

По окончании проведения эксперимента, определены значения влажности теплоизоляционных материалов. Из полученных зависимостей следует, что среднее значение влажности материала на основе соломы составляет 19 % и превышает на 58 % показатель влажности материала на основе смеси соломы и костры льна равный 12 %. Следует отметить, что участок наибольшего увлажнения утеплителей по сравнению с утеплителем расположенным в колодцевой кладке смещается в толщу теплоизоляционных плит, что связано с вертикальной циркуляцией воздуха вдоль наружной поверхности плит способствующей испарению влаги из поверхностных слоев утеплителя.

Костросоломенные плиты обладают высокими технологическими характеристиками. Плиты одинаково хорошо подвергаются распилу ручной пилой, бензопилой и циркуляционной пилой. После распила на поверхности плит отсутствуют сколы на углах и ребрах по грани распила. Грань распила имеет сплошную ровную поверхность, минимальная толщина отпиливаемого фрагмента плиты равна 20 мм. Также плиты легко сверлятся при помощи ручных и электрических дрелей. Структура костросоломенного каркаса в объеме плиты вокруг отверстия не нарушается, что позволяет обеспечить жесткое крепление утеплителя к стене дюбель-гвоздями при устройстве вентилируемой системы утепления. Присутствие жидкого стекла положительно влияет на сохранность плит от воздействия мелких грызунов.

Результаты натурных исследований подтвердили эффективность применения костросоломенных плит в качестве утеплителя для зданий находящихся в климатической зоне Придвинского края. Костросоломенные плиты возможно применять для утепления зданий с деревянным и легким стальным каркасом, для кирпичных стен с колодцевой кладкой и стен с вентилируемой системой утепления, а также для утепления чердачных перекрытий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Харатишвили, И.А. Прогрессивные строительные материалы / И.А. Харатишвили, И.Х. Наназашвили. – М. : Высшая школа, 1987. – 232 с.
2. Марков, В.В. Первичная переработка льна и других лубяных культур / В.В. Марков. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 375 с.
3. Руди, Кунц Теплодом из соломенных блоков / Руди Кунц. – 2008 г. – 102 с.
4. Lithuanian Straw Bale Buildings [Электронный ресурс] : Renewable energy information consultation center. – Режим доступа <http://www.siaudunamai.lt/en>. - Дата доступа : 27.04.2014.
5. Жуков, Д. И на селе нужны здания с низким энергопотреблением / Д. Жуков // АгроБаза. – 2007. - № 1. С. 14–15.
6. Широков, Е.И. Экотехнология биопозитивных ограждающих конструкций из соломенных блоков в Беларуси. В 2 ч. Ч. 1. Экодома из соломы: технология строительства / Е.И. Широков. - Минск : Адукацыя і выхаванне, 2007. – 40 с.
7. Техническая информация о щитах [Электронный ресурс] : сайт ЗАО «Экококон». – Режим доступа : <http://www.ecosocn.lt/russian/соломенные-щиты/техническая-информация-о-щитах>. – Дата доступа : 02.02.2015 г.

УДК 691.32:657.479.3

#### К ВОПРОСУ О СНИЖЕНИИ СЕБЕСТОИМОСТИ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА

**к. т. н., доц. О.В. ЛАЗАРЕНКО; Н.Л.ШПИЛЕВСКАЯ**  
**Полоцкий государственный университет, Новополоцк**

*Применение самоуплотняющегося бетона (СУБ) - одно из приоритетных направлений в современном строительстве. Несмотря на снижение энергозатрат при производстве железобетонных конструкций, высокие физико-механические свойства, СУБ более дорогой материал по сравнению с обычным виброуплотненным железобетоном. Одним из решений данной проблемы является использование вторичных продуктов промышленности в качестве сырьевых компонентов СУБ. Изучено влияние шлама водоочистки ТЭЦ на кинетику набора прочности цементного камня, введение его совместно с гиперпластификатором. Показана возможность применения шлама водоочистки в качестве дисперсного наполнителя, определено оптимальное содержание наполнителя и гиперпластификатора.*

Использование самоуплотняющихся бетонов (СУБ) в современном строительстве –одно из наиболее значимых достижений строительных технологий последних лет. СУБ - бетон, свойства которого определя-

ются безвибрационным уплотнением бетонной смеси, способной растекаться, полностью заполнять опалубочную полость и уплотняться под собственным весом [1].

История самоуплотняющегося бетона началась в Японии в 1990 году. Благодаря уникальным свойствам и преимуществам этого бетона, он быстро распространился в направлении Западной Европы.

Обобщая накопленный опыт по использованию СУБ, европейские организации VIBM, SEMBUREAU, ERMCO, EFCA, EFNARC в 2005 году разработали документ «Европейские нормы для разжиженной самоуплотняющейся смеси», в котором регламентированы технические характеристики и потребительские качества конструкций, изготовленных из самоуплотняющегося бетона; установлены требования к исходным материалам и составу бетона, представлены рекомендации по его использованию [2].

В результате исследований в области самоуплотняющегося бетона в Беларуси и России появились Технический кодекс установившейся практики «Изделия и конструкции из самоуплотняющегося бетона. Правила изготовления» [1] и Стандарт организации «Добавки на основе эфиров поликарбоксилатов для изготовления вибрационных и самоуплотняющихся бетонов» [3], в которых представлены требования к самоуплотняющемуся бетону, указания по назначению технологических режимов производства бетонных работ, методика проектирования состава бетона с учетом характеристик растекаемости бетонной смеси, прочности и деформативности бетона, кинетики набора прочности при заданных температурно-влажностных условиях.

Важное отличительное свойство современных самоуплотняющихся бетонных смесей является отсутствие водоотделения и расслоения при ее высокой текучести. В зависимости от способа обеспечения стойкости к расслаиванию и водоотделению выделяют два основных типа самоуплотняющихся бетонных смесей: мелкодисперсный тип (значительное увеличение содержания мелкодисперсной фракции по сравнению с обычным бетоном); стабилизирующий тип (использование стабилизирующих добавок).

В первом типе самоуплотняющихся бетонных смесей высокая раздвижка зерен крупного и мелкого заполнителя достигается за счет введения в состав бетона тонкого инертного или активного наполнителя, сопоставимого по дисперсности с вяжущим. При этом многими исследователями приоритет отдается активным минеральным добавкам, изготавливаемым по безопасным технологиям с использованием местных сырьевых ресурсов либо вторичным продуктам и техногенным отходам различных отраслей промышленности, которые не только выполняют функцию загустителей но и активизируют процессы гидратации вяжущего, способствуют увеличению объема и степени кристалличности образующихся гидратов. К ним относятся известняковые и доломитовые порошки, молотый доменный шлак, зола-унос или кремнистые уносы, микрокремнезем, метакаолин. Химический анализ большинства наполнителей позволяет сделать вывод о том, что основными соединениями, входящими в их состав, являются карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  и основной карбонат магния  $3\text{MgCO} \cdot \text{MgOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Установлено, что в сравнении с цементно-гипсевой композицией введение порошка известняка позволяет сократить сроки схватывания и снизить водопотребление вяжущего [4].

Проведенные исследования [5] влияния карбонатных наполнителей на прочность цемента, при одинаковой удельной поверхности равной  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ , позволили установить функциональную зависимость образования гидрокарбоалюмината кальция от степени дисперсности наполнителей.

В работе [6] установлено, что при введении в портландцементы карбонатсодержащей добавки с удельной поверхностью  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ . в количестве 5 - 10 % наполнитель не оказывает существенного влияния на изменение водовяжущего отношения, приводит к замедлению сроков схватывания и повышает прочность композиции на 15 - 20 %. При дозировке наполнителя до 15 % прочность находится на уровне значения цементного камня без добавки.

По данным [7] введение 30 % тонкодисперсного карбонатного наполнителя в высокоалюминатный цемент позволяет получить композиции не уступающие по прочности цементному камню без добавки.

В работах [8,9], установлено, что оптимальная удельная поверхность наполнителя должна превышать удельную поверхность цемента на  $1200 - 2000 \text{ см}^2/\text{г}$ . При этом образуется более высокая плотность цементного камня, что способствует повышению физико-механических свойств бетона и раствора.

Учеными [10] установлено, что оптимальное содержание известняковой муки с размером частиц 0,9 мм- 7% от массы цемента, при этом максимальное увеличение прочности цементного камня -15 %.

В отдельных исследованиях отмечается, что тонкость помола наполнителя незначительно влияет на прочность растворов и бетонов, твердеющих в нормальных условиях. Так в работе [11] предлагается использовать рядовой цемент с удельной поверхностью  $3000 - 3500 \text{ см}^2/\text{г}$  и известняк с удельной поверхностью  $1800 - 2000 \text{ см}^2/\text{г}$ . и расходом 30 - 35 % от массы вяжущего, что дает возможность получить цементные композиции по своим свойствам не уступающие цементным составам без наполнителя.

По результатам исследований [12], применение карбонатного наполнителя с удельной поверхностью 1500 см<sup>2</sup>/г в количестве 20 % от массы цемента, влияет на снижение закрытой пористости и повышение степени кристаллизации новообразований в структуре цементного камня.

Следует отметить, что большинство минеральных добавок получают путем механической, термической обработки или их сочетания, что приводит к увеличению стоимости СУБ по сравнению с бетоном аналогичного вида. Разница в цене составляет от 13 до 18 Евро за 1 кубический метр.

В связи с этим актуальным является использование в качестве добавок и активных наполнителей в СУБ твердых и пастообразных вторичных продуктов в виде шламов, образующихся после обезвреживания заводских стоков предприятий различных отраслей промышленности и требующих утилизации [13]. При этом особое внимание следует уделять вторичным продуктам стабильного химического и минералогического состава. Наибольший интерес представляют шламы водоочистки тепловых электростанций, образующийся в результате известкования и коагуляции сточных вод ТЭЦ.

В Республике Беларусь наиболее остро вопрос утилизации шлама стоит в Витебской области. На территории региона образуется 3,2 тыс. т. шлама в год, что составляет практически половину от всего получаемого объема в стране. Основной объем шлама – 2,9 тыс. т. образуется на Новополоцкой ТЭЦ. В ряде работ приведены результаты научных исследований, связанных с использованием шлама водоочистки ТЭЦ.

В работе [14] показано, что использование отхода водоочистки с влажностью 40 % приводит к замедлению схватывания цементного теста в среднем на 4 часа, снижению прочности цементного камня на 25 %. Установлены оптимальные дозировки высушенного и помолотого шлама водоочистки в количестве 2,5-7,5 % при совместном введении его с поликарбоксилатным пластификатором Melflux в дозировке 0,6 %, при этом прочность цементного камня возрастает на 12 % на 7 сутки твердения.

В исследованиях [15] получены результаты по использованию шлама водоочистки в качестве наполнителя в песчаные СУБ. Выявлено, что применение в СУБ шлама эффективно в количестве не превышающем 7,5%, причем совместно с 15% микрокремнезема.

Чупшев В.Б. [16] предложил использовать шламовые отходы ТЭС без дополнительной их обработки от 2,5 до 3,0% взамен части кварцевого песка, при этом снизилась плотность бетонной смеси, себестоимость продукции, улучшились показатели по морозостойкости и водоотделению.

Анализ результатов многочисленных исследований по использованию в цементных композициях карбонатных наполнителей показывает:

- имеются разные точки зрения по эффективности, оптимальной дисперсности и расходу наполнителей, отсутствуют единые рекомендации, в каждом конкретном случае данные показатели определяются экспериментальным путем;

- шлам водоочистки ТЭЦ в качестве тонкодисперсного наполнителя может использоваться при изготовлении самоуплотняющегося бетона, но необходимо исследовать эффект от его введения на свойства компонентов бетонной смеси и бетона.

Для установления процентного содержания шлама в вяжущей композиции «цемент-дисперсный наполнитель» проведены исследования прочности и нормальной густоты композиций на поргланцементе ПЦ500- Д0 производства ОАО «Красносельскстройматериалы» с R ц-50 МПа, истинной плотностью 3200 кг/м<sup>3</sup>, Кн.г.-0,27 и шламе водоочистки Новополоцкой ТЭЦ.

Шлам - вторичный продукт водоподготовки, получают в результате устранения жесткости воды на тепловых электроцентралях и котельных путем известкования, обработки сульфатом железа и осветления. Высушенный и размолотый шлам, имел максимальный размер частиц 80 мкм, истинную плотность 2510 кг/м<sup>3</sup>, насыпную плотность 870 кг/м<sup>3</sup>. Основными соединениями, входящими в его состав, являются карбонат кальция (CaCO<sub>3</sub>) в количестве 63,7 - 69,8 % и основной карбонат магния (3MgCO·MgOH·2H<sub>2</sub>O) – 6,4 - 10 %. Состав шлама водоочистки в сухом состоянии практически не изменяется относительно пастообразного состояния материала [17].

Наполнитель вводили в количестве от 10 до 40 % от массы цемента. Прочность определяли на образцах-кубиках нормального твердения размером 20х20х20 мм. Результаты исследований приведены в таблице 1 и на рисунках 1, 2, 3.

Таблица 1. Прочность и нормальная густота цементных композиций

№ состава	Расход наполнителя, % от массы цемента	Прочность, МПа		Нормальная густота
		7 суток	28 суток	
1	-	36,19	48.71	0,27
2	10	25,53	43.54	0,29

3	20	25.81	39.82	0,30
4	30	24.14	36.63	0,33
5	40	20.93	33.80	0,35

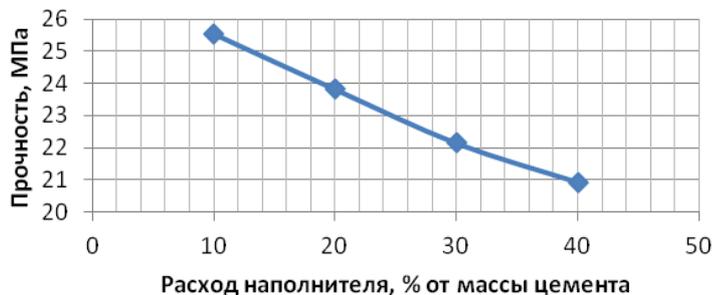


Рисунок 1. Изменение прочности в зависимости от расхода наполнителя (7 суток)



Рисунок 2. Изменение прочности в зависимости от расхода наполнителя (28 суток)



Рисунок 3. Изменение нормальной плотности в зависимости от расхода наполнителя

Анализ полученных результатов позволяет установить, что увеличение дозировки наполнителя приводит к увеличению показателя нормальной плотности по сравнению с бездобавочным составом и снижению прочности цементных композиций с наполнителем. Так прочность составов 2-5, содержащих наполнитель в количестве 20 - 40 % от массы цемента, в возрасте 28 суток снизилась на 11, 18, 24, 31%. Для дальнейших исследований нами принят состав № 3. Выбор обусловлен оптимальным сочетанием количества дисперсного карбонатного наполнителя, которое определено многочисленными предыдущими исследованиями, необходимостью утилизации отхода, возможностью снижения себестоимости СУБ. Повышенный расход воды при введении шлама возможно компенсировать за счет применения в СУБ гиперпластификаторов.

Как известно, прочность на сжатие бетона и кинетика набора прочности при прочих равных условиях зависят от прочности и объемной концентрации в бетоне цементного камня. В этой связи выполнялись ис-

следования влияния содержания дисперсного наполнителя, гиперпластификатора на кинетику набора прочности цементного камня. Для исследований принята добавка Стахемент-2000-М Ж30 с дозировкой 0,25-0,35%. Количество шлама принято 20% взамен вводимого цемента. Были изготовлены составы цементного теста с одинаковым относительным водосодержанием равным 1.

Результаты исследований приведены в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2. Влияние шлама и гиперпластификатора на кинетику набора прочности цементного камня.

Шифр состава	Прочность образцов, МПа, при температуре 20°C		
	1 сутки	3 сутки	7 сутки
К	≤7,97	36,08	41,82
Ст 0,3	≤10,54	38,85	48,17
Ст 0,25+Ш	≤3,79	22,89	35,71
Ст 0,3+Ш	≤5,67	25,73	41,18
Ст 0,35+Ш	≤5,59	24,55	39,29

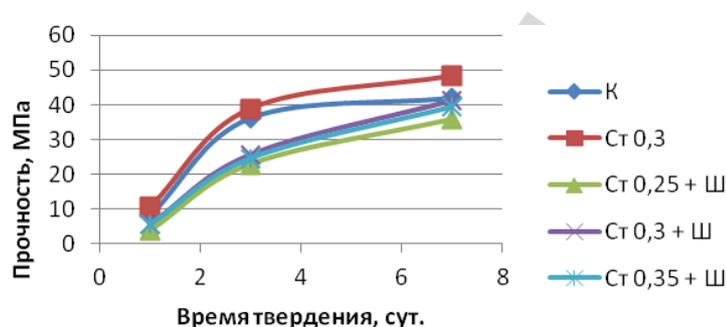


Рисунок 4. Кинетика набора прочности цементного камня, модифицированного различными химическими добавками при выдерживании в нормально-влажностных условиях

Таким образом, как видно из рис. 4 применение повышенной дозировки добавки Стахемент в количестве 0,35 % не позволяет получить необходимого эффекта прироста прочности, максимальная дозировка гиперпластификатора принята 0,3 %.

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности эффективного применения наполнителя на основе шлама совместно с гиперпластификатором в цементных композициях.

На основе полученных результатов были предложены ограничения по процентному содержанию шлама и гиперпластификатора ГП Стахемент в дозировках 20 % и 0,3 % соответственно. Дальнейшие исследования будут направлены на получение оптимального состава самоуплотняющегося бетона с использованием рассмотренных добавок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бетонные и железобетонные изделия и конструкции из самоуплотняющегося бетона. Правила изготовления. ТКП 45-5.03-266-2012. – Введ. 20.08.12. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2013. – 28 с.
2. Европейский нормативный документ по самоуплотняющемуся бетону: DAfStb-RichtlinieSelbsverdichtenderBeton (SVB-Richtlinie). Ausgabe November 2005.
3. Добавки на основе эфиров поликарбоксилатов для изготовления вибрационных и самоуплотняющихся бетонов. СТО 70386662-306-2013. – Введ. 27.05.2013. – Москва, 2013. – 67 с.
4. Об использовании карбонатных пород кальция в качестве добавок к портландцементу / В.Н. Юнг [и др.] // Промышленность строительных материалов. – 1940. – № 2. – С. 23–31.
5. Будников, П.П. О гидратации алюмосодержащих минералов портландцемента в присутствии карбонатных наполнителей / П.П. Будников, В.М. Колбасов, А.С. Пантелеев // Цемент. – 1961. – № 1. – С. 5–9.
6. Медяник, Ю.В. Смешанное вяжущее с наполнителем из шлама водоумягчения для сухих штукатурных смесей : дисс. ... к.т.н. : 05.23.05 / Ю.В. Медяник. – Казань, 2003. – 158 с.
7. Тимашев, В.В. Свойства цементов с карбонатными добавками / В.В. Тимашев, В.М. Колбасов // Цемент. – 1981. – № 10. – С. 10–12.

8. Величко, Е.Г. Об оптимальной технологии изготовления вяжущих материалов с применением минеральных добавок / Е.Г. Величко, В.А. Пискарев, В.М. Лукьянович // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева. – 1984. – том 29. – № 3. – С. 111–113.
9. Величко, Е.Г. Физико-механические и методологические основы получения многокомпонентных систем оптимизированного состава / Е.Г. Величко, Ж.С. Белякова // Строительные материалы. – 1996. – № 3. – С. 27–30.
10. Бердов, Г.И. Повышение свойств композиционных строительных материалов введением минеральных микронаполнителей / Г.И. Бердов [и др.] // СтройПРОФИ. Рубрика. Бетонные технологии и жбк. – 2012. – № 3. – С. 57–60.
11. Гбего-Тосса, АогнибоЖильбер Наполненные строительные растворы для использования в условиях народной Республики Бенин :дисс. ... к.т.н. : 05.23.05 / АогнибоЖильберГбего-Тосса. – Москва, 1988. – 140 с.
12. Марданова, Э.И. Многокомпонентные цементы с добавками из местного минерального сырья :дисс. ... к.т.н. : 05.23.05 / Э.И. Марданова. – Казань, 1995. – 224 с.
13. Тараканов, О.В. Перспективные направления применения минеральных шламов в производстве строительных материалов / О.В. Тараканов, Т.В. Пронина, А.О. Тараканов // СтройПРОФИль. – 2007. – № 1. – С. 32–36.
14. Авксентьев В.И. Влияние шлама химической водоочистки в комплексе с суперпластификатором на физико-механические свойства цементного камня / Авксентьев В.И., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. // Известия КГАСУ. -2014.-№ 4.- С. 249-254.
15. Авксентьев В.И. Шлам химической водоочистки - эффективный наполнитель в самоуплотняющихся песчаных бетонах / Авксентьев В.И., Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г. // Известия КГАСУ. -2015.- № 1.- С. 119-126.
16. . Патент № 2258052. Бетонная смесь. Чупшев В. Б.. [Электронный ресурс]. – 2015.-Режим доступа: <http://bd.patent.su/2258000-2258999/pat/servlet/servletd2f6.html>. – Дата доступа: 12.10.2015.
17. Бакатович, А.А. Кладочные растворы с пластифицирующей добавкой на основе шлама водоочистки: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / А.А. Бакатович. – Новополоцк, 2002. – 157 с.

УДК 666.944.21:666.972

## НИЗКОКАЛЬЦИЕВЫЕ ЗОЛЫ ТЭС В ЦЕМЕНТАХ И БЕТОНАХ

*к.т.н., доц. Л.М. ПАРФЕНОВА; М.А. ПОДОЛЯК*  
 Полоцкий государственный университет, Новополоцк

*Определена проблема увеличения количества зол-уноса и золошлаковых смесей, получаемых при сжигании торфа. Показано, что золы торфа по химико-минералогическому составу относятся к низкокальциевым. Отмечены рациональные области применения низкокальциевых зол-уноса и золошлаковых отходов тепловых электростанций (ТЭС): в производстве вяжущих веществ автоклавного твердения, в качестве гидравлической добавки к цементам, а также заполнителя в тяжелых и ячеистых бетонах. Отражены этапы развития технологии геополимеров. На основе аналитического обзора научных исследований установлено, что к основным факторам, влияющим на прочность геополимерных вяжущих, относятся вид и количество активатора твердения, соотношение в сырьевых материалах Si/Al, режимы тепловлажностной обработки. Имеющиеся данные о химико-минералогическом составе золы от сжигания торфа показывают перспективность ее применения в качестве алюмосиликатного компонента геополимерного вяжущего.*

**Введение.** В Республике Беларусь наиболее широкое применение среди местных видов топлива получил торф. До 1960 года он был основным видом топлива, на котором работало большинство электростанций. В 1974 году максимальная добыча торфа в Беларуси составила 16,8 млн. т, из них 9,1 млн. т топливного торфа и 7,7 млн. т торфа для нужд сельского хозяйства. В последующие годы произошла постепенная переориентация объектов энергетики, населения Беларуси с заменой торфа на другие виды топлива, в частности, газ и мазут. А к концу 80-х годов планомерно торф исключается из теплоэнергетики. Вследствие чего объемы добычи торфа и производство брикетов резко сократилось. В 2001 году эти показатели составляли, соответ-