

УДК 691.54

**РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ВЯЖУЩЕГО
НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ ГИДРОУДАЛЕНИЯ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
И СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

**Кульшикова Сауле Тюякбайевна, доктор
заведующий кафедрой «Технологические машины и строительство»
Жезказганский университет имени О.А.Байконурова, Казахстан**

**DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF A RESOURCE-SAVING BINDER BASED ON
HYDRAULIC EXTRACTION ASH IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT
AND ENVIRONMENTAL BURDEN REDUCTION**

**Kulshikova Saule Tyuyakbayevna, PhD, Head of the Department of Technological Machines
and Construction, saule.kulshikova@gmail.com
Zhezkazgan University named after O.A.Baikonurov, Kazakhstan**

Аннотация. При изготовлении смешанных цементов наиболее эффективным считается совместное измельчение цемента с наполнителями из минеральных добавок. В данной статье показана возможность наполнения цемента золой-гидроудаления и влияние предварительной ее активации на основные физико-механические свойства вяжущего.

Ключевые слова: топливные отходы, зола-гидроудаления, эксперимент, прочность, плотность, сроки схватывания, 28-суточное твердение в нормальных условиях.

Abstract. In the manufacture of mixed cements, joint grinding of cement with fillers from mineral additives is considered the most effective. This article shows the possibility of filling cement with hydraulic ash and the effect of its preliminary activation on the basic physical and mechanical properties of the binder.

Keywords: fuel waste, hydraulic ash removal, experiment, strength, density, setting time, 28-day hardening under normal conditions.

Широкое применение в производстве строительных материалов нашли золы сухого отбора, которые не требуют предварительной обработки перед использованием. Мелкодисперсная зола-унос уносится из топки с дымовыми газами и улавливается при их очистке в циклонах и электрофильтрах и составляет 10% из основных топливных отходов ТЭС. Основные же золошлаковые отходы накапливаются в бункере под топкой и удаляются пневматическим или гидравлическим способом и имеют нестабильные характеристики.

Применение таких топливных отходов в производстве вяжущих веществ возможно по двум направлениям:

– в качестве активной минеральной добавки к клинкеру непосредственно на цементном заводе без изменения его нормативных характеристик;

– в качестве наполнителей в цемент с предварительной или совместной активацией золошлаковых отходов.

В данных исследованиях влияние золы гидроудаления на основные физико-механические характеристики композиционного вяжущего изучалось при различных способах их введения в цемент - механическое смешивание измельченных отходов или их совместное измельчение:

ЦЗВ_м – механически перемешанная смесь просеянной золы гидроудаления и цемента;

ЦЗВ_и – измельченная смесь золы гидроудаления и цемента;

ЦЗШВ_м - механически перемешанная смесь просеянной золошлаковой смеси и цемента;

ЦЗШВ_и- измельченная смесь золошлаковой смеси и цемента.

Таблица – План и результаты двухфакторного эксперимента

№ опыта	План эксперимента				Результаты эксперимента								
	Кодированные переменные		Натуральные величины		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9
	x_1	x_2	X_1 -зола, %	X_2 -время изм., ч	Нач. схват., час	Конец схват., час	$\rho^{тво}$ г/см ³	$R^{тво}$ изг МПа	$R^{тво}$ с ж. МПа	ρ^{28} г/см ³	$R^{28сут}$ изг МПа	$R^{28сут}$ с ж МПа	Кр
1	-1	-1	10	0	3,98	10,55	2,21	5	18,4	2,17	5,33	21,4	1,18
2	1	-1	30	0	5,28	11,62	2,16	5,92	14,2	2,14	5,87	18,32	1,02
3	-1	1	10	2	3,57	9,23	2,2	5,07	24,9	2,19	5,95	37,15	1,12
4	1	1	30	2	2,67	9,2	2,18	5,88	22,8	2,17	5,51	30,41	1,13
5	1	0	30	1	4,42	10,83	2,18	6,23	20,6	2,13	5,32	28,8	1,14
6	-1	0	10	1	2,5	9,97	2,23	5,52	22,1	2,19	5,37	35,71	1,12
7	0	1	20	2	4,22	9,25	2,22	5,51	23,4	2,18	5,51	32,45	1,41
8	0	-1	20	0	5,5	9,58	2,19	5,14	16,6	2,17	5,52	22,92	1,03
9	0	0	20	1	3,43	9,06	2,2	5,5	21,2	2,15	5,25	30,94	1,08

Введение в цементную систему тонкомолотой механоактивированной золы способствует связыванию свободной $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в низкоосновные гидросиликаты, которые обладают повышенной прочностью и долговечностью. Этим объясняются повышенные значения прочности 28 суточного возраста нормального твердения у ЦЗВ_и от прочности ЦЗВ_м механически перемешанных.

На предварительном этапе рассмотрена возможность наполнения цемента золой-гидроудаления и влияние предварительной ее активации на основные физико-механические свойства вяжущего.

Для более глубокого изучения влияния степени измельчения зольного наполнителя и его количества на основные свойства композиционного вяжущего был реализован двухфакторный эксперимент (таблица), где в качестве варьируемых факторов служили: X_1 - количество золы $20 \pm 10\%$ и X_2 - время измельчения 1 ± 1 час.

В качестве выходных параметров экспериментов были выбраны: сроки схватывания, час. (начало - Y_1), (конец - Y_2), плотность после ТВО (Y_3) и после 28 суток (Y_6) и прочность на изгиб и сжатие, МПа ($Y_4 - R^{\text{ТВО}}_{\text{изг}}$; $Y_5 - R^{\text{ТВО}}_{\text{сж}}$; $Y_7 - R^{28\text{сут}}_{\text{изг}}$ МПа; $Y_8 - R^{28\text{сут}}_{\text{сж}}$), Y_9 - коэффициент размягчения Кр.

По результатам эксперимента были получены математические модели свойств вяжущего и их графические образы в виде номограмм

$$Y_1 (\text{нач. схв.}) = 3,88 + 0,39 x_1 - 0,65 x_1^2 - 0,72 x_2 + 0,75 x_2^2 - 0,55 x_1 x_2 \quad (1)$$

$$Y_2 (\text{конец схв.}) = 9,33 + 0,32 x_1 + 0,94 x_1^2 - 0,68 x_2 + 0,05 x_2^2 - 0,28 x_1 x_2 \quad (2)$$

$$Y_3 (\rho^{\text{ТВО}}) = 2,21 - 0,02 x_1 - 0,001 x_1^2 - 0,007 x_2 + 0,01 x_2^2 + 0,007 x_1 x_2 \quad (3)$$

$$Y_4 (R^{\text{ТВО}}_{\text{изг}}) = 5,60 + 0,41 x_1 + 0,22 x_1^2 + 0,07 x_2 - 0,03 x_2^2 - 0,03 x_1 x_2 \quad (4)$$

$$Y_5 (R^{\text{ТВО}}_{\text{сж}}) = 21,23 - 1,3 x_1 + 0,1 x_1^2 + 3,65 x_2 - 1,25 x_2^2 + 0,53 x_1 x_2 \quad (5)$$

$$Y_6 (\rho^{28}) = 2,158 - 0,018 x_1 - 0,002 x_1^2 + 0,01 x_2 + 0,013 x_2^2 + 0,002 x_1 x_2 \quad (6)$$

$$Y_7 (R^{28\text{сут}}_{\text{изг}}) = 5,23 + 0,01 x_1 + 0,13 x_1^2 + 0,04 x_2 + 0,30 x_2^2 - 0,25 x_1 x_2 \quad (7)$$

$$Y_8 (R^{28\text{сут}}_{\text{сж}}) = 31,91 - 2,79 x_1 - 0,14 x_1^2 + 6,23 x_2 - 4,71 x_2^2 - 0,92 x_1 x_2 \quad (8)$$

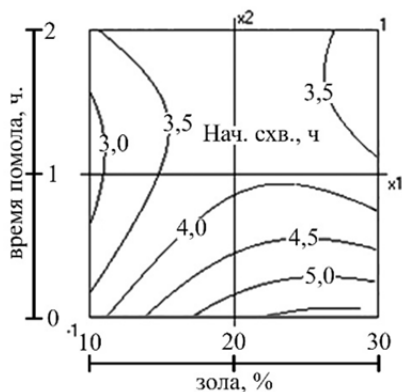
$$Y_9 (\text{Кр}) = 1,15 - 0,02 x_1 - 0,06 x_1^2 + 0,0762 x_2 + 0,04 x_2^2 + 0,042 x_1 x_2 \quad (9)$$

Анализ коэффициентов моделей 1 и 2 показал, что длительный помол ($x_2 = +1$) золы с цементом снижает сроки схватывания, вяжущего линейный эффект при втором факторе составляет ($b_2 = -0,72$ и $b_2 = 0,68$), а максимальная концентрация золы ($x_1 = +1$) приводит к удлинению показателей сроков схватывания Y_1 и Y_2 ($b_1 = 0,39$ и $b_1 = 0,32$).

По моделям 4, 5 и 7, 8 видно, что количество золы при ($x_1 = +1$) снижает прочность на сжатие после ТВО и в 28-суточном возрасте ($b_1 = -1,3$ и $b_1 = -2,79$). Измельчение повышает прочность $R^{\text{ТВО}}_{\text{сж}}$, $R^{28}_{\text{сж}}$ ($b_2 = 3,65$ и $b_2 = 6,23$). Коэффициент размягчения вяжущих во всех 9-ти точках эксперимента являлся удовлетворительным $\text{Кр} \geq 1,0$ (9).

Наиболее наглядно изменение свойств вяжущего в зависимости от количества золы и времени измельчения можно видеть на рис. 1-5.

а)



б)

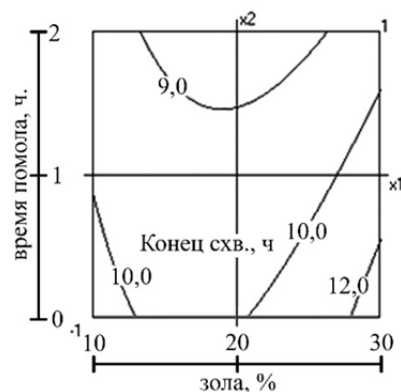
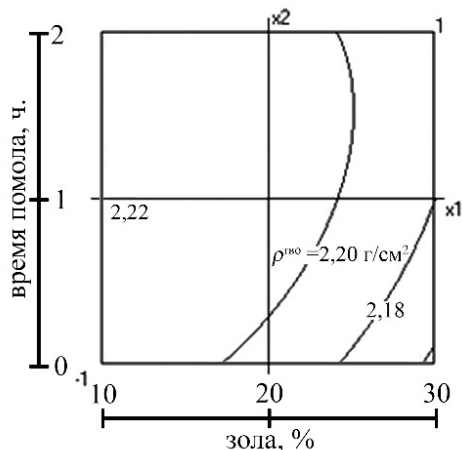


Рисунок 1. –Номограммы (а) начала и конца схватывания (б) вяжущего

На рис. 1 видно, что наличие золы в вяжущем приводит к увеличению времени начала схватывания, что видно на рис. 1а. Так без ($x_1 = -1$; $x_2 = -1$) помолы при содержании золы 10% оно составляет 3,9 часа и увеличивается до 5,5 часа при количестве золы 20...22% . А конец схватывания такого вяжущего составляет 10...11 часов. Однако наличие золы 30% и время помолы 1 час снижает сроки схватывания от 5,5 до 3,6 часа. Дальнейший помол до 2 часов не приводит к снижению начала схватывания. Конец схватывания в этом случае снижается от 11,5 до 9,5 часа.

$$Y_1, Y_2 = f(x_1, x_1)$$

а)



б)

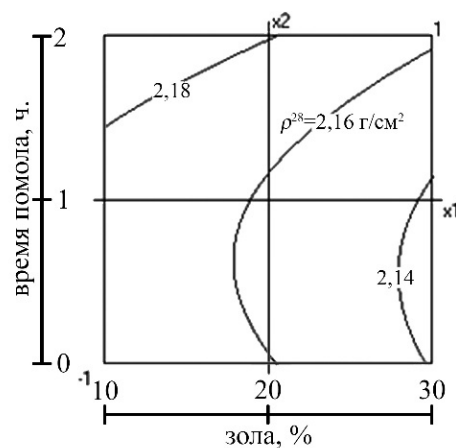
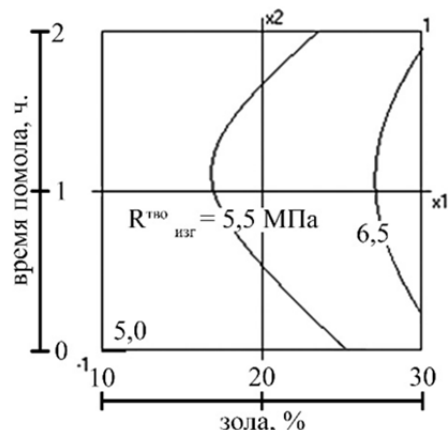


Рисунок 2. – Плотность цементнозольного вяжущего $\rho^{TBO}, \rho^{28} = f(x_1, x_2)$

Как известно, цементный камень имеет сложную структуру, состоящую из микро-, макрокристаллов и гелеобразной массы. Такой конгломерат В.Н.Юнгом был назван микробетоном. Наибольшая плотность структуры цементнозольного камня обеспечивается при наименьшем размере межзерновых пустот. Так на рис.3 видно, что плотность вяжущего после ТВО снижается по мере наполнения вяжущего золой от 2,2 до 2,16 г/см², а при 28 суточном твердении эти показатели изменяются от 2,17 до 2,14 г/см².

а)



б)

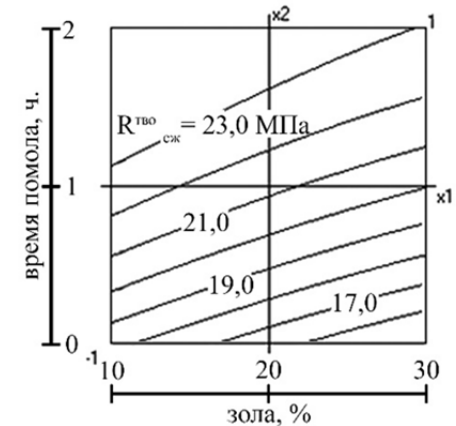


Рисунок 3. – Номограммы (а) прочности на изгиб ЦЗВ после ТВО $Y_4 (R^{TBO}_{изг}) = f(x_1, x_2)$; (б) $Y_5 (R^{TBO}_{сж}) = f(x_1, x_2)$

Наполнение вяжущего золой до 30% прочность $R^{TBO}_{изг}$ после ТВО повышается от 5,0 до 6,5 МПа. Прочность $R^{TBO}_{сж}$ на сжатие вяжущего, полученного без измельчения снижается от 18,5 до 16,0 МПа.

Активация 1 час обеспечивает прочность ЦЗВ_и с 10-20% золы равнозначную с чистым цементом $R^{28сут}_{сж} = 30-33$ МПа. При помолы 2 часа цемента с золой 30% прочность ЦЗВ растет от 16 до

23 МПа, т.е. на 50%. Для обеспечения максимальной прочности вяжущего при наполнении 30% золой помол ЦЗВ должен составить 2 часа (рис. 4). Прочность механически смешанного вяжущего 28 суточного твердения меняется для $R^{28сут}_{изг}$ от 5,3 до 5,85 МПа и $R^{28сут}_{сж}$ вяжущего без помолы по мере наполнения снижается от 23 до 21 МПа. Помол 2 часа с золой 10% обеспечивает наиболее высокий технический эффект и прочность ЦЗВ_и составляет $R^{28сут}_{сж} = 37$ МПа.

Для решения задачи максимальной утилизации золы 30% без потери прочности цемента 33 МПа рекомендуется активация 2 часа.

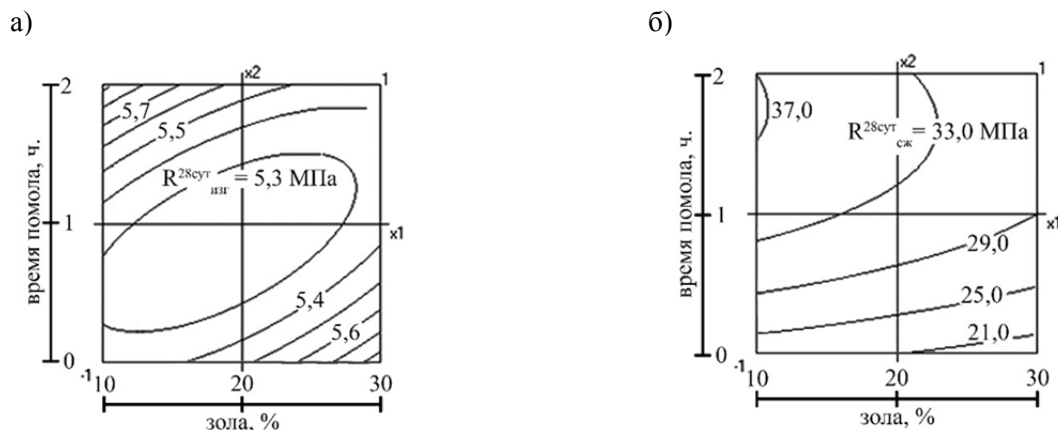


Рисунок 4. – Номограммы (а) прочности на изгиб 28 суток $Y_7 (R^{28сут}_{изг}) = f(x_1, x_2)$; (б) $Y_8 (R^{28сут}_{сж}) = f(x_1, x_2)$

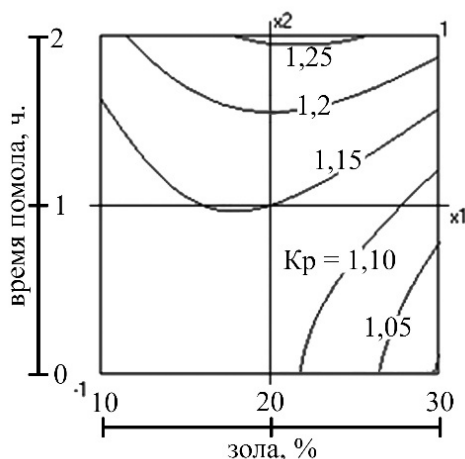


Рисунок 5. – Номограммы коэффициента размягчения $Y_9 (K_p) = f(x_1, x_2)$

Пуццолановые добавки, такие как кислые золы входящие в состав композиционных вяжущих способны замедлять процесс гидратации в начальные сроки и продолжать твердение в длительный период (90 и 180 сут.). На (рис. 5) видно, что коэффициент размягчения практически для всех серий образцов вяжущего составляет $K_p \geq 1,0$ и достигает максимума 1,25 для составов с золой 20% и помолом 2 часа, т.е. более активированного.

Таким образом, регулируя целенаправленно дисперсность композиционного вяжущего и количество наполнителя в виде золы гидроудаления можно обеспечить заданную марку цемента. При этом отмечается эффективность при твердении ЦЗВ_и в условиях тепловлажностной обработки.

Список использованных источников

1. Джусупова, М.А., Особенности получения композиционного цементнозольного вяжущего [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова. – В сборнике: The Europe and the Turkic World:

Science, Engineering and Technology Materials of the II international scientific-practical conference. Intwo volumes. Editor by S. Midelski. – Измир, 2017. – С. 175-181.

2. Джусупова, М.А. Композиционные вяжущие с использованием топливных шлаков [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова. – Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Научные исследования в деталях». – Шымкент, 2017. – С.10-17.

3. Джусупова, М.А. Композиционные вяжущие на основе отходов [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова. – Актуальная наука. – Волгоград 2017. – №5 (5). – С. 10-15.

4. Джусупова, М.А. Оценка влияния золошлаковой смеси на основные свойства композиционного вяжущего [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова. – Электронный периодический рецензируемый журнал «SCI-ARTICLE.RU». – Волгоград, 2018. – №56. – С.25-29.

5. Кульшикова, С.Т. Оптимизация рецептурно-технологических факторов вяжущего с использованием золы гидроудаления Бишкекской ТЭС республики Кыргызстан [Текст] / С.Т. Кульшикова Актуальные вопросы науки. – Москва, 2018. – №41. – С. 188-193.

6. Кульшикова, С.Т. Композиционные вяжущие с использованием золошлаковых отходов [Текст] / С.Т. Кульшикова. – Актуальная наука. Волгоград, 2018. – №9 (14). – С. 9-14.

7. Джусупова, М.А. Получение мелкозернистого бетона с использованием золы гидроудаления [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова. – Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2018. – №4(62). – С99-103

8. Кульшикова, С.Т. Особенности гидратации золоцементных веществ [Текст] / С.Т. Кульшикова. Сборник материалов Совместной Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективности в строительстве». – Алматы, 2018. – С189-193.

9. Джусупова, М.А. Мелкозернистые бетоны с использованием отходов сжигания угля [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова. – Известия ВУЗов Кыргызстана. – Бишкек, 2018. – №6. – С.17-21.

10. Кульшикова, С.Т. Эффективное использование топливных шлаков ТЭС в мелкозернистых бетонах [Текст] / С.Т. Кульшикова. – Colloquium-journal ISSN 2520-6990 Architecture Technical science Physics and mathematics. – Варшава, 2019. – №2 (26). – С.33-35.

11. Джусупова, М.А. Мелкозернистые бетоны на вяжущих и заполнителях из золошлаковых отходов [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова. – Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2019. – №1 (63). – С.150-155

12. Джусупова, М.А. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и заполнителях из золо-шлаковых отходов теплоэнергетики [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова, А.Ф. Кудашева. – Materials of the IV International Scientific-Practical Conference. – Istanbul, 2019. – С.302-307

13. Ассакунова, Б.Т. Использование отходов теплоэнергетики Кыргызстана в композиционных вяжущих веществах [Текст] / Б.Т. Ассакунова, М.А. Джусупова, Г.Р. Байменова, С.Т. Кульшикова. – ИЗВЕСТИЯ Национальной академии наук Республики Казахстан. Алматы, 2019. – 3(435). – С.67-72

14. Джусупова, М.А. Оценка эффективности утилизации топливных отходов в производстве композиционных вяжущих веществ [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова. – «Membership in the WTO: Prospects of Scientific Researches and International Technology Market» Materials of the IV International Scientific-Practical Conference. – Vancouver, 2019. – С.396-402

15. Джусупова, М.А. Облегченные мелкозернистые бетоны из топливных отходов Бишкекской ТЭС [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова. – Материалы международного семинара, посвященного 85-летию В.А. Вознесенского «Моделирование и оптимизация строительных композиций». – Одесса, 2019. – С. 40-45.