5. MC-Bauchemie компания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mc-bauchemie.ru/products/tovarniy-beton.546/. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 30.05.2016).

6. Каталог продукции BASF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nt-stroy.ru/pdfdoc/buklet/basf-katalog-produkcii.pdf. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 30.05.2016).

7. SIKA RUSSIA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rus.sika.com/ru/solutions_products/stroy/proizvodstvo_betona/02a001sa99/02a001sa99100/02a001sa99105.html. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 29.05.2016).

8. Штайнберг Хеми. Новейшие химические добавки в технологии бетонов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://shtainberg.ru/. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 29.05.2016).

9. Полипласт. Химические добавки. Смеси сухие строительные. Клеевые материалы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.polyplast-un.ru/products/stroitelnaya-otrasl/dobavki-dlya-betonov/protivomoroznyie-dobavki.html. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения: 30.05.2016).

**Буйко О.В.** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные материалы» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: olparis@mail.ru.

УДК 691.32

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАНЯЕМОСТИ УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ БУРОУГОЛЬНЫХ ЗОЛ-УНОСА

**О. В. Буйко, Е. И. Кириченко, А. К. Логинова**
Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

*Смешанные цементно-зольные вяжущие при высоком содержании в них буроугольной высококальциевой золы привлекательны для производства бетонных и железобетонных изделий с экономической точки зрения, но имеют ряд технологических недостатков. Одной из проблем являются короткие сроки сохранения удобоукладываемости бетонных смесей на подобных вяжущих. Возможный путь решения задачи – применение замедляющих схватывание добавок. В статье приведены данные исследований по определению влияния на изменение во времени подвижности смешанных вяжущих и бетонных смесей с содержанием золуноса более пятидесяти процентов.*

***Ключевые слова:*** *портландцемент, буроугольная высококальциевая зола (ВКЗ), смешанное вяжущее, органические кислоты, бетонная смесь, сроки схватывания, удобоукладываемость, бетон, прочность.*

В настоящее время сложно представить процесс производства бетонных смесей без использования химических и минеральных добавок. Применение химических добавок при производстве бетона позволяет значительно снизить расход цемента, изменить удобоукладываемость бетонной смеси, повысить прочностные и эксплуатационные характеристики. Кроме того, для современного строительства является актуальной разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий, например, применение промышленных отходов в качестве сырья для производства строительных материалов. Но такие материалы имеют ряд особенностей, которые снижают их популярность среди производителей ЖБИ.

Золы-уноса ТЭЦ получили наибольшее распространение в качестве техногенных активных минеральных добавок в бетон или портландцемент. Применение в портландцементных бетонах высококальциевых зол (ВКЗ) от сжигания буроугольных зол ТЭЦ целесообразно с экономической точки зрения, однако приводит к ряду технологических проблем. В первую очередь это связанно с нестабильностью химического состава ВКЗ. Второй момент – это свободный оксид кальция, который при введении золы в бетонную смесь оказывает существенное влияние на её реологические характеристики.

Для получения смешанных вяжущих в работе применялся рядовой ЦЕМ II/А-Ш 32,5Н ГОСТ 31108-2003 (ПЦ400Д20), а также

буроугольные золы-уноса с содержанием CaO свободного от 3,1-5,5%. Высококальциевая зола без замедляющих добавок имеет очень короткие по сравнению с портландцементом (ПЦ) сроки схватывания: 2-7 минут – начало, 5-14 минут – конец схватывания. В связи с этим, применение таких материалов в качестве самостоятельного или основной части комплексного портландцементного вяжущего проблематично.

Существует ряд химических добавок, позволяющих регулировать сроки схватывания портландцементных материалов. Эти добавки были применены в эксперименте для увеличения продолжительности времени до начала структурообразования и в зольных системах.

Сахара хорошо известны как вещества, которые, при введении в портландцементные материалы, приводят к существенному замедлению их структурообразования, вплоть до полного прекращения гидратации. При введении сахара в дозировке от 0,1 до 1% в чистозольные системы наблюдается увеличение продолжительности схватывания в 2-8 раз по сравнению с ВКЗ без добавки (рисунок 1), однако общая продолжительность сроков схватывания не превысила 15 минут.

Такие органические кислоты, как муравьиная, лимонная, винная являются хорошо известными замедлителями структурообразования портландцементных систем. В работе применялись винная (ВК) и лимонная (ЛК) кислоты. Их дозировка в чистозольных системах варьировалась от 0,1 до 1% от массы золы.

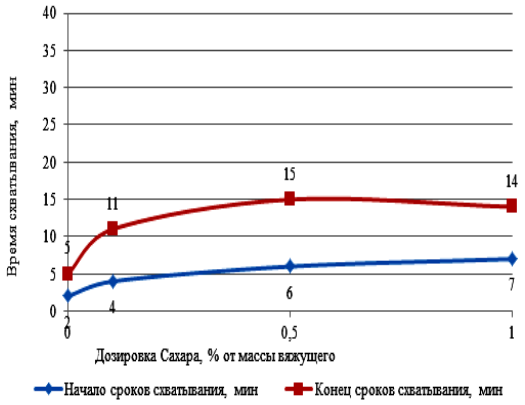


Рисунок 1 – Сроки схватывания чистозольных систем при введении добавки-замедлителя сахара в различной дозировке от массы ВКЗ

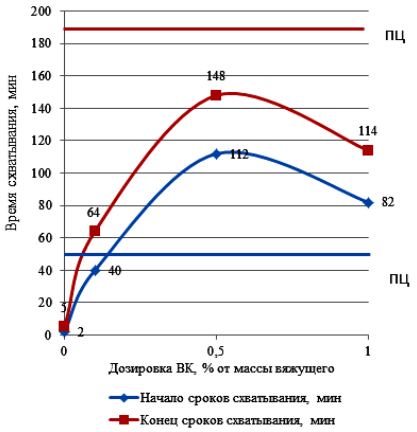


Рисунок 2 – Сроки схватывания чистозольных систем при введении винной кислоты с дозировкой от 0,1 до 1%

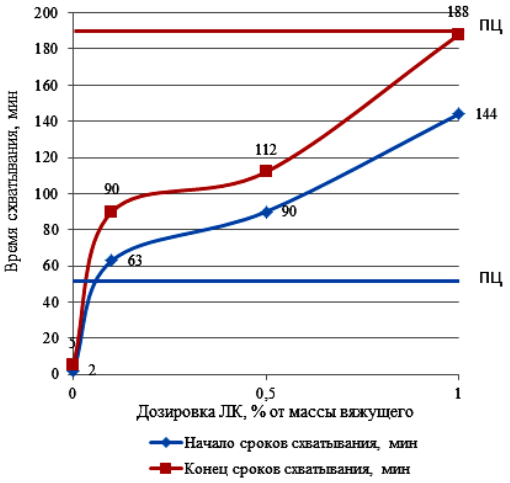


Рисунок 3 – Сроки схватывания чистозольных систем при введении лимонной кислоты с дозировкой от 0,1 до 1%

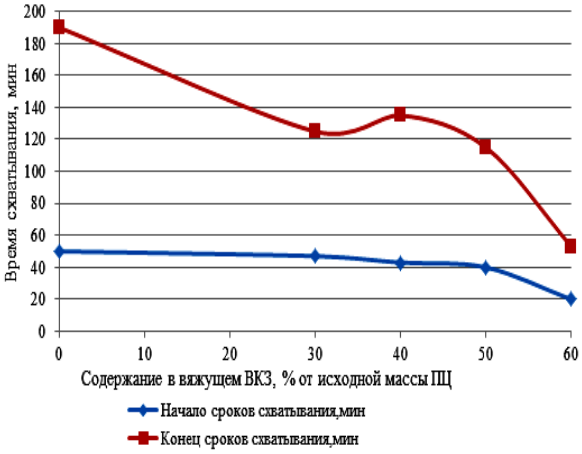


Рисунок 4 – Сроки схватывания смешанных цементно-зольных композиций без замедляющих компонентов

Результаты эксперимента показали, что ВК и ЛК являются хорошими замедлителями не только для цементных, но и для зольных систем (рисунки 2, 3). Повышенная дозировка (более 0,1% от массы вяжущего) органических кислот приводит к существенному, даже по сравнению с «чистым» ПЦ, увеличению промежутка времени до начала схватывания на 20-180%, то есть до 60-140 минут, в зависимости от вида и количества введённой в ВКЗ добавки. При этом время от начала до конца схватывания составляет всего лишь 20-40 минут.

При отсутствии замедляющих добавок смешанное цементно-зольное вяжущее имеет более длительные по сравнению с чисто-зольными системами сроки начального структурообразования (таблица 1). Но по сравнению с «чистым» цементом эти сроки, особенно конец схватывания, значительно короче.

Комплексное цементно-зольное вяжущее при относительно небольшом количестве буроугольной золы (до 40%) обладает практически такими же сроками схватывания, как и «чистый» портландцемент и не требуют дополнительного замедления. Заметное изменение темпов начального структурообразования у смешанных составов наблюдается при замене портландцемента на 40% и более золой-уноса. При этом начало схватывания у смешанных композиций незначительно отличаются от «чистого» ПЦ, но конец схватывания уменьшается в 2-3 раза (рисунок 4).

При увеличении в составе смешанного вяжущего количества высококальциевой буроугольной золы происходит пропорциональное сокращение времени как до начала, так и до конца процесса начального структурообразования. Однако высокие концентрации органических замедлителей в составе ПЦ материалов приводят не только к замедлению схватывания, но и твердения, а это оказывает существенное влияние на величину как ранней, так и поздней прочности затвердевших образцов. Поэтому дозировка таких веществ должна быть строго ограничена.

Таблица 1 – Сроки схватывания смешанных цементно-зольных композиций

| Состав вяжущего | | Сроки схватывания | |
|---|---|---|---|
| ПЦ,% | ВКЗ,% | Начало | Конец |
| 100 | 0 | 50 мин | 190 мин |
| 70 | 30 | 47 мин | 125 мин |
| 60 | 40 | 43 мин | 135 мин |
| 50 | 50 | 40 мин | 115 мин |
| 40 | 60 | 20 мин | 53 мин |

Таблица 2 – Прочность цементно-зольных составов, твердевших при тепловлажностной обработке

| Состав вяжущего | | ВК,% | ЛК,% | Прочность, МПа образцы 2x2x2 см, твердение в условиях ТВО (режим 3+6+3 ч, t=60$^0$C) | |
|---|---|---|---|---|---|
| ПЦ,% | ВКЗ,% | | | 1$^{е}$ сутки после ТВО | 28$^{ые}$ сутки дополнительного твердения в н.у.* после ТВО |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 23 | 89 |
| 0 | 100 | 0 | 0 | 14 | 30 |
| 50 | 50 | 0 | 0 | 17 | 62 |
| 50 | 50 | 0,1 | 0 | 8 | 37 |
| 50 | 50 | 0 | 0,1 | 3 | 41 |

*Примечание:* * – н.у.: нормальные условия твердения (влажность ≈100%, температура +20 ±2$^o$C)

Результаты экспериментов (таблица 2), проведенных на образцах из портландцементного, зольного и смешанного цементно-зольного вяжущего показали, что на величину прочности составов, полученную сразу после тепловлажностной обработки (ТВО), присутствие замедлителей оказывает даже большее значение, чем снижение в составе вяжущего количества портландцемента. В процессе дальнейшего твердения роль винной и лимонной кислоты перестает быть определяющей в темпе набора прочности образцов и на первый план выходит величина замещения портландцемента золой.

При нормальных условиях твердения (рисунок 5) очень четко прослеживается влияние состава вяжущего и наличия замедляющих добавок на темпы набора и конечную величину прочности образцов.

Составы на смешанном вяжущем, состоящем из 50% портландцемента и 50% высококальциевой золы, приобретают к 28 суткам почти пропорционально содержанию портландцемента сниженные значения прочности, хотя в начальный период (1-3 сутки) нормального твердения величина и скорость набора прочности аналогична «чистоцементному» составу (рисунок 5). Наличие в составе композиций лимонной или винной кислоты еще более снижает величину приобретаемой образцами прочности.

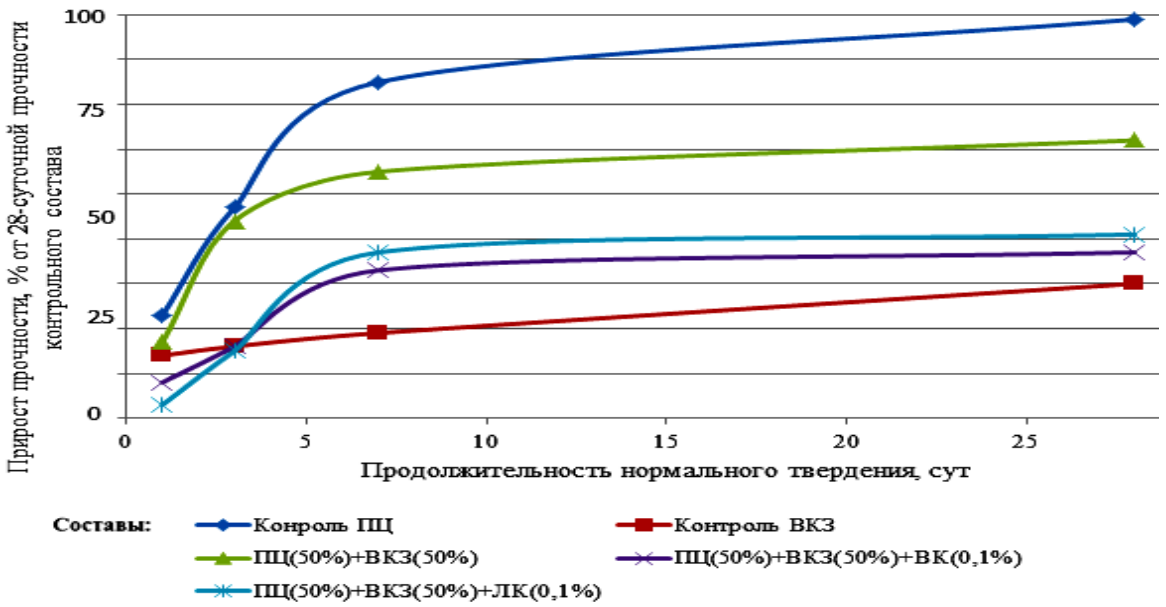


Рисунок 5 – Влияние лимонной и винной кислот на набор прочности в нормальных условиях смешанного высокозольного портландцементного вяжущего

Таким образом, применение смешанного высокозольного портландцементного вяжущего при содержании в нем более 40 % буроугольной золы, для получения приемлемых сроков схватывания обязательно должно сопровождаться введением замедляющих компонентов, причём в таких дозировках, которые существенно не понизят его прочностные характеристики.

Анализ сохраняемости удобоукладываемости бетонных смесей проводился с учетом результатов, полученных при исследовании зольного и цементно-зольного вяжущего. Для исследования был выбран состав, содержащий 50% портландцемента и 50% ВКЗ, как наиболее приемлемый и с экономической, и с технологической точки зрения. Расход материалов для бетонных смесей был принят с учетом получения марки по подвижности смеси П2 и П4, при проектной марке бетона М350 (В25). В соответствии с ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности» за показатель сохраняемости подвижности принимают время, в минутах, в течение которого смесь в процессе своего выдерживания после окончания перемешивания теряет подвижность в пределах:

| Начальная осадка, см | Конечная осадка, см |
|---|---|
| 8 | 2 |
| 16 | 10 |

Результаты эксперимента на бетонных смесях П2 (В25) показали, что при замене половины портландцемента на буроугольную золу дозировка добавок-замедлителей достаточная в составах на вяжущем, не обеспечивает сохранения проектной подвижности бетонной смеси в течение хотя бы 45 минут (таблица 3).

Более подвижная бетонная смесь (П4) при наличии в ней тех же замедлителей теряет свою удобоукладываемость не так значительно, как бетонная смесь П2. Через 30 минут от начала затворения бетонная смесь П2 имела около 30% от начальной осадки конуса, а бетонная смесь П4 через те же 30 минут – около 40-60% (таблицы 3, 4).

Дополнительное введение в бетонную смесь П4 суперпластификатора С-3 для снижения водовяжущего отношения привело к изменению эффективности замедлителей: в суперпластифицированных смесях более высокую величину сохраняемости обеспечила добавка не лимонной, а винной кислоты (рисунок 6). Однако общее время допустимой величины удобоукладываемости также не превысило 30 минут.

## ВЫВОДЫ

1. Смешанное цементно-зольное вяжущее при содержании в нем высококальциевых зол-уноса более 40% для получения требуемой продолжительности схватывания требует введения замедляющей добавки.

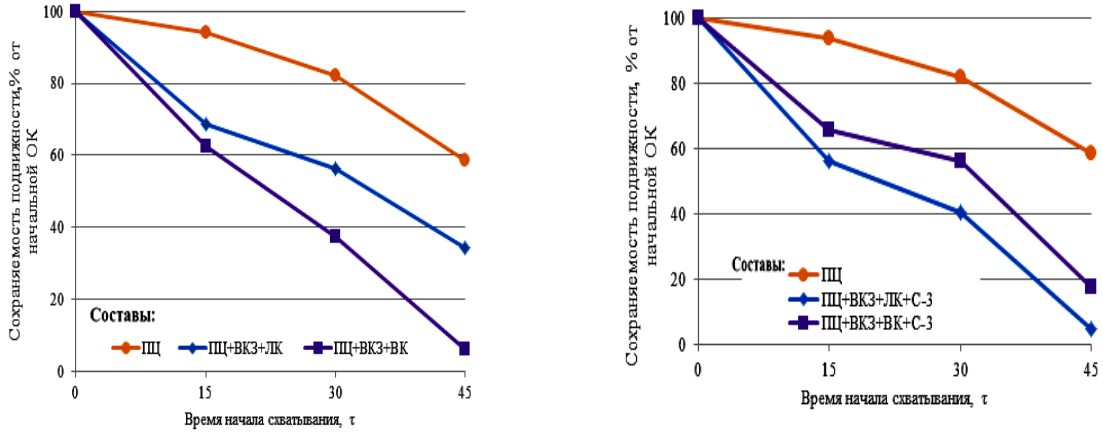


Рисунок 6 – Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси П4 (В25) на цементно-зольном вяжущем, в зависимости от наличия и вида введенных добавок

Таблица 3 – Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси П2 (В25)

| Вяжущее,% | | Добавки,% | | Водовяжущее отношение | Δ ОК во времени | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ПЦ | ВКЗ | ВК | ЛК | | 0 мин | | 15 мин | | 30 мин | | 45 мин | |
| | | | | | см | % | см | % | см | % | см | % |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 8 | 100 | 7 | 87,5 | 6,3 | 78,8 | 5,5 | 68,8 |
| 50 | 50 | 0,1 | 0 | 0,48 | 8,5 | 100 | 5 | 58,8 | 2,5 | 29,4 | 0 | 0 |
| 50 | 50 | 0 | 0,1 | 0,46 | 6,25 | 100 | 3,5 | 56 | 1,5 | 24 | 0 | 0 |

Таблица 4 – Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси П4 (М350)

| Вяжущее,% | | Добавки,% | | | В/В | Δ ОК во времени, ( см/% ) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ПЦ | ВКЗ | ВК | ЛК | С-3 | | 0 мин | | 15 мин | | 30 мин | | 45 мин | |
| | | | | | | см | % | см | % | см | % | см | % |
| 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,56 | 17 | 100 | 16 | 94 | 14 | 82 | 10 | 58,8 |
| 50 | 50 | 0 | 0,1 | 0 | 0,54 | 16 | 100 | 11 | 68,8 | 9 | 56,3 | 5,5 | 34,4 |
| 50 | 50 | 0,1 | 0 | 0 | 0,49 | 16 | 100 | 10 | 62,5 | 6 | 37,5 | 1 | 6,3 |
| 50 | 50 | 0 | 0,1 | 0,5 | 0,5 | 16 | 100 | 9 | 56,3 | 6,5 | 40,6 | 0,8 | 5 |
| 50 | 50 | 0,1 | 0 | 0,5 | 0,45 | 16 | 100 | 10,5 | 65,6 | 9 | 56,3 | 2,8 | 17,5 |

2. Лимонная и винная кислоты являются эффективными замедлителями раннего структурообразования композиций, содержащих высококальциевую золу.

3. Дозировка добавок-замедлителей достаточная в составах на смешанном вяжущем, не обеспечивает сохранения проектной подвижности бетонной смеси в течение более 45 минут.

4. Меньшая потеря удобоукладываемости наблюдается у более подвижных бетонных смесей на смешанном цементно-зольном вяжущем, особенно при их дополнительном пластифицировании. Наличие суперпластификатора в смеси меняет эффективность добавок-замедлителей.

**Буйко О.В.** – к.т.н., доцент кафедры «Строительные материалы» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: olparis@mail.ru.

**Кириченко Е.И.** – студентка ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

**Логинова А.К.** – студентка ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.