

Оптимизация состава быстротвердеющих тяжелых цементных бетонов с комплексной добавкой из отходов промышленности

С.В. Сороканич, А.А. Пармонова

Луганский государственный университет имени Владимира Даля, Луганск

Аннотация: Выполнена оптимизация состава тяжелых цементных бетонов, модифицированных комплексной добавкой на основе отходов промышленности (глиноземсодержащий компонент - алюмошлак (АШ), отработанная формовочная смесь (ОФС) с помощью программного комплекса PlanExp В-D13 - Трехфакторный планируемый эксперимент, по критериям: прочность при сжатии на 2 и 28 сутки твердения

Ключевые слова: тяжелые цементные бетоны, быстротвердеющие бетоны, оптимизация, планирование эксперимента, показатели прочности, отходы промышленности, отработанная формовочная смесь, алюмошлак.

Цементные бетоны в современном строительстве занимают значительную часть из общего объема строительных материалов. В современной технологии бетонов учтены факторы, оказывающие влияющие на их свойства: прочность, кинетику набора прочности, физико-механические и эксплуатационные свойства. Структуру современных бетонов модифицирую различными минеральными, органоминеральными, химическими, комплексными добавками, основу которых составляют отходы промышленности [1-3].

На предприятиях тяжелой промышленности, в частности, Донбасского региона, образуются десятки тонн отходов промышленности, что влечет за собой создание новых отвалов и карт хранения этих отходов [4]. Одними из таких отходов являются глиноземсодержащие шлаки и шламы, а также отработанные формовочные смеси.

Ряд исследований отечественных и зарубежных ученых подтверждают возможность использования алюмосодержащих отходов для производства тяжелых и мелкозернистых бетонов [5-9].

Применение отходов промышленности в строительной индустрии является наиболее актуальным и перспективным направлением. Это позволит усовершенствовать свойства строительных материалов, в частности цементных бетонов и в совокупности снизить нагрузку на экологическую среду.

Целью работы является разработка оптимальных составов бетона с комплексной добавкой из отходов промышленности: глиноземсодержащий компонент отход производства вторичного алюминия завода Интерсплав, г. Свердловск, ЛНР [10] и отработанная формовочная смесь отход производства литейно-механического завода г. Луганск, ЛНР.

В качестве вяжущего применяли портландцемент ЦЕМ 1 42,4 Д0 различных производителей (ПЦ).

В качестве химических добавок для повышения подвижности бетонной смеси использовали суперпластификатор С-3 (СП-1) в количестве 0,6 % от массы цемента.

Первоначально оптимизировали составы бетона по количеству глиноземсодержащей добавки - алюмошлака (АШ) и водоцементному отношению (В/Ц). Количество портландцемента принято постоянным.

Для того, чтобы выполнялись требования предъявленные быстротвердеющим бетонам необходимо обеспечить условие R_2 / R_{28} более 0,04 для этого выходные параметры и граничные значения функции отклика приняты со значениями: Y_1 – показатели прочности на 2 сутки твердения бетона, $R_{сж}$ не менее 17 МПа; Y_2 - показатели прочности на 28 сутки твердения, $R_{сж}$ не менее 44 МПа.

В качестве факторов варьирования приняты: X_1 – концентрация АШ с интервалом варьирования 2% от массы вяжущего, при этом уровни варьирования фактора 4; 6; 8; X_2 – величина В/Ц с интервалом варьирования

0,04 %, уровни варьирования фактора 0,38; 0,42; 0,46; X_3 – количество портландцемента (постоянный фактор) 489 кг.

В ходе экспериментальной части готовили десять замесов бетонной смеси объемом 7 литров, каждый на основе варьирования факторов состава: содержание АШ, содержание ПЦ и В/Ц отношение в соответствии с данными в матрице планирования.

Критерий Стьюдента и Фишера применяли при проверки значимости коэффициентов математических моделей и определении адекватности математических моделей (табл. 1).

Таблица № 1

Коэффициенты	Y_1		Y_2	
	t-критерий	Значимость	t-критерий	Значимость
b_0	18,376	1	70,536	1
b_1	1	0	5,469	1
b_2	0,837	0	1,293	0
b_3	1,215	0	1,315	0
b_{11}	4,303	1	7,112	1
b_{12}	0,644	0	0,296	0
b_{13}	0,874	0	0,429	0
b_{22}	1,426	0	0,554	0
b_{23}	0,258	0	3,155	1
b_{33}	0,007	0	2,836	1

Модели являются адекватным и применимы для решения производственных задач.

Получены математические модели зависимости показателей прочности бетона во вторые сутки твердения и в проектном возрасте в кодированном виде, Алгоритм программного комплекса PlanExp B-D13 позволяет

рассчитать коэффициенты функций отклика, а также выполнить статистическую обработку.

Зависимость прочности бетона на вторые сутки набора прочности от переменных факторов (X_1, X_2):

$$Y(X_1, X_2) = 33,018 + 0,769X_1 - 0,644X_2 - 6,398X_1^2 - 2,12X_2^2 + 0,59X_1X_2 \quad (1)$$

Зависимость прочности бетона в проектном возрасте от переменных факторов (X_1, X_2):

$$Y(X_1, X_2) = 54,151 - 1,797X_1 - 0,425X_2 - 4,517X_1^2 + 0,352X_2^2 + 0,116X_1X_2 \quad (2)$$

Натуральные значения при переходе от кодированных имеют следующий вид:

$$X_1 = \frac{x_1 - 6}{2}; X_2 = \frac{x_2 - 0,42}{0,04}; X_3 = const;$$

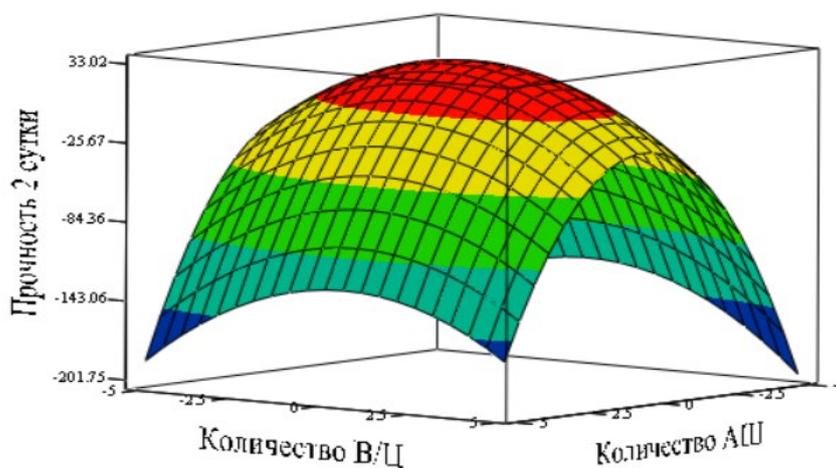


Рис. 1 – Трехмерная модель поверхности отклика, характеризующая прочность при сжатии на 2 сутки твердения, при нулевом уровне фактора X_3 .

Экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значения факторов: $X_1=0,053$ (6,106) и $X_2=-0,144$ (0,414) при $X_3=0$ (489) соответствуют $Y_{opt}=33,085$ (значение экстремума).

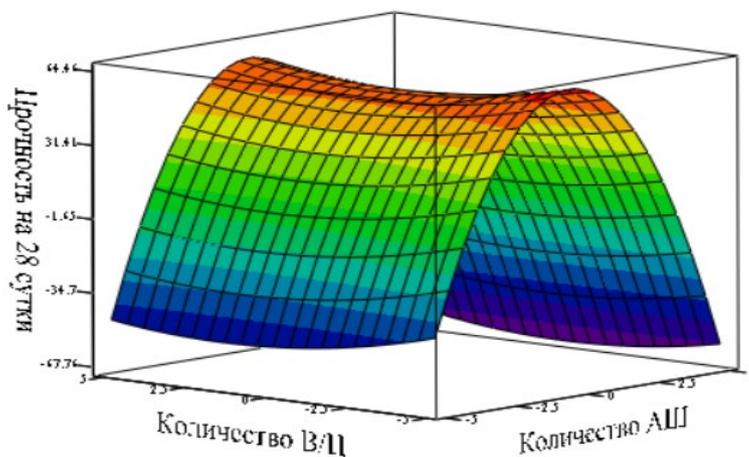


Рис. 2 – Трехмерная модель поверхности отклика, характеризующая прочность при сжатии на 28 суток твердения, при нулевом уровне фактора X_3 .

$Y_{opt}=54,187$ (экстремум функции отклика) - находится в пределах варьирования переменных факторов, ему соответствуют значения факторов: $X_1=0,191$ (5,618) и $X_2=0,635$ (0,445) при $X_3=0$ (489).

Анализируя данные представленные в таблице № 3 и № 4 на показатели прочности на 2 и 28 суток твердения соответственно наибольшее влияние оказывает изменение концентрации АШ и В/Ц отношение, с увеличением концентрации АШ прочность при сжатии образцов во 2 и 28 суток твердения снижается. Оптимальной дозировкой глиноземсодержащего компонента АШ для дальнейших исследований принята концентрация в размере 6% от массы ПЦ.

На втором этапе составы с комплексной добавкой были оптимизированы по водоцементному отношению, количеству отработанной-формовочной смеси (ОФС), при этом содержание АШ принято постоянным.

В качестве параметра оптимизации были приняты прочность на сжатие во 2 и 28 сутки твердения бетона, в МПа.

В качестве факторов варьирования приняты: X_1 – концентрация АШ 6% (постоянный фактор) от массы вяжущего; X_2 – величина В/Ц с интервалом варьирования 0,04 %, уровни варьирования фактора 0,36; 0,40; 0,44; X_3 – количество ОФС с интервалом варьирования 5% от массы мелкого заполнителя - песка, уровни варьирования 10; 15; 20.

В ходе экспериментальной части готовили десять замесов бетонной смеси объемом 7 литров, каждый на основе варьирования факторов состава: содержание АШ, содержание ОФС и В/Ц отношение в соответствии с данными в матрице планирования.

Критерий Стьюдента и Фишера применяли при проверки значимости коэффициентов математических моделей и определении адекватности математических моделей (табл. 2).

Таблица № 2

Коэффициенты	Y_1		Y_2	
	t-критерий	Значимость	t-критерий	Значимость
b_0	57,253	1	101,822	1
b_1	0,393	0	4,937	1
b_2	2,408	0	7,504	1
b_3	0,898	0	15,931	1
b_{11}	2,51	1	2,459	1
b_{12}	0,485	0	4,712	1
b_{13}	0,153	0	0,326	0
b_{22}	0,899	0	4,598	1
b_{23}	1,281	0	1,294	0
b_{33}	5,714	1	14,012	1

Математическая модель зависимости от переменных факторов (X_1, X_2) для показателей прочности бетона на 2 сутки твердения:

$$Y(X_2, X_3) = 36,782 + 0,662X_2 + 0,247X_3 - 0,478X_2^2 - 3,037X_3^2 + 0,42X_2X_3 \quad (3)$$

Математическая модель зависимости от переменных факторов (X_1, X_2) для показателей прочности бетона на 2 сутки твердения:

$$Y(X_2, X_3) = 69,872 - 2,204X_2 - 4,679X_3 - 2,61X_2^2 - 7,954X_3^2 + 0,453X_2X_3 \quad (4)$$

Натуральные значения при переходе от кодированных имеют следующий вид:

$$X_1 = const; X_2 = \frac{x_2 - 0,40}{0,04}; X_3 = \frac{x_3 - 0,15}{5};$$

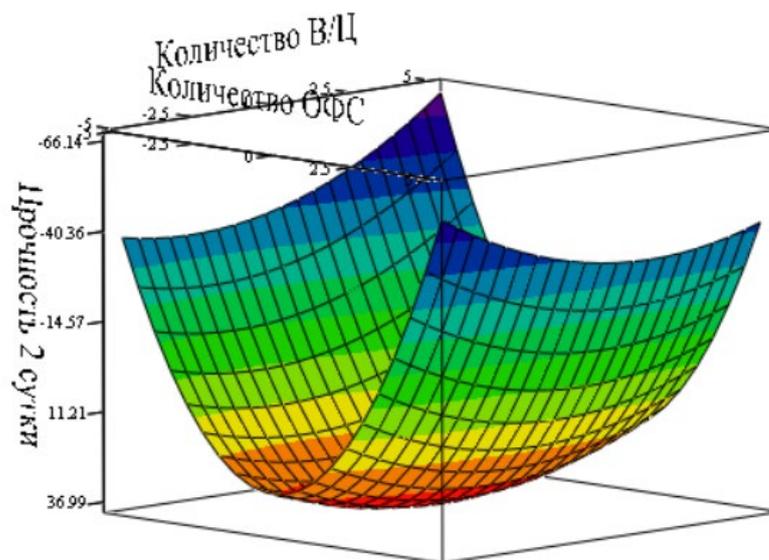


Рис. 3 – Трехмерная модель поверхности отклика, характеризующая прочность при сжатии на 2 сутки твердения, при нулевом уровне фактора X_1 .

Значение экстремума - $Y_{opt} = 37,011$. Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов: $X_2 = -0,696$ (0,372) и $X_3 = -0,007$ (14,965) при $X_1 = 0$ (6).

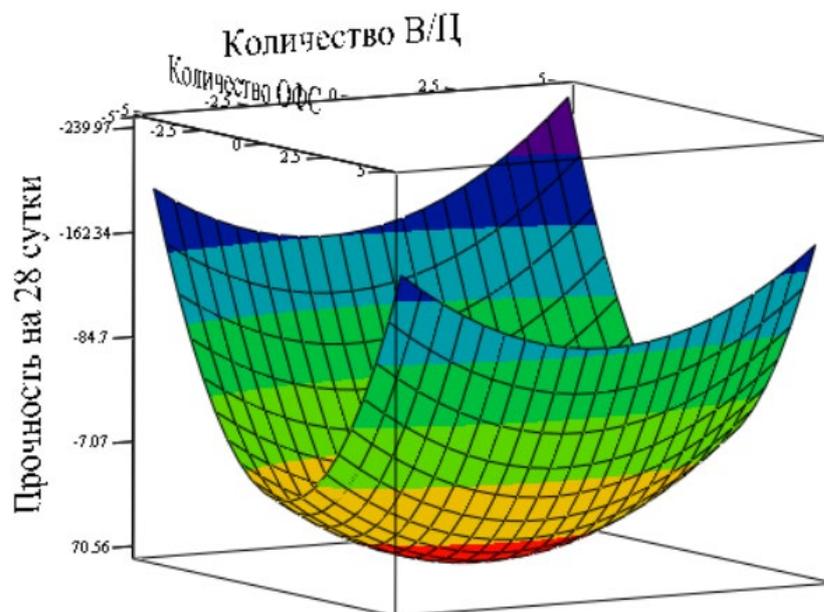


Рис. 4 – Трёхмерная модель поверхности отклика, характеризующая прочность при сжатии на 28 суток твердения, при нулевом уровне фактора X_1 .

Значение экстремума составляет $Y_{opt}=71,085$ при $X_2=-0,449$ (0,382) и $X_3=-0,307$ (13,465) при $X_1=0$ (6).

При выполнении анализа данных максимальные значения показателей прочности бетона на 2 и 28 суток твердения достигается при концентрации ОФС 15 % от массы песка.

При решении компромиссной задачи требовалось найти значения факторов, обеспечивающих отношение прочности при сжатии бетона на 2 суток твердения (МПа) к прочности при сжатии на 28 суток твердения (МПа) $R_{сж2\text{ сут}}/R_{сж28\text{ сут}} \leq 0,04$, для быстротвердеющих тяжёлых бетонов.

Выводы. Современные программные комплексы позволяют реализовать все возможные комбинации факторов на всех выбранных уровнях исследования с проведением минимального количества опытов в кратчайшие временные сроки.

Установлены оптимальные рецептурно- технологические параметры быстротвердеющего тяжелого цементного бетона при:

- 1) В/Ц = 0,40;
- 2) количестве ОФС в размере 15 % от массы песка.

Литература

1. Ружинский С.И. Ускорители схватывания и твердения в технологии бетонов // Популярное бетоноведение. – 2005. –№1, 75 с.
2. Rixom R., Mailvaganam N. Chemical Admixtures for Concrete. E&FN Spon, London, 1999. 446 p.
3. Степанов, С. В. Комплексный ускоритель твердения цементных бетонов на основе гальванического алюмошлама : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Степанов Сергей Викторович; Казанский государственный архитектурно-строительный университет. - Казань, 2012. - 20 с.
4. Дрозд Г.Я. Экологическая безопасность Донбасса: учебное пособие/ Г.Я. Дрозд. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2021. - 438 с.
5. Ewaisa E.M.M., Khalilb N.M., Aminc M.S., AhmedaY.M.Z., Barakatd M.A. Utilization of aluminum sludge and aluminum slag (dross) for the manufacture of calcium aluminate cement // Ceramics International. 2009. №. 8. pp. 3381-3388.
6. . Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Promising use of waste coal in the production of insulating material without the use of traditional natural materials// Inorganic materials: applied research. 2017. 8. №. 5.pp. 788-794.
7. Kumar S., Kumar R., Vandopadhyay A. Innovative methodologies for the utilisation of wastes from metallurgical and allied industries // Resources, Conservation and Recycling. 2006. № 48. pp. 301-314.
8. Волочко А., Белов И. Использование отходов переработки алюминиевых сплавов (стружка, шлаки) в производстве // Архитектурно-

строительный портал, 2005, URL: ais.by/story/743.

9. Шалевская, И. А., Гутько, Ю.И. Исследование возможности утилизации отходов формовочных смесей // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии: Сборник научных трудов. 2011. № 8. С. 169-173

10. Завод «Интерсплав». – URL: ukr-prom.com/firm-399.

References

1. Ruzhinskiy S.I. Populyarnoye betonovedeniye. 2005. № 1, 75 p.
2. Rixom R., Mailvaganam N. Chemical Admixtures for Concrete. E&FN Spon, London, 1999. 446 p.
3. Stepanov S.V. Kompleksnyy uskoritel tverdjeniya tsementnykh betonov na osnove gal'vanicheskogo alyuminoshlama [Complex hardening accelerator for cement concrete based on galvanic aluminum sludge]. Kazan, 2012. 20 p.
4. Drozd G.Ya. Ekologicheskaya bezopasnost' Donbassa [Environmental safety of Donbass]. Lugansk: Izd-vo «Noulidzh», 2021. 438 p.
5. Ewaisa E.M.M., Khalilb N.M., Aminc M.S., Ahmeda Y.M.Z., Barakatd M.A. Utilization of aluminum sludge and aluminum slag (dross) for the manufacture of calcium aluminate cement. Ceramics International. 2009. № 8. pp. 3381-3388.
6. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Inorganic materials: applied research. 2017. № 5. pp. 788-794.
7. Kumar S., Kumar R., Bandopadhyay A. Resources, Conservation and Recycling. 2006. № 48. pp. 301–314.
8. Volochko A., Belov I. Arhitekturno-stroitel'nyj portal, 2005. URL: ais.by/story/743.
9. Shalevskaya, I. A., Gut'ko, Yu.I Vestnik Donbasskoj gosudarstvennoj mashinostroitel'noj akademii: Sbornik nauchnyh trudov. 2011. № 8. pp. 169-173.



10. Zavod «Interspav». [Factory «Interspav»]. URL: ukr-prom.com/firm-399

Дата поступления: 4.11.2024

Дата публикации: 1.01.2025