей.

Исследованиями, проведенными в Киевском национальном университете строительства и архитектуры [1–3] и в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры [4, 5] установлено, что введение до 40 % дисперсных золошлаковых отходов в смесь с доменным граншлаком практически не сказывается на снижении активности вяжущих.

Известно, что зола-унос [5, 6] по структуре существенно отличается от шлака тепловых электростанций (ТЭС). В золе-унос до 40...50 % материала может находиться в кристаллическом состоянии,

шлак жидкого удаления на 100 % остеклован. При чем важно, что в золе-унос практически весь оксид алюминия находится в кристаллической фазе. Это, как установлено [7–12], является решающим фактором растворимости оксида алюминия в щелочных растворах и синтеза гидроалюмосиликатов типа $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot (2-4)SiO_2 \cdot nH_2O$.

Ранее в исследованиях шлакощелочных вяжущих на фактор различной степени аморфизации оксида алюминия в золе-унос и шлаке ТЭС внимание не акцентировалось.

ЦЕЛЬ

Разработка шлакощелочных вяжущих на основе гидроксида натрия с добавками аморфизированных золошлаковых отходов ТЭС, которые должны обеспечить синтез гидроалюмосиликатов типа $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot (2-4)SiO_2 \cdot nH_2O$ и более высокую степень связывания оксида натрия в водостойкие продукты твердения.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В исследованиях использовался доменный граншлак Донецкого завода «Донецсталь» с модулем основности 1,25.

Шлак ТЭС получали отсевом из золошлаковой смеси фракции крупнее 0,316 мм с последующим помолом в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите 0,08 мм 12 %. Зола-унос отсеивалась из той же золошлаковой смеси через сито 0,08 с добавлением 12 % фракции 0,08...0,16 мм. Рентгенограммы шлака и золы показали, что шлаковая составляющая практически полностью аморфизирована. В золе присутствует значительное количество кристаллических фаз. Причем глинозем в ней находится в виде кристаллического муллита, плохо растворимого в щелочных водных растворах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

На рисунках 1 и 2 приведены результаты сравнительных исследований влияния содержания золы и молотого шлака ТЭС на активность вяжущих, твердевших в нормальных условиях, при пропаривании и автоклавировании.

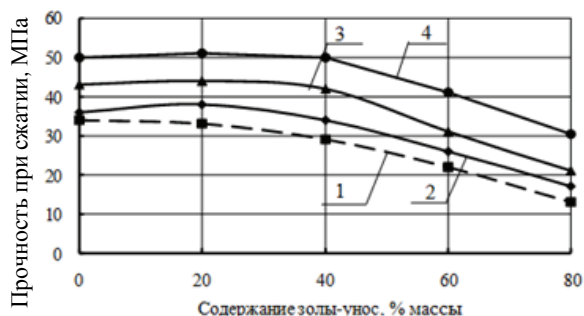


Рисунок 1 – Зависимость активности вяжущих на гидроксиде натрия (плотность раствора 1,20 г/см³) от условий твердения и содержания золы-уноса ТЭС: 1 – 28 суток твердения в нормальных условиях; 2 – пропаривание; 3 – 90 суток твердения в нормальных условиях; 4 – автоклавирование.

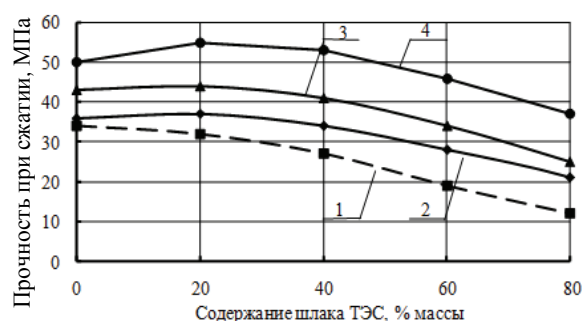


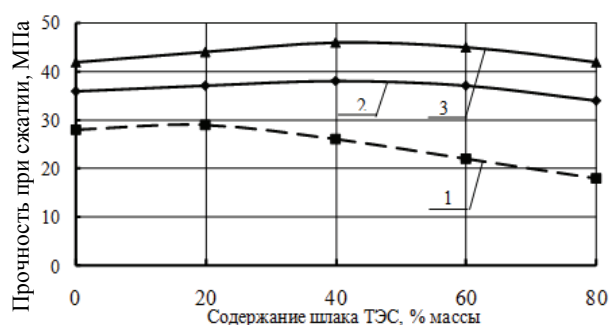
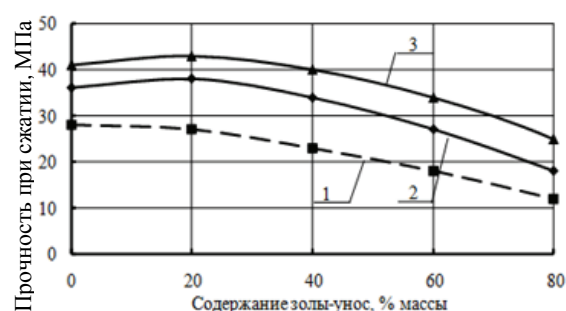
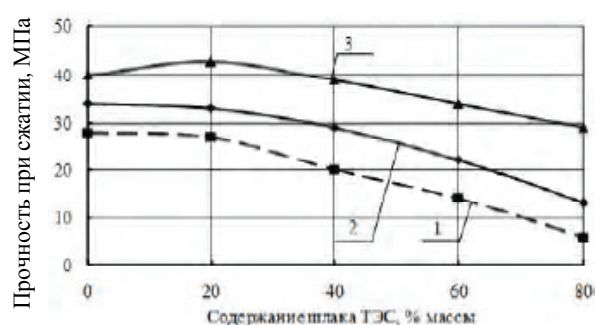
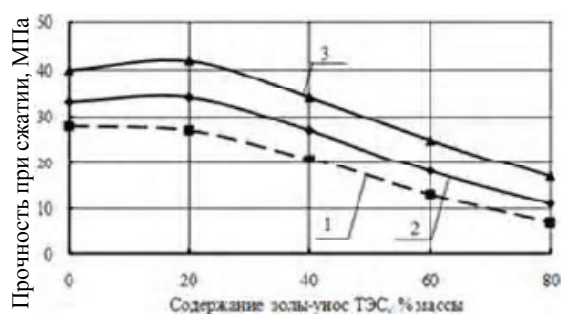
Рисунок 2 – Зависимость активности вяжущих на гидроксиде натрия (плотность раствора 1,20 г/см³) от условий твердения и содержания молотого шлака ТЭС: 1 – 28 суток твердения в нормальных условиях; 2 – пропаривание; 3 – 90 суток твердения в нормальных условиях; 4 – автоклавирование.

Их анализ показывает, что после 28 суток твердения в нормальных условиях влияние содержания золы и шлака ТЭС на прочность камня вяжущих практически одинаково: при введении 20 % добавки активность вяжущих сохраняется, а при последующем увеличении их содержания наблюдается постепенное, близкое к прямо пропорциональному, снижение активности.

При увеличении длительности нормального твердения до 90 суток и применении пропаривания влияние вида и содержания отхода ТЭС на активность вяжущих остается одинаковым. Однако при сохранении активности бездобавочного вяжущего содержание добавок может быть доведена до 35...40 %.

В условиях автоклавирования шлак ТЭС проявляет существенно большую активность по отношению к шлакощелочному вяжущему. Так, без снижения прочности содержание золы-унос может быть доведена до 40 %, а шлака примерно до 50 %. Кроме того, при максимальном содержании добавок в количестве 80 % прочность образцов с золой составляет 60 % от бездобавочного состава, а со шлаком ТЭС – 75 %.

Сравнительные исследования комплексного содержания добавок и плотности раствора гидроксида натрия на активность вяжущих, твердевших в нормальных условиях (рисунки 3 и 4) и при пропаривании (рисунки 5 и 6), показали, что при низком содержании добавок и низкой плотности раствора гидроксида натрия влияние золы и шлака ТЭС на активность вяжущих практически одинаково.



С увеличением плотности раствора щелочного компонента композиции со шлаком ТЭС показывают существенно более высокую прочность. Так, после 28 суток нормального твердения и при содержании 80 % добавок прочность образцов на растворах плотностью 1,2 и 1,25 г/см³ со шлаком составляет соответственно 12 и 38 МПа, а с золой 11 и 17 МПа. После пропаривания аналогичные показатели увеличиваются при использовании золы до 18 и 24 МПа, а шлака до 33 и 42 МПа.

Еще более существенная разница между композициями с золой и шлаком ТЭС наблюдается после автоклавной обработки (рисунки 7 и 8). При введении 80 % золы активность вяжущих на растворах плотностью 1,15, 1,25 г/см³ составляет 19 и 38 МПа, то при применении шлака 26..60 МПа. Причем при максимальной плотности раствора гидроксида натрия прочность образцов с 80 % шлака выше, чем бездобавочных образцов.

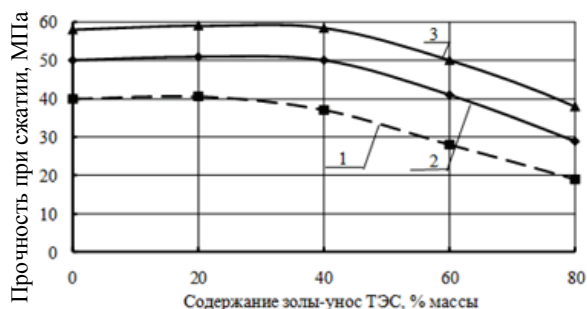


Рисунок 7 – Зависимость активности автоклавированных вяжущих от плотности раствора гидроксида натрия и содержания золы-уноса ТЭС: 1, 2, 3 – соответственно плотность 1,15, 1,20 и 1,25 г/см³.

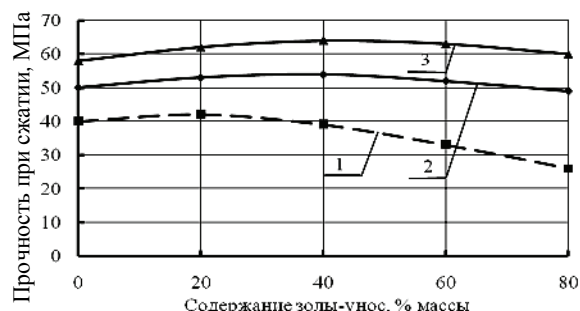


Рисунок 8 – Зависимость активности автоклавированных вяжущих от плотности раствора гидроксида натрия и содержания молотого шлака ТЭС: 1, 2, 3 – соответственно плотность 1,15, 1,20 и 1,25 г/см³.

ВЫВОДЫ

1. После 28 суток твердения в нормальных условиях влияние содержания золы и шлака ТЭС на прочность камня вяжущих практически одинаково, при введении 20 % добавки активность вяжущих сохраняется, а при последующем увеличении их содержания наблюдается постепенное, близкое к прямо пропорциональному, снижение активности.
2. При увеличении длительности нормального твердения до 90 суток и применении пропаривания влияние вида и содержания отхода ТЭС на активность вяжущих остается одинаковым, однако при сохранении активности бездобавочного вяжущего, содержание добавок может быть доведено до 35...40 %.
3. В условиях автоклавирования шлак ТЭС проявляет значительно большую активность по отношению к шлакощелочному вяжущему, без снижения прочности содержание золы-уноса может быть доведена до 40...60 %, а шлака примерно до 50...80 %.
4. Повышение плотности раствора щелочного компонента увеличивает активность обеих добавок по отношению к шлакощелочному вяжущему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны [Текст] / [А. А. Волянский, В. Д. Глуховский, В. В. Гончаров и др.]; Под общ. ред. В. Д. Глуховского. – К.: Вища школа, 1979. – 232 с.
2. Рунова, Р. Ф. Исследование автоклавных щелочно-щелочноземельных алюмосиликатных материалов [Текст]: автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук / Р. Ф. Рунова / Киевский инж.-строит. ин-т. – Киев: [б. и.], 1972. – 22 с.: ил.
3. Чиркова, В. В. Материалы на основе стеклоподобных бескальциевых алюмосиликатов и соединений натрия [Текст]: Автореф. дис. кандидата техн. наук (05.23.05) / Чиркова Вера Владимировна / Киев. инж.-строит. ин-т. – Киев: [б. и.], 1974. – 22 с.: ил.
4. Ефремов, А. Н. Шлакощелочные вяжущие и бетоны с повышенными жаростойкими свойствами [Текст]: Дис. кандидата техн. наук: 05.23.05 / Александр Николаевич Ефремов. – К., 1981. – 210 с.: ил. – Библиогр.: – С. 143–162.
5. Волженский, А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
6. Кривенко, П. В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков [Текст] / П. В. Кривенко, В. И. Гоц и др. – К.: ООО «ИПК Экспресс-Полиграф», 2012. – 258 с.
7. Krivenko, P. Alkaline Cements, Concretes and Structures: 50 Years of Theory and Practice [Текст] / P. Krivenko // International Conference «Alkaline Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha: Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 313–347.
8. Krivenko, P. Hydration-Dehydration Structure Formation Processes in Geocements [Текст] / P. Krivenko, G. Kovalchuk // Proceed Intern. Workshop Geopolymers Binder. – Weimar: [S. n.], 2006. – P. 73–90.
9. Palomo, A. Nature of Alkali Aluminosilicate Polimers. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers [Текст] / A. Palomo, A. Fernandez-Jimenez // International Conference «Alkali Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha: Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 509–522.
10. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers [Текст] / J. S. J. Van Deventer, J. L. Provis, C. A. Rees et al. // International Conference «Alkali Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha: Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 725–734.
11. Davidovits, J. Geopolymers – inorganic polymeric new materials [Текст] / J. Davidovits // Journal of Thermal Analysis. – 1991. – №37(8). – P. 1633–1656.

12. Rowles, V. Chemical optimization of the compressive strength of aluminosilicate geopolymers synthesised by sodium silicate activation of metakaolinite [Текст] / V. Rowles, B. O' Connor // Journal of Materials Chemistry. – 2003. – №13(5). – P. 1161–1165.

Получено 18.04.2018

О. М. ЄФРЕМОВ, В. В. ХАУСТОВА, Д. Ю. БУКІНА
КОМПОЗИЦІЙНІ ШЛАКОЛУЖНІ В'ЯЖУЧІ НА ОСНОВІ ГІДРОКСИДУ
НАТРІЮ, ДОМЕННОГО ГРАНШЛАКУ І ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ
ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ
ДОНУ ВПО «ДОНБАСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. У нормальних умовах твердіння і при пропарюванні вплив вмісту золи і шлаку ТЕС на міцність каменю в'язучих практично однаковий, при введенні 20...40 % добавок активність в'язучих зберігається, а при подальшому збільшенні їх змісту спостерігається поступове, близьке до прямо пропорційного, зниження активності. При автоклавуванні відходи ТЕС виявляють значно більшу активність по відношенню до шлаколужного в'язучого, без зниження міцності вміст золи-винесення може бути доведений до 40...60 %, а шлаку приблизно до 50...80 %, вміст добавок може бути підвищено при збільшенні тривалості твердіння і щільності розчину лужного компонента.

Ключові слова: шлаколужні в'язучі, гідроксид натрію, зола-винесення і шлак ТЕС, активність, умови твердіння.

ALEXANDER YEFREMOV, VALERIA HAUSTOVA, DARYA BUKINA
COMPOSITE SLAG-ALKALINE BINDERS BASED ON SODIUM HYDROXIDE,
BLAST-FURNACE GRANULATED SLAG AND ASH-SLAG WASTE OF THERMAL
POWER PLANTS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Under normal conditions of hardening and steaming content influence of the ash and slag of thermal power plants on the strength of a rock binder is almost the same, with the introduction of 20...40 % additives binding activity is retained, and subsequent increase of their content there is a gradual, almost directly proportional, the decrease in activity. When autoclaving waste TPP exhibit significantly greater activity in relation to the slag binder, without reducing the strength of the fly-ash can be brought to 40...60 %, and slag to about 50...80 %, the content of additives can be increased by increasing the duration of hardening and density of the solution of the alkaline component.

Key words: slag-alkaline binders, sodium hydroxide, fly ash and TPP slag, activity, hardening conditions.

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, огнеупорные бетоны.

Хаустова Валерия Валерьевна – 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.

Єфремов Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: в'язучі і бетоны на основі промислових відходів, вогнетривкі бетоны.

Хаустова Валерія Валеріївна – магістрант ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетоны на основі промислових відходів.

Букіна Дар'я Юрієвна – магістрант ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетоны на основі промислових відходів.

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

Haustova Valeria – Master's degree student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

Bukina Darya – Master's degree student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

УДК 666.974.2

А. Н. ЕФРЕМОВ, Е. М. БАХАНЕЦ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫЕ ВЯЖУЩИЕ НА ОСНОВЕ
ЖИДКОГО СТЕКЛА, ДОМЕННОГО ГРАНШЛАКА И ЗОЛОШЛАКОВЫХ
ОТХОДОВ ТЭС**

Аннотация. Вяжущее на основе свежемолотого доменного шлака, затворенного дисиликатом натрия, имеет неприемлемо короткие сроки схватывания, 3...15 минут, они сокращаются с повышением плотности дисиликата натрия. Добавки золы-уноса и шлака ТЭС в количестве до 80 % позволяют получать вяжущее активностью 30...80 МПа, что составляет 60...70 % от прочности бездобавочных вяжущих. При этом сроки схватывания увеличиваются до 35...45 минут.

Ключевые слова: шлакощелочные вяжущие на дисиликате натрия.

ВВЕДЕНИЕ

Шлакощелочные бетоны – одни из наиболее перспективных материалов на основе бесклнкерных вяжущих. Они характеризуются высокими технологическими и эксплуатационными свойствами. Шлакощелочные вяжущие – это композиции молотого доменного гранулированного шлака, затворенного водным раствором щелочного компонента. Наиболее типичным щелочным компонентом в них является оксид натрия. При концентрации раствора около 20 % он обеспечивает получение вяжущего марок до 1000–1200, с повышенной скоростью твердения при обычной температуре, при пропаривании и автоклавировании. Однако бетоны из таких композиций вяжущих имеют ряд недостатков:

- вяжущее на основных шлаках, особенно свежемолотых, чрезмерно быстро схватываются – начало и конец схватывания наступают через 3...10 минут, что практически исключает их применение в технологии бетонных и железобетонных конструкций;
- вследствие недостатка активного оксида алюминия в гранулированном доменном шлаке значительная часть оксида натрия низкомолекулярного жидкого стекла в бетоне не связывается в водостойкие соединения и при миграции влаги на поверхности изделий образуются интенсивные высолы, что существенно ухудшает внешний вид конструкций, загрязняет окружающую среду при их смыве атмосферными осадками, удалении ветром;
- наличие свободного оксида натрия повышает гигроскопичность и капиллярный подсос бетонов, чревато их щелочной коррозией;
- из-за кризиса в черной металлургии при существенном снижении производства чугуна доменный гранулированный шлак становится дефицитом.

Поэтому увеличение времени схватывания, расширение сырьевой базы шлакощелочных вяжущих при одновременном синтезе новообразований, связывающих оксид натрия в водостойкие соединения, является актуальной задачей.

Исследованиями [1–4] установлено, что введение до 20...40 % дисперсных золошлаковых отходов в смесь с доменным граншлаком практически не сказывается на снижении активности вяжущих.

Известно [5–6], что зола-унос по структуре существенно отличается от шлака ТЭС. В золе-унос до 40...50 % материала может находиться в кристаллическом состоянии, шлак жидкого удаления на 100 % остеклован. Причем важно, что в золе-унос практически весь оксид алюминия находится в кристаллической фазе. Это, как установлено [7–10], является решающим фактором растворимости оксида алюминия в щелочных растворах и синтеза гидроалюмосиликатов типа $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot (2-4)SiO_2 \cdot nH_2O$.

Ранее в исследованиях шлакощелочных вяжущих на фактор различной степени аморфизации оксида алюминия в золе-унос и шлаке ТЭС внимание не акцентировалось.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработка шлакощелочных вяжущих на основе жидкого стекла с добавками золошлаковых отходов тепловых электростанций (ТЭС), обеспечивающих увеличение сроков схватывания, более высокую степень связывания оксида натрия в водостойкие продукты твердения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях использовался доменный граншлак Донецкого завода «Донецсталь» с модулем основности 1,25.

Шлак ТЭС получали отсевом из золошлаковой смеси фракции крупнее 0,316 мм с последующим помолом в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите 0,08 мм 12 %. Зола-унос отсеивалась из той же золошлаковой смеси через сито 0,08 с добавлением 12 % фракции 0,08...0,16 мм. Рентгенограммы шлака и золы показали, что шлаковая составляющая практически полностью аморфизирована. В золе присутствует значительное количество кристаллических фаз. Причем глинозем в ней находится в виде кристаллического муллита, плохо растворимого в щелочных водных растворах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты сравнительных исследований влияния содержания золы-уноса и молотого шлака ТЭС на активность вяжущего на жидком стекле нормального твердения, пропаренных и автоклавированных приведены на рисунки 1 и 2.

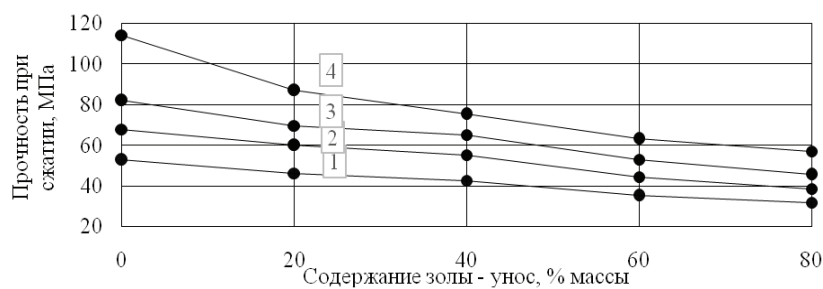


Рисунок 1 – Влияние содержания золы – уноса на прочность камня вяжущих: 1 – после 28 суток нормального твердения; 2 – после 90 суток нормального твердения; 3 – после пропаривания; 4 – после автоклавирования.

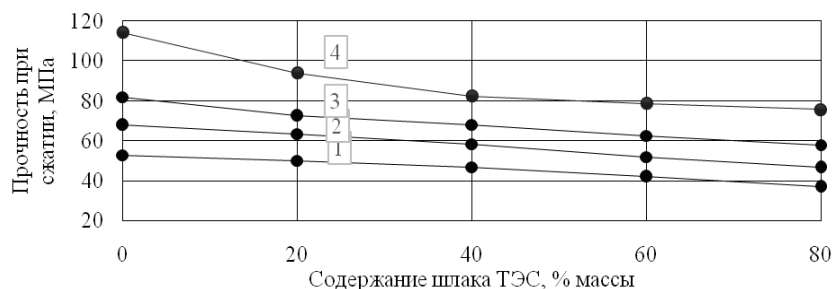


Рисунок 2 – Влияние содержания шлака ТЭС на прочность камня вяжущих: 1 – после 28 суток нормального твердения; 2 – после 90 суток нормального твердения; 3 – после пропаривания; 4 – после автоклавирования.

Их анализ показывает, что при использовании золы эти вяжущие сохраняют в зависимости от условий твердения 65...80 % от прочности бездобавочных композиций. Дальнейшее увеличение содержания золы до 80 % увеличивает спад прочности до 50...60 % и она составляет 31...57 МПа.

Замена золы шлаком ТЭС и увеличение его содержания заметно снижает спад прочности. Так, при введении 80 % шлака остаточная прочность композиций составляет 37...76 МПа, т. е. 65...71 % от прочности бездобавочных вяжущих.

Увеличение плотности раствора дисиликата натрия от 1,20 до 1,25 г/см³ вызывает существенное повышение прочности образцов с добавкой шлака ТЭС. При дальнейшем увеличении плотности раствора до 1,30 г/см³ рост прочности замедляется (рисунки 3 и 4).

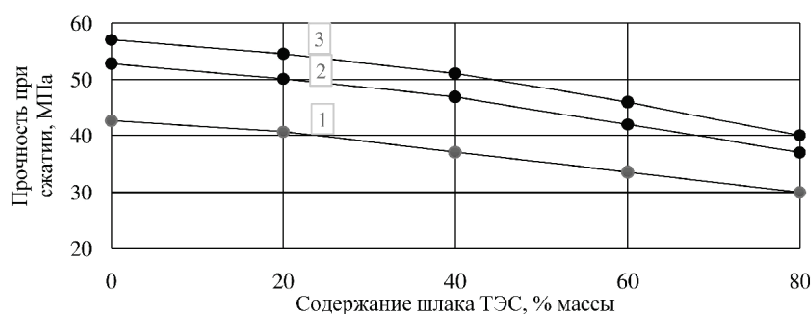


Рисунок 3 – Влияние плотности дисиликата натрия, содержания золошлака на прочность камня вяжущих, при нормальных условиях твердения 28 суток: 1 – плотность 1,20 г/см³; 2 – плотность 1,25 г/см³; 3 – плотность 1,30 г/см³.

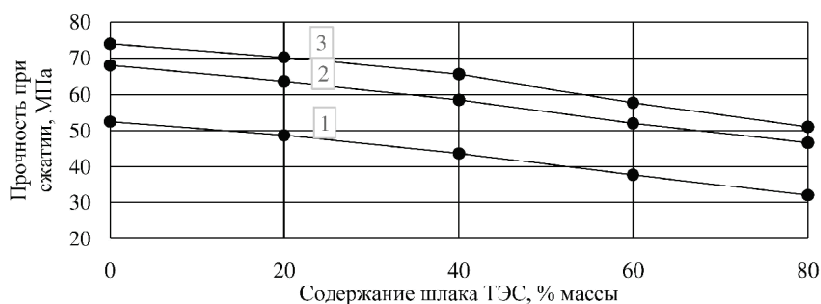


Рисунок 4 – Влияние плотности дисиликата натрия, содержания золошлака на прочность камня вяжущих, при нормальных условиях твердения 90 суток: 1 – плотность 1,20 г/см³; 2 – плотность 1,25 г/см³; 3 – плотность 1,30 г/см³.

В составах с золой-унос увеличение плотности раствора дисиликата натрия также ведет к повышению активности, но оно менее значительно. На рисунках 5 и 6 приведены результаты аналогичных исследований влияния увеличения плотности дисиликата натрия от 1,20 до 1,30 г/см³, и содержания шлака ТЭС на активность вяжущего после пропаривания и актоклавирования.

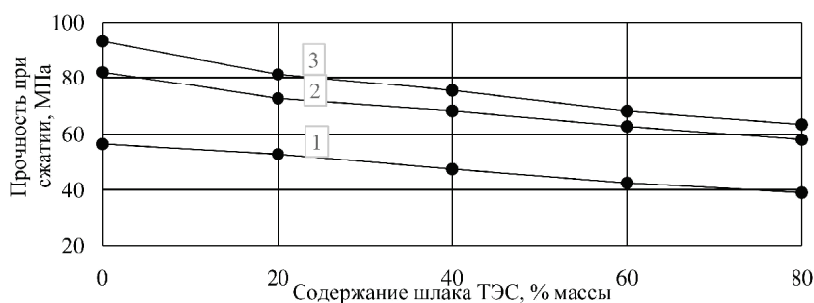


Рисунок 5 – Влияние плотности дисиликата натрия, содержания золошлака на прочность камня вяжущих, при пропаривании: 1 – плотность 1,20 г/см³; 2 – плотность 1,25 г/см³; 3 – плотность 1,30 г/см³.

При затворении раствором плотностью 1,20 г/см³ и введении 80 % шлака остаточная прочность композиций 39 и 42 МПа, т. е. 50...70 % от прочности бездобавочных композиций, против 58 и 76 МПа, т. е. 65...70 % от прочности бездобавочных композиций. При дальнейшем увеличении плотности раствора до 1,30 г/см³ рост прочности также замедляется.

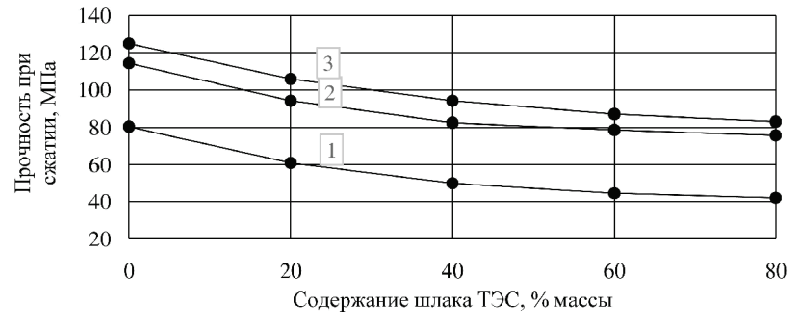


Рисунок 6 – Влияние плотности дисиликата натрия, содержания золы-уноса на прочность камня вяжущих, при автоклавировании: 1 – плотность 1,20 г/см³; 2 – плотность 1,25 г/см³; 3 – плотность 1,30 г/см³.

На рисунках 7 и 8 приведены результаты исследований влияния содержания золы-уноса и шлака ТЭС на сроки схватывания ШЩВ на дисиликате натрия плотностью 1,25 г/см³. Из их анализа можно сделать вывод, что при повышении содержания добавок как золы – унос, так и шлака ТЭС сроки схватывания увеличиваются, однако это увеличение примерно одинаково для композиций как с золой, так и со шлаком.

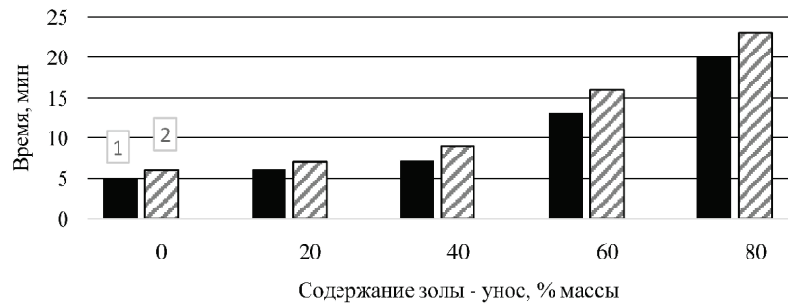


Рисунок 7 – Влияние содержания золы – уноса на сроки схватывания ШЩВ на дисиликате натрия плотностью 1,25 г/см³: 1 – начало схватывания; 2 – конец схватывания.

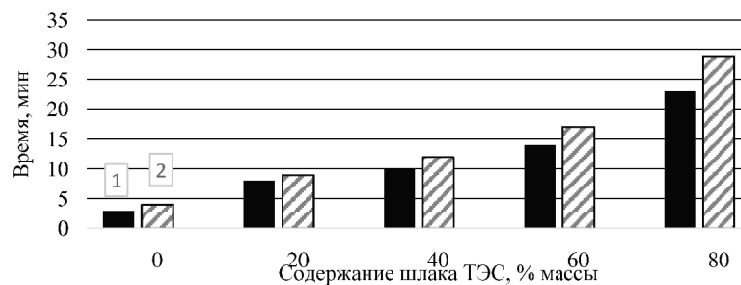


Рисунок 8 – Влияние содержания шлака ТЭС на сроки схватывания ШЩВ на дисиликате натрия плотностью 1,25 г/см³: 1 – начало схватывания; 2 – конец схватывания.

ВЫВОДЫ

1. В шлакощелочных вяжущих на основе раствора дисиликата натрия добавки золы-уноса и шлака ТЭС в количестве до 80 % позволяют получать вяжущее активностью 30-80 МПа, что составляет 60...70 % от прочности бездобавочных вяжущих.

2. Дисперсный шлак ТЭС проявляет более высокую активность по отношению к шлакощелочному вяжущему, чем зола – унос, особенно при повышении температуры твердения и плотности раствора дисиликата натрия.

3. Вяжущее на основе свежемолотого доменного шлака, затворенного дисиликатом натрия, имеет неприемлемо короткие сроки схватывания, 3...15 минут, они сокращаются с повышением плотности дисиликата натрия.

4. По мере повышения содержания золы и шлака ТЭС непрерывно удлиняются сроки схватывания. При содержании 80 % золы и шлака ТЭС они составляют 25...30 минут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны [Текст] / [А. А. Волянский, В. Д. Глуховский, В. В. Гончаров и др.] ; Под общ. ред. В. Д. Глуховского. – К. : Вища школа, 1979. – 232 с.
2. Рунова, Р. Ф. Исследование автоклавных щелочно-щелочноземельных алюмосиликатных материалов [Текст] : автореферат дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук / Р. Ф. Рунова / Киевский инж.-строит. ин-т. – Киев : [б. и.], 1972. – 22 с. : ил.
3. Чиркова, В. В. Материалы на основе стеклоподобных бескальциевых алюмосиликатов и соединений натрия [Текст] : Автореф. дис. кандидата техн. наук (05.23.05) / Чиркова Вера Владимировна / Киев. инж.-строит. ин-т. – Киев : [б. и.], 1974. – 22 с. : ил.
4. Ефремов, А. Н. Шлакощелочные вяжущие и бетоны с повышенными жаростойкими свойствами [Текст] : Дис. кандидата техн. наук: 05.23.05 / Александр Николаевич Ефремов. – К., 1981. – 210 с. : ил. – Библиогр.: – С. 143–162.
5. Волженский, А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – М. : Стройиздат, 1984. – 256 с.
6. Кривенко, П. В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков [Текст] / П. В. Кривенко, В. И. Гоц и др. – К. : ООО «ИПК Экспресс-Полиграф», 2012. – 258 с.
7. Krivenko, P. Alkaline Cements, Concretes and Structures: 50 Years of Theory and Practice [Текст] / P. Krivenko // International Conference «Alkaline Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha : Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 313–347.
8. Krivenko, P. Hydration-Dehydration Structure Formation Processes in Geocements [Текст] / P. Krivenko, G. Kovalchuk // Proceed Intern. Workshop Geopolymers Binder. – Weimar : [S. n.], 2006. – P. 73–90.
9. Palomo, A. Nature of Alkali Aluminosilicate Polymers. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers [Текст] / A. Palomo, A. Fernandez-Jimenez // International Conference «Alkali Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha : Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 509–522.
10. Progress on Research and Commercialisation of Geopolymers [Текст] / J. S. J. Van Deventer, J. L. Provis, C. A. Rees et. al. // International Conference «Alkali Activated Materials» – Research, Production and Utilization. – Praha : Zeithamlova Milena, Ing., 2007. – P. 725–734.
11. Davidovits, J. Geopolymers – inorganic polymeric new materials [Текст] / J. Davidovits // Journal of Thermal Analysis. – 1991. – №37(8). – P. 1633–1656.
12. Rowles, V. Chemical optimization of the compressive strength of aluminosilicate geopolymers synthesised by sodium silicate activation of metakaolinite [Текст] / V. Rowles, B. O'. Connor // Journal of Materials Chemistry. – 2003. – №13(5). – P. 1161–1165.

Получено 19.04.2018

О. М. ЄФРЕМОВ, Є. М. БАХАНЕЦЬ
КОМПОЗИЦІЙНІ ШЛАКОЛУЖНІ В'ЯЖУЧІ НА ОСНОВІ РІДКОГО СКЛА,
ДОМЕННОГО ГРАНШЛАКУ ТА ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕС
ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. В'яжуче на основі свіжомеленого доменного шлаку, замішеного на дисилікаті натрію, має неприйнятно короткі терміни схоплювання, 3...15 хвилин, вони скорочуються з підвищенням щільності дисилікату натрію. Додатки золи-винесення та шлаку ТЕС у кількості до 80 % дозволяють отримувати в'яжучі активністю 30...80 МПа, що становить 60...70 % від міцності бездодаткових в'яжучих. При цьому терміни схоплювання збільшуються до 35...45 хвилин.

Ключові слова: шлаколужні в'яжучі на дисилікаті натрію.

ALEXANDER YEFREMOV, EVGENII BACHANETS
COMPOSITE SLAG-ALKALI BINDERS BASED ON LIQUID GLASS, BLAST
FURNACE SLAG AND ASH AND SLAG WASTES OF TPP
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Astringent based on freshly ground blast furnace slag, closed with sodium disilicate, has an unacceptably short setting time, 3...15 minutes, it is reduced with an increase in the density of sodium disilicate. Additives of fly ash and TPP slag in the amount of up to 80 % allow to obtain astringent activity of 30...80 MPa, which is 60...70 % of the strength of non-additive binders. At the same time, the setting time is increased to 35...45 minutes.

Key words: slag-alkali binders on sodium disilicate.

Ефремов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, огнеупорные бетоны.

Баханец Евгений Максимович – магистрант ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: стройматериалы на основе промышленных отходов.

Єфремов Олександр Миколайович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів, вогнетривкі бетони.

Баханець Євген Максимович – магістрант ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будматеріали на основі промислових відходів.

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

Bachanets Evgenii – Master's degree student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

УДК 666.974.2

А. Н. ЕФРЕМОВ, М. А. СТЕПАНОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ НА
ОСНОВЕ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ, ВВОДИМОЙ В БЕТОН В
СУХОМ ВИДЕ И В ВИДЕ ВОДНОГО РАСТВОРА**

Аннотация. Установлена возможность введения в шлакощелочной бетон кальцинированной соды в сухом состоянии в составе двухкомпонентного вяжущего при помоле вместе с доменным граншлаком. Для получения бетона с прочностью, соизмеримой с прочностью бетона, приготовленного на предварительно растворенной соде, расход сухой соды должен быть увеличен на 50...70 %. Введение соды в бетонную смесь и ее перемешивание в течение 4–6 минут до введения крупного заполнителя сводят перерасход соды до нуля при использовании холодной воды и до 2–4 минут при применении воды, подогретой до 60 °С.

Ключевые слова: шлакощелочной бетон, кальцинированная сода сухая и в виде раствора, условия твердения, прочность.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Шлакощелочные вяжущие – одни из самых эффективных композиций на основе техногенного сырья. Это двухкомпонентные системы, состоящие из молотого доменного гранулированного шлака, затворенного водным раствором щелочного компонента. Наиболее дешевым и доступным щелочным компонентом является кальцинированная сода – Na_2CO_3 . Именно эти композиции вяжущих нашли наибольшее применение в технологии шлакощелочных бетонов [1–5]. Однако таким композициям присущи следующие недостатки. При обычной температуре раствор кальцинированной соды имеет небольшую предельную растворимость (15...20 %), а при низких температурах она становится недопустимо низкой. Например, при температуре 5–10 °С предельная растворимость раствора составляет 8,2...10,8 % [6, 7], при такой концентрации раствора активность вяжущего низкая, не более 20 МПа [1–5].

В обычной технологии бетоны изготавливаются на заполнителях с достаточно высокой влажностью – в среднем от 2 до 5 % [8, 9]. При общем расходе мелкого и крупного заполнителей 1 700...1 900 кг/м³ вместе с ними в состав бетонной смеси водится 34...95 л воды. При, например, расходе раствора соды в количестве 180 л/м³ вода заполнителей может снизить общую концентрацию раствора щелочного компонента на 20...50 %, что недопустимо снизит прочность бетона.

Ликвидировать эти недостатки или свести их до минимума можно при использовании кальцинированной соды в сухом виде, вводя ее в граншлак при помоле либо в бетонную смесь при ее приготовлении.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка технологии шлакощелочных бетонов с использованием сухой кальцинированной соды, что позволит вводить в бетон определенное ее количество и обеспечит стабильность прочностных показателей бетона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях использовался доменный граншлак Донецкого завода «Донецксталь» с модулем основности 1,25 и с остатком на сите 0,08 мм после помола в лабораторной шаровой мельнице – 8,5 %.

В качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок Кутейниковского карьера с модулем крупности 1,44 и содержанием пылеватых и глинистых примесей 2,6 %. Крупный заполнитель из гранита фракции 5...10 мм имел марку по дробимости 1 200.

Испытание прочности проводилось на образцах-кубах с ребром 7,07 см, изготовленных из подвижных смесей. Формование и испытание смесей и бетонов проводилась по стандартным методикам. Образцы твердели в нормальных условиях в камере с гидрозатвором и при пропаривании (95 °С) по режиму: 2,5 + 6 + 2,5 часа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

В таблице 1 приведены результаты сравнительных испытаний бетона, изготовленного из мало-подвижных (2...3 см) бетонных смесей на растворенной и сухой соде. Сравнительный анализ бетонов составов 1 и 2 с одинаковым расходом растворенной и сухой соды показывает, что при всех условиях твердения бетон на сухой соде, просеянной через сито 0,16 мм, имеет прочность в 1,5...1,7 раза ниже, чем бетон на растворе соды.

Таблица 1 – Зависимость прочности бетона от способа ввода кальцинированной соды, ее расхода в сухом состоянии, длительности условий твердения

№ состава	Расход материалов, кг/м ³					раствор соды, л	Прочность при сжатии, МПа, после		
	граншлак	гранит	песок	сода сухая	вода		28 суток НТ	90 суток НТ	пропаривания
1	365	1 100	700	–	–	190(35*)	35,4	43,7	37,3
2	365	1 100	700	35	190	–	21,2	27,9	23,1
3	350	1 100	700	50	190	–	25,0	32,5	27,8
4	335	1 100	700	65	190	–	28,7	37,0	31,6

*Примечание: указано содержание сухой соды в растворе плотностью 1,17 г/см³ (концентрация 160 г/л).

Увеличение расхода сухой соды повышает прочность бетонов составов 3–4, но она остаётся заметно ниже, чем бетона на растворенной соде.

Увеличение расхода воды затворения в более подвижных смесях на сухой соде сокращает разницу в прочностных показателях с составами на растворенной соде при одинаковом ее расходе в пересчете на сухое вещество (таблица 2). Однако даже в высокоподвижных смесях с осадкой конуса 13...14 см разница в прочностных показателях остается большой.

Таблица 2 – Зависимость прочности бетона от способа ввода кальцинированной соды, ее расхода в виде раствора и в сухом состоянии, длительности и условий твердения

№ состава	Расход материалов, кг/м ³					Раствор соды, л*	ОК, см	Прочность при сжатии, МПа, после		
	граншлак	гранит	песок	сода сухая	вода			28 суток	90 суток	пропаривания
1	365	1 100	700	–	–	190(35)	2	35,4	43,7	37,3
2	360	1 084	690	–	–	205(37,8)	8,5	32,2	39,8	34,3
3	357	1 067	679	–	–	220(40,5)	13	29,6	36,5	32,0
4	365	1 100	700	35	190	–	2	21,2	26,9	23,1
5	360	1 084	690	37,8	205	–	9	22,5	27,4	24,0
6	357	1 067	679	40,5	220	–	14	23,8	28,5	25,7

*Примечание: указано содержание сухой соды в растворе плотностью 1,17 г/см³ (концентрация 160 г/л), сода в составах 2 и 3 растворялась в воде с температурой 60 °С.

Кальцинированная сода быстро растворяется в холодной и особенно горячей воде. Проведены исследования возможности растворения соды при предварительном перемешивании смеси без крупного заполнителя с последующим его введением. Результаты этих исследований, приведенные в таблице 3, показывают, что уже при 4–6 минутном предварительном перемешивании прочность бетона

Таблица 3 – Зависимость прочности бетона от способа ввода кальцинированной соды, времени ее предварительного перемешивания с бетонной смесью без крупного заполнителя, длительности и условий твердения

№ состава	Расход материалов, кг/м ³					Раствор соды, л*	Время перемешивания, мин.	Прочность при сжатии, МПа, после		
	гран-шлак	гранит	песок	сода сухая	вода			28 суток	90 суток	пропаривания
1	365	1 100	700	–	–	190(35)	0	35,4	43,7	37,3
2	365	1 100	700	35	190	–	0	21,2	26,9	23,1
3	365	1 100	700	35	190	–	2	30,8	37,5	32,6
4	365	1 100	700	35	190	–	4	33,5	40,7	35,1
5	365	1 100	700	35	190	–	6	35,7	42,4	37,0

*Примечание: время предварительного перемешивания песка, граншлака, сухой соды и воды.

с использованием сухой соды практически выравнивается с бетоном из смеси на заранее растворенной соде.

Применение горячей воды с температурой 60 °С ускоряет растворение соды, введенной в смесь без крупного заполнителя. Для выравнивания показателей прочности бетона на растворенной и сухой соде достаточно 2–4 минуты предварительного перемешивания (таблица 4).

Таблица 4 – Зависимость прочности бетона от способа ввода кальцинированной соды, времени ее предварительного перемешивания с бетонной смесью без крупного заполнителя, температуры воды затворения, длительности и условий твердения

№ состава	Расход материалов, кг/м ³					Раствор соды, л*	Время перемешивания, мин.	Прочность при сжатии, МПа, после		
	гран-шлак	гранит	песок	сода сухая	вода			28 суток	90 суток	пропаривания
1	365	1 100	700	–	–	190(35)	0	35,4	43,7	37,3
2	365	1 100	700	35	190	–	2	33,8	42,5	35,0
3	365	1 100	700	35	190	–	4	35,8	43,2	36,8
4	365	1 100	700	35	190	–	6	35,3	43,2	36,8

*Примечание: время предварительного перемешивания песка, граншлака, сухой соды и воды с температурой 60 °С.

ВЫВОДЫ

1. Установлена возможность введения в шлакощелочной бетон кальцинированной соды в сухом состоянии в составе двухкомпонентного вяжущего, например, при ее помоле вместе с доменным граншлаком, но для получения бетона с прочностью, соизмеримой с прочностью бетона, приготовленного на предварительно растворенной соде, расход сухой соды должен быть увеличен на 50...70 %.

2. Введение сухой соды в бетонную смесь и ее перемешивание в течение 4–6 минут до введения крупного заполнителя практически сводят перерасход соды до нуля при использовании холодной воды и до 2...4 минут при применении воды, подогретой до 60 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глуховский, В. Д. Шлакощелочные цементы и бетоны [Текст] / В. Д. Глуховский, В. А. Пахомов. – К. : Будівельник, 1978. – 184 с.
2. Кривенко, П. В. Специальные шлакощелочные цементы [Текст] / П. В. Кривенко. – К. : Будівельник, 1992. – 192 с.
3. Глуховский, В. Д. Шлакощелочные вяжущие и бетоны [Текст] / В. Д. Глуховский и др. // Сборник научных трудов. – Вып. 119 / Магнитогорский горно-металлургический ин-т. – Магнитогорск : [б. и.]. – 1973. – С. 55–57.
4. Бетоны на шлакощелочных вяжущих [Текст] / В. Д. Глуховский, И. А. Пашков, Г. С. Ростовская и др. // Бетон и железобетон. – 1975. – № 3. – С. 12–13.
5. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны [Текст] / [А. А. Волянский, В. Д. Глуховский, В. В. Гончаров и др.] ; Под общ. ред. В. Д. Глуховского. – К. : Вища школа, 1979. – 232 с.

6. Горюновский, И. Т. Краткий справочник химика [Текст] / И. Т. Горюновский, Ю. П. Назаренко, Е. Ф. Некряч. – К. : Наукова думка, 1974. – 991 с.
7. Круглый, С. М. Производство хлора, каустической соды и водорода [Текст] : учебник для профес.-техн. училищ. – М. : Высш. школа, 1967. – 268 с.
8. Баженов, Ю. М. Технология бетона [Текст] / Ю. М. Баженов. – М. : АСВ, 2007. – 524 с.
9. Горчаков, Г. И. Строительные материалы [Текст] / Г. И. Горчаков, Ю. М. Баженов. – М. : Высшая школа, 1986. – 564 с.

Получено 20.04.2018

О. М. ЄФРЕМОВ, М. О. СТЕПАНОВА
ПОРІВНЯЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ШЛАКОЛУЖНИХ В'ЯЖУЧИХ НА ОСНОВІ
КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ, ЯКА ВВОДИТЬСЯ В БЕТОН У СУХОМУ
ВИГЛЯДІ І У ВИГЛЯДІ ВОДНОГО РОЗЧИНУ
ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ»

Анотація. Встановлено можливість введення в шлаколушний бетон кальцинованої соди в сухому стані в складі двокомпонентного в'язучого при помелі разом з доменним граншлаком. Для отримання бетону з міцністю, сумірною з міцністю бетону, приготовленого на попередньо розчиненій соді, витрата сухої соди повинна бути збільшена на 50...70 %. Введення соди в бетонну суміш і її перемішування протягом 4–6 хвилин до введення крупного заповнювача зводять перевитрату соди до нуля при використанні холодної води і до 2–4 хвилин при застосуванні води, підігрітої до 60 °С.

Ключові слова: шлаколушний бетон, кальцинована сода суха і у вигляді розчину, умови твердіння, міцність.

ALEXANDER YEFREMOV, MARIYA STEPANOVA
COMPARATIVE PROPERTIES OF LUMINOUS BINDERS ON THE BASIS OF
SODA ASH, INTRODUCED IN CONCRETE IN THE DRY AND AS WATER
SOLUTION

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The possibility of introducing soda ash into the slag-alkali concrete in a dry state in the composition of a bicomponent binder during grinding along with a blast-furnace slag has been found out. For the production of concrete with strength comparable to the strength of concrete prepared on pre-dissolved soda, the consumption of dry soda should be increased by 50...70 %. The introduction of soda into the concrete mix and its mixing for 4–6 minutes before the introduction of coarse aggregate reduces the overconsumption of soda to zero with the use of cold water and up to 2–4 minutes when using water heated to 60°C.

Key words: slag-alkaline concrete, soda ash is dry and in the form of a solution, hardening conditions, strength.

Ефремов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов, огнеупорные бетоны.

Степанова Мария Александровна – 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 ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: в'язучі і бетони на основі промислових відходів, вогнетривкі бетони.

Степанова Марія Олександрівна – магістрант ДОНБУСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ». Наукові інтереси: бетони на основі промислових відходів.

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

Stepanova Mariya – Master's degree student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: concretes on the basis of industrial waste.

УДК 666.973.6

А. Н. ЕФРЕМОВ, Д. Г. МАЛИНИН

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГАЗОБЕТОНОВ С НИЗКИМ ВОДОТВЕРДЫМ ОТНОШЕНИЕМ

Аннотация. Исследование влияния комплексной добавки С-3м + NaOH на процесс газообразования и изменения реологических свойств газобетонной смеси показали, что технологически приемлемая скорость газообразования и набора пластической прочности достигается при расходе 0,5 % суперпластификатора С-3м по массе вяжущего и 0,15 % добавки NaOH. Введение С-3м в пределах 0,25...0,75 % непрерывно повышало текучесть смеси и позволило снизить ее водопотребность на 40 %.

Ключевые слова: газобетон, газообразование, пластическая прочность, текучесть, гидроксид натрия, суперпластификатор С-3м.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В технологии неавтоклавногазобетона регулирование процесса структурообразования газобетонного сырца является ответственным этапом, во многом отвечающим за технологические и эксплуатационные свойства изделия [1]. Чтобы добиться образования равномерной бездефектной пористой структуры необходимо регулирование скорости протекания процессов газообразования и набора пластической прочности.

Согласно рекомендациям [2] оптимальным временем вспучивания газобетона являются первые 20–40 минут после ввода в смесь газообразователя. В данный период времени в газобетонной смеси, не потерявшей пластической прочности, должен пройти этап наиболее интенсивного газовыделения, в течение которого выделяется до 90 % газа. В газобетонах на основе портландцемента данная скорость газовыделения обеспечивается подогревом бетонной смеси свыше 40 °С и введением 5...25 % извести. Повышенная температура бетонной смеси отрицательно влияет на начальную стадию формирования структуры цементного камня, а добавка извести снижает физико-механические свойства бетонов на портландцементе, твердеющих при атмосферном давлении [3].

Для регулирования роста пластической прочности газобетонной смеси на стадии структурообразования и твердения наиболее простым способом является изменение водотвердого (В/Т) отношения. Избыток воды значительно снижает вязкость системы, что приводит к снижению газодерживающей способности поризуемой массы [3]. Если после газовыделения смесь не обладает определенной несущей способностью, то произойдет ее осадка, сопровождающаяся прорывом газа из формируемого изделия. При данных условиях в ячеистой структуре образуются поры неправильной формы, присутствует сообщающаяся пористость и неравномерность распределения пор. Когда схватывание опережает газовыделение, смесь затвердевает раньше, чем прекратятся процессы газовыделения и заданная средняя плотность не будет достигнута, а в межпоровой перегородке появятся трещины, вызванные разностью давлений газа. Помимо этого, механическое воздействие на сырец во время подрезки «горбушки», а также разрезке массива на изделия необходимо производить при достижении газобетонным сырцом пластической прочности, равной соответственно 15 и 35 кПа [4].

Одним из эффективных способов снижения водотвердого отношения газобетонной смеси является применение суперпластификаторов, в частности ЛСТ и С-3. При введении суперпластификатора в бетонную смесь он, адсорбируясь на твердой поверхности зерен цемента и заполнителя, создает утолщенную оболочку со значительным отрицательным потенциалом и тем самым повышает эффект диспергации и отталкивания частиц и подвижность бетонной смеси. Указанные добавки позволяют снизить водопотребность смеси на 20...25 % [5, 6].

© А. Н. Ефремов, Д. Г. Малинин, 2018

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определить влияние комплексной добавки С-3м + NaOH на кинетику газообразования, изменение текучести и рост пластической прочности газобетонной смеси с различным водотвердым отношением.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве вяжущих в исследованиях использовался портландцемент ПЦ 1-500-Д0 производства ОАО «Донцемент» (ГОСТ 31108-2016). Для приготовления комплексных химических добавок применялись: добавка суперпластификатор С-3м (ТУ 5870-002-58042865-03) и гидроксид натрия (ГОСТ Р 55064-2012). Добавки использовались в виде водных растворов, концентрация которых определялась по плотности [7].

В качестве газообразователя применялась алюминиевая пудра ПАП-1 (ГОСТ 5494-95). Для снятия парафиновой пленки при приготовлении водной суспензии в качестве поверхностно-активного вещества использовался 1%-ный сульфатол.

Кинетика газовыделения алюминиевой пудры исследовалась путем измерения объема выделившегося газа при помощи сосуда Дрекслера. Исследование проводилось на цементно-водных смесях разной текучести. Температура смеси составляла 18...20 °С. Газовыделение рассчитывалось в % от объема водорода, выделившегося в течение 2,5 часов. Величина этого объема отличалась не более чем на 10 % от теоретического при полной химической реакции алюминиевой пудры.

Пластическая прочность определялась методом, разработанным П. А. Ребиндером на коническом рычажном пластометре МГУ [8]. Образцы для испытания готовились из газобетонной смеси различной текучести. Глубина погружения конуса пластометра в смесь определялась при помощи индикатора часового типа. Испытание проводилось при температуре воздуха 20 °С и влажности 90 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно [9], что введение суперпластификатора С-3 в количестве 0,75 % и более от массы вяжущего снижает водопотребность смесей с одинаковой подвижностью на 18...25 %. При этом эффект пластификации бетонных смесей возрастает с увеличением их исходной подвижности, дисперсности сырьевых компонентов и дозировки суперпластификатора.

Реологические свойства тонкодисперсных литых ячеистобетонных смесей близки к свойствам истинной жидкости. Предполагается, что интенсивное увеличение текучести таких смесей будет возможным при более низком содержании суперпластификатора, чем в тяжелых бетонных смесях. Предположение проверено в исследовании влияния количества суперпластификатора С-3м на текучесть газобетонных смесей. В ходе исследований необходимо было получить значение текучести, соответствующее средней плотности ячеистого бетона в пределах 400...800 кг/м³.

Исследование показало, что при увеличении расхода суперпластификатора С-3м в пределах 0,25–0,75 % текучесть смесей непрерывно увеличивается. Введение суперпластификатора позволило сократить водопотребность смеси на 40 % (рис. 1).

Введение гидроксида натрия в пределах от 0,15 до 0,3 % незначительно повлияло на текучесть смеси.

Для повышения щелочной среды жидкой фазы и ускорения реакции с алюминиевой пудрой использовали добавку гидроксида натрия. Анализ результатов исследования влияния комплексной добавки С-3м + NaOH показал, что введение добавки в количестве 0,3 % от массы цемента ускорило процесс газообразования примерно в 2,5 раза. Наиболее интенсивное выделение водорода наблюдалось в течение первых 44 мин после введения гидроксида натрия. При введении суперпластификатора С-3м в количестве 0,25–0,75 % основной объем водорода выделяется в первые 35 и 18 минут соответственно (рис. 2).

Для установления зависимости роста пластической прочности от количества комплексной добавки С-3м + NaOH была введена дозировка, принятая на основании исследования кинетики газовыделения. Результаты исследования показали, что при введении суперпластификатора С-3м в количестве 0,5 % и NaOH – 0,15 % по массе вяжущего при неизменной исходной подвижности смеси рост пластической прочности увеличился на 50 % по сравнению с бездобавочным составом. Необходимую минимальную пластическую прочность для подрезки «горбушки» (15 кПа) данный состав набрал за 2,2 часа твердения смеси, а минимальную прочность для разрезки массива (35 кПа) – за 3,6 часа. При снижении В/Т смеси с 0,35 до 0,3 время набора необходимой пластической прочности (15 кПа) сократилось на 40 %, а прочность для разрезки массива (35 кПа) была достигнута спустя 3 часа твердения (рис. 3).

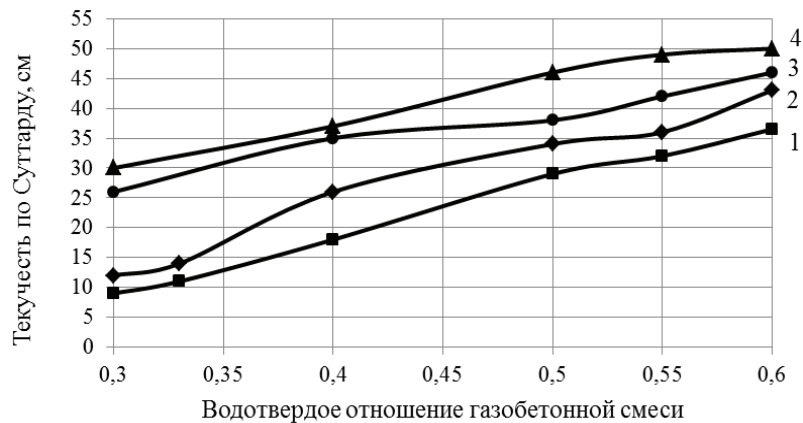


Рисунок 1 – Влияние расхода С-3м на текучесть цементно-водных смесей: 1–4 расход С-3м – 0; 0,25; 0,5 и 0,75 % соответственно по массе вяжущего.

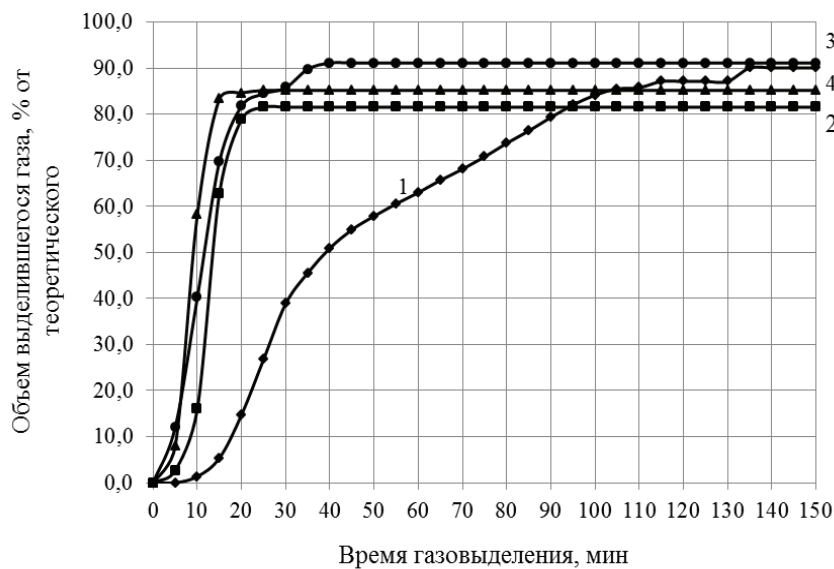


Рисунок 2 – Зависимость объема газовыделения от количества комплексной добавки NaOH + С-3м: 1 – контрольный состав; 2-4 расход С-3м: 0,25; 0,5 и 0,75 % соответственно от массы вяжущего; для составов 2–4 расход NaOH – 0,3 %.

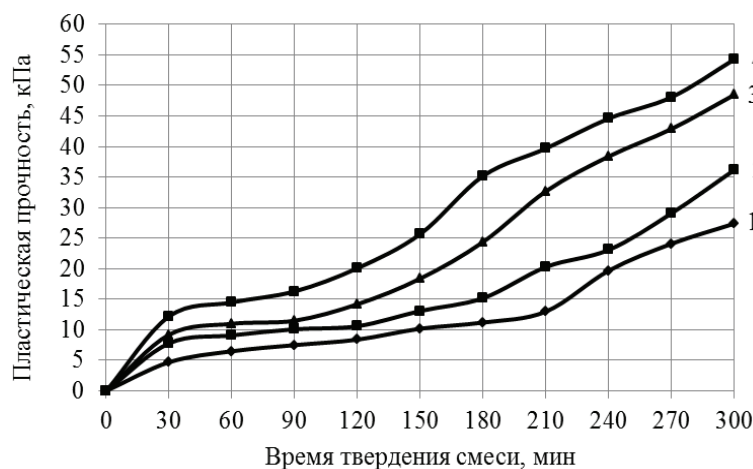


Рисунок 3 – Влияние комплексной добавки С-3м + NaOH на кинетику роста пластической прочности газобетонной смеси: 1 – бездобавочный состав; В/Т = 0,35; 2, 3 – В/Т = 0,35; NaOH соответственно 0 и 0,15 %; С-3м 0,5 %; 4 – В/Т = 0,3; NaOH – 0,15 %, С-3м – 0,75 %.

ВЫВОДЫ

Установлено влияние комплексной добавки С-3м + NaOH на кинетику газообразования и изменение реологических свойств газобетонной смеси. Технологически сбалансированные скорости газообразования и набора пластической прочности достигаются при расходе суперпластификатора С-3м – 0,5 % и NaOH – 0,15 % по массе вяжущего. При этом введение суперпластификатора в пределах 0,25...0,75 % существенно влияет на текучесть смеси и снижает ее водопотребность на 40 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Штакельберг, Д. И. Термодинамический анализ вспучивания и доавтоклавного твердения газобетона [Текст] / Д. И. Штакельберг, В. Э. Миронов // Технологическая механика бетона. – 1979. – С. 105–113.
2. СН-277 Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона [Текст]. – На замену СН 277-70 ; введ. 1980-07-01. – Москва : Госстрой России. – 2001. – 44 с.
3. Митина, Н. А. Получение прочного неавтоклавного газобетона путем регулирования состава и свойств исходных смесей [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11 / Наталия Александровна Митина. – Томск, 2003. – 213 с.
4. Горлов, Ю. П. Технология теплоизоляционных материалов [Текст] / Ю. П. Горлов, А. П. Меркин, А. А. Устенко. – М. : Стройиздат, 1980. – 399 с.
5. Hamad, Ali J. Materials, Production, Properties and Application of Aerated Lightweight Concrete [Текст] / Ali J. Hamad // Review, International Journal of Materials Science and Engineering. – 2014. – Vol. 2, No. 2. – P. 152–157.
6. Young, J. F. A Review of the Mechanism of Set Retardation in Portland Cement Pastes Containing Organic Admixtures [Текст] / J. F. Young // Cement and Concrete Research. – 1972. Vol. 2. – P. 415–433.
7. Ахундов, А. А. Состояние и направление развития производства легких бетонов в России [Текст] / А. А. Ахундов, Ю. В. Гудков // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону. – 2000. – С. 51–54.
8. Данюшевский, В. С. Справочное руководство по тампонажным материалам [Текст] / В. С. Данюшевский, Р. М. Алиев, И. Ф. Толстых [2-е изд., перераб. и доп.]. – Москва : Недра. – 1987. – 376 с.
9. Neville, A. M. Concrete Technology [Текст] / A. M. Neville, J. J. Brooks. – 2nd ed. Essex, Eng. [Б. м.] : Pearson Education. 2010. – 442 p.

Получено 23.04.2018

О. М. ЄФРЕМОВ, Д. Г. МАЛИНІН
ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ГАЗОБЕТОНІВ З
НИЗЬКИМ ВОДОТВЕРДИМ ВІДНОШЕННЯМ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Дослідження впливу комплексної добавки С-3 м + NaOH на процеси газоутворення та зміни реологічних властивостей газобетонної суміші показали, що технологічно прийнятна швидкість газоутворення і набору пластичної міцності суміші досягається при витраті 0,5 % суперпластифікатора С-3м по масі в'язучого і 0,15 % добавки NaOH. Введення С-3м в межах 0,25...0,75 % безперервно підвищувало текучість суміші та дозволило знизити її водопотребу на 40 %.

Ключові слова: газобетон, газоутворення, пластична міцність, текучість, гідроксид натрію, суперпластифікатор С-3м.

ALEXANDER YEFREMOV, DENIS MALININ
TECHNOLOGICAL AND OPERATIONAL PROPERTIES OF CELLULAR
CONCRETES WITH LOW WATER-HARDENING RATIO
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Investigation of the complex additive C-3m + NaOH on the process of gas formation and changes in the rheological properties of the cellular concrete mixture showed that a technologically acceptable rate of gas generation and a set of plastic strength is achieved at a consumption of 0,5 % of the superplasticizer C-3m by weight of the binder and 0,15 % of the additive NaOH. Introduction C-3m within 0,25...0,75 % continuously increased the fluidity of the mixture and allowed to reduce its water demand by 40 %.

Key word: cellular concrete, gas formation, plastic strength, fluidity, sodium hydroxide, superplasticizer S-3m.

Ефремов Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вяжущие и бетоны на основе промышленных отходов; жаростойкие и огнеупорные бетоны.

Малинин Денис Геннадьевич – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: неавтоклавные газобетоны.

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 та бетони на основі промислових відходів; жаростійкі і вогнетривкі бетони.

Малинін Денис Геннадійович – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: неавтоклавні газобетони.

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

Malinin Denis – Master's degree student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: cellular concretes.

УДК 666.972.522; 666.972.16

Т. П. КИЦЕНКО^а, В. Н. ГУБАРЬ^а, Д. В. БАЛАКИН^б, А. В. КАШИРИН^с^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б ЗАО «Группа Компаний "Пенетрон-Россия"», ^с ООО «Пенетрон-Донецк» (официальный представитель ЗАО «Группа Компаний "Пенетрон-Россия"»)

ВЛИЯНИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ ДОБАВКИ «ПЕНЕТРОН АДМИКС» НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА БЕТОНА

Аннотация. Приведен анализ влияния добавки «Пенетрон Адмикс» на формирование структуры цементного камня. Рассмотрено влияние разработанной специалистами ГК «Пенетрон-Россия» добавки, вносимой в бетонную смесь на стадии ее приготовления, которая при наличии в затвердевшей структуре бетона усадочных и силовых трещин, а также свободной воды активно включает процесс образования новых кристаллов, заполняющих свободные объемы между частицами бетона.

Ключевые слова: микроструктура, цементный камень, добавка «Пенетрон Адмикс», водонепроницаемость.

Строительный бетон представляет собой структуру, пронизанную порами, капиллярами и микротрещинами, которые определяют его прочность, долговечность, водонепроницаемость и т. д. [1]. На показатель водонепроницаемости оказывает влияние большое количество факторов. Данное свойство определяется специфичной капиллярно-пористой структурой материала. В более плотном бетоне содержится минимальное количество пор, поэтому водонепроницаемость в нем выше. Причинами большого объема пор могут быть недостаточно уплотненный состав, усадка или лишняя вода. Высокая интенсивность усадки может произойти от недостаточного армирования и испарения воды под действием факторов окружающей среды.

Сквозь капилляры и поры может просачиваться вода, причем фильтрация идет тем интенсивней, чем большее давление оказывается водой на бетон. Фильтрация воды может также осуществляться через микрополости в местах контакта цементного камня с заполнителем. Однако через тонкие капилляры (сечением менее 1 мкм) вода не фильтруется даже под большим давлением [2].

Также в структуре бетона на ранних стадиях его твердения возникают силовые и усадочные трещины [1, 2]. При изменении температуры окружающей среды могут образовываться температурно-деформационные трещины, через которые в подземное пространство из внешней среды проникает вода, ухудшающая эксплуатационный режим помещений. Силовые трещины существенно снижают жесткость элемента бетонной конструкции.

Как известно, повысить водонепроницаемость бетона можно введением специальных добавок в бетонную смесь [1, 2]. Для решения возникшей проблемы специалистами ГК «Пенетрон-Россия» (г. Екатеринбург, Российская Федерация) разработана вносимая в бетонную смесь на стадии приготовления гидроизоляционная добавка «Пенетрон Адмикс» (рис. 1).

Заполнение капилляров, пор и полостей может происходить, например, в результате следующих процессов:

- благодаря своим пластифицирующим свойствам добавка снижает водоцементное отношение, в результате цементный камень получается более плотным;
- действуя как катализатор, добавка ускоряет гидратацию частиц цемента с образованием большего объема продуктов гидратации, которые имеют более низкую плотность по сравнению с исходным веществом и занимают больший объем, заполняя пустоты;
- взаимодействуя с водой и другими компонентами бетонной смеси, добавка создает избыточный объем нового вещества.



Рисунок 1 – Гидроизоляционная добавка «Пенетрон Адмикс» (ГК «Пенетрон-Россия»).

кой «Пенетрон Адмикс» – от 10,1 до 3,57 %, т. е. меньше, чем у цементного камня без добавки, на 7,1 и 4,26 % соответственно.

Дальнейшие исследования показали, что в цементном камне без добавок продукты гидратации в виде пластинок, чешуек, волокон, иглообразных кристаллов имеют небольшие размеры, располагаются на поверхности цементных зерен, где плотно укладываются в слоистые структуры, практически не влияя на степень заполнения трещин между зернами цемента. При введении добавки «Пенетрон Адмикс» основное заполнение пор и капилляров осуществляется разрыхленным тоберморитовым гелем (рис. 2). Добавка «Пенетрон Адмикс» изменяет структуру тоберморитового геля, способствует увеличению сечения пластинок, которые его формируют, увеличивает расстояние между пластинками, изменяет направление развития соседних пластинок, заставляя их раскрываться веером.

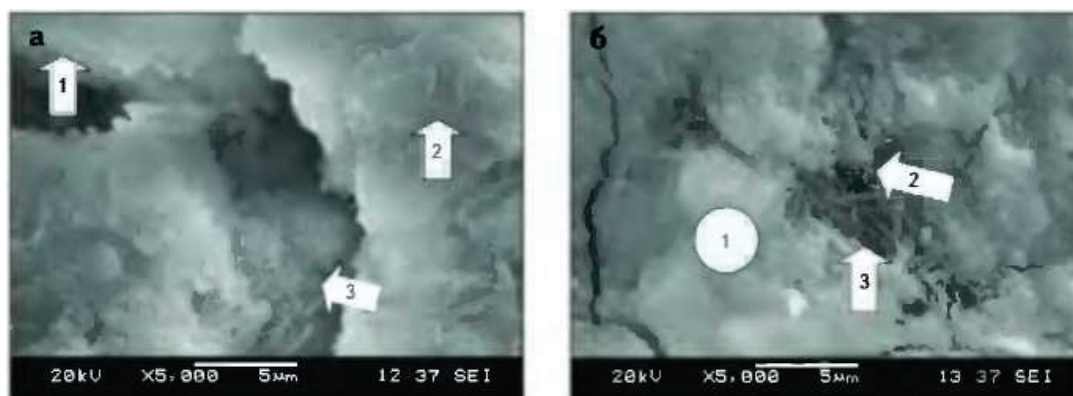


Рисунок 2 – Полости между частицами цемента, заполненные волокнистыми структурами (а) или игольчатыми новообразованиями (б), для мелкозернистого бетона с добавкой «Пенетрон Адмикс» (поз. 1 – трещина с шириной раскрытия 3...5 мкм и более мелкие трещины; поз. 2 – участок цементного камня, сформированный из слоистого тоберморита; поз. 3 – образованные структуры, заполняющие трещину).

Кроме того, создаются условия для кристаллизации гидросиликата кальция в виде щеток игло-видных кристаллов, заполняющих полости между зернами. В результате при одной и той же массе тоберморитового геля при использовании добавки объем геля вырастает по сравнению с гелем цементного камня, твердевшего без добавки. Гель получается более рыхлым, заполняет трещины между цементными зернами, уменьшая поперечный размер щелей, пор, капилляров цементного камня. За счет этого водонепроницаемость бетона увеличивается.

Влияние добавки «Пенетрон Адмикс» на свойства бетона было неоднократно изучено и на практике. Так, например, с целью подтверждения возможности исключения использования напыляемой или оклеечной гидроизоляции для железобетонной плиты покрытия подземного паркинга без ухудшения эксплуатационных качеств проведено экспериментальное исследование железобетонной плиты покрытия подземного паркинга (г. Екатеринбург) площадью 1 540 м², выполненного без внешней гидроизоляции верхней плоскости с применением гидроизоляционной добавки «Пенетрон Адмикс» [4, 5].

Железобетонная плита покрытия проектной толщиной 300 мм изготовлена из бетонной смеси класса В25 с добавкой «Пенетрон Адмикс» в количестве 1 % массы цемента. Добавку вносили в готовую бетонную смесь непосредственно в бетоновозе, дополнительно перемешивали в течение 10 мин, после чего производили укладку смеси по обычной технологии в опалубку безбалочной плиты покрытия паркинга с устройством рабочих швов между периодами доставки смеси. Для гидроизоляции рабочих швов применяли саморасширяющийся гидроизоляционный жгут «Пенебар».

Было установлено, что в течение 43 месяцев водонепроницаемость бетона с добавкой «Пенетрон Адмикс» в количестве 1 % массы цемента сохраняла этот параметр на первоначальном уровне. Под воздействием внешней воды водонепроницаемость бетона с гидроизоляционной добавкой возросла с W6 до W20.

В нормальных силовых трещинах, возникающих в изгибаемых железобетонных плитах покрытия, выполненных из бетона с применением гидроизоляционной добавки, при воздействии воды происходит «самозалечивание» трещин (образование в пространстве между берегами трещин системы кристаллогидратов дендритной формы), что увеличило водонепроницаемость бетонных образцов с «самозалеченными» трещинами до величины W20.

Полученные положительные результаты замены внешней оклеечной или напыляемой гидроизоляции для железобетонной плиты покрытия подземного паркинга на гидроизоляционную добавку «Пенетрон Адмикс» в количестве 1 % массы цемента позволяют рекомендовать ее для более эффективного получения «сухих» подземных пространств, в том числе и паркингов, без устройства снаружи железобетонных конструкций оклеечной или напыляемой гидроизоляции.

Таким образом, использование гидроизоляционных добавок ГК «Пенетрон-Россия» на сегодняшний день является одним из эффективных способов повышения как водонепроницаемости бетона, так и других его свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайченко, Н. М. Модифицированные цементные бетоны для устойчивого развития [Текст] : учебно-справочное пособие / Н. М. Зайченко. – Донецк : «Цифровая типография», 2017. – 401 с.
2. Гершберг, О. А. Технология бетонных и железобетонных изделий [Текст] / О. А. Гершберг. – М. : Стройиздат, 1971. – 360 с.
3. Никишкин, В. А. Микроструктура цементного камня как фактор, определяющий водонепроницаемость и прочность бетона [Текст] / В. А. Никишкин // Промышленное и гражданское строительство / Технологический институт «ВНИИЖелезобетон». – 2010. – Вып. № 10. – С. 41–44.
4. Использование гидроизоляционной добавки «Пенетрон Адмикс» для исключения внешней гидроизоляции подземных железобетонных конструкций [Текст] / Д. В. Балакин, Д. А. Ермолаев, П. Ю. Исаков, Ю. Н. Карнет // Промышленное и гражданское строительство / Технологический институт «ВНИИЖелезобетон». – 2017. – Вып. № 2. – С. 55–59.
5. Помазкин, Е. П. Гидроизоляция ограждающих конструкций в зимний период [Текст] / Е. П. Помазкин // Промышленное и гражданское строительство / Технологический институт «ВНИИЖелезобетон». – 2016. – Вып. № 11. – С. 89–91.

Получено 24.04.2018

Т. П. КИЦЕНКО ^а, В. М. ГУБАР ^а, Д. В. БАЛАКИН ^б, О. В. КАШИРИН ^с
ВПЛИВ ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ДОБАВКИ «ПЕНЕТРОН АДМІКС» НА
ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНУ

^а ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^б ЗАТ «Група Компаній "Пенетрон-Росія"», ^с ТОВ «Пенетрон-Донецьк» (офіційний представник ЗАТ «Група Компаній "Пенетрон-Росія"»)

Анотація. Наведено аналіз впливу добавки «Пенетрон Адмікс» на формування структури цементного каменю. Розглянуто вплив розробленої фахівцями ГК «Пенетрон-Росія» добавки, що вноситься в

бетонну суміш на стадії її приготування, яка при наявності в затверділій структурі бетону осідних і силових тріщин, а також вільної води активно включає процес утворення нових кристалів, що заповнюють вільні об'єми між частинками бетону.

Ключові слова: мікроструктура, цементний камінь, добавка «Пенетрон Адмікс», водонепроникність.

TATYANA KITSSENKO ^a, VIKTOR GUBAR ^a, DENIS BALAKIN ^b,
ALEXANDR KASHIRIN ^c

INFLUENCE OF A WATERPROOFING ADDITIVE «PENETRON ADMIX» ON
FORMATION OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF CONCRETE

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b CC «Group of Companies "Penetron-Russia"», ^c LC "Penetron-Donetsk" (official representative CC «Group of Companies "Penetron-Russia"»)

Abstract. The analysis of the influence of the additive «Penetron Admix» on the formation of the structure of cement stone has been given. The impact of an additive developed by specialists of GC «Penetron-Russia» and introduced into the concrete mix at the stage of its preparation, which at the presence of shrinkage and force cracks and free water also actively initiates the process of formation of new crystals which fill free volumes between particles of the concrete, is analyzed.

Key words: microstructure, cement stone, «Penetron Admix» additive, water resistance.

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

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.

Балакин Денис Вячеславович – технический директор холдинга «Пенетрон-Россия». Научные интересы: гидроизоляция и антикоррозионная защита бетонных и железобетонных конструкций.

Каширин Александр Валериевич – директор ООО «Пенетрон-Донецк». Научные интересы: гидроизоляция и антикоррозионная защита бетонных и железобетонных конструкций.

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

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.

Балакін Денис В'ячеславович – технічний директор холдингу «Пенетрон-Росія». Наукові інтереси: гідроізоляція і антикорозійний захист бетонних і залізобетонних конструкцій.

Каширін Олександр Валерійович – директор ТОВ «Пенетрон-Донецьк». Наукові інтереси: гідроізоляція і антикорозійний захист бетонних і залізобетонних конструкцій.

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

Gubar Viktor – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: nondestructive testing of concrete building structures.

Balakin Denis – Chief Technology Officer, Holding «Penetron-Russia». Scientific interests: waterproofing and anticorrosive protection of concrete and reinforced concrete structures.

Kashirin Alexander – Director of «Penetron-Donetsk» Ltd. Scientific interests: waterproofing and anticorrosive protection of concrete and reinforced concrete structures.

УДК 666.972.53

И. Ю. ПЕТРИК, Е. С. ХРИСТИЧ, В. Н. ГУБАРЬ, С. В. КОРНИЕНКО
ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ НА ДИСПЕРСНОСТЬ ЗОЛЫ-УНОСА ТЭС

Аннотация. Выполнено исследование влияния электростатического сепарирования на свойства золы-уноса ТЭС, применяемой взамен части цемента в бетонах. Электрическая сепарация золы-уноса Зуевской ТЭС осуществлена с помощью камерного электростатического сепаратора свободного падения. Гранулометрический состав обогащенной золы-уноса ТЭС определялся методом лазерной дифракции с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц Analizette-22 compact. Установлено, что дисперсность золы, а также содержание несгоревших угольных частиц после обработки в электрическом сепараторе свободного падения имеют неодинаковую величину для проб, отобранных из различных зон сепаратора относительно положения электродов. Наиболее крупные частицы сосредоточены в центральных ячейках, дисперсность уменьшается по мере приближения ячейки к электроду.

Ключевые слова: активная минеральная добавка, зола-уноса тепловых электростанций, электростатическая сепарация, дисперсность.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Современные бетоны представляют собой композиционные системы с определяющей ролью химических и минеральных дисперсных добавок [1, 2]. Использование активных минеральных добавок (пуццоланов) в составах бетона в качестве частичной замены портландцемента обеспечивает снижение его себестоимости, повышение физико-механических и эксплуатационных свойств (снижение тепловыделения цемента и деформаций в твердеющей цементной пасте, обеспечение высокой прочности, долговечности и коррозионной стойкости). Их применение позволяет снизить содержание клинкерного цемента, модифицировать состав новообразований камня вяжущего, повысить плотность структуры, и, как следствие, прочность, долговечность и стойкость бетона в агрессивных условиях эксплуатации [3]. Это связано либо с физическим эффектом, который проявляется в том, что мелкие частицы добавок обычно имеют более тонкий гранулометрический состав, чем портландцемент, либо с их пуццолановой активностью [4].

В настоящее время источником минеральных добавок для бетонов в основном являются побочные отходы промышленности. К таким производствам, где объем побочных продуктов достигает несколько миллионов тонн в год, относятся тепловые электростанции, предприятия угледобычи, камнедробления, металлургическое производство и др. [5].

Минеральные добавки представляют собой тонкоизмельченные материалы, которые состоят из частиц, имеющих в подавляющем большинстве случаев неправильную геометрическую форму, и, как правило, являются полидисперсными системами [6]. Наиболее широко используемыми пуццолановыми добавками в составах современных бетонов является зола-уноса ТЭС.

Под термином «зола-унос» (летучая зола) понимается тонкодисперсный минеральный порошок, образующийся в результате сжигания преимущественно измельченного пылевидного каменного угля в котлах с эксплуатационной температурой около 1 400 °С.

Зола-унос оказывает следующее влияние на свойства бетонных смесей и бетонов [7]:

– снижение усадки в результате водоредуцирующего эффекта золы, что обеспечивает снижение водоцементного отношения бетона;

– снижение термического трещинообразования в результате снижения тепловыделения (при замене цемента на 50 % золой-уносом температурный градиент между центром и поверхностью крупных массивов не превышает 25 °С);

– повышение водонепроницаемости и долговечности бетона (повышение степени упаковки частиц, снижение расхода воды, модифицирование продуктов гидратации);

– повышение когезии бетонной смеси и ее подвижности, снижение расслаиваемости, улучшение прокачиваемости.

В то же время нестабильность зол по свойствам – дисперсности, химическому и минеральному составу, содержанию несгоревшего топлива, а также пуццолановой активности – сдерживает их применение при производстве бетона [8]. Дозировка минеральных добавок в бетон составляет обычно 15...20 % и выше от массы портландцемента [9]. Однако, по мнению Р. К. Mehta [10], обязательным условием получения НРС является применение в составе бетона пуццолановых добавок в большом количестве взамен части цемента. При традиционной дозировке золы-уноса (15...20 %) не решаются проблемы повышения сульфатостойкости бетона, стойкости к щелочной коррозии заполнителя и термического трещинообразования. В этой связи разработаны (V. M. Malhotra, Р. К. Mehta [11, 12]) составы бетонов с высоким содержанием золы-уноса (50...60 % в составе вяжущего) – High-Volume Fly Ash Concretes (HVFAC).

Для повышения качества золы-уноса ТЭС существует несколько способов и технологий: ситовая классификация; механический способ (тонкий помол, размер частиц менее 10 мкм); флотация (отделение микросфер с поверхности золоотстойников); электромагнитная сепарация (удаление ферромагнитных частиц); пневматическая сепарация в циклонах и электрическая сепарация [13]. Более эффективной с учетом снижения содержания несгоревшего углерода является электростатическая сепарация золы в различных по конструкции электросепараторах.

Электрическая сепарация минерального сырья представляет собой процесс разделения сыпучих смесей веществ по физическому составу, крупности или форме с использованием энергии электрического поля [14].

Целью работы является исследование влияния электростатической сепарации на дисперсность золы-уноса ТЭС, применяемой взамен части цемента в бетонах.

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

Для установления эффективности способа сепарации в высоковольтном электростатическом поле исходную навеску золы массой 500 г, предварительно высушенную до постоянной массы, через дозатор по наклонному медному лотку просыпали сквозь электродное пространство электрического сепаратора. Под действием электростатического поля траектория падения частиц отклонялась от вертикальной, в результате чего исходная навеска золы распределялась соответствующим образом в ячейках сепаратора, а также на поверхности электродов (рис. 1).

Дисперсность обогащенной золы-уноса ТЭС определялась методом лазерной дифракции согласно ГОСТ Р 8.777-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Дисперсный состав аэрозолей и взвесей. Определение размеров частиц по дифракции лазерного излучения» [15] с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц Analizette-22 compact. Используется физический принцип дифракции электромагнитных волн для определения распределения размеров частиц. Свет параллельного лазерного луча преломляется при прохождении через частицу и отклоняется на фиксированные углы, которые зависят от диаметра и оптических свойств частиц. Сходящиеся в одной точке линзы фокусируют рассеянный свет в кольцо на центральной панели, где детектор измеряет спектр Фурье (распределение световой

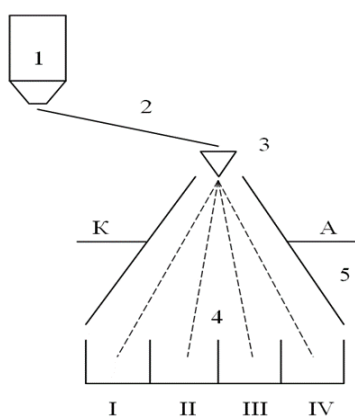


Рисунок 1 – Схема электростатического сепаратора свободного падения: 1 – бункер; 2 – наклонная плоскость; 3 – воронка; 4 – приемные контейнеры; 5 – электроды (А – анод, К – катод).

энергии). Распределение размеров частиц вычисляется в соответствии с теорией Фраунгофера или Майя, с помощью комплекса математических методов. Данное исследование проводилось при следующих параметрах установки Analizette-22 compact:

- диапазон измерения размера частиц – от 0,3 мкм до 300 мкм;
- диапазон коэффициента диффузии – от 10^{-6} до 10^{-9} см²/сек;
- лазер – твердотельный лазер 15 мВт;
- длина волны – 635 нм;
- температура эксперимента – 20 °С;
- среда измерения – вода;
- объем образца – от 0,5 до 3 мл;
- метод расчета – согласно теории Фраунгофера.

При подготовке пробы применялся ультразвуковой режим диспергирования. Проводилось три испытания для контроля повторяемости получаемых результатов. Выходные данные результатов измерений представлены в виде таблиц, интегральных и дифференциальных кривых распределения частиц по размерам.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследования дисперсности золы-уноса ТЭС представлены в таблице и на рисунках 2–4.

Таблица – Дисперсностьобогащенной золы-уноса ТЭС

Маркировка образца	Максимальный размер частиц (d98), мкм	Средний размер частиц (d50), мкм	Содержание частиц менее 2 мкм, %
К	76,461	19,891	7,64
I	123,972	27,302	6,17
II	134,805	28,592	5,89
III	151,125	30,546	5,75
IV	142,337	28,859	5,96
A	66,576	17,930	8,01

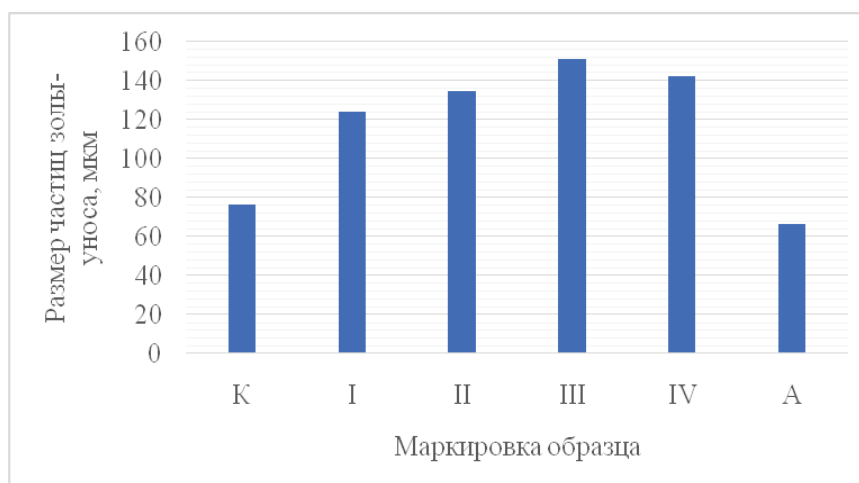


Рисунок 2 – Максимальный размер частиц (d98), мкм.

Установлено, что дисперсность частиц золы-уноса ТЭС уменьшается по мере приближения ячейки к электроду. Наиболее крупные частицы сосредоточены в центральных ячейках II и III. Вероятно, это связано с тем, что более крупные частицы имеют меньший поверхностный электрический заряд, в результате кулоновские силы слабы для преодоления силы тяжести отклонения траектории падения частиц от вертикальной.

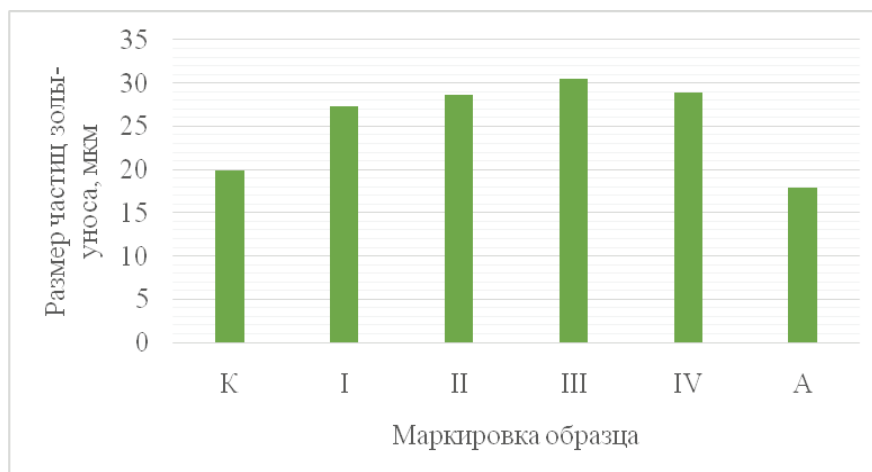
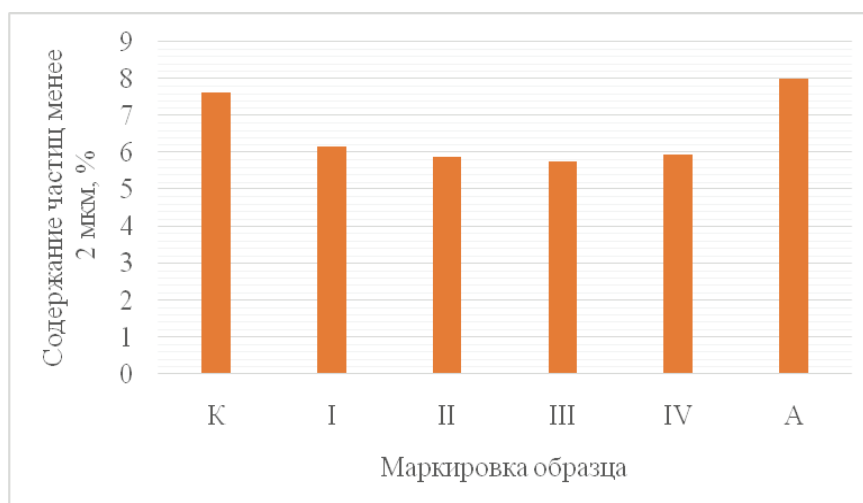
Рисунок 3 – Средний размер частиц (d_{50}), мкм.

Рисунок 4 – Содержание частиц менее 2 мкм, %.

ВЫВОДЫ

Установлено, что дисперсность золы, а также содержание несгоревших угольных частиц после обработки в электрическом сепараторе свободного падения имеют неодинаковую величину для проб, отобранных из различных зон сепаратора относительно положения электродов. Наиболее крупные частицы сосредоточены в центральных ячейках, дисперсность уменьшается по мере приближения ячейки к электроду. При этом происходит разделение не только по крупности, но и по химическому и фазовому составу. Максимальное содержание сферических стекловидных частиц имеют мельчайшие фракции золы. Чем крупнее фракция, тем выше в ней содержание шероховатых и пористых частиц. Пробы, отобранные с катода и ячеек, близких к катоду, содержат наибольшее количество несгоревшего углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ушеров-Маршак, А. В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы [Текст] / А. В. Ушеров-Маршак // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 8–12.
2. Ушеров-Маршак, А. В. Добавки в бетон. Систематика и оценка эффективности [Текст] / А. В. Ушеров-Маршак, И. А. Залуцкая // Строительные материалы и изделия. – 2004. – № 2. – С. 15–18.
3. Белякова, Ж. С. Экологические, материаловедческие и технологические аспекты применения зол в бетоне [Текст] / Ж. С. Белякова, Е. Г. Величко, А. Г. Комар // Строительные материалы. – 2001. – № 3. – С. 46–48.

4. Люр, Х. П. Влияние гранулометрического состава зол с низкими потерями при прокаливании на рост прочности бетона [Текст] / Х. П. Люр, Я. Эфас // Шестой Международный конгресс по химии цемента. – М. : Стройиздат, 1976. – Т. 3. – С. 103–112.
5. Добавки в бетон [Текст] : справ. пособие / [В. С. Рамачандран, Р. Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др.]. – М. : Стройиздат, 1988. – 575 с.
6. Коузов, П. А. Основы анализа дисперсионного состава промышленных пылей и измельченных материалов [Текст]. – [3-е изд. перераб.] / П. А. Кузов. – Л. : Химия, 1987. – 264 с.
7. Зайченко, Н. М. Бетоны с высоким содержанием золы для массивных железобетонных конструкций [Текст] / Н. М. Зайченко, А. И. Сердюк // Вісник Донбаської національної будівництва і архітектури. – 2013. – Вип. 2013-1(99): Сучасні будівельні матеріали. – С. 137–144.
8. 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.
9. Liu, M. Wider Application of Additions in Self-compacting Concrete: A thesis for the degree of Doctor of Philosophy [Текст] / Miao Liu. – London, 2009. – 392 p.
10. 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.
11. Malhotra, V. M. Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete – A Review [Текст] / V. M. Malhotra // Mario Collepardi Symp. on Advances in Concrete Science and Technology, 8 October 1997: Proc. / Ed. P. K. Mehta. E-Rome (Italy): [s. n.], 1997. – P. 271–314.
12. Termkhajornkit, P. The fluidity of fly ash cement paste containing naphthalene sulfonate super plasticizer [Текст] / P. Termkhajornkit, T. Nawa // Cem. Concr. Res. – 2004. – Vol. 34, No 6. – P. 1017–1024.
13. Петрик, И. Ю. Высокофункциональные бетоны с обогащенной электрической сепарацией золой-уносом ТЭС [Текст] / И. Ю. Петрик, Н. М. Зайченко, А. И. Сердюк // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2016. – Вип. 2016-1(117) : Сучасні будівельні матеріали. – С. 32–39.
14. Сулейменов, О. А. Электростатическая сепарация, как способ сухой переработки минерального сырья [Электронный ресурс] / О. А. Сулейменов // Научное пространство Европы. – Белгород : [ООО «Руснаучкига»], 2013. – Режим доступа : http://www.rusnauka.com/11_NPE_2013/Chimia/5_134046.doc.htm.
15. ГОСТ Р 8.777-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Дисперсный состав аэрозолей и взвесей. Определение размеров частиц по дифракции лазерного излучения [Текст]. – Введен впервые ; введ. 2013-01-01 / Национальный стандарт Российской Федерации. – Москва : Стандартинформ, 2012. – 8 с.

Получено 14.05.2018

І. Ю. ПЕТРИК, К. С. ХРИСТИЧ, В. М. ГУБАР, С. В. КОРНІЄНКО ВПЛИВ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ СЕПАРАЦІЇ НА ДИСПЕРСНІСТЬ ЗОЛИ- ВИНЕСЕННЯ ТЕС

ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Виконано дослідження впливу електростатичного сепарування на властивості золи-винесення ТЕС, що застосовується замість частини цементу в бетонах. Електрична сепарація золи-винесення Зуївської ТЕС здійснена з допомогою камерного електростатичного сепаратора вільного падіння. Гранулометричний склад збагаченої золи-винесення ТЕС визначався методом лазерної дифракції за допомогою лазерного дифракційного аналізатора розміру часток Analizette-22 compact. Встановлено, що дисперсність золи, а також вміст незгорілих вугільних частинок після обробки в електричному сепараторі вільного падіння мають неоднакову величину для проб, відібраних з різних зон сепаратора щодо положення електродів.

Ключові слова: активна мінеральна добавка, зола-винесення теплових електростанцій, електростатична сепарація, дисперсність.

IRINA PETRIK, KATERYNA KHRISTICH, VICTOR GUBAR, SERGEY KORNIENKO THE INFLUENCE OF ELECTROSTATIC SEPARATION TO THE DISPERSION OF FLY ASH THERMAL POWER PLANT

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The study of the influence of electrostatic separation on the properties of fly ash TPP, used instead of cement in concrete has been carried out. Electric separation of fly ash from the Zuyevka thermal power station was carried out with the help of a chamber electrostatic free fall separator. Granulometric composition enriched in fly ash, thermal power plant was determined by laser diffraction using a laser diffraction particle size analyzer Analizette-22 compact. It was found that the dispersion of ash, as well as the content of

unburned coal particles after treatment in an electric free fall separator have different values for samples taken from different areas of the separator relative to the position of the electrodes.

Key words: active mineral additive, fly ash of thermal power plants, electrostatic separation, dispersion.

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

Христич Екатерина Сергеевна – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: бетоны с высокой ранней прочностью на основе композиционных цементов.

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 ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: високофункціональні бетони з підвищеним вмістом золи-виносу ТЕС.

Христич Катерина Сергіївна – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони з високою міцністю в ранньому віці на основі композиційних цементів.

Губар Віктор Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ 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 ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: бетони на основі золи-виносу ТЕС з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Petrik Irina – Assistant, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high Performance Concrete with high content of fly ash.

Khristich Kateryna – Master's degree student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high early strength concretes based on composite cements.

Gubar Victor – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: nondestructive testing of concrete building structures.

Kornienko Sergey – Master's degree student, Technologies of Building Structures, 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 666.972.125

С. И. ЧУРСИН, А. В. ПОЗДНЯКОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**ТЯЖЕЛЫЕ БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО
МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ЛОМА БЕТОНА**

Аннотация. Разработан состав комбинированного мелкого заполнителя. Проведены исследования по изучению эффективности включения фракции 5 мм в состав заполнителя для мелкозернистого бетона. Рассчитаны оптимальные составы мелкозернистых бетонов с использованием комбинированного заполнителя. Определены реологические свойства бетонной смеси и физико-механические характеристики бетонов на комбинированном заполнителе.

Ключевые слова: комбинированный мелкий заполнитель, пространственный каркас, состав бетона, удобоукладываемость, режим тепловлажностной обработки, средняя плотность, водопоглощение, прочность бетона.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анализ последних исследований и публикаций свидетельствует о том, что вопрос использования вторичных сырьевых ресурсов, а именно бетонного лома, вызывает определенный интерес, так как обеспечивает расширение сырьевой базы заполнителей. Как показали результаты проведенных в [1] исследований, при использовании мелкого заполнителя из отсева лома бетона в бетонных смесях с В/Ц = 0,4 зафиксировано снижение показателя прочностных характеристик бетонов на гранитном щебне до 20 %, на известняковом щебне до 25 %.

Установлено, что с учетом качества формы зерен, крупный и мелкий заполнитель из лома бетона уступает природному. В результате снижаются средняя и насыпная плотность заполнителей на 8...12 % по сравнению с природными. Также средняя плотность тяжелого бетона на основе заполнителей из лома бетона составляет не более 2 300 кг/м³, при требовании стандарта 2 450 кг/м³ [2].

Следует отметить что особенностью заполнителя из лома бетона является его повышенное водопоглощение, что отражается на удобоукладываемости бетонной смеси и на формировании структуры бетона. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при использовании такого заполнителя необходимо увеличивать расход воды на 9...11 % с целью сохранения заданной удобоукладываемости [3].

Общеизвестным преимуществом заполнителя из лома бетона является то, что на его поверхности формируются новообразования в виде гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция. Таким образом, при получении заполнителей из бетонного лома путем дробления происходит разрушение образованной структуры с появлением новых химически активных поверхностей как заполнителей, так и цементного камня, негидратированная часть которого может подвергаться дальнейшей гидратации, выступая в процессе структурообразования в качестве зародышей центров кристаллизации [4].

Известно, что мелкозернистый бетон относится к классу тяжелых бетонов и представляет собой рационально подобранный состав из вяжущего и мелкого заполнителя, имеющий среднюю плотность от 2 100 до 2 300 кг/м³. В качестве основного недостатка мелкозернистого бетона следует выделить повышенный расход вяжущего, связанный с применением очень мелкого песка с модулем крупности до $M_{кр} = 1,5$, что также приводит к ухудшению физико-механических характеристик бетона [5].

В результате введения в состав природного мелкого заполнителя отсева лома бетона фракций 0,315, 0,63, 1,25, 2,50 мм достигается повышение качества гранулометрического состава, который соответствует требованиям стандарта [3]. Введение в состав мелкого заполнителя щебеночной фракции размером 5 мм должно отразиться на свойствах бетонной смеси, предполагается, что фракции 2,5 и 5 мм обеспечат формирование каркасообразующей структуры, что приведет к сокращению расхода, вяжущего на 20...25 % при сохранении физико-механических характеристик бетона.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной целью исследования является разработка мелкозернистых бетонов с использованием комбинированного заполнителя, состоящего из песчаной и мелко-щебеночной фракции с заданными физико-механическими характеристиками. Оптимизировать состав комбинированного заполнителя с целью эффективного использования лома бетона с достижением необходимого качества и прочности мелкозернистого бетона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения исследований были использованы следующие материалы: природный мелкий заполнитель Краснополянского месторождения и тяжелый бетон класса В20, В30 и В40 в виде образцов-кубов со стороной 10 см, которые хранились в естественных условиях в течение 10–15 лет (Кб.), также был использован лом бетона, полученный из конструкции возрастом более 30 лет (Жб.). В качестве вяжущего применялся портландцемент марки ПЦ I-500 Н.

Исследования перспективности лома бетона в качестве крупного и мелкого заполнителя в мелкозернистом бетоне были условно разделены на такие этапы: исследование свойств комбинированного заполнителя, изготовление мелкозернистых бетонов с последующим определением физико-механических характеристик бетона и в дальнейшем исследования влияния фракции размером 5 мм на свойства мелкозернистого бетона.

Исходный материал из лома бетона для комбинированного заполнителя был получен в результате разрушения бетонных образцов на прессе с определением R_b и двухтадийного дробления с последующим рассевом на фракции 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 мм. Фракции размером 0,16 мм и менее были исключены поскольку ухудшают подвижность бетонной смеси, снижают прочностные характеристики, а также увеличивают усадочные деформации бетона.

Для повышения качества природного мелкого заполнителя осуществлялся промыв песка с удалением глинистой составляющей, содержание которой превышает 12 %. В результате был получен песок с $M_{кр} = 1,36$, что не соответствует требованиям, предъявляемым к гранулометрическому составу. Мелкий заполнитель, получаемый из лома бетона, характеризуется повышенным содержанием фракции 2,5 мм, что также свидетельствует о несоответствии. Для приведения гранулометрического состава мелкого заполнителя в соответствие со стандартом была применена смесь мелкого песка и отсева лома бетона в соотношении 60/40 %. В таблице 1 приведен гранулометрический состав предложенного мелкого заполнителя для мелкозернистого бетона.

Таблица 1 – Состав мелкого заполнителя для мелкозернистого бетона

№ сита, мм	Мелкий песок		Отсев лома бетона		Доля каждой фракции, %		Скорректированный состав	
	ai, %	Ai, %	ai, %	Ai, %	Песок	Отсев	ai, %	Ai, %
2,5	0,0	0,0	62,0	62,0	0,0	23,4	24,8	24,8
1,25	0,0	0,0	7,4	69,4	0,0	3,0	2,9	27,8
0,63	2,6	2,6	12,9	82,4	0,0	6,4	5,2	32,9
0,315	34,0	36,6	17,8	100,0	20,4	7,6	27,5	60,5
0,16	66,0	100,0	0,0	0,0	39,6	0,0	39,6	100,1
Мкр		1,36	Мкр	3,07	Сумма	100	100	2,48

График представленный на рисунке 1а свидетельствует что фракционирование комбинированного заполнителя позволило поместить кривую гранулометрического состава в рекомендованные стандартрамки.

Расчет составов мелкозернистого бетона был выполнен для получения марки М400. В рамках исследований физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов были изученные такие

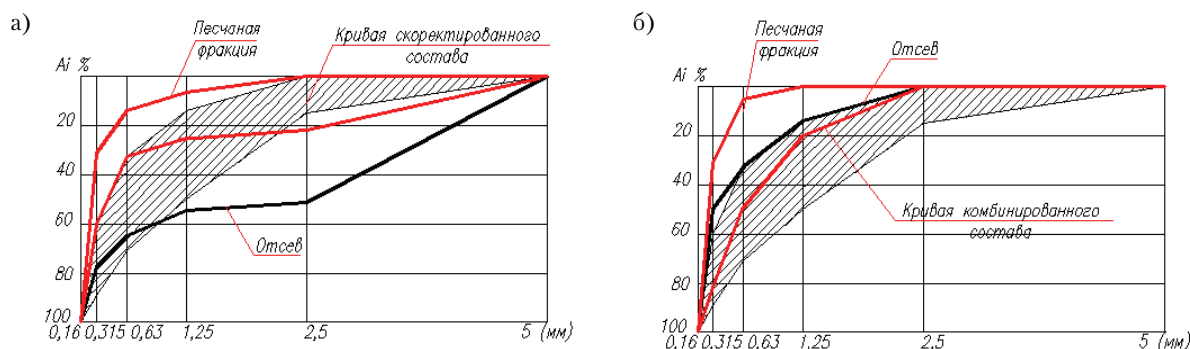


Рисунок 1 – Гранулометрический состав: а) комбинированный заполнитель, б) песчаный компонент заполнителя для комбинированного заполнителя.

факторы: происхождение материала, возраст исходного бетона, $M_{кр}$. Контроль прочности бетона осуществился на 7, 14 и 28 суток, образцы твердели при влажности 90 % и температуре 20 ± 2 °С. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Прочностные характеристики мелкозернистых бетонов

№	Компоненты заполнителя	Удобоукладываемость, см	Прочностные при сжатии, МПа		
			7 суток	14 суток	28 суток
1	Мелкий песок + отсев дробленного лома бетона (Кб), $M_{кр} = 2,5$	2	26,6	38,9	41,0
2	Мелкий песок + отсев дробленного лома, (Жб), $M_{кр} = 2,5$	4	31,2	36,2	40,1
3	Мелкий песок, $M_{кр} = 1,34$	1	17,17	19,22	29,1
4	Мелкий песок + отсев дробленного щебня, $M_{кр} = 2,5$	4	27,6	30,9	34,5

Динамика изменения прочности (рис. 2) свидетельствуют о том, что составы бетона с использованием комбинированного мелкого заполнителя, содержащего отсев лома бетона набрали 100 % марочной прочности. Фактически составы бетона 1 и 2 не отличаются по показателю прочности. При

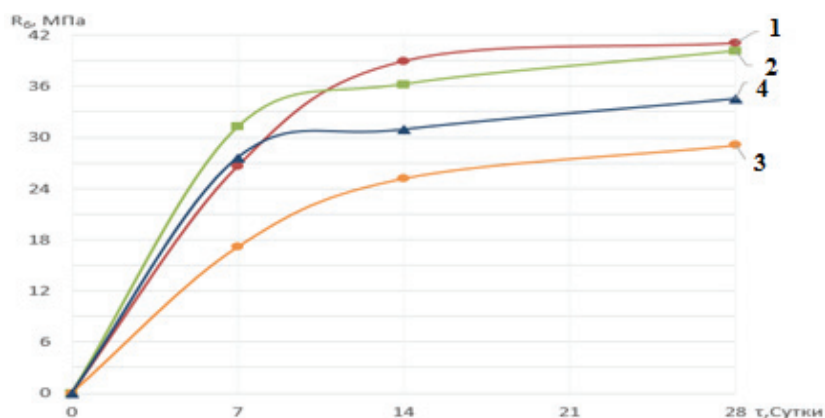


Рисунок 2 – Скорость набора прочности различных составов мелкозернистых бетонов.

этом образцы с использованием заполнителя, содержащего отсев лома бетона, набрали прочность на 17 % выше, чем образцы на основе отсева дробления гранитного щебня. Важным показателем эффективности проведенной научно-исследовательской работы является то, что образцы бетона на основе мелкого природного песка набрали только 72 % от марочной прочности, что подтверждает факт негативного влияния мелких фракций песка на показатель прочности бетона, и это свидетельствует о целесообразности введения в состав мелкого заполнителя более крупных фракций лома

бетона (5 мм). Также удалось достичь снижения расхода портландцемента на 8 % за счет повышения модуля крупности с 1,36 до 2,45.

На основе полученных результатов, было выдвинуто предположение, что введение в состав мелко-го заполнителя щебеночной фракции размером 5 мм должно отразиться на свойствах бетонной смеси, предполагается что фракции 2,5 и 5,0 мм обеспечат формирование каркасообразующей структуры, что приведет к сокращению расхода вяжущего на 20...25 % при сохранении физико-механических характеристик бетона.

Рассматривая реальный состав мелкого комбинированного заполнителя, установлено что содержание фракции 2,5 мм незначительно превышает допустимое, 24,8 %, при требовании не более 17 %. Таким образом, предпочтительно было бы отнести фракцию размером 2,5 мм к «мелко-щебеночной», добавив фракцию 5 мм для получения полноценной модели двухфракционной каркасообразующей системы, подобной крупному заполнителю. Рекомендуются соотношения фракций 2,5/5 мм – 60/40 %. В результате предлагаемой трансформации комбинированного мелкого заполнителя удалось достичь повышения качества гранулометрического состава, характеризующегося $M_{кр} = 2,5$, о чем свидетельствует таблица 3 и рисунок 16.

Таблица 3 – Состав мелкого комбинированного заполнителя

№ сита, мм	Мелкий песок		Отсев лома бетона		Доля каждой фракции, %		Скорректированный состав	
	ai, %	Ai, %	ai, %	Ai, %	Песок	Отсев	ai, %	Ai, %
2,5	0,0	0,0	62,0	62,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1,25	0,0	0,0	7,4	69,4	0,0	19,9	20,0	20,0
0,63	2,6	2,6	12,9	82,4	0,0	27,9	28,0	48,0
0,315	34,0	36,6	17,8	100,0	27,9	7,1	35,0	83,0
0,16	66,0	100,0	0,0	0,0	17,0	0,0	17	100,0
Мкр		1,36	Мкр	3,07	Сумма	100	Мкр	2,50

Поскольку в состав заполнителя вводится фракция размером 5 мм, для корректности расчет производился в соответствии с ГОСТ 27006-14 «Бетоны. Правила подбора состава бетона». Состав бетона рассчитывался для бетона марки М400. В расчете состава бетона были учтены такие факторы, как:

1. При снижении максимального размера зерен крупного заполнителя происходит увеличение ориентировочного расхода воды на 6...8 %, для сохранения заданной удобоукладываемости.

2. Многие источники, а также экспериментальные данные утверждают о том, что щебень из лома бетона имеет повышенное водопоглощение, это приводит к увеличению расхода воды при приготовлении бетона, для устранения данного недостатка ориентировочный расход воды следует увеличить на 9...11 %.

В результате расход воды возрос на 16 %, с 200 до 234 л/м³, что привело к увеличению расхода портландцемента и увеличению себестоимости бетона. Для устранения данного недостатка в состав бетона вводился суперпластификатор СЗМ, действие которого было направлено на возвращение расхода воды в рекомендованные рамки, а также повышение подвижности бетонной смеси. Суперпластификатор вводился в бетонную смесь в виде 25 % водного раствора в количестве от 0,5 до 0,8 % от массы портландцемента. В/Ц бетонной смеси принято равное 0,5. С целью оценки эффективности действия на прочность бетона мелко-щебеночных фракций 2,5 и 5 мм из лома бетона, были исследованы также составы с мелко-щебеночной фракцией из гранита. Образцы твердели при тепловлажностной обработке по режиму 3 + 6 + 2 ч при температуре 80±5 °С, а также при естественном твердении в течение 28 суток. Данные по компонентам смеси, а также результаты испытаний исследуемых составов приведены в таблице 4 и графике 3.

Исследования прочностных характеристик бетона показали:

1. Состав с использованием щебня из лома бетона без применения добавок фактически не уступает идентичному составу на гранитном щебне и имеет прочность при сжатии выше на 7 %, что связано с повышенным расходом вяжущего, что свидетельствует о необходимости применения суперпластификатора для снижения расхода портландцемента. При сравнении составов 2 и 5 установлено, что при применении суперпластификатора с дозировкой 0,5 % и расходом цемента равном 420 кг/м³ прочность образцов с применением щебня из лома бетона выше на 10 %, чем у образцов на гранитном

Таблица 4 – Компоненты составов и физико-механические характеристики бетона

№	Компоненты бетонной смеси							Подвиж- ность, см	Прочность при сжатии		
	Щебень из:	Мелкий заполнитель	Ц, кг	М.З, кг	Щ, кг	В, л	СЗМ, %		ТВО		28 суток
									МПа	%	
1	лома бетона	Мелкий песок + отсев лома бетона	458	567	955	234	–	П1, 2 см	29,6	74,0	41,8
2			420	644	957	203	0,5	П1, 3 см	31,1	75,7	44,7
3			420	644	957	208	0,8	П2, 7 см	34,8	87,0	42,6
4	гранита		420	566	1 117	215	–	П2, 6 см	26,9	67,2	39,0
5			420	590	1 118	209	0,5	П2, 6 см	29,4	73,0	40,6
6	гранита	Мелкий песок	420	567	1 117	215	–	П1, 1 см	22,3	55,7	34,7
7			420	600	1 118	209	0,5	П2, 6 см	25,0	62,5	36,6

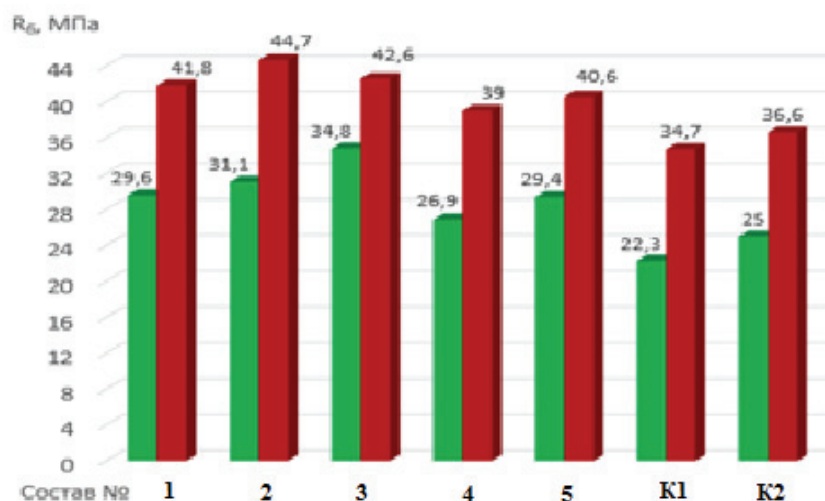


Рисунок 3 – Сравнительный анализ прочности мелкозернистого бетона.

щебне. Также следует отметить, что составы бетона на мелком песке набрали прочность ниже на 20 %, чем у бетона на основе комбинированного мелкого заполнителя. Полученные результаты свидетельствуют о том, что заполнитель из лома бетона является активным участником процесса твердения, выступая в качестве центров кристаллизации.

2. Применение суперпластификатора СЗМ в количестве 0,5 % от массы цемента позволило снизить расход воды, увеличение которого связано с повышенной шероховатостью поверхности щебня из лома бетона, при этом прочность бетона с применением СЗМ оказалась на 7 % выше при естественном твердении. Следует также отметить, что введение суперпластификатора в количестве 0,8 % обеспечило более высокую подвижность ($OK = 7$ см), более высокую скорость набора прочности в начальный период твердения, однако прочность при естественном твердении на 28 суток оказалась ниже на 5 %, чем у состава 2 (СЗМ = 0,5 %).

ВЫВОД

Исследования подтвердили целесообразность использования мелкого комбинированного заполнителя и «мелко-щебеночной» фракции (2,5...5,0 мм) в бетонах в сочетании с суперпластификатором СЗМ (в количестве 0,5 % от массы цемента). В результате предложенные составы мелкозернистых бетонов характеризуются достаточно высокой прочностью при сжатии (на 7...12 % выше, чем у контрольных образцов), при этом обеспечено снижение расхода вяжущего на 28 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кальгин, А. А. Эффективность использования дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий [Текст] / А. А. Кальгин, М. А. Фахратов // СРП Международное бетонное производство. – 2007. – № 5. – С. 162–163.

2. Гусев, Б. В. Вторичное использование бетонов [Текст] / Б. В. Гусев, В. А. Загурский. – Москва : СИ, 1988. – 95 с.
3. Чурсин, С. И. Повышение качества мелкого заполнителя получаемого, из отсева дробленого бетона [Текст] / С. И. Чурсин, А. В. Поздняков // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. 2016-3(119) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 93–97.
4. Коровкин, М. О. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона [Текст] / М. О. Коровкин, А. И. Шестернин, Н. А. Ерошкина // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – С. 85–96.
5. Липей, О. А. О прочности на сжатие бетона на заполнителях из дробленого бетона [Текст] / О. А. Липей // Новые исследования по технологии, расчету и конструированию железобетонных конструкций. – М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1980. – С. 112.

Получено 19.05.2018

С. І. ЧУРСИН, О. В. ПОЗДНЯКОВ
ВАЖКІ БЕТОНИ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОГО
ЗАПОВНЮВАЧА З БРУХТУ БЕТОНУ
ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Розроблено склад комбінованого дрібного заповнювача. Проведені дослідження з вивчення ефективності включення фракції 5 мм до складу заповнювача для дрібнозернистого бетону. Розраховані оптимальні склади дрібнозернистих бетонів з використанням комбінованого заповнювача. Визначено реологічні властивості бетонної суміші та фізико-механічні характеристики бетонів на комбінованому заповнювачі.

Ключові слова: комбінований дрібний заповнювач, просторовий каркас, склад бетону, легкоукладальність, режим тепловологісної обробки, середня густина, водопоглинання, міцність бетону.

CHURSIN SERGEY, ALEXANDR POZDNYAKOV
HEAVY CONCRETE WITH THE USAGE OF A MODIFIED FINE AGGREGATE
FROM SCRAP CONCRETE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The composition of the combined fine aggregate is developed. Researches on studying of efficiency of inclusion of fraction of 5 mm in structure of filler for fine-grained concrete are carried out. Optimum compositions of fine-grained concrete with the use of the combined filler are calculated. Rheological properties of concrete mix and physical and mechanical characteristics of concrete on the combined filler are defined.

Key word: combined fine aggregate, spatial frame, concrete composition, workability, mode of heat-and-moisture treatment, medium density, water absorption, strength of concrete.

Чурсин Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка промышленных отходов в строительные материалы.

Поздняков Александр Валериевич – магистрант кафедры технологии строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: применение лома бетона как техногенного сырья в качестве заполнителя для бетонов.

Чурсін Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка промислових відходів у будівельні матеріали.

Поздняков Олександр Валерійович – магістрант кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: застосування брухту бетону як техногенної сировини в якості заповнювача для бетону.

Chursin Sergey – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: processing of industrial wastes in building materials.

Pozdnyakov Alexandr – Master's degree student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the use of scrap concrete waste as aggregate for concrete.

УДК 666.972.1.002.8

С. И. ЧУРСИН, Е. А. ЛОБЗАНОВ

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАПОЛНИТЕЛЯ ИЗ ЛОМА БЕТОНА

Аннотация. Дан краткий анализ результатов исследований свойств бетонов на основе заполнителя из бетонного лома. Определены основные факторы влияния вторичного щебня на свойства бетонной смеси и прочность бетона. Исследованы бетоны с использованием крупного заполнителя из бетонного лома. Показана эффективность переработки и использования лома бетона с целью получения вторичного заполнителя, который не уступает по своим свойствам природному щебню из гранита.

Ключевые слова: бетонный лом, вторичный заполнитель, составы бетонов, пластификатор, удобоукладываемость бетонной смеси, прочность бетона.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время есть все основания говорить о проблеме переработки и рационального использования вторичных сырьевых ресурсов, так называемого бетонного лома, количество которого исчисляется десятками млн тонн.

Переработка и повторное использование бетонного лома позволит решить сразу несколько проблем, таких как экономия природных ресурсов, уменьшение площадей для хранения отходов, снижение нагрузки на окружающую среду.

В связи с этим эффективное использование бетонного лома в качестве мелкого и крупного заполнителей для бетона дает широкие возможности в создании новых технологий для переработки отходов с последующим их потреблением.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о неоднозначности технологических и эксплуатационных свойств бетонов, полученных с использованием вторичного щебня из дробленного бетона. Однако актуальность и эффективность использования щебня из лома бетона в качестве заполнителей не вызывает сомнения.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Как известно, тяжелый бетон и железобетон в виде некондиционных изделий и конструкций, безусловно, является эффективным сырьевым ресурсом и подлежит переработке с целью получения крупного и мелкого заполнителей для тех же бетонов и железобетонных конструкций. К этой категории могут быть отнесены и отслужившие свой срок эксплуатации изделия и конструкции, объем которых измеряется десятками миллионов кубометров и количество которых постоянно возрастает [1].

В работе [2] авторами экспериментально доказано, что бетонный лом является эффективным заполнителем для производства бетонов классов до В30 включительно, с расходом цемента 270...320 кг на 1м³ бетона и расходом суперпластификатора С-3 – 0,6 % от массы цемента. При этом полученные бетоны с использованием заполнителей из продуктов дробления вторичного бетона характеризовались прочностью при сжатии 25 МПа и морозостойкостью F15.

Автором [3] проведено исследование структуры и свойств бетонов с компенсированной усадкой на вторичных разномодульных заполнителях. Предложен коэффициент качества вторичных заполнителей КЗ. Определено количество цементно-песчаного компонента на заполнителе из бетонного лома: на гранитном щебне – до 30 %; известняковом – до 45 %; керамзите – до 75 %. Для повышения

прочности заполнителей из бетонного лома предложен метод механической обработки, заключающийся в помоле в шаровой мельнице. Автором [3] доказано, что введение расширяющей добавки в бетонную смесь на вторичных заполнителях позволяет получать бетон, равный по прочности в сравнении с обычным тяжелым бетоном.

Следует отметить, что в работах [2, 3, 6] не рассматривалась возможность изготовления бетонов с заполнителями из продуктов дробления вторичного бетона, без разделения щебня из бетонного лома на фракции.

Из зарубежных исследований заслуживают внимания результаты А. Д. Бака и В. М. Малхотри [4], определивших снижение прочности на сжатие бетонов на щебне из дробленного бетона по сравнению с бетонами на природном заполнителе. Одновременно А. Д. Баком доказана возможность достижения вторичными бетонами прочности более высокой, чем исходная прочность дробленного бетона. Для этого рекомендуется использование водопонижающих добавок и увеличение содержания цемента.

По данным исследований, выполненных в США, установлено, что прочность бетона на вторичном заполнителе на 20 % меньше, чем бетона на природных заполнителях. При этом указывается на возможность повышения прочности бетонов на щебне из дробленного бетона путем увеличения содержания цемента. Отмечается, что производство бетона с использованием вторичного заполнителя, даже при увеличении расхода цемента на 10 %, обходится примерно вдвое дешевле, чем бетона на природных заполнителях [5].

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основной целью данной работы является разработка ресурсоэффективных цементных бетонов на заполнителях из бетонного лома сносимых зданий и сооружений.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить влияние крупного заполнителя из бетонного лома на удобоукладываемость бетонной смеси;
- разработать оптимальные составы тяжёлого бетона с использованием из вторичного заполнителя;
- исследовать влияние технологических факторов на физико-механические свойства бетона из вторичного бетона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для подтверждения возможности эффективного использования вторичного сырьевого ресурса – бетонного лома использовались следующие материалы и компоненты: вяжущее вещество – портландцемент М500, природный мелкий заполнитель – кварцевый песок с $M_{кр} = 1,5$, водопроводная вода и крупный заполнитель, полученный из лома бетонов, и гранитный щебень – для сравнения.

Прототипом бетонного лома был использован тяжелый бетон классов В15-В25 в виде образцов-кубов со стороной 10 см, которые изготавливались для корректировки рабочих составов, хранились в естественных условиях на протяжении 10–15 лет.

Оценка качества показателей свойств бетона проводилась на образцах-кубах с ребром 10 и 15 см и балках 7×7×28 см.

В таблице 1 приведены все расчётные составы бетонных смесей для изготовления образцов. Приведённые составы характеризуются одной маркой бетона М300 и имели одинаковую подвижность (П1). С целью изменения подвижности бетонной смеси использовался суперпластификатор (Полипласт СП-1) в количестве 0,6% от массы цемента, в составах № 3, 8, 9, 10, 11.

На стадии расчета составов бетонных смесей учитывались следующие технологические стадии: сухое перемешивание щебня в смесителе на протяжении двух

минут (составы № 8, 9, 10, 11), двух- и трехстадийное дробление бетонного лома (составы № 4, 5, 6, 7, 9, 11 одностадийное дробление; 8 – трехстадийное дробление; 10 – двухстадийное дробление).

В результате испытаний бетонов с использованием вторичного заполнителя при одностадийном дроблении прочность при сжатии уменьшилась до 25 %, что связано с повышенной шероховатостью поверхности такого заполнителя и повышенной водопотребностью щебня из дробленного бетона. При дальнейшем воздействии на материал двухстадийного дробления существенно меньше снижается прочность при сжатии – до 10 %, а третья стадия и предварительно сухое перемешивание крупного заполнителя из лома бетона существенно повышает прочность бетона до 33,6 МПа (рис. 1).

Таблица 1 – Расчётный состав бетонных смесей

№состава	Расход компонентов на 1 м ³ бетонной смеси								Стадия дробления вторичного щебня
	Цемент	Песок	Щебень гранитный		Щебень из бетона		Вода	Полипласт, % от массы цемента	
			5–10 мм	5–20 мм	5–10 мм	5–20 мм			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	419	515	1 352	–	–	–	214	–	–
2	405	536	–	1 325	–	–	210	–	–
3	395	525	1 378	–	–	–	197	0,6	–
4	395	525	–	–	1 258	–	197	–	1
5	408	546	–	–	1 305	–	210		1
6	420	515	–	–	–	1 251	225	–	1
7	410	536	–	–	–	1 223	220	–	1
8	418	525	–	–	1 278	–	218	0,6	3
9	400	546	–	–	–	1 302	210	0,6	1
10	420	515	–	–	1 251	–	225	0,6	2
11	410	536	–	–	–	1 223	220	0,6	1

Следует отметить, что величина водопоглощения бетона зависит от стадии дробления бетонного лома (рис. 2). Так, трехстадийное дробление незначительно уменьшает водопроницаемость бетона, что соответственно приводит к повышению прочности при сжатии (рис. 1).

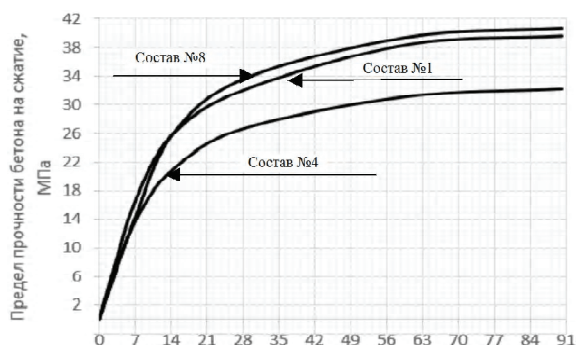


Рисунок 1 – Изменение прочности бетона во времени в условиях нормального твердения.

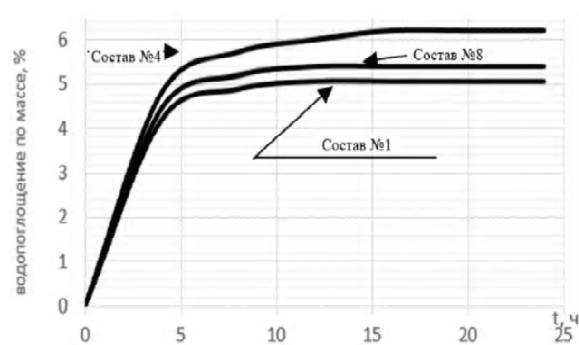


Рисунок 2 – Водопоглощение бетона.

С введением в состав бетонной смеси суперпластификатора (Полипласт СП-1) и щебня из дробленного бетона трехстадийного дробления с предварительным сухим перемешиванием щебня прочность бетона возрастает на 14...25 %.

Образцы бетона, изготовленные из перечисленных смесей, подвергались испытаниям после 3, 7, 14, 28, 60, 90 суток твердения в нормальных условиях на водопоглощение, прочность при сжатии и изгибе. Результаты испытаний приведены в таблицах 2, 3. Испытания проводились согласно действующим нормативным документам:

- ГОСТ 10180-90 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»;
- ГОСТ 12730.3-78 (2002) «Бетоны. Метод определения водопоглощения».

Контрольные образцы бетона на гранитном заполнителе имели прочность при сжатии 32,0 МПа, а при изгибе – 7,95 МПа.

Таблица 2 – Кинематика набора прочности бетона в естественных условиях

	Сутки, τ	3	7	14	28	60	90
Прочность при сжатии, МПа	Состав № 1	7,4	16,5	25,6	32	38,4	38,6
	Состав № 4	6,4	13,7	20,8	26,7	31,2	32,3
	Состав № 8	6,2	14,2	25,6	33,6	39,5	40,7

Таблица 3 – Свойства бетонов с использованием щебня из бетонного лома

№ состава	Водопоглощение, W_m %	Прочность при изгибе, МПа	Прочность при сжатии, МПа
1	5,08	7,85	32,0
4	6,20	8,12	26,7
8	5,40	7,50	33,6
10	5,52	7,80	30,1

ВЫВОДЫ

Результаты исследования физико-механических свойств бетона показали, что прочность бетона напрямую зависит от стадии дробления бетонного лома, а также от предварительного сухого перемешивания крупного заполнителя в смесителе, который способствует отделению слабо закрепленных частиц с поверхности крупного заполнителя.

Полученный вторичный заполнитель можно использовать в заводском производстве железобетонных изделий прочностью до 30 МПа.

Присутствие цементных кристаллических структур на поверхности заполнителя способствует повышению жесткости бетонных смесей, однако, играя роль центров кристаллизации, обеспечит эффективность твердения бетона в поздние сроки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чурсин, С. И. Особенности крупного заполнителя из лома тяжелых бетонов [Текст] / С. И. Чурсин, Е. А. Лобзанов // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2016. – Вып. 2016-3(119) Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – С. 71–75.
2. Муртазаев, А. Ю. Формирование структуры и свойств бетонов на заполнителе из бетонного лома [Текст] / А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова, М. И. Гишлакаева // Бетон и железобетон. – 2008. – № 5. – С. 25–28.
3. Егорочкина, И. О. Структура и свойства бетонов с компенсированной усадкой на вторичных заполнителях [Текст] : дис. на соискание научной степени канд. техн. наук : 05.23.05 / Инна Олеговна Егорочкина. – Ростов-на-Дону. – 1998. – 261 с.
4. Nixon, P. J. Recycled concrete as an aggregate for concrete a review [Текст] / P. J. Nixon // Materials and structures. RILEM. – 1978. – P. 1–11.
5. Surya, M. Recycled Aggregate Concrete for Transportation Infrastructure [Текст] / M. Surya, Kanta Rao V. V. L., P. Lakshmy // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2013. – Vol. 104. – P. 1158–11671.
6. Гусев, Б. В. Вторичное использование бетонов [Текст] / Б. В. Гусев, В. А. Загурский. – М. : Стройиздат, 1988. – 96 с.

Получено 19.05.2018

С. І. ЧУРСІН, Є. А. ЛОБЗАНОВ

БЕТОНІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАПОВНЮВАЧІВ З БРУХТУ ВАЖКИХ БЕТОНІВ

ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Дано короткий аналіз результатів досліджень властивостей бетонів на основі заповнювача з бетонного брухту. Визначено основні фактори впливу вторинного щебеню на властивості бетонної суміші і міцність бетону. Досліджено бетони з використанням крупного заповнювача з бетонного брухту. Показана ефективність переробки та використання брухту бетону з метою отримання вторинного заповнювача, який не поступається за своїми властивостями природному щебеню з граніту.

Ключові слова: бетонний лом, вторинний заповнювач, склади бетонів, пластифікатор, легкоукладальність бетонної суміші, міцність бетону.

SERGEY CHURSIN, IEVGEN LOBZANOV
CONCRETE USING FILLER FROM SCRAP CONCRETE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. A brief analysis of the results of studies of concrete properties on the basis of aggregate from concrete scrap is given. The main factors of influence of secondary crushed stone on the properties of concrete mix and strength of concrete are determined. Concretes were investigated using a large aggregate made of concrete scrap. The efficiency of processing and use of scrap of concrete is shown, in order to obtain a secondary aggregate, which is not inferior in its properties to natural granite.

Key words: concrete scrap, secondary aggregate, concrete compositions, plasticizer, concrete mix ability, concrete strength.

Чурсин Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка промышленных отходов в строительные материалы.

Лобзанов Евгений Андреевич – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: стройматериалы на основе бетонного лома.

Чурсін Сергій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка промислових відходів у будівельні матеріали.

Лобзанов Євген Андрійович – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будматеріали на основі бетонного лома.

Chursin Sergey – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: processing of industrial wastes in building materials.

Lobzanov Ievgen – Master's degree student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: building materials based on industrial waste.

УДК 691.322

Т. С. РЫЛОВА, С. В. ЛАХТАРИНА, Е. В. ЕГОРОВА

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

ЛЕГКИЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ БЕТОН С ПОВЫШЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ КОНСТРУКТИВНОГО КАЧЕСТВА

Аннотация. Разработаны составы легкого бетона с повышенным коэффициентом конструктивного качества, характеризующиеся пределом прочности при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения 46,1...65,3 МПа (ККК 25,2...33,1) и обеспечивающие получение бетонных смесей с показателем удобоукладываемости не менее П2. Исследовано влияние комбинации мелкого заполнителя керамзитового и гранитового песка, микрокремнезема, воздухововлекающей добавки на показатели подвижности бетонной смеси, средней плотности и предела прочности при сжатии бетона.

Ключевые слова: легкий конструкционный бетон, коэффициент конструктивного качества, удобоукладываемость, микрокремнезем, воздухововлекающая добавка.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из основных направлений технического прогресса в области строительства является создание бетонов высокого качества и долговечности.

Снижение материалоемкости и уменьшение массы строительных конструкций без потери их несущей способности и эксплуатационных свойств является одним из основных факторов повышения эффективности строительства.

Конструкционный легкий бетон классифицируется универсальным сочетанием физико-механических, теплофизических и эксплуатационных свойств, которое позволяет применять их в жилищном и общественном строительстве, для возведения высотных зданий и сооружений, железнодорожных и автомобильных мостов, большепролетных конструкций и при устройстве сложных архитектурных форм зданий и сооружений.

Применение высокопрочного бетона было успешно апробировано при возведении высочайшего небоскреба Мадрида – башня Пикассо, высотой 171 м ($\rho_0 = 1\ 650\ \text{кг/м}^3$, $R_{сж} = 45\ \text{МПа}$). Своеобразный рекорд прочности легкого бетона, уложенного в реальных конструкциях – 70 МПа при плотности 1 950 кг/м³, принадлежит норвежским специалистам, использовавшим такой бетон при строительстве нефтяной платформы «Хейдрун». Конструкционные легкие бетоны эффективно применяются в большепролетных несущих конструкциях, так в Норвегии был построен самый большой Северный мост «Nordhordland Bridge» длиной 1 246 м и «Stolma bridge» свободной консольной конструкции с длиной основного пролета 301 м. Южный фасад Кай-центра в Дюссельдорфе, выполняющий одновременно конструктивные, декоративно-архитектурные и теплоизоляционные функции (бетон класса LC 35/45 с плотностью 1 350 кг/м³) [1–2].

Основные преимущества легких конструкционных бетонов проявляется в следующем [3–4]:

- увеличение длины несущих конструкций, уменьшение толщины перекрытий, сечения колонн, сокращение веса здания и увеличение максимальной этажности за счет меньшего объемного веса;
- снижение материалоемкости строительства за счет сокращения расхода бетона и арматуры;
- повышенная морозостойкость, за счет термического сопротивления, что объясняется наличием замкнутых пор, снижающих температуру льдообразования внутри высокопрочного бетона;
- повышенное сцепление цементного камня с легким заполнителем, что в свою очередь препятствует образованию седиментационных пустот и обеспечивает эксплуатационную долговечность бетона;

- повышенное сцепление с арматурой, что на 15...20 % выше, чем с тяжелым бетоном;
- коррозионная стойкость арматуры в бетоне за счет медленного распространения карбонизации;
- более высокая плотность, водо- и газонепроницаемость микро- и мезоструктуры за счет низкого содержания капиллярных пор;
- медленная влагоотдача водонасыщенных легких заполнителей, которая обеспечивает бетону последующий «внутренний уход».

Конструкционные легкие бетоны характеризуются пределом прочности при сжатии от 34 до 69 МПа при значении средней плотности в высушенном состоянии согласно ASTM C 567 «Standard Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete» не более 2 000 кг/м³.

Согласно исследованиям голландских ученых замена легкого заполнителя плотным в количестве 10, 17,5 и 25 % приводит к повышению прочности по сравнению с исходным бетоном [5].

Использование дробленного водонасыщенного керамзита в качестве частичной замены плотных заполнителей способствует более полной гидратации вяжущего, формируя более плотную структуру цементного камня, в результате чего на 18 % повышается прочность бетона при сжатии, на 15...25 % снижаются деформации усадки и на 25 % повышается водонепроницаемость [6].

Согласно исследованиям, при частичной замене портландцемента микрокремнеземом наблюдается прирост прочности бетона за счет повышения плотности и жесткости матрицы строительного раствора, что обусловлено сцеплением между цементной матрицей и пористым заполнителем, а также уплотнением контактной зоны [3].

Согласно [4], при введении модификатора воздухововлекающего действия наблюдается повышение морозостойкости и водонепроницаемости бетона, но понижаются и прочностные свойства. При добавлении 1 % модификатора прочность снижается на 3 %.

Как отмечено в [7], за счет введения в керамзитобетонную смесь специальных добавок можно повысить морозостойкость керамзитобетона в 2...3 раза. Проведены натурные испытания конструкционного керамзитобетона в условиях Дальнего Севера (в естественных условиях на Кольском заливе на специальном стенде). В результате испытания в зоне переменного уровня моря керамзитобетон выдержал более 1 000 циклов переменного замораживания и оттаивания [8].

Именно из-за этих факторов сооружения из бетона, работающие в условиях высокой влажности и отрицательных температур, разрушаются еще до окончания срока их эксплуатации [9–10].

Целью настоящей работы является исследование влияния минеральной добавки в виде микрокремнезема и модификаторов – суперпластификатора и воздухововлекающей добавки, керамзитового песка в качестве частичной замены мелкого плотного заполнителя на показатели подвижности бетонных смесей, среднюю плотность и прочность бетонов.

Характеристики исходных материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные компоненты составов

№	Наименование	Свойства
1	Портландцемент М500 (ПЦ)	$R_n = 516 \text{ кгс/см}^2$; НГ = 25 %
2	Отсев дробления гранита (ОДГ)	$M_k = 3,2$, $\rho_n = 1\,429 \text{ кг/м}^3$
3	Песок керамзитовый (ПК)	$M_k = 3,5$, $\rho_n = 462 \text{ кг/м}^3$
4	Суперпластификатор (СП) Dynamon SR3	$\rho = 1,08 \text{ кг/л}$
5	Воздухововлекающая добавка Мареplast PT1	$\rho = 1,02 \text{ кг/л}$
6	Микрокремнезем Стахановского завода ферросплавов (МК)	содержание $\text{SiO}_2 > 85 \%$, удельная поверхность – $25 \text{ м}^2/\text{г}$, $\rho_n = 620 \text{ кг/м}^3$

Предел прочности при сжатии легкого конструкционного бетона определяли на образцах-кубах с размером ребра 7 см. Подвижность бетонной смеси измеряли стандартным методом по ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний». Составы и результаты исследований бетонных смесей и бетона представлены в таблице 2, параметры оптимизации состава цементной пасты и значения факторов варьирования – таблицы 3–4.

Уравнения регрессии аппроксимированы полиномами первой степени:

$$Y_1 = 45,72 - 6,5x_1 + 7,72x_2 - 4,99x_2x_3. \quad (1)$$

$$Y_2 = 1\,872 - 67,3x_1 + 17,4x_2 + 31,4x_1x_1 - 26,5x_2x_3. \quad (2)$$

Таблица 2 – Составы и результаты исследований бетонных смесей и бетона

№	Кодированное значение факторов			Натуральное значение факторов			Расход компонентов, кг				Y ₁ , МПа	Y ₂ , кг/м ³	Y ₃ , МПа	Y ₄ , см
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	ОДГ	КП	МК	В				
1	+1	+1	+1	0,2	20	40	676	185	122	0,92	46,1	1 828	25,2	7
2	+1	+1	-1	0,2	20	20	788	139	122	0,92	54,3	1 879	28,9	13
3	+1	-1	+1	0,2	10	40	676	185	61	0,92	30,4	1 783	17,2	12
4	+1	-1	-1	0,2	10	20	788	139	61	0,92	26,1	1 729	15,3	14
5	-1	+1	+1	0,1	20	40	676	185	122	0,31	48,1	1 877	25,6	14
6	-1	+1	-1	0,1	20	20	788	139	122	0,31	65,3	1 973	33,1	7
7	-1	-1	+1	0,1	10	40	676	185	61	0,31	52,8	1 959	26,9	5
8	-1	-1	-1	0,10	10	20	788	139	61	0,31	42,6	1 948	21,9	7
9	0	0	0	0,15	15	30	733	162	92	0,61	48,1	1 952	24,6	6
K1	0	-1	-	0,15	10	0	1 126	0	92	0,61	41,6	1 988	20,9	14
K2	-	-	-	0	0	0	1 126	0	0	0	21,8	2 096	10,5	16

Таблица 3 – Параметры оптимизации состава цементной пасты и их граничные значения

Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Единица измерения	Граничное значение функции отклика
Y ₁	Предел прочности при сжатии образцов бетона в возрасте 28 суток нормального твердения	МПа	Не менее 50
Y ₂	Средняя плотность бетона	кг/м ³	Не более 2000
Y ₃	Коэффициент конструктивного качества легкого бетона (ККК)	МПа	Не менее 25
Y ₄	Подвижность бетонной смеси	см	Не менее 10 см

Таблица 4 – Значение факторов варьирования

Код фактора	Физический смысл фактора	Единица измерения	Интервал варьирования	Уровни фактора		
				-1	0	+1
X ₁	Содержание воздухововлекающей добавки ВВ (% от массы вяжущего)	%	0,05	0,1	0,15	0,2
X ₂	Содержание микрокремнезема	%	5	10	15	20
X ₃	Содержание пористого заполнителя взамен плотного	%	10	20	30	40

$$Y_3 = 24,3 - 2,6x_1 + 3,9x_2 - 2,3x_2x_3. \quad (3)$$

$$Y_4 = 10,1 + 1,53x_1 - 1,89x_1x_2 - 1,79x_1x_3 + 0,78x_2x_3 - 1,7x_1x_2x_3. \quad (4)$$

Формулы перехода от кодированных значений к натуральным:

$$x_1 = \frac{x_1 - 0,05}{0,15}, \quad x_2 = \frac{x_2 - 5}{10}, \quad x_3 = \frac{x_3 - 30}{10}. \quad (5-7)$$

Графическая интерпретация уравнений регрессии (1), (2), (3) и (4), характеризующих соответственно изменение ККК, МПа, и предел прочности от действующих факторов (X₁, X₂, X₃) представлена на рисунке.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ВЫВОДЫ

Получены оптимальные составы легких бетонов с повышенным коэффициентом конструктивного качества, характеризующиеся пределом прочности при сжатии в возрасте 28 суток нормального твердения 46,1...65,3 МПа (ККК 25,2...33,1) и обеспечивающие получение бетонных смесей с показателем удобоукладываемости не менее П2.

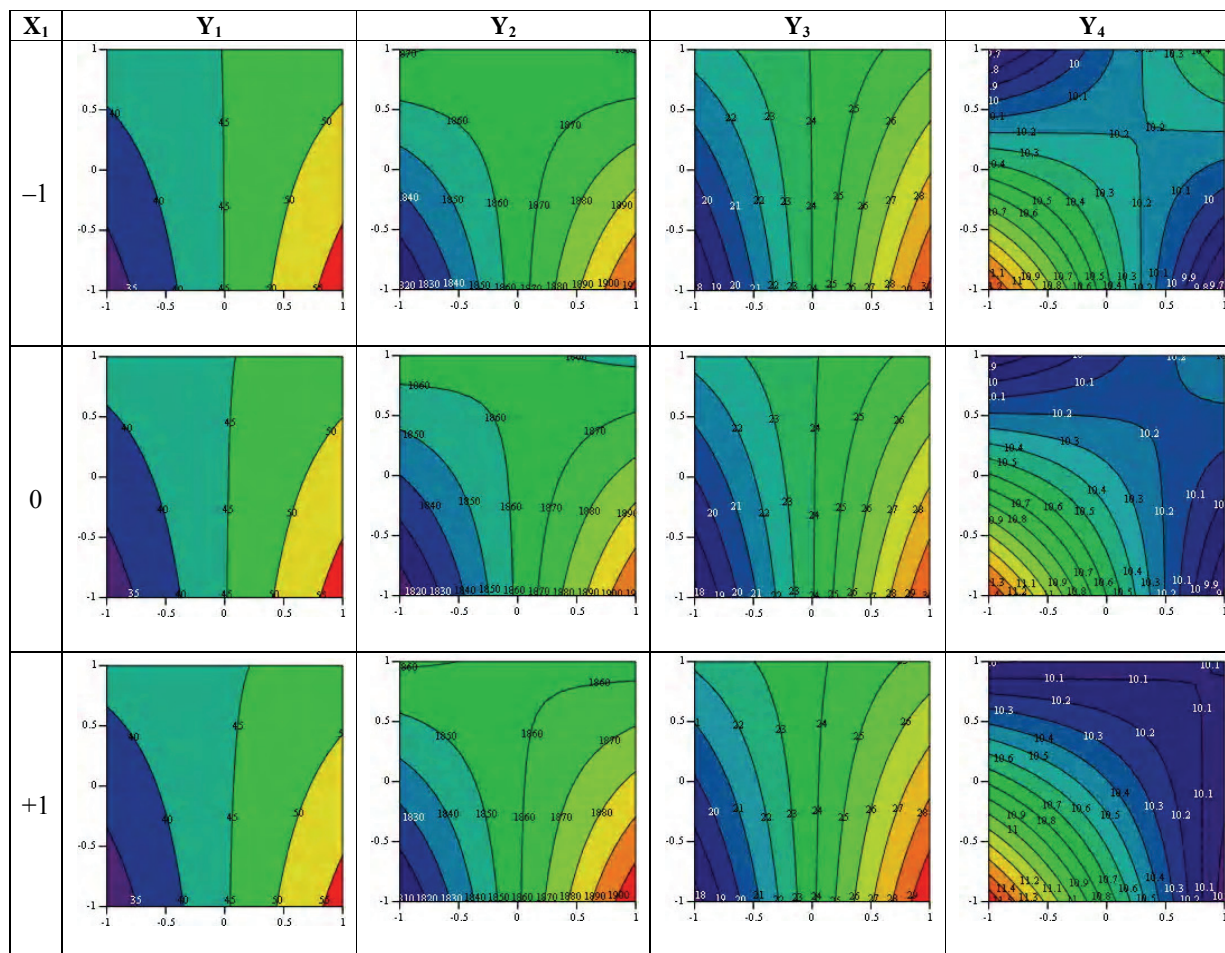


Рисунок – Графическая интерпретация уравнений регрессии (1), (2), (3) и (4) характеризующих соответственно изменение ККК, МПа, и предел прочности, от действующих факторов (X_1 , X_2 , X_3).

Установлено, что повышение содержания воздухововлекающей добавки в составах легких бетонов несущественно снижает показатели средней плотности легких бетонов (3,6 %) и одновременно приводит к снижению показателей прочности таких бетонов на 14,2 % и ККК на 11 %. В то же время увеличение содержания воздухововлекающей добавки приводит к существенному повышению (на 15,3 %) удобоукладываемости бетонных смесей.

Показано, что на значение предела прочности при сжатии наибольшее влияние оказывает фактор X_2 . Увеличение расхода микрокремнезема как частичной замены портландцемента, существенно повышает предел прочности при сжатии бетонов. Это, вероятнее всего, объясняется более высокой степенью гидратации цементного камня и образованием низкоосновных гидросиликатов кальция типа С-S-H. С другой стороны, увеличение содержания микрокремнезема приводит к снижению показателей удобоукладываемости бетонной смеси в связи с увеличением удельной поверхности твердой фазы.

В дальнейшем необходимо исследовать морозостойкость легких бетонов с воздухововлекающей добавкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tiong-Huan, WEE. Recent developments in lightweight high strength concrete with and without aggregates [Текст] / WEE Tiong-Huan // The Third International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations and Structural Implications, University of British Columbia, Vancouver. Canada, 2005. – P. 22–24.
2. Clarke, J. L. Structural Lightweight Aggregate Concrete [Текст] / J. L. Clarke. – London, Glasgow, New York, Tokyo, Melbourne, Madras : Blackie Academic & Professional, 2005. – 148 p.

3. Вальц, К. Конструктивный высокопрочный легкий бетон [Текст] / К. Вальц, Г. Вишерс. [Пер. с нем.]. – М. : Издательство литературы по строительству, 1969. – 80 с.
4. Фаликман, В. Р. Высокопрочный легкий бетон: технология и свойства [Текст] / В. Р. Фаликман, Ю. В. Сорокин, О. М. Горячев // Бетон и железобетон. – 2005. – № 2. – С. 8–11.
5. Hoff, G. C. The Use of Lightweight Fines for Internal Curing of Concrete [Текст] / G. C. Hoff. – Saddlewood Lane, Clinton, Mississippi : Hoff Consulting LLC, 2002. – 44 p.
6. 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.
7. Симонов, М. З. Основы технологии легких бетонов [Текст] / М. З. Симонов – М. : Издательство литературы по строительству, 1973. – 584 с.
8. Прокопец, В. С. Асфальтобетоны на основе пористых заполнителей Западной и Восточной Сибири [Текст] / В. С. Прокопец, В. Д. Галдина, Г. А. Подрез // Строительные материалы. 2009. – № 11. – С. 26–28.
9. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика [Текст] / В. Г. Батраков. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М. [б. и.], 1998. – 768 с.
10. Бужевич, Г. А. Долговечность легких бетонов на пористых заполнителях [Текст] / Г. А. Бужевич, Г. И. Горчаков // Всесоюзная конференция по легким бетонам : тезисы докладов. – М. : Гостройиздат, 1970. – С. 61–73.

Получено 07.05.2018

Т. С. РИЛОВА, С. В. ЛАХТАРИНА, О. В. ЕГОРОВА
ЛЕГКИЙ КОНСТРУКЦИОННЫЙ БЕТОН С ПОВЫШЕНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА
КОНСТРУКТИВНОГО КАЧЕСТВА
ДОНБАССКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Анотація. Розроблено склади легкого бетону з підвищенням коефіцієнта конструктивної якості, які характеризуються межею міцності при стиску у віці 28 діб нормального твердіння 46,1...65,3 МПа (ККК 25,2...33,1) і забезпечують отримання бетонних сумішей з показником легкоукладальності не менше П2. Досліджено вплив комбінації дрібного заповнювача керамзитового і гранітного піску, мікрокремнезем, повітряутворювальної добавки на показники рухливості бетонної суміші, середньої щільності і межі міцності при стиску бетону.

Ключові слова: легкий конструкційний бетон, коефіцієнт конструктивної якості, легкоукладальність, мікрокремнезем, повітряутворювальна добавка.

TATYANA RYLOVA, SERGEY LAKHTARYINA, OLENA YEGOROVA
LIGHTWEIGHT STRUCTURAL CONCRETE WITH AN INCREASED
COEFFICIENT OF STRUCTURAL QUALITY
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. Compositions of lightweight aggregate concrete with an increased coefficient of constructive quality, characterized by compressive strength at the age of 28 days of normal hardening of 46,1...65,3 MPa (KKK 25,2...33,1) and ensuring the production of concrete mixes with a workability index of at least P2 are developed. The influence of a combination of fine aggregate of expanded clay and granite sand, silicafume, air entrainment on the slump of the concrete mix, average density and the compressive strength of concrete is investigated.

Key words: lightweight structural concrete, coefficient of constructive quality, workability, silica fume, air entraining additive.

Рылова Татьяна Сергеевна – магистрант кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: легкие конструкционные бетоны.

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

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

Рилова Тетяна Сергіївна – магістрант кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: легкі конструкційні бетони.

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

Егорова Олена Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: самоущільнювальні бетони.

Rylova Tatyana – Master's degree student, Technologies of Building Structures, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: lightweight structural concrete.

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ВИШТОРСКИЙ Е. М. Оценка свойств некоторых пенообразователей для пенобетонов неавто- клавного твердения	121
ЗАГОРОДНЯЯ А. В. Теоретические закономерности формирования структуры литых асфальто- полимерсеробетонов	127
РОДЫГИНА М. М., ПАРАМОНОВА А. В. Прогнозирование ухудшения технического состояния строительной конструкции зданий производственного назначения на основе методики количест- венной оценки их технического состояния	133
КОВАЛЕНКО Д. С. Расширяющая добавка сульфоалюминатного типа на основе отходов про- мышленности для бетонов	139
НЕФЕДОВ В. В., ЗАЙЧЕНКО Н. М. Моделирование структуры композиционного полимерного материала на основе золы-уноса электростанций	145
ЛОБОДА Е. С., ЗАЙЧЕНКО Н. М. Количественная оценка развития напряжений в высококаче- ственных бетонах при стесненных условиях с агентом внутреннего ухода	149
ЗАЙЧЕНКО Н. М., ХРИСТИЧ Е. С. Композиционные цементы с высокой ранней прочностью	154
ЗАЙЧЕНКО Н. М., СОКОЛОВА А. А. Усадка и трещиностойкость дорожных цементных бето- нов с комплексным органоминеральным модификатором	161
ЕФРЕМОВ А. Н., ЛИЩЕНКО А. Н., БУКИНА Д. Ю. Бесклинкерные щелочные вяжущие и бе- тоны на основе зол и шлаков тепловых электростанций	166
ЕФРЕМОВ А. Н., ЛИЩЕНКО А. Н., БУНТЭ А. Л., МАЛИНИН Д. Г. Влияние вида золошлако- вых отходов тепловых электростанций (ТЭС) и условий твердения на активность портландце- мента	172
ЕФРЕМОВ А. Н., ХАУСТОВА В. В., БУКИНА Д. Ю. Композиционные шлакощелочные вяжу- щие на основе гидроксида натрия, доменного граншлака и золошлаковых отходов тепловых электростанций	177
ЕФРЕМОВ А. Н., БАХАНЕЦ Е. М. Композиционные шлакощелочные вяжущие на основе жид- кого стекла, доменного граншлака и золошлаковых отходов ТЭС	183
ЕФРЕМОВ А. Н., СТЕПАНОВА М. А. Сравнительные свойства шлакощелочных вяжущих на основе кальцинированной соды, вводимой в бетон в сухом виде и в виде водного раствора	189
ЕФРЕМОВ А. Н., МАЛИНИН Д. Г. Технологические и эксплуатационные свойства газобетонов с низким водотвердым отношением	194
КИЦЕНКО Т. П., ГУБАРЬ В. Н., БАЛАКИН Д. В., КАШИРИН А. В. Влияние гидроизоляцион- ной добавки «Пенетрон Адмикс» на формирование структуры и свойства бетона	199
ПЕТРИК И. Ю., ХРИСТИЧ Е. С., ГУБАРЬ В. Н., КОРНИЕНКО С. В. Влияние электростатиче- ской сепарации на дисперсность золы-уноса ТЭС	203
ЧУРСИН С. И., ПОЗДНЯКОВ А. В. Тяжелые бетоны с использованием модифицированного мелкого заполнителя из лома бетона	209
ЧУРСИН С. И., ЛОБЗАНОВ Е. А. Бетоны с использованием заполнителя из лома бетона	216
РЫЛОВА Т. С., ЛАХТАРИНА С. В., ЕГОРОВА Е. В. Легкий конструкционный бетон с повышен- ным коэффициентом конструктивного качества	221

ЗМІСТ

ВИШТОРСЬКИЙ Є. М. Оцінка властивостей деяких піноутворювачів для пінобетонів безавто- клавного твердіння	121
ЗАГОРОДНЯ А. В. Теоретичні закономірності формування структури литих дорожніх асфальто- полімерсіркобетонів	127
РОДИГІНА М. М., ПАРАМОНОВА А. В. Прогнозування погіршення технічного стану будівель- ної конструкції будівель виробничого призначення на основі методики кількісної оцінки їх тех- нічного стану	133
КОВАЛЕНКО Д. С. Розширювальна добавка сульфоломіноатного типу на основі відходів про- мисловості для бетонів	139
НЕФЕДОВ В. В., ЗАЙЧЕНКО М. М. Моделювання структури композиційного полімерного ма- теріалу на основі золи-винесення електростанцій	145
ЛОБОДА К. С., ЗАЙЧЕНКО М. М. Кількісна оцінка розвитку напружень у високоякісних бето- нах при обмежених умовах з агентом внутрішнього догляду	149
ЗАЙЧЕНКО М. М., ХРИСТИЧ К. С. Композиційні цементні з високою ранньою міцністю	154
ЗАЙЧЕНКО М. М., СОКОЛОВА Г. О. Усадка і тріщиностійкість дорожніх цементних бетонів з комплексним органомінеральним модифікатором	161
ЄФРЕМОВ О. М., ЛІЩЕНКО Г. М., БУКІНА Д. Ю. Безклінкерні лужні в'язучі і бетони на осно- ві зол і шлаків теплових електростанцій	166
ЄФРЕМОВ О. М., ЛІЩЕНКО Г. М., БУНТЕ Г. Л., МАЛИНІН Д. Г. Вплив виду золошлакових відходів теплових електростанцій (ТЕС) та умов твердіння на активність портландцементу	172
ЄФРЕМОВ О. М., ХАУСТОВА В. В., БУКІНА Д. Ю. Композиційні шлаколужні в'язучі на осно- ві гідроксиду натрію, доменного граншлаку і золошлакових відходів теплових електростанцій	177
ЄФРЕМОВ О. М., БАХАНЕЦЬ Є. М. Композиційні шлаколужні в'язучі на основі рідкого скла, доменного граншлаку та золошлакових відходів ТЕС	183
ЄФРЕМОВ О. М., СТЕПАНОВА М. О. Порівняльні властивості шлаколужних в'язучих на осно- ві кальцинованої соди, яка вводиться в бетон у сухому вигляді і у вигляді водного розчину	189
ЄФРЕМОВ О. М., МАЛИНІН Д. Г. Технологічні та експлуатаційні властивості газобетонів з низьким водотвердим відношенням	194
Т. П. КІЩЕНКО, ГУБАР В. М., БАЛАКІН Д. В., КАШИРІН О. В. Вплив гідроізоляційної до- бавки «Пенетрон Адмікс» на формування структури та властивості бетону	199
ПЕТРИК І. Ю., ХРИСТИЧ К. С., ГУБАР В. М., КОРНІЄНКО С. В. Вплив електростатичної се- парації на дисперсність золи-винесення ТЕС	203
ЧУРСІН С. І., ПОЗДНЯКОВ О. В. Важкі бетони з використанням модифікованого дрібного за- повнювача з брухту бетону	209
ЧУРСІН С. І., ЛОБЗАНОВ Є. А. Бетони з використанням заповнювачів з брухту важких бето- нів	216
РИЛОВАТ. С., ЛАХТАРИНА С. В., ЄГОРОВА О. В. Легкий конструкційний бетон з підвище- ним коефіцієнтом конструктивної якості	221

CONTENTS

VISHTORSKIY EVGENIY. Estimation of the Properties of Some Blowing Agents for Foam Concrete of Non-Autoclave Hardening	121
ZAGORODNYAYA ANASTASIA. The Theoretical Patterns of Formation of Cast Concrete Road Asphalt and Polymeric Sulfur Concretes Structure	127
RODYGINA MARIA, PARAMONOVA ANASTASIYA. Forecasting Deterioration of the Technical Condition of the Construction Structure of Industrial Buildings on the Basis of a Methodology for Quantifying their Technical Condition	133
KOVALENKO DENIS. Sulfoaluminate Type Expansion Agent Based on Industrial Wastes for Concretes	139
NEFEDOV VLADISLAV, ZAICHENKO MYKOLA. Structure Modeling of Composite Polymer Material Based on Fly Ash of Power Plants	145
LOBODA KATERYNA, ZAICHENKO MYKOLA. Quantitative Assessment of the Development of Stress in High-Performance Concrete in Restrained Conditions with an Internal Curing Agent	149
ZAICHENKO MYKOLA, KHRYSTYCH KATERYNA. High Early Strength Composite Cements	154
ZAICHENKO MYKOLA, SOKOLOVA ANNA. Shrinkage and Crack Resistance of Road Cement Concretes with a Complex Organomineral Modifier	161
YEFREMOV ALEXANDER, LISHENKO ANNA, BUKINA DARYA. Non-Clinker Alkaline Binders and Concretes Based on Ashes and Slags of Thermal Power Plants	166
YEFREMOV ALEXANDER, LISHCHENKO ANNA, BUNTE ANNA, MALININ DENIS. Influence of Ash and Slag Wastes of Thermal Power Plants (TPP) and Conditions of Hardening on Portland Cement Activity	172
YEFREMOV ALEXANDER, VALERIA HAUSTOVA, DARYA BUKINA Composite Slag-Alkaline Binders Based on Sodium Hydroxide, Blast-Furnace Granulated Slag and Ash-Slag Waste of Thermal Power Plants	177
YEFREMOV ALEXANDER, BACHANETS EVGENII. Composite Slag-Alkali Binders Based on Liquid Glass, Blast Furnace Slag and Ash and Slag Wastes of TPP	183
YEFREMOV ALEXANDER, STEPANOVA MARIYA. Comparative Properties of Luminous Binders on the Basis of Soda Ash, Introduced in Concrete in the Dry and as Water Solution	189
YEFREMOV ALEXANDER, MALININ DENIS. Technological and Operational Properties of Cellular Concretes with Low Water-Hardening Ratio	194
KITSENKO TATYANA, GUBAR VIKTOR, BALAKIN DENIS, KASHIRIN ALEXANDR. Influence of a Waterproofing Additive «Penetron Admix» on Formation of Structure and Properties of Concrete	199
PETRIK IRINA, KHRISTICH KATERYNA, GUBAR VICTOR, KORNIENKO SERGEY. The Influence of Electrostatic Separation to the Dispersion of Fly Ash Thermal Power Plant	203
CHURSIN SERGEY, POZDNYAKOV ALEXANDR. Heavy Concrete with the Usage of a Modified Fine Aggregate from Scrap Concrete	209
SERGEY CHURSIN, LOBZANOV IEVGEN. Concrete Using Filler from Scrap Concrete	216
RYLOVA TATYANA, LAKHTARYINA SERGEY, YEGOROVA OLENA. Lightweight Structural Concrete with an Increased Coefficient of Structural Quality	221