

Комплексная органоминеральная добавка на основе промышленных отходов

Е.А. Шляхова, И.О. Егорочкина

Донской государственный технический университет

Аннотация: Представлены результаты исследования отвальной золошлаковой смеси, являющейся отходом производства на тепловых электростанциях. Показана эффективность её использования в качестве минерального компонента комплексной органоминеральной добавки. Установлены оптимальные значения степени измельчения золошлаковых смесей и соотношение между минеральной и органической составляющей комплексной добавки. Представлена методология математического моделирования и оптимизации свойств бетонов, модифицированных комплексной органоминеральной добавкой, позволяющей сократить расход цемента до 20% без потери прочности бетона.

Ключевые слова: органоминеральные добавки, промышленные отходы, математическое моделирование, экономия цемента.

Проблема экономии цемента в строительстве обусловлена конъюнктурой цементного рынка в стране. Действующие цементные заводы достигли своих производственных максимумов и при этом не в состоянии удовлетворять потребности строительной отрасли. Создание же новых цементных предприятий требует больших инвестиционных затрат. [1]. Дефицит цемента на сегодняшний день, в силу сложившихся геополитических условий, не может решаться за счет его импорта. Это обусловлено, помимо вышеназванной причины, отсутствием специальных терминалов для перевалки насыпного цемента. Доставка же импортного цемента железнодорожным транспортом осложнена недостаточной пропускной способностью транспортных коммуникаций. Это обстоятельство актуализирует проблему всемерной экономии цемента в строительстве. Помимо строительной сферы, вопросы экономии цемента чрезвычайно актуальны и с экологической точки зрения [2,3].

Возможность значительной экономии цемента дает развитие производства высокофункциональных бетонов, перспективы и проблематика применения которых отражена в исследовательских работах

[4,5]. Основными критериями качества высокофункциональных бетонов являются высокая прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, химическая стойкость, низкая диффузионная проницаемость [6]. Технология производства высокофункциональных бетонов предусматривает использование комплексных органоминеральных добавок (ОМД), содержащих в своем составе высокодисперсные минеральные компоненты и органические модификаторы, основные свойства которых отражены в работах отечественных исследователей [7,8]. Минеральными компонентами ОМД могут служить различные пылевидные промышленные отходы [9]. Выбор вида промышленных отходов требует специальных исследований и зависит от конкретных местных условий, а также технико-экономической эффективности получаемых результатов [10].

В настоящей работе рассматривается возможность получения эффективной органоминеральной добавки на основе отвалных золошлаковых отходов, обеспечивающая снижение расхода цемента без потери прочности бетона.

Для решения поставленной задачи использовались методы теории планирования эксперимента [11]. При постановке опытов по тому или иному математическому плану эксперимента, соответствующая статистическая обработка экспериментальных данных позволяет получить полиномиальную модель исследуемой зависимости в общем виде:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{ii=1}^m b_{ii} x_{ii}^2 + \sum_{ij=1}^k b_{ij} x_i x_j, \quad (1)$$

где y – изучаемая функция отклика;

x_i, x_j – кодированные значения i -ого и j -ого факторов;

b_i – искомый коэффициент i -ого фактора;

x_{ii}^2 – квадратичный член уравнения (1) для i -ого фактора;

b_{ii} - искомый коэффициент квадратичного i -ого фактора;

$x_i x_j$ – эффект взаимодействия i -ого и j -ого факторов;

b_{ij} - искомый коэффициент эффекта взаимодействия факторов.

В данной работе функцией отклика y по модели (1) служила величина относительной прочности бетона:

$$y = \frac{R_{28}}{R_{28}^{\text{исх}}} \cdot 100 \quad (2)$$

Факторами, влияющими на прочность бетона с разрабатываемой ОМД, были приняты:

x_1 – часть расхода цемента, снижаемая за счет соответствующего количества, вводимой в состав бетона ОМД, в пределах 5-25 %;

x_2 – степень дисперсности золошлаковых отходов, характеризуемая величиной удельной поверхности в пределах $S_{уд} = 2000-4000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Для математического моделирования зависимости прочности бетона от исследуемых факторов $y = f(x_1, x_2)$ использован план второго порядка типа ССП-2 на правильном шестиугольнике [11], позволяющий по результатам семи опытов получить квадратичную модель изучаемой системы.

Исходным был принят состав бетона для технологии монолитного домостроения с доставкой приготовленной на заводе бетонной смеси марки П4 к месту укладки автобетоносмесителями и подачей в бетонируемую конструкцию бетононасосами.

Вязущим веществом для приготовления бетонной смеси с маркировкой БСТ В25 П4 служил портландцемент ЦЕМ I 42,5Н Себряковского цементного завода.

В качестве крупного заполнителя использовался щебень из песчаника фракции 5-20 мм, с маркой прочности по дробимости - 1200.

Мелким заполнителем служил песок Левенцовского месторождения

Ростовской области с модулем крупности $M_k=1,56$.

Органическим компонентом разрабатываемой ОМД был принят суперпластификатор компании «Скай Трейд» St 2.1, в соответствии с ТУ 5745-004-9459066-2012.

При разработке и оптимизации состава ОМД на основе изучаемых исходных материалов необходимо было выявить оптимальную тонкость помола золошлаковых отходов, характеризуемую величиной удельной поверхности ($S_{уд}$, $см^2/г$) и максимально возможную величину замены части цемента в исходном составе бетонной смеси предлагаемой ОМД без потери прочности бетона.

Матрица планирования и результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Планирование и результаты эксперимента

№	План		Расчетная матрица			Отклик $y = \frac{R_{2эл}}{R_{2ск}} \cdot 100, \%$
	x_1	x_2	$x_1 \cdot x_2$	x_1^2	x_2^2	
1	-0,5	-0,87	0,43	0,25	0,75	90
2	0,5	-0,87	-0,43	0,25	0,75	87
3	-1	0	0	1	0	114
4	0	0	0	0	0	101
5	1	0	0	1	0	90
6	-0,5	0,87	-0,43	0,25	0,75	110
7	0,5	0,87	0,43	0,25	0,75	100
$\sum_{i=1}^7$	(1y) -30,5	(2y) 28,7	(12y) -3,0	(11y) 300,75	(22y) 290,25	(0y) 692

Реализация плана эксперимента, приведенная в таблице 1, позволила вычислить неизвестные коэффициенты полиномиальной модели (1), которая для двух факторов в нашем случае имеет вид:

$$y = 101 - 10,2x_1 + 9,6x_2 - 4x_1x_2 - 6x_1^2 + x_2^2 \quad (3)$$

Модель (3) математически описывает некоторую поверхность

отклика в исследуемом факторном пространстве. Построен геометрический образ исследуемой функции отклика (рисунок 1).

Анализ геометрического образа полученной модели (заштрихованная область) показывает, что, в зависимости от дисперсности минерального компонента, замещение от 8 до 18 % цемента разработанной ОМД обеспечивает соответствующую экономию цемента без потери прочности бетона. При этом, чем выше степень измельчения золошлаковых отходов, тем больше экономия цемента. Однако повышение тонкости помола ведет к увеличению энергозатрат и снижает производительность помольного оборудования. Поэтому выбор оптимальной степени измельчения золошлаковых отходов определяется технико-экономическим расчетом, учитывающим специфику местных условий.

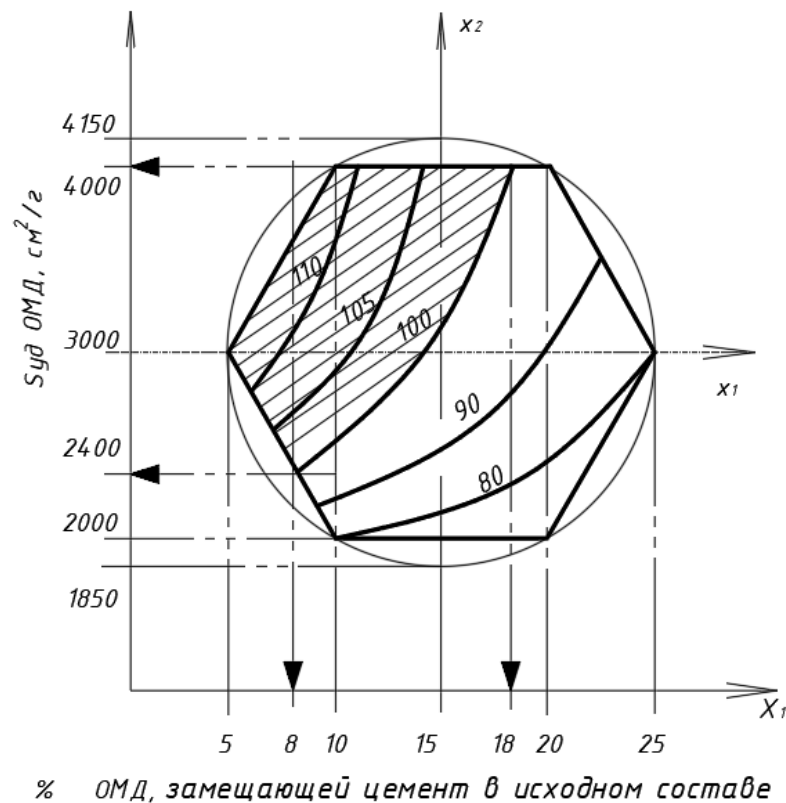


Рисунок 1. – Геометрический образ функции отклика $y = \frac{R_{2si}}{R_{2sko}} \cdot 100, \%$

Заключение

Разработана эффективная комплексная органоминеральная добавка с использованием в качестве минерального компонента золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС.

Методами теории планирования эксперимента получена математическая модель изучаемой системы и построен ее геометрический образ, интеграция которого позволяет в зависимости от степени измельчения золошлаковых отходов и расхода предложенной добавки сократить расход цемента на 10-20 % без потери прочности бетона.

Методологию решения поставленной задачи целесообразно использовать в дальнейших исследованиях, направленных на расширение номенклатуры органоминеральных добавок на базе отходов переработки осадочных и вулканических пород, являющихся местным сырьем в том или ином регионе.

Литература

1. Епифанов, В.А., Васильева, Е.В. Развитие производства цемента в условиях современного рынка. Строительство. Экономика и управление, 2016, № 2 (22), С. 2-7.
2. Bovea, M.D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, A., Colomer-Mendoza, F.J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study // Waste Management 30, 2010, № 11, p. 2383-2395.
3. Кондратенко, Т.О. Оценка воздействия строительного производства на окружающую среду. Инженерный вестник Дона, 2012, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1298



4. Мясникова, А.А., Иванов, И.М., Крамар, Л.Я. Высокофункциональные бетоны, модифицированные доменным гранулированным шлаком //Архитектура, градостроительство и дизайн, 2021, № 3 (29), С. 8-15.
5. Hooton, R.D. Future Directions for Design, Specification, Testing, and Construction of Durable Concrete Structures. Cement and Concrete Research, 2019, Vol. 124, 105827.
6. Шулдяков, К.В. Трофимов, Б.Я. Крамар Л.Я. Структурный фактор долговечности бетона. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2020, № 1, С. 46-51. DOI: 10.14529/build200105
7. Шляхова, Е.А., Руденко, А.А. Использование органоминеральной добавки для экономии цемента // Инженерный вестник Дона, 2017, № 4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4536
8. Перцев, В.Т., Леденев, А.А., Халилбеков, Я.З. Комплексные органоминеральные добавки для бетонов. Символ науки: международный научный журнал, 2017, Т. 2, № 4, С. 89-91.
9. Шляхова, Е.А., Шляхов, М.А. Комплексная органоминеральная добавка в бетонную смесь. - Ростов-на-Дону. Известия РГСУ, 2015, № 19, с. 63-69.
10. Егорочкина, И.О. Рекомендации по подбору состава бетонов на вторичных заполнителях с разномодульными включениями. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2014, № 3, С. 49-54.
11. Питерский, А.М. Основы математического планирования эксперимента. – Новочеркасск.: НГМА, 2012, 164 с.

References

1. Epifanov, V.A., Vasilieva, E.V. Stroitel'stvo. Ekonomika i upravlenie, 2016, № 2 (22), pp. 2-7.
2. Bovea, M.D., Ibáñez-Forés, V., Gallardo, A., Colomer-Mendoza F.J. Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study. Waste Management 30, 2010, № 11, pp. 2383-2395.
3. Kondratenko, T.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1298.
4. Myasnikova, A.A., Ivanov, I.M., Kramar, L.Ya. Arhitektura, gradostroitel'stvo i dizajn, 2021, № 3 (29), pp. 8-15.
5. Hooton, R.D. Future Directions for Design, Specification, Testing, and Construction of Durable Concrete Structures. Cement and Concrete Research, 2019, Vol. 124, 105827.
6. Shuldyakov, K.V. Trofimov, B.Ya. Kramar, L.Ya. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura, 2020, № 1. pp. 46-51. DOI: 10.14529/build200105
7. Shlyakhova, E.A., Rudenko, A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4536.
8. Pertsev, V.T., Ledenev, A.A., Khalilbekov, Ya.Z. Simvol nauki, 2017, Vol. 2, № 4, pp. 89-91.
9. Shlyakhova, E.A., Shlyakhov, M.A. Izvestiya RGSU. Rostov-na-Donu, 2015, № 19, pp. 63-69.
10. Egorochkina, I. O. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura, 2014, № 3, pp. 49-53.



11. Pitserskiy, A.M. Osnovy matematicheskogo planirovaniya eksperimenta [Fundamentals of mathematical planning of experiment]. Izd-vo NSMA, Novocherkassk, 2012, 164 p.