

Лесовик В. С., член-корр. РААСН д-р. техн. наук, проф.,  
Агеева М. С., канд. техн. наук,  
Иванов А. В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ГРАНУЛИРОВАННЫЕ ШЛАКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

ageevams@yandex.ru

Исследовано влияние удельной поверхности, тепловлажностной обработки на сроки схватывания и прочность композиционного вяжущего с использованием шлака. Установлено, что увеличение удельной поверхности вяжущих с одной стороны, и уменьшение части клинкерной составляющей с другой при условии ТВО, приводит к тому, что прочностные показатели композиционных вяжущих с различным количеством добавки шлака в качестве наполнителя приближаются друг к другу и становятся практически одинаковы при  $S_{уд}=550 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

**Ключевые слова:** шлак, композиционное вяжущее, сроки схватывания, удельная поверхность.

В последние годы в России происходит динамичное развитие жилищного строительства. Современный подход к строительству жилья предполагает создание эффективных строительных материалов пониженной себестоимости. На сегодняшний день цементная промышленность относится к числу наиболее материало- и энергоёмких отраслей народного хозяйства. Материальные затраты в себестоимости вяжущего достигают 68 %, в том числе затраты на топливо составляют 23 % и на электроэнергию – 11,8 %. Поэтому одним из актуальных направлений является экономия цементного вяжущего как наиболее дорогостоящего компонента бетонной смеси [1-3].

Основным направлением в решении этой задачи является производство многокомпонентных вяжущих, при получении которых расход топлива и клинкера сокращается на 25-30% по сравнению с чистоклинкерными цементами. В настоящее время накоплен большой опыт по выпуску вяжущих с использованием активных минеральных добавок. Поэтому проявляется большой интерес к расширению их ассортимента, изысканию возможностей использования промышленных отходов [4].

Одним из эффективных материалов в части экономии цемента является тонкомолотый доменный гранулированный шлак. Данный материал достаточно хорошо изучен как активная минеральная добавка в цементы, кроме того,

шлак является основным компонентом при получении шлакощелочных вяжущих и изделий на их основе. При его использовании параллельно решается экологическая проблема.

Химический состав доменных шлаков зависит от вида и свойств железных руд, качества кокса, флюсов и вида выплавляемого чугуна. По содержанию окислов доменные шлаки близки к цементу, при этом их минералогический состав существенно отличается от минералогического состава портландцементного клинкера.

Известно, что для производства шлаковых цементов можно применять основные, а также кислые шлаки (при  $M_0 > 0,65$ ), богатые глинозёмом. Так называемый модуль активности шлака, выражающийся отношением  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 : \% \text{SiO}_2$  должен быть у основных шлаков больше 0,17, а у кислых – больше 0,33 [5].

Нами были проведены исследования по возможности применения доменного гранулированного шлака при производстве композиционных вяжущих (КВ). Для получения вяжущих были использованы следующие материалы: Новолипецкий доменный гранулированный шлак с  $M_0 = 1,14$  и  $M_a = 0,2$  (табл. 1), портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108–2003. Вяжущие получали путем совместного помола компонентов до удельной поверхности от  $S_{уд}=550 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Состав вяжущего менялся в зависимости от содержания шлака.

Таблица 1

Химический состав Новолипецкого шлака

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	Ma	Mo
37,087	7,288	0,646	41,401	9,397	1,835	0,529	0,351	0,287	0,102	0,2	1,14

Для определения влияния вяжущих на свойства бетонных смесей были определены сроки схватывания различных их видов (рис. 1)

Установлено, что у вяжущих с большей удельной поверхностью происходит уменьшение периода схватывания и времени начала и конца схватывания вне зависимости от количе-

ства вводимых наполнителей, что связано с увеличением гидратационной активности вяжущих с увеличением удельной поверхности по сравнению с исходным цементом. Так при

$S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$  время начала схватывания составляет от 4 ч 07 мин до 4 ч 25 мин, тогда как при  $S_{уд}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$  эти значения сокращаются – от 1 ч 40 мин до 2 ч 10 мин.

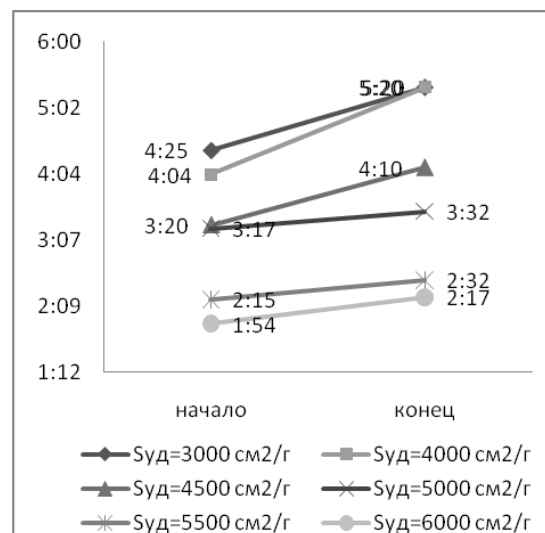
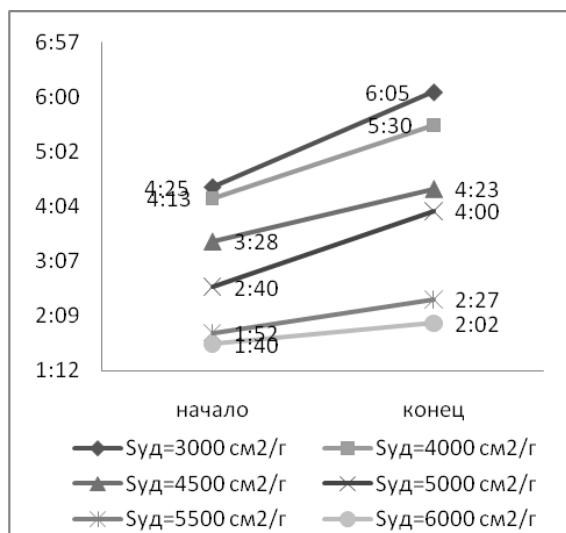
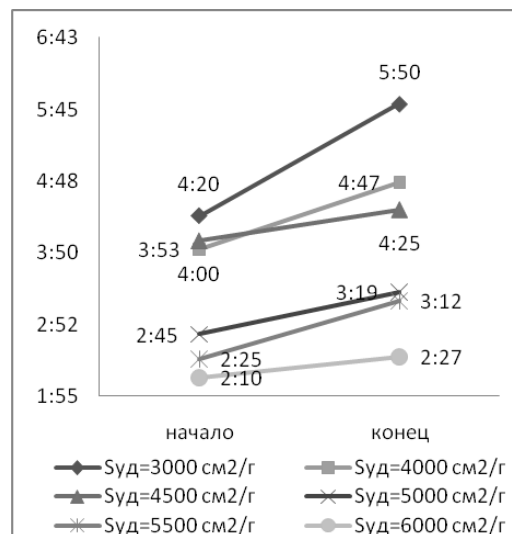
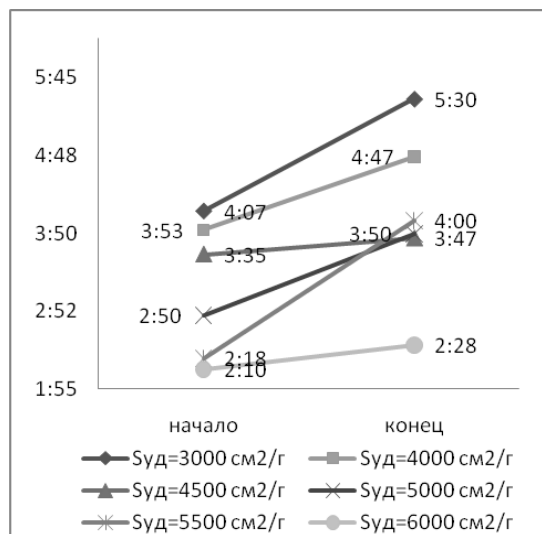


Рисунок 1. Сроки схватывания многокомпонентных вяжущих

Причем при удельной поверхности 300-400 м<sup>2</sup>/кг вяжущее с 30% шлака имеют самые поздние начало и конец схватывания по сравнению с вяжущими с другим содержанием наполнителя, а при  $S_{уд}=550-600 \text{ м}^2/\text{кг}$  эти значения минимальны.

Тогда как у вяжущих с 10% шлака наоборот при удельной поверхности 300-400 м<sup>2</sup>/кг наблюдаются самые ранние начало и конец схватывания по сравнению с вяжущими с другим содержанием наполнителя, а при  $S_{уд}=550-600 \text{ м}^2/\text{кг}$  эти значения возрастают до максимального значения.

Активность вяжущих определялась на стандартных образцах - балочках 4×4×16см, изготовленных из состава 1:3 (вяжущее : стандартный песок). Испытания проводились по ГОСТ 310.1÷4 (рис. 2).

Как и следовало ожидать, в целом при твердении в естественных условиях максимальные прочностные показатели имеют вяжущие с минимальным содержанием шлака. У всех вяжущих наблюдается увеличение значений прочностных показателей с ростом удельной поверхности, что объясняется повышением гидратационной активности как клинкера, так и самого шлака. Причем кривые отображающие активность вяжущих в 28-суточном возрасте с 10, 20 и 30 % шлака максимально приближены друг к другу, но при этом все так же соответствуют общей зависимости максимальных прочностных показателей у вяжущих с минимальным содержанием шлака. Это говорит о том, что в ранние сроки твердения прочность вяжущих нарастает неодинаково, а уже к 28-суточному возрасту

гидратация шлака происходит более интенсивно.

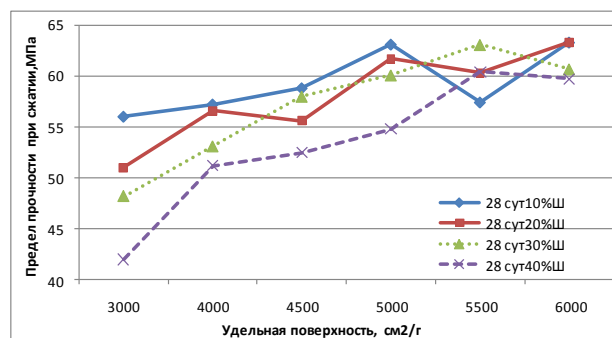
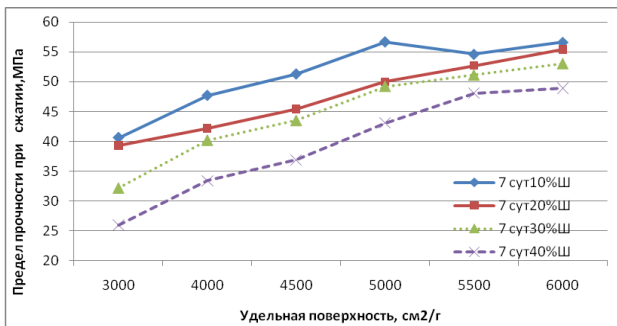
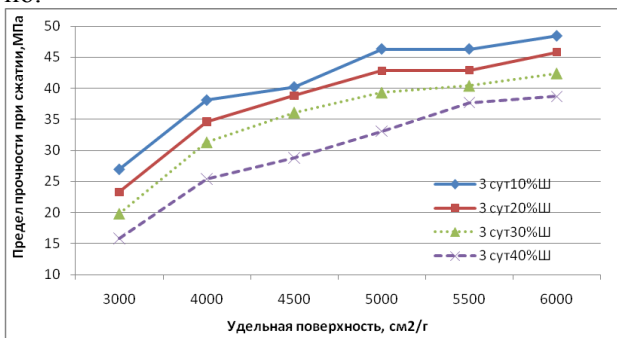


Рисунок 2 Кинетика набора прочности при сжатии вяжущих в зависимости от удельной поверхности

У вяжущего с 10 % шлака также максимальная прочность достигается при  $S_{уд}=500$  м<sup>2</sup>/кг. Далее она аналогичным образом начинает

резко снижаться ( $S_{уд}=550$  м<sup>2</sup>/кг), а затем ( $S_{уд}=600$  м<sup>2</sup>/кг) снова повышается, но до меньших значений, чем при  $S_{уд}=500$  м<sup>2</sup>/кг.

Таким образом, практически доказано, что при содержании шлака в композиционном вяжущем 30 % и выше наиболее эффективно проводить помол до  $S_{уд}=550$  м<sup>2</sup>/кг, тогда как при значениях 10-20 % шлака - этот показатель снижается до 500 м<sup>2</sup>/кг.

Также были проведены исследования по выявлению влияния тепловлажностной (ТВО) обработки на прочностные показатели разработанных вяжущих.

Было установлено, что ТВО позволяет значительно повысить активность шлака и, соответственно, комплексного вяжущего на его основе только при условии помола свыше 500 м<sup>2</sup>/кг (рис. 3-4).

У вяжущих с 40 % шлака с увеличением удельной поверхности прочности нарастают плавно и имеют максимумы при  $S_{уд}=550$  м<sup>2</sup>/кг в любом возрасте.

Такая же картина наблюдается у вяжущего с 30 % шлака в возрасте 28 сут. Однако в 3-х и 7-ми суточном возрасте прочность продолжает незначительно нарастать и при  $S_{уд}=600$  м<sup>2</sup>/кг.

У вяжущего с 20 % шлака для 3-х и 28-ми суточных образцов максимальная прочность достигается при  $S_{уд}=500$  м<sup>2</sup>/кг. Далее она начинает резко снижаться ( $S_{уд}=550$  м<sup>2</sup>/кг), а затем ( $S_{уд}=600$  м<sup>2</sup>/кг) снова повышается до таких же значений как и при  $S_{уд}=500$  м<sup>2</sup>/кг. У 7-ми суточного вяжущего показатели прочности продолжают нарастать плавно без пиков от  $S_{уд}=400$  м<sup>2</sup>/кг до  $S_{уд}=600$  м<sup>2</sup>/кг.

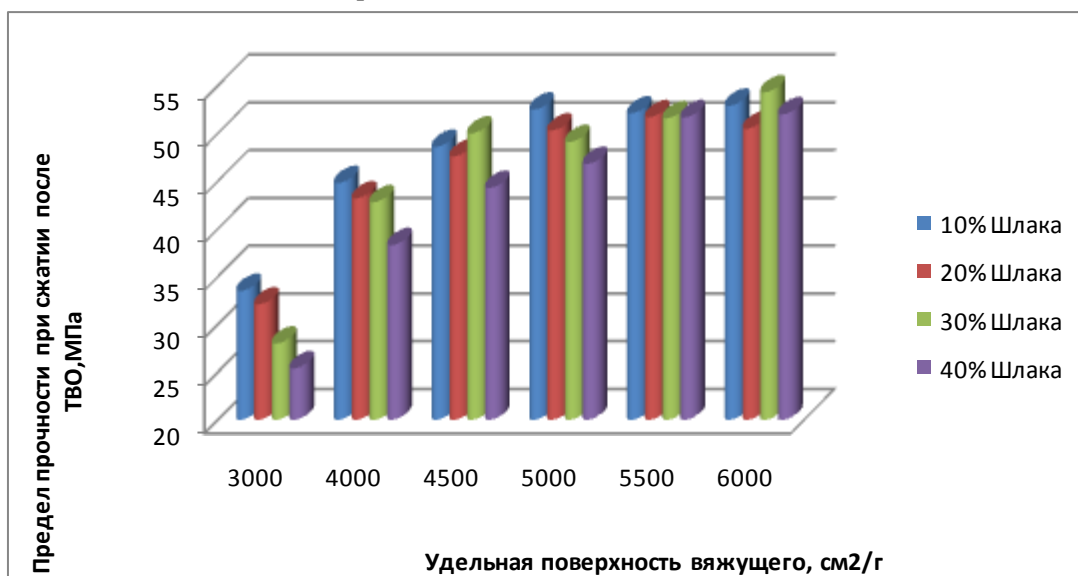


Рисунок 3. Кинетика набора прочности вяжущих при сжатии в зависимости от удельной поверхности после пропаривания

Так при пропаривании образцов увеличение удельной поверхности вяжущих с одной стороны, и уменьшение части клинкерной составляющей с другой, приводит к тому, что прочностные показатели композиционных вяжущих приближаются друг к другу и становятся

практически одинаковы при  $S_{уд}=550 \text{ м}^2/\text{кг}$  (около 52 МПа). А уже при  $S_{уд}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$  прочности вяжущих с 20 и 40 % шлака начинают снижаться, а с 10 и 30% шлака незначительно возрастают до 54, 3 МПа.

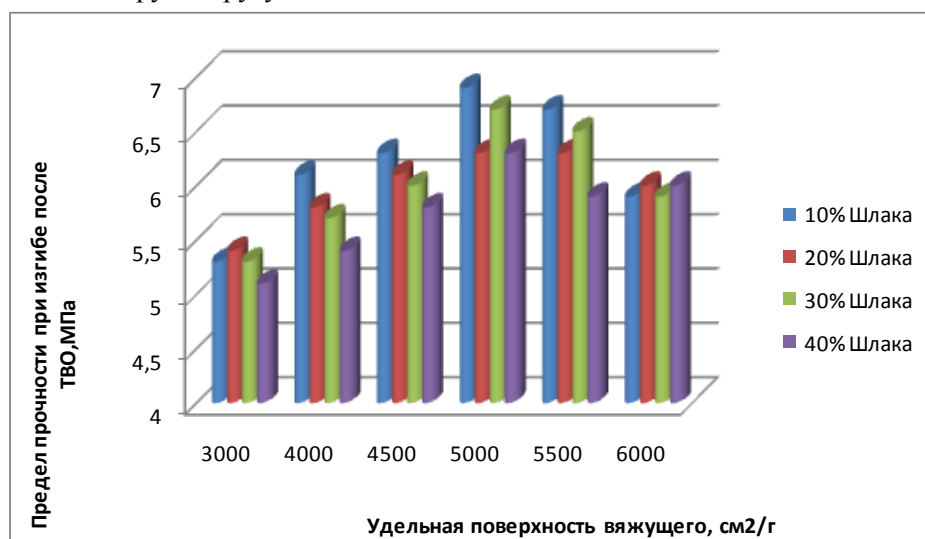


Рисунок 4. Кинетика набора прочности вяжущих при изгибе в зависимости от удельной поверхности после пропаривания

Интересно, что при изгибе одинаковые значения прочностей наблюдались у вяжущих при  $S_{уд}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$  и  $S_{уд}=600 \text{ м}^2/\text{кг}$  и являлись наиболее минимальными. Максимальные же значения прочностей при изгибе были получены при  $S_{уд}=500 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

На основе полученных вяжущих возможно получение мелкозернистых бетонов, которые могут найти успешное применение при производстве тротуарной плитки, стеновых блоков и других изделий.

Таким образом, установлено, что у вяжущих с большей удельной поверхностью происходит уменьшение периода схватывания и времени начала и конца схватывания вне зависимости от количества вводимых наполнителей. При твердении в естественных условиях максимальные прочностные показатели имеют вяжущие с минимальным содержанием шлака. При этом для вяжущих с содержанием шлака 30 % и выше целесообразно проводить помол до  $S_{уд}=550 \text{ м}^2/\text{кг}$ , тогда как при значениях 10-20 % шлака - этот показатель соответствует  $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Экспериментально установлено, что увеличение удельной поверхности вяжущих с одной стороны, и уменьшение части клинкерной составляющей с другой при условии ТВО, приводит к тому, что прочностные показатели композиционных вяжущих с различным количеством добавки шлака в качестве наполнителя приближа-

ются друг к другу и становятся практически одинаковы при  $S_{уд}=550 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юдович, Б.Э. Цементы низкой водопотребности – вяжущие нового поколения / Б.Э. Юдович, А.М. Дмитриев, С.А. Зубехин, Н.Ф. Башлыков и др. // Цемент и его применение. – 1997.–№7-8.– с.15-18.
2. Суханов, М.А., Ефимов С.И. и др. Новые пути использования отходов металлургической и энергетической промышленности в технологии вяжущих веществ / М.А. Суханов, С.И. Ефимов и др. // Строительные материалы. — 1991г.– №8.–22-23с.
3. Лесовик, Р.В. Мелкозернистые бетоны для дорожного строительства с использованием отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов./ Р.В. Лесовик -Автореф. дис. ...канд. тех. наук. – Белгород 2002. – 26 с.
4. Алехин, Ю.Л. Экономическая эффективность использования вторичных ресурсов в производстве строительных материалов./ Ю. Л. Алехин, А. М. Люсов — М.: Стройиздат, 1988. — 344 с.
5. Мусин, В.Г. Состав и свойства смешанных вяжущих на основе металлургических шлаков и полимерных добавок. / В.Г. Мусин //«Строительные материалы.- 1991.- № 2.- С. 7-8.