

Р. Е. ЛУКПАНОВ*, Д. С. ДЮСЕМБИНОВ

*Научно-производственный центр ЕНУ-Lab, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
rauan_82@mail.ru*

ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ВОДОВЯЖУЩЕГО СООТНОШЕНИЯ ОТ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛЬНОГО КОМПОНЕНТА В СОСТАВЕ БЕТОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДОБАВКИ

В статье приведены исследования цементно-зольного вяжущего в составе бетона, который рекомендуется использовать при условии применения комплексной модифицированной добавки (КМД). Целью исследований является оценка водовяжущего соотношения на сроки схватывания смеси разной зольной концентрации. Измерения выполнены на стандартном приборе Вика по стандартной и адаптированным методикам в три этапа. На первом этапе дана оценка водовяжущего соотношения на сроки схватывания смеси разной зольной концентрации. На втором этапе дана оценка применимости метода распыла к зольно-цементным растворам. Третий этап включал оценку влияния размеров образцов на фактические данные о сроках схватывания, то есть насколько результаты испытаний малых образцов применимы к возводимым конструкциям большого размера. По результатам всех трех этапов получены зависимости между процентным содержанием зольного компонента, водовяжущим соотношением и показателями сроков схватывания (начало, конец и период схватывания).

***Ключевые слова:** цемент, зола, смесь, вязкость, водовяжущее (водоцементное) соотношение, сроки схватывания.*

Введение. На сегодняшний день железобетонные конструкции и изделия относятся к наиболее востребованным материалам как в гражданском, так и промышленном строительстве [1]. Окружающие нас здания и сооружения не обходятся без использования бетона, даже в дорожном строительстве бетон имеет широкое применение [2].

Большая часть преобразовательного процесса бетона как строительного материала приходится не на разработку новых материалов, а на применение добавок, способствующих улучшению его физико-механических свойств. Добавка может быть подобрана, например, в зависимости от технологического применения бетона или для улучшения определенных его показателей: скорости схватывания или твердения, увеличение прочности, водопоглощения, морозостойкости и пр. [3].

Также активно развивается направление по утилизации промышленных отходов, в состав бетонных смесей или вяжущих добавляют отходы или излишки промышленности, в основном с целью снижения себестоимости продукта. Наиболее распространенными добавками замещения являются: отсев камнедробления, шлак, зола и пр. [4]. В настоящей статье в качестве добавки замещения вяжущего используется зола. Добавление зольного компонента в состав вяжущего способствует ухудшению физико-механических свойств бетона, следовательно, использование золы в составе вяжущего для экономии цемента не должно использоваться без применений компенсирующих добавок (например, добавления пластификатора для уплотняемости

* E-mail корреспондирующего автора: rauan_82@mail.ru

смеси, в частности пористой структуры зольного компонента). В нашем случае используется разработанная авторами статьи комплексная модифицированная добавка (КМД), благодаря которой происходит восстановление утраченных свойств бетона [5]. В состав КМД входят отходы производства спирта (послеспиртовая барда), отходы производства масел (соапсток), а также щелочь (едкий натр, NaOH). Данная добавка может применяться не только для тяжелых бетонов, но и для легких, например, пенобетона [6].

В рамках данной статьи будет рассмотрена задача исследования по оценке оптимального водовяжущего соотношения в зависимости от концентрации золы с точки зрения условий производства бетонных работ [7, 8].

Методология исследования. В состав золы гидроудаления входят: диоксид кремния (SiO₂) – до 52%, оксид алюминия (Al₂O₃) – до 18%; негашеная известь (CaO) – до 13%, оксид магния (MgO) – до 2%, железная окалина (Fe₂O₃) – до 7 %, серный ангидрид (SO₃) – до 3%, щелочные металлы – до 2%, зольный остаток – до 7%.

Оценка оптимального соотношения концентрации золы к цементу выполнена в два этапа:

Первый этап включал оценку влияния зольного компонента на водоцементное соотношение, выполненную анализом результатов измерений расплыва цементно-зольной смеси.

Второй этап включал оценку влияния зольного компонента на время изменения агрегатного состояния смеси (из жидкого в твердое) после ее затворения, выполненную анализом результатов измерений сроков схватывания смеси.

Измерения первого этапа относят к оценке удобоукладываемости бетонной смеси, а второго – к оценке твердения смеси и набора прочности бетона по времени. Следовательно, результаты измерений в комплексе направлены на улучшение условий технологии производства бетонных работ, в частности процесса заливки бетона, предлагаемым составом. В обоих случаях (этапах) результаты измерений зависят от водоцементного соотношения, однако могут иметь непропорциональную закономерность как в порядке закономерности индивидуального метода относительно искомых результатов, так и в порядке изменчивости результатов по истечении времени. Если первое относится к особенностям методики и средствам измерений, то второе зависит от свойств материала. Зола обладает абсорбирующим эффектом, который сопровождается в течение всего периода набора прочности бетона. Таким образом, поскольку испытания вяжущего раствора начинают проводить в пределах 30 секунд после затворения, то данная оценка водоцементного соотношения в случае использования золы не гарантирует ожидаемого результата при проведении испытаний сроков схватывания. Теоретически процентное увеличение зольного компонента обратно пропорционально сроку схватывания, следовательно, возможно потенциальное увеличение водоцементного соотношения, несмотря на удовлетворительные показатели расплыва.

В рамках данной статьи будут тезисно представлены результаты первого этапа и более подробно представлены методика, условия проведения и анализ результатов второго этапа. Испытания второго этапа выполнены методом измерений сроков схватывания цементного раствора с разным процентным содержанием золы: 4, 8, 10, 20, 30, 40%. Оценка результатов испытаний проведена в сравнении с ре-

зультатами эталонной смеси, за которую принят водоцементный раствор без добавления золы.

Измерения состоит из трех стадий испытаний:

– Первая стадия (Рисунок 1А) включала испытания на стандартном приборе Вика (размерностью чаши: диаметр 70 мм, высота раствора – 38 мм) по условно принятым критическим точкам. Критические точки, соответствующие нижнему и верхнему показателю водоцементного соотношения, были подобраны на основании проведенных испытаний расплывов образцов смесей разной зольной концентрации. За эталон нижнего показателя было принято такое водоцементное соотношение, при котором расплыв смеси окажется максимально приближен к минимальному радиусу шкалы средства измерения, соответственно, за эталон верхнего показателя принято соответствие максимальному радиусу шкалы средства измерения. Таким образом, согласно результатам измерений, за нижний показатель было принято водоцементное соотношение 0,3, за верхний – 0,40 (Таблица 1). Первый этап относится к изыскательному, целью которого является оценка изменения сроков схватывания при фиксированных значениях водоцементных соотношений растворов разной зольной концентрации, а верхний и нижний показатель необходим для определения закономерности, для выявления которой достаточно хотя бы наличие двух вариативных показателя.

– Второй этап (Рисунок 1В) представляет собой адаптированные испытания классических испытаний сроков схватывания, отличающиеся от стандартных размерами чаш в которых помещают опытный раствор (диаметр составляет 40 мм, высота раствора – 20 мм). Другим отличием испытаний является водоцементное соотношение, которое было подобрано по результатам предварительных испытаний растворов на расплыв (Таблица 2). Данные водоцементные соотношения были откорректированы из условия их соответствия расплыву стандартного цементного раствора без добавления зольного компонента. Второй этап относится к исследовательскому, целью которого является оценка полученных водоцементных соотношений методом расплыва, а также оценка применимости самого метода расплыва к зольно-цементным растворам, реология и тиксотропность которого может отличаться от классического цементного. Другими словами, полученные результаты расплыва показывают вязкость раствора сразу после затворения, результаты же сроков схватывания показывают изменение агрегатного состояния (косвенно вязкость в том числе) по истечении времени. Изменение размерности чаш является частью третьего этапа исследования, но не противоречит цели второго этапа.

– Третий этап (Рисунок 1В) представляет собой также адаптацию испытаний сроков схватывания, отличается от предыдущих этапов еще меньшей размерностью чаш (диаметр составляет 30 мм, высота раствора – 20 мм). Соотношения компонентов раствора, также как водоцементные соотношения, аналогичны второму этапу (Таблица 3). Целью третьего этапа является оценка влияния эффекта масштабирования, то есть насколько влияют размеры образца на результаты испытаний. Фактически, размеры образцов малы по отношению к конструкциям, для удобства возведения которых производят данные испытания подвижности смеси. Предположительно, размеры образцов могут влиять на сроки схватывания и его характер (например, от ядра к периферии). В лабораторных условиях можно подтвердить или опровергнуть данную

гипотезу, поэтому для качественной оценки гипотезы достаточным будет сравнение результатов ряда испытаний разных по размеру опытных образцов (получение количественной оценки, пригодной для перехода к размерам реальных конструкций, в лабораторных условиях является затруднительным). Соотношение масштабов этапа 2 и 3 составляют: 0,75. Важным условием будет параллельное проведение испытаний больших и малых образцов одного замеса (для исключения случайной ошибки, связанной с погрешностью в количественном составе разных замесов). Цель третьего этапа обобщает общую цель исследования – насколько результаты испытаний малых образцов применимы к возводимым конструкциям большого размера.



Рисунок 1 – Проведение испытаний

Таблица 1 – Соотношения компонентов раствора первой стадии

Тип, номер	Зола		Цемент (ПЦ400 Д0)		Вода			
	грамм	%	грамм	%	Нижний показатель		Верхний показатель	
					грамм	%	грамм	%
Тип 1	0	0	400	100	120	0,30	160	0,40
Тип 2	16	4	384	96	120	0,30	160	0,40
Тип 3	32	8	368	92	120	0,30	160	0,40
Тип 4	40	10	360	90	120	0,30	160	0,40
Тип 5	80	20	320	80	120	0,30	160	0,40
Тип 6	120	30	280	70	120	0,30	160	0,40
Тип 7	160	40	240	60	120	0,30	160	0,40

Таблица 2 – Соотношения компонентов раствора второй стадии

Тип, номер	Зола		Цемент (ПЦ400 Д0)		Вода			
	грамм	%	грамм	%	Нижний показатель		Верхний показатель	
					грамм	%	грамм	%
Тип 1	0	0	100	100	30,00	0,3000	32,25	0,3225
Тип 2	4	4	96	96	30,57	0,3057	32,98	0,3298
Тип 3	8	8	92	92	31,14	0,3114	33,80	0,3380
Тип 4	10	10	90	90	31,42	0,3142	34,12	0,3412
Тип 5	20	20	80	80	33,06	0,3306	37,01	0,3701
Тип 6	30	30	70	70	34,96	0,3496	40,12	0,4012
Тип 7	40	40	60	60	36,34	0,3634	41,94	0,4194

Таблица 3 – Соотношения компонентов раствора третьей стадии

Тип, номер	Зола		Цемент (ПЦ400 Д0)		Вода			
	грамм	%	грамм	%	Нижний показатель		Верхний показатель	
					грамм	%	грамм	%
Тип 1	0,0	0	75,0	100	22,50	0,3000	24,19	0,3225
Тип 2	3,0	4	72,0	96	22,93	0,3057	24,73	0,3298
Тип 3	6,0	8	69,0	92	23,36	0,3114	25,35	0,3380
Тип 4	7,5	10	67,5	90	23,56	0,3142	25,59	0,3412
Тип 5	15,0	20	60,0	80	24,80	0,3306	27,75	0,3701
Тип 6	22,5	30	52,5	70	26,22	0,3496	30,09	0,4012
Тип 7	30,0	40	45,0	60	27,25	0,3634	31,46	0,4194

Результаты испытаний. На всех диаграммах сроков схватывания первому пику соответствует начало схватывания, второму – конец. Расположение типов сравниваемых растворов в порядке возрастания снизу-вверх, где красной соответствует тип 1 – стандартный водоцементный раствор, относительно которого делаются сравнения.

На рисунке 2 представлены результаты первого этапа исследования. На рисунке 1А показаны вариации начал и концов сроков схватывания, а также их продолжительность в зависимости от процентного содержания зольного компонента, а также диаграммы зависимости показателей сроков схватывания по концентрации золы, соответствующие нижнему показателю водоцементного соотношения 0,3 (120г). На рисунке 1В те же показатели для верхнего показателя водоцементного соотношения 0,4 (140г).

Согласно результатам испытаний у образцов с водовяжущим соотношением по нижнему показателю наблюдается сокращение сроков схватывания в зависимости от концентрации зольного компонента. Результаты по верхнему показателю имеют обратную зависимость – увеличение показателей сроков схватывания по увеличению зольной концентрации. Поскольку водовяжущее соотношение для всех составов

имеет фиксированное значение, равное 0,3 и 0,4, то изменение показателей сроков схватывания свидетельствуют о влиянии зольного компонента на изменение агрегатного состояния раствора по истечении времени. Коэффициенты корреляций между зольной концентрацией и началом сроков схватывания по нижнему показателю составляет -0,81, а концов сроков составляет -0,88. Отрицательное значение коэффициента корреляции свидетельствует об обратной пропорциональности зависимости, а высокое значение (близкое к 1) – о закономерности зависимости, то есть, чем больше содержание золы, тем быстрее происходит схватывание раствора. Коэффициенты корреляций между зольной концентрацией и началом сроков схватывания по верхнему показателю составляет 0,97, а концов сроков составляет 0,92. Положительное значение коэффициента корреляции свидетельствует о пропорциональности зависимости, а высокое значение (близкое к 1) – о закономерности зависимости, то есть, чем больше содержание золы, тем дольше происходит схватывание раствора. Разная пропорциональность зависимостей объясняется влиянием количества воды на сроки и характер схватывания.

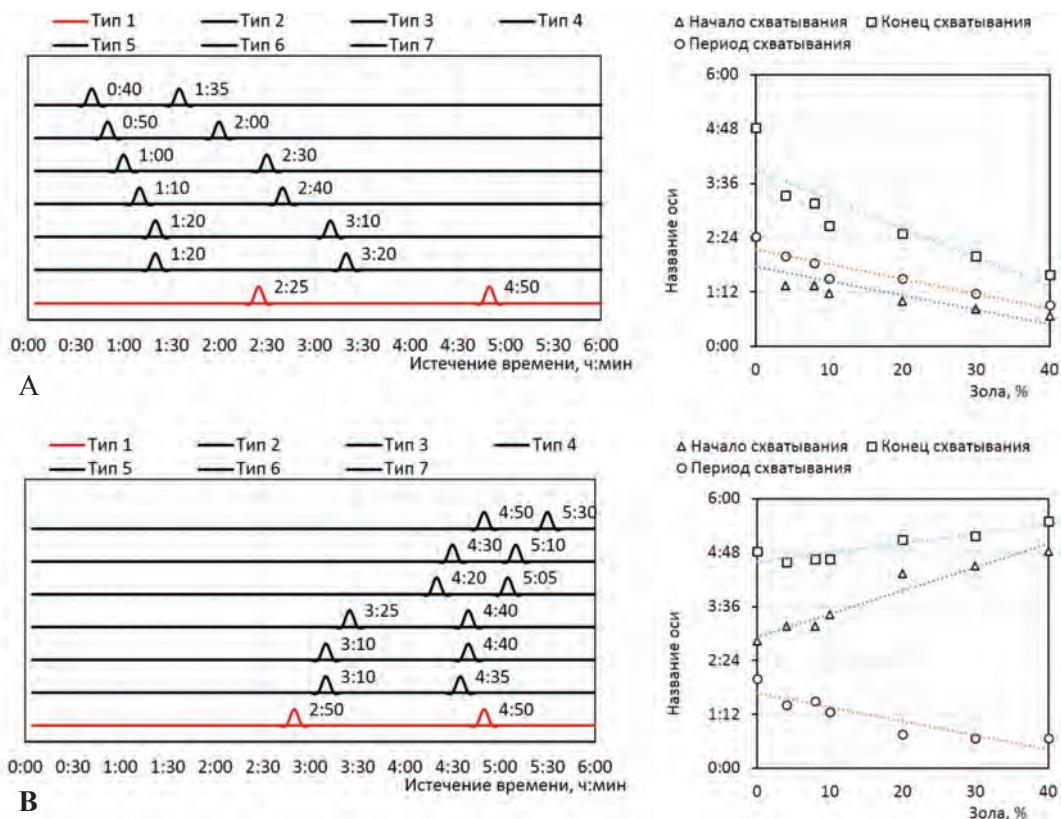


Рисунок 2 – Результаты испытаний сроков схватывания первого этапа исследования

Результаты статистической обработки также подтверждают наличие зависимости, свидетельствуют о низкой сходимости частных значений показателей сроков схва-

тывания: квадратичное отклонение частных значений начал схватываний составляет – 34,3 и 47,2 (по нижнему и верхнему показателям соответственно), коэффициент вариации – 45,7 и 20,9 %, при среднем значении – 75,0 и 225,0 минут; квадратичное отклонение частных значений концов схватываний составляет – 63,3 и 19,7, коэффициент вариации – 36,9 и 6,8 %, при среднем значении – 172,1 и 291,4 минут; квадратичное отклонение частных значений периодов схватываний составляет – 30,5 и 30,44 минут, коэффициент вариации – 31,4 и 43,1, при среднем значении – 97,1 и 70,7 минут.

На рисунке 3 и 4 представлены результаты испытаний второго этапа исследования. На рисунке 3 представлены результаты сроков схватывания по нижним показателям водовяжущего соотношения (минимальный расплыв, соответствующий минимальному радиусу измерительной шкалы), а на рисунке 4 – те же результаты по верхним показателям. На рисунке 3А – показаны вариации начал и концов сроков схватывания, а также их продолжительность в зависимости от процентного содержания зольного компонента. На рисунке 3В показаны диаграммы зависимости показателей сроков схватывания по концентрации золы (при индивидуальном, ранее определенном водоцементным соотношениям). На рисунке 3А и 3Б представлены те же показатели, соответствующие верхним показателем водовяжущих соотношений.

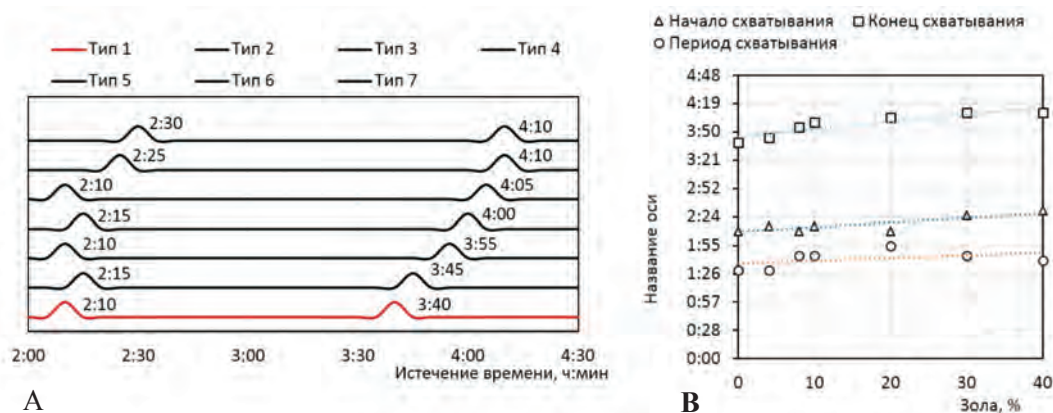


Рисунок 3 – Результаты второго этапа по нижним показателям водовяжущих соотношений

Сравнения частных значений начал сроков схватывания образцов по нижним показателям водовяжущих соотношений (Рисунок 3) показали очень тесную связь, а, следовательно, высокую степень соответствия эталонному раствору. Максимальное абсолютное отклонение частных значений составляет менее 14 минут, при среднем – 136,4 минуты. Квадратичное отклонение не превышает 8,0, а коэффициент вариации равен 5,9%. Частные значения концов сроков схватывания также имеют тесную связь, о чем свидетельствуют статистические показатели: абсолютное отклонение частных значений составляет менее 18 минут, при среднем – 237,9 минут; квадратичное отклонение не превышает 12,0, а коэффициент вариации равен 5,0%. Тесная связь наблюдается и при сравнении частных значений продолжительности сроков схватывания: отклонение частных значений составляет менее 14 минут, при среднем – 101,4 мину-

ты; квадратичное отклонение не превышает 9,0, а коэффициент вариации равен 8,9%. Отклонения частных значений всех показателей от 5 до 9 %, что говорит о высокой сходимости результатов и достоверности прогнозируемого водовяжущего соотношения, определенного измерениями подвижности методом расплыва смеси.

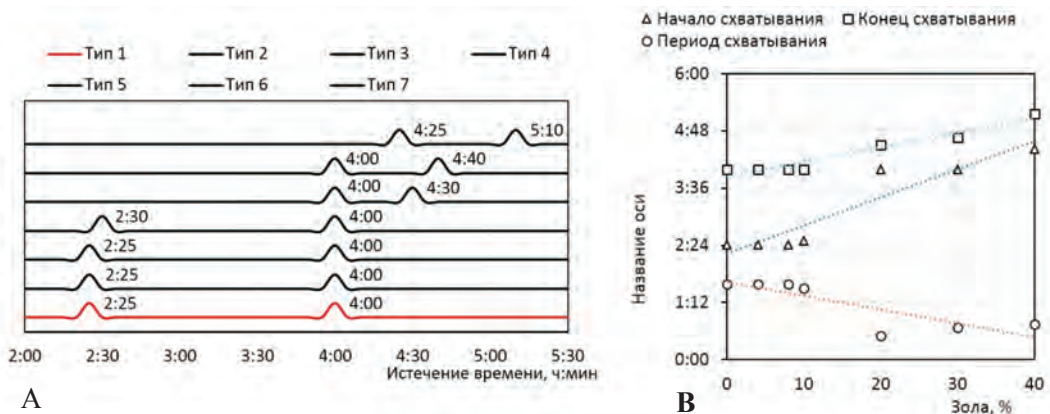


Рисунок 4 – Результаты второго этапа по верхним показателям водовяжущих соотношений

Частные значения начал сроков схватывания образцов по верхним показателям водовяжущих соотношений (Рисунок 3) имеют следующие статистические показатели: максимальное абсолютное отклонение частных значений начал сроков схватывания составляет 75 минут, при среднем – 190 минут, квадратичное отклонение – 55,2, коэффициент вариации – 29,1%; максимальное абсолютное отклонение частных значений концов сроков схватывания – 50 минут, при среднем – 260 минут, квадратичное отклонение – 27,7, коэффициент вариации – 10,6%; максимальное абсолютное отклонение частных значений периодов схватывания – 25 минут, при среднем – 70 минут, квадратичное отклонение – 30,0, коэффициент вариации – 42,9%. В отличие от нижних показателей имеют от средней до слабой связи частных значений, если рассматривать в пределах всего диапазона зольной концентрации. Более-менее тесная связь просматривается в диапазоне от 0 до 10% зольной концентрации, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 0 до 2,5, а коэффициенты вариаций от 1,7 до 2,5%. Меньшая связь наблюдается в диапазоне от 20 до 40%, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 7,6 до 20,8, а коэффициенты вариаций – от 5,8 до 19,9%. Из вышеизложенного можно сделать вывод о необходимости корректировки водовяжущего соотношения по верхним показателям для 20, 30 и 40 % зольной концентрации в сторону уменьшения.

На рисунке 5 и 6 представлены результаты испытаний третьего этапа исследования. На рисунке 5 представлены результаты сроков схватывания по нижним показателям водовяжущего соотношения (минимальный расплыв соответствующий минимальному радиусу измерительной шкалы), а на рисунке 6 – те же результаты по верхним показателям. На рисунке 5А и 6А – показаны вариации начал и концов сроков схватывании, а также их продолжительностей в зависимости от процентного

содержания зольного компонента. На рисунке 5В и 6В показаны диаграммы зависимости показателей сроков схватывания по концентрации золы.

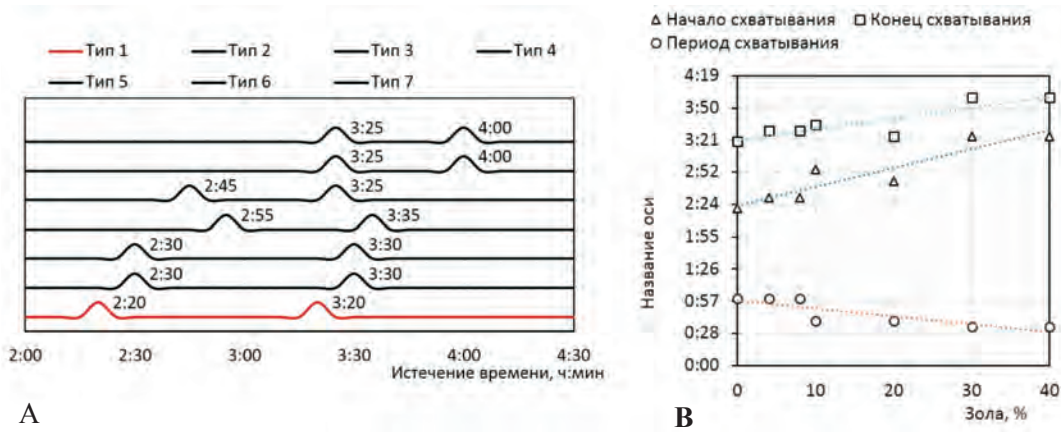


Рисунок 5 – Результаты третьего этапа по нижним показателям водовяжущих соотношений

Сравнения частных значений начал сроков схватывания (Рисунок 5) показали среднюю связь, если рассматривать в пределах всего диапазона зольной концентрации: максимальное абсолютное отклонение частных значений начал сроков схватывания составляет 35 минут, при среднем – 170 минут, квадратичное отклонение – 26,5, коэффициент вариации – 15,6%; максимальное абсолютное отклонение частных значений концов сроков схватывания – 22,9 минут, при среднем – 217,1 минут, квадратичное отклонение – 16,3, коэффициент вариации – 7,5%; максимальное абсолютное отклонение частных значений периодов схватывания – 25 минут, при среднем – 12,9 минут, квадратичное отклонение – 12,2, коэффициент вариации – 25,9%. Тесная связь просматривается, если рассмотреть частные значения в пределах трех диапазонов: от 0 до 8%, от 10 до 20% и от 30 до 40%, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 0 до 2,5, а коэффициенты вариаций от 1,7 до 2,5%. Меньшая связь наблюдается в диапазоне от 20 до 40%, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 0 до 7,1, а коэффициенты вариаций от 0 до 4,2%. В целом результаты вполне удовлетворительные, расхождения частных значений приемлемое, учитывая результаты испытаний второго этапа можно предположить о незначительном влиянии масштабов образцов на сроки схватывания при большой концентрации зольного компонента.

Частные значения начал сроков схватывания образцов по верхним показателям водовяжущих соотношений (Рисунок 6) имеют следующие статистические показатели: максимальное абсолютное отклонение частных значений начал сроков схватывания составляет 51,4 минуты, при среднем – 233,6 минут, квадратичное отклонение – 34,0, коэффициент вариации – 14,6%; максимальное абсолютное отклонение частных значений концов сроков схватывания – 70 минут, при среднем – 325 минут, квадратичное отклонение – 33,0, коэффициент вариации – 12,2%; максимальное абсолютное отклонение частных значений периодов схватывания – 8,6 минут, при среднем – 36,4 ми-

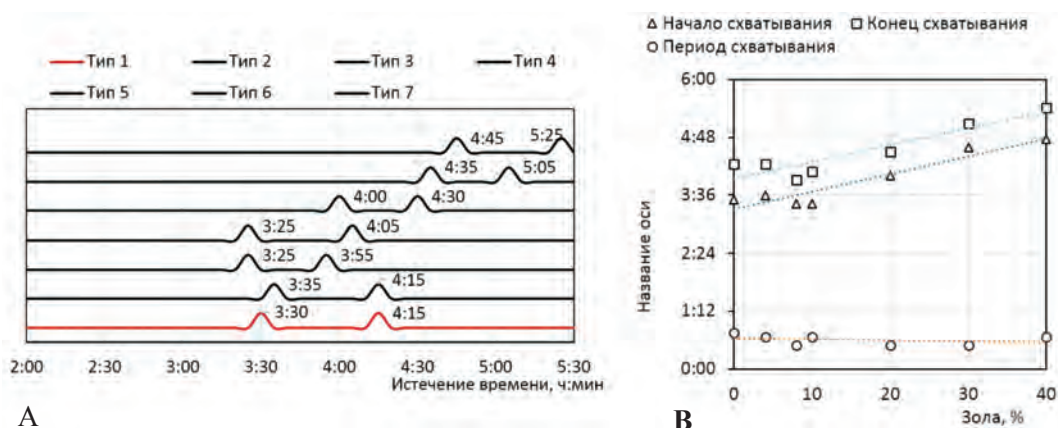


Рисунок 6 – Результаты третьего этапа по верхним показателям водовяжущих соотношений

нуты, квадратичное отклонение – 6,3, коэффициент вариации – 17,2%. В отличие от нижних показателей имеют более тесную связь частных значений (максимальный коэффициент вариации – 17,2%, тогда как у нижних – 29,5%), если рассматривать в пределах всего диапазона зольной концентрации. В целом результаты статистики имеют высокое сходство с результатами второго этапа (по верхним показателям), где также наблюдается тесная связь в диапазоне от 0 до 10% зольной концентрации: квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 4,8 до 9,6, а коэффициенты вариаций от 2,3 до 16,2%. Также связь наблюдается в диапазоне от 20 до 40%, где квадратичные отклонения по всем показателям сроков схватывания лежат в пределах от 5,8 до 27,8, а коэффициенты вариаций – от 8,9 до 17,3%. Высокие значения коэффициентов вариаций отчасти из-за относительно небольшого периода схватывания и кратности измерения 5 минут. Полученные результаты подтверждают ранее сделанное предположение о необходимости корректировки водовяжущего соотношения по верхним показателям для 20, 30 и 40 % зольной концентрации в сторону уменьшения.

Для сравнения результатов этапов 2 и 3 (оценка влияния масштаба образцов) представлены табулированные частные значения, поскольку сравнительные диаграммы имеют слабую связь рядов сравниваемых прогрессий (изменений показателей сроков схватываний по зольной концентрации в пределах соразмерных образцов, таблица 4). В правой части таблицы представлены сравниваемые частные значения начала, конца и периодов схватывания, соответствующие нижним показателям водовяжущих соотношений, в правой – те же значения для верхних показателей. Буквенные обозначения D и d означают большой и малый образец соответственно, \bar{x} – среднее значение, σ – квадратичное отклонение, V_{σ} – коэффициент вариации.

Таблица 4 – Сравнения этапов 2 и 3

По нижним показателям, минуты						По верхним показателям, минуты					
Начало		Конец		Период		Начало		Конец		Период	
D	d	D	d	D	d	D	d	D	d	D	d
130	140	220	200	90	60	145	210	240	255	95	45
135	150	225	210	90	60	145	215	240	255	95	40
130	150	235	210	105	60	145	205	240	235	95	30
135	175	240	215	105	40	150	205	240	245	90	40
130	165	245	205	115	40	240	240	270	270	30	30
145	205	250	240	105	35	240	275	280	305	40	30
150	205	250	240	100	35	265	285	310	325	45	40
Статистические показатели отношений D/d											
$\bar{x} = 0,81$		$\bar{x} = 1,10$		$\bar{x} = 0,30$		$\bar{x} = 0,80$		$\bar{x} = 0,97$		$\bar{x} = 1,91$	
$\sigma = 0,09$		$\sigma = 0,05$		$\sigma = 0,69$		$\sigma = 0,13$		$\sigma = 0,04$		$\sigma = 0,79$	
$V\sigma = 10,52$		$V\sigma = 4,89$		$V\sigma = 29,79$		$V\sigma = 16,37$		$V\sigma = 3,80$		$V\sigma = 41,30$	

Согласно статистическим данным, наблюдается средняя сходимость начал и концов схватывания (при средней до тесной связи в обоих случаях водовяжущих пределов). Значения начал схватывания всех малых образцов превышают значения больших образцов от 7 до 41% (для нижнего показателя) и от 0 до 48% (для верхнего). В отличие от начал значения концов схватываний больших образцов превышают значения малых образцов от 4 до 19% (для нижнего показателя) и от -9 до 2 % (для верхнего). Данная закономерность превышений начал сроков, а впоследствии, наоборот, концов сроков свидетельствуют о небольшом, но влиянии размерности образцов на результаты измерений, что также подтверждается большим разбегом данных периодов схватываний, варьирующихся от 50 до 300% (для нижнего показателя) и от 0 до 320 % (для верхнего). Выявленное небольшое различие может быть связано с небольшим различием между размерами образцов, для более точного эффекта масштабирования необходимо провести дополнительный комплекс исследований с увеличением разницы масштабов образцов.

Заключение. Результаты испытаний сроков схватывания образцов (с разным процентным содержанием зольного компонента) на стандартном приборе Вика свидетельствуют о влиянии золы на показатели сроков схватывания. Степень влияния зависит не только от концентрации зольного компонента, а в большей степени от водовяжущего соотношения. То есть, при низком содержании воды, абсорбирующие свойства золы становятся доминирующими, в результате твердение (или правильной, в данном случае, изменение агрегатного состояния) образца происходит по причине физического усыхания материала, нежели от твердения в результате кристаллизации цементного раствора. При верхнем показателе водовяжущего соотношения наблюдается противоположная закономерность, показатели схватывания увеличиваются относительно эталонного раствора (водоцементного), то есть, чем больше содержание

зола, тем больше сроки схватывания. Избыток воды в данном случае компенсирует абсорбирующую потребность зола, усыхания образца не происходит, схватывание образцов происходит уже за счет кристаллизации цемента в процессе гидратации. Следовательно, в случае высокого содержания воды, при увеличении зольного компонента и сопутствующего уменьшения цемента, сроки схватывания увеличиваются. Таким образом, при включении зола в состав бетона подбор водоцементного соотношения рекомендуется выполнять с учетом абсорбирующих свойств зольного компонента.

Результаты второго этапа подтвердили необходимость индивидуального подбора водовяжущего соотношения в зависимости от концентрации зола в составе. Полученные по результатам испытаний подвижности смеси данные по водовяжущему соотношению, в большей степени подтвердились результатами испытаний сроков схватывания. Большая сходимости результатов наблюдалась у значений начал сроков схватывания, меньшая – у концов сроков, а периоды схватываний подлежат дальнейшей корректировке (в частности, составов с большой зольной концентрацией).

Результаты третьего этапа подтвердили предположение о влиянии эффекта масштабирования. Выявленная закономерность превышений начал сроков малых образцов относительно больших, а впоследствии, наоборот, концов сроков свидетельствуют о небольшом, но влиянии размерности образцов на результаты измерений, что также подтверждается большим разбегом данных периодов схватываний. Также было выявлено влияние размеров образцов на характер схватывания, который отчетливо наблюдался при испытании классических образцов (наибольшего размера из трех этапов). При измерении классических образцов наибольших размеров схватывание очевидно прослеживалось от середины образца к периферии, тогда как у образцов меньших размеров данный эффект не был ярко выраженным.

В процессе исследования была выдвинута гипотеза о разном характере твердения, зависящая от степени водонасыщения смеси, которая может быть вызвана либо недостаточностью воды (в результате абсорбции), либо в результате кристаллизации цемента. Оценочным критерием анализа характера твердения может быть оценка измерений прочности образцов по истечению времени при разных значениях водовяжущих соотношений.

ЛИТЕРАТУРА

1 Ароводжолу О., Ибрагим А., Альмакраб А., Сарас Н., и Нильсен Р. (2021). Влияние отношения пролета сдвига к эффективной глубине на поведение высокопрочных железобетонных балок. *Международный журнал бетонных конструкций и материалов*, 15(1) doi:10.1186/s40069-020-00444-7

2 Соса И., Тамайо П., Сайнс-Айя Дж. А., Томас С., Сетьен, Дж., & Поланко Дж. А. (2021). Аспекты долговечности в самоуплотняющемся бетоне из сидерорганического заполнителя. *Журнал строительной инженерии*, 39 doi:10.1016/j.job.2021.102268

3 Дольняк, Дж., Лиштяк, М., Сланинка, А., & Нечас, В. (2019). Определение профиля активности ^{137}CS в образцах бетонного керна. *Дозиметрия радиационной защиты*, 186(2-3), 306-309. doi:10.1093/rpd/ncz223

4 Лотфи-Омран, О., Садромтази, А., и Никбин, И. М. (2019). Комплексное исследование влияния соотношения воды и цемента на механические и радиационно-защитные свойства тяжелого бетона. Строительство и строительные материалы, 229 doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116905

5 Лукпанов Р.Е., Дюсембинов Д.С., Сабитов Е.Е. Комплексная модифицированная добавка для тяжелого бетона. Патент №33533

6 Ченг, Ю., Лю, С., Чжу, Б., Лю, Р., и Ван, Ю. (2019). Подготовка предварительно уложенного заполнителя бетона и экспериментальное исследование его прочности. Строительство и строительные материалы, 229 doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116847

7 ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии

8 ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема

REFERENCES

1 Arowojolu, O., Ibrahim, A., Almakrab, A., Saras, N., & Nielsen, R. (2021). Influence of shear span-to-effective depth ratio on behavior of high-strength reinforced concrete beams. International Journal of Concrete Structures and Materials, 15(1) doi:10.1186/s40069-020-00444-7

2 Sosa, I., Tamayo, P., Sainz-Aja, J. A., Thomas, C., Setién, J., & Polanco, J. A. (2021). Durability aspects in self-compacting siderurgical aggregate concrete. Journal of Building Engineering, 39 doi:10.1016/j.jobe.2021.102268

3 Dolniak, J., Lištjak, M., Slaninka, A., & Nečas, V. (2019). DETERMINATION OF ACTIVITY PROFILE OF ¹³⁷CS IN CONCRETE CORE SAMPLES. Radiation Protection Dosimetry, 186(2-3), 306-309. doi:10.1093/rpd/ncz223

4 Lotfi-Omran, O., Sadromtazi, A., & Nikbin, I. M. (2019). A comprehensive study on the effect of water to cement ratio on the mechanical and radiation shielding properties of heavyweight concrete. Construction and Building Materials, 229 doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116905

5 Lukpanov R.E., Dyusembinov D.S., Sabitov E.E. Kompleksnaya modifitsirovannaya dobavka dlya tyazhelogo betona. Patent №33533

6 Cheng, Y., Liu, S., Zhu, B., Liu, R., & Wang, Y. (2019). Preparation of preplaced aggregate concrete and experimental study on its strength. Construction and Building Materials, 229 doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.116847

7 GOST 310.4-81 Cementy. Metody opredeleniya predela prochnosti pri izgibe i szhatii

8 GOST 310.3-76 Cementy. Metody opredeleniya normal'noj gustomy, srokov skhvatyvaniya i ravnomernosti izmeneniya ob"ema

Р. Е. ЛУКПАНОВ, Д. С. ДЮСЕМБИНОВ

*Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің ЕНУ-Lab
ғылыми-өндірістік орталығы, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ҚОСПАНЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, БЕТОН ҚҰРАМЫНДАҒЫ КҮЛ КОМПОНЕНТІНІҢ ПАЙЫЗДЫҚ МӨЛШЕРІНЕ СУ БАЙЛАНЫС ТЫРҒЫШТЫҢ ТӘУЕЛДІЛІГІН БАҒАЛАУ

Мақалада бетонның құрамындағы цемент-күл байланыстырғышын зерттеу келтірілген, оны кешенді модификацияланған қоспаны (КМД) қолданған жағдайда қолдану ұсынылады. Зерттеудің мақсаты әр түрлі күл концентрациясының қоспасын орнату уақытына су байланыстырғышты

бағалау болып табылады. Өлшеу Стандартты және бейімделген әдістерге сәйкес стандартты Вика құрылғысында үш кезеңде жүргізілді. Бірінші кезеңде әр түрлі күл концентрациясының қоспасын орнату уақытына су байланыстырғышқа баға беріледі. Екінші кезеңде күл-цемент ерітінділеріне булану әдісінің қолданылуына баға беріледі. Үшінші кезең үлгілер өлшемдерінің орнату мерзімдері туралы нақты деректерге әсерін бағалауды, яғни шағын үлгілерді сынау нәтижелері салынған үлкен өлшемді конструкцияларға қаншалықты қолданылатынын қамтиды. Барлық үш кезеңнің нәтижелері бойынша күл компонентінің пайыздық құрамы, су байланыстырғыш қатынасы мен орнату мерзімінің көрсеткіштері (басталу, аяқталу және орнату кезеңі) арасындағы байланыс алынды.

Түйін сөздер: цемент, күл, қоспа, тұтқырлық, су тұтқыш (су цементті) қатынасы, орнату мерзімі.

RAUAN E. LUKPANOV, DUMAN S. DUSEMBINOV

*Scientific and industrial center ENU-Lab, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Nur-Sultan, Kazakhstan*

RESE ASSESSMENT OF THE DEPENDENCE OF THE WATER-BINDER RATIO ON THE PERCENTAGE OF ASH COMPONENT IN THE COMPOSITION OF CONCRETE WITH THE USE OF A MODIFIED ADDITIVE

The article presents studies of cement-ash binder in the composition of concrete, which is recommended to be used under the condition of using a complex modified additive (CMD). The aim of the research is to evaluate the water-binder ratio on the setting time of the mixture of different ash concentrations. Measurements were made on a standard Vic, using standard and adapted methods in three stages. In the first phase the water-binder ratio was evaluated with regard to the setting times of mixtures with different ash contents. The second phase evaluated the applicability of the spraying method to ash-cement mortars. The third stage involved an evaluation of the effect of specimen size on the actual setting time data, that is, the extent to which the test results of small specimens are applicable to large-sized structures being erected. Based on the results of all three phases, relationships were obtained between the percentage of ash content, the water-binder ratio and the setting times (beginning, end and setting period).

Keywords: cement, ash, mixture, viscosity, water-cement ratio, setting time.