шлаке возрастает от 11,2 до 13,9 % , что значительно выше показателей для сравнительных плавок, в шлаке которых содержание оксида магния находилось в пределах 11,0 – 11,4 % [3].

На рис. 2 построена зависимость содержания MgO в шлаке от расхода шлакообразующего. Отсюда следует, что расход ошлакованного доломита свыше 3 – 4 т/плавку (что соответствует 6 – 8 % MgO в шлаке) нецелесообразен ввиду ухудшения степени усвоения.

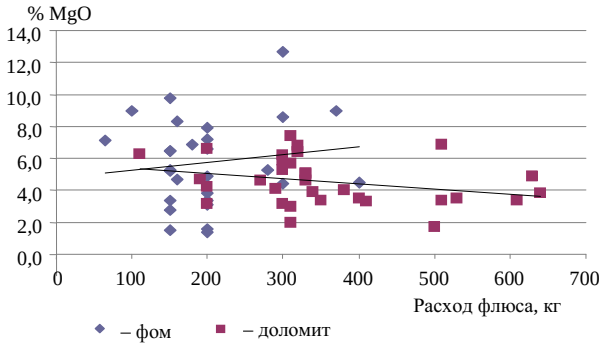


Рис 2. Зависимость содержания MgO в шлаке от расхода шлакообразующего

Наиболее агрессивными являются шлаки первого и третьего периода продувки. С нашей точки зрения, наиболее оптимальным будет вариант технологии, когда в завалку загружают ошлакованный доломит, а в третий период, для подготовки шлака к раздуву, загружают порцию ФОМ.

Литература

1. *Бойченко, Б.М.* Конверторное производство стали / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотский, П.С. Харлашин. – Днепропетровск, 2006.

2. *Демидов, К.Н.* Использование MgO-содержащих флюсов при выплавке стали в конверторах / К.Н. Демидов, Л.А. Смирнов, С.И. Кузнецов // Сталь. – 2007. − № 4. − С. 22 – 25.

3. *Демидов, К.Н.* Комплексные синтетические магнезиальные флюсы для улучшения конвертерного процесса / К.Н. Демидов, Л.А. Смирнов, А.П. Возчиков // Сталь. – 2010. − № 5. − С. 45 – 47.

4. *Дмитриенко, Ю.А.* Опыт производства и применения модификаторов сталеплавильных шлаков / Ю.А. Дмитриенко, В.Н. Коптелов, И.Г. Марясев // Сталь. – 2005. − № 1. − С. 30 – 33.

УДК 69.691.3

Г.В. Бондаренко
Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент А.Г. Каптюшина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА ЧЕРЕПОВЕЦКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

В статье рассматриваются вопросы проектирования состава бетонной смеси из вторичных продуктов Череповецких промышленных предприятий с помощью метода математической статистики «Теория планирования эксперимента». По результатам исследования выведена линейная зависимость прочности твердения бетонной смеси от соотношения мелкого и крупного заполнителя, которая позволяет прогнозировать свойства шлакового бетона.

Бетон, математическая статистика, факторы варьирования, прочность.

The article considers the issues of design of concrete mix from secondary products of Cherepovenian manufactory enterprises by means of mathematical statistics method “Theory of experiment planning”. The experiment revealed the linear dependence of maturing strength of concrete mix from the proportion of small and large filler, which allows predicting the properties of slag concrete.

Concrete, mathematical statistics, factors of variation, strength.

Для Череповецкого региона по ряду объективных причин (сырьевые базы, транспортные пути, взаимопроникаемые технологии и т.п.) характерной особенностью является концентрация нескольких отраслей промышленности: металлургической, химической, строительной и др., которая определяет круг проблем, связанных с накоплением промышленных отходов в отвалах с сопутствующими вопросами по снижению экологической нагрузки на природные ресурсы.

Одним из направлений по снижению объемов техногенных отходов на протяжении многих лет является вовлечение вторичных продуктов в качестве минерального сырья в строительную индустрию.

Тенденции последнего десятилетия в строительстве позволяют полагать, что происходит подъем в данной отрасли, причем на уже более высоком уровне – внедряются усовершенствованные технологические линии, внедряются эффективные строительные материалы, в том числе на основе металлургических

шлаков, зол и шлаков тепловой энергетики, используются в бетонах техногенные заполнители, по техническим свойствам идентичные природным.

Несмотря на большой объем накопленных данных, есть необходимость в разработках теоретических подходов к вопросу управления свойствами бетонов на основе металлургических шлаков [3, с. 40]. Одним из элементов управления эксплуатационными свойствами бетонов является варьирование составом и объемным содержанием компонентов бетона, которое связано с автоматизацией различных производственных процессов: измерения параметров исходного сырья, расчета рецептур, подачи сырья и формирования смеси, выдачи готового продукта.

В результате проектирования состава бетонной смеси должно быть определено соотношение между компонентами, при котором будут гарантированы необходимая подвижность бетонной смеси, определенные качественные показатели готового бетона: прочность в конструкции, морозостойкость, теплопроводность, водонепроницаемость. Проектирование состава бетона включает следующие этапы:

– назначение требований к бетону,
– выбор материалов и характеристики их свойств,
– определение предварительного состава бетона,
– корректировка состава в пробных замесах.

При корректировке проводят предварительные испытания для получения уточненных зависимостей свойств бетона и бетонной смеси, приготовленных на данных компонентах и оборудовании по принятой технологии, от различных факторов. При проведении этих испытаний используются математические методы факторного планирования эксперимента и обработки его результатов. В настоящее время достаточно широко изучается и используется современный математический аппарат при проектировании эффективных бетонных смесей на основе цементных вяжущих [1], [5]; тем не менее, недостаточно изучены вопросы по оптимальным соотношениям мелкого и крупного заполнителя в шлаковых бетонах на шлаковых вяжущих.

Учитывая совокупность перечисленных факторов, поставлена *цель*: подобрать оптимальный состав бетонной смеси на вяжущем, изготовленного из металлургических шлаков (ОАО «Северсталь») и фосфогипса (ОАО «Аммофос»), с помощью метода математической статистики «Теория планирования эксперимента», которая изучает рациональную организацию измерений, подверженных случайным ошибкам [2].

Исходя из цели, в работе поставлена основная *задача*: изготовить шлакобетон на основе вторичных продуктов производства, установить зависимости качественных показателей бетона (прочности при сжатии, плотности, теплопроводности от соотношения крупного и мелкого заполнителя, входящих в состав бетонной смеси).

В качестве входных *факторов* (контролируемых переменных) приняты: крупный заполнитель – фракционный щебень из доменных шлаков фракции 5 – 20 мм (ГОСТ 5578-94), мелкий заполнитель – кварцевый песок (ГОСТ 8736-93*). В качестве матрицы бетонной смеси принято применить экспериментальную композиционную сухую смесь (ЭКСС), состоящую из металлургических шлаков (ГОСТ 3476-74, СТО 00186217-079-2011), фосфогипса (ТУ 2141-677-00209438-2004) и 5 % – цементного клинкера (ГОСТ 10178-85*) не только получения высокой химико-минералогической однородности состава, но и замены дорогостоящего цемента на дешевое, экономически выгодное шлаковое вяжущее, состоящее из вторичных продуктов Череповецких промышленных предприятий. Состав компонентов бетонной смеси подбирался и изготовлялся на основе рекомендаций: ГОСТ 10181-2000 «Смеси бетонные. Методы испытаний».

За основной состав бетона для выбора нижнего и верхнего уровней был выбран состав, рекомендуемый для цементных бетонов на шлаковых заполнителях Череповецкого региона [4, с. 54].

В работе применяется полный факторный эксперимент (ПФЭ). Планирование в этом случае осуществляется на двух уровнях - верхнем (+1) и нижнем (-1), что позволяет реализовывать все неповторяющиеся варианты опытов на указанных уровнях для различного числа факторов. При этом число опытов n зависит от числа факторов и равно $2^к$ (для двух факторов: $n = 2^2 = 4$). При проведении опытов все факторы (крупный и мелкий заполнитель) варьируются на двух уровнях, матрица планирования X имеет вид:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

где ранг матрицы планирования $r = 3$, число наблюдений N – количество наблюдений = 4, поэтому планирование будет ненасыщенным, так как $r < n$. Значения факторов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики плана эксперимента

Характеристики	x_1	x_2
Основной уровень	x_{01}	x_{02}
Интервал варьирования	Δx_1	Δx_2
Верхний уровень	$x_{1\,max}$	$x_{2\,max}$
Нижний уровень	$x_{1\,min}$	$x_{2\,min}$

В рамках проводимого эксперимента изготовились образцы-кубы размером 100×100×100 мм – 9 шт., испытания по прочности на сжатие проводились на 14-е, 28-е, и на 60-е сутки. Для испытаний на теплопроводность изготавливались плитки размером 20×20×5 см – 9 шт. С учетом необходимого замеса рекомендуемые объемы (см. табл. 1) пересчитаны на объем бетона равным 0,025 м^3. Результаты расчетов сводим в табл. 2.

$$\overline{x_1} = \frac{x_{11} + x_{12}}{2} = \frac{40,5 + 5,8}{2} = 23,15,$$

$$\overline{x_2} = \frac{x_{21} + x_{22}}{2} = \frac{11,25 + 33,75}{2} = 22,5.$$

$$\Delta X_1 = \frac{x_{12} - x_{11}}{2} = \frac{40,5 - 5,8}{2} = 17,35,$$

$$\Delta X_2 = \frac{x_{22} - x_{21}}{2} = \frac{33.75 - 11,25}{2} = 11,25.$$

$$X_1 = \frac{x_1 - x_{10}}{\Delta X_1} = \frac{x_1 - 23,15}{17,37}. \quad (1)$$

$$X_2 = \frac{x_2 - x_{20}}{\Delta X_2} = \frac{X_2 - 22,5}{11,25}. \quad (2)$$

Таблица 2

Уровневые характеристики эксперимента

Характеристики	Щебень шлаковый, кг	Песок, кг
Основной уровень	23,15	22,5
Интервал варьирования	17,35	11,25
Верхний уровень	40,5	33,75
Нижний уровень	5,8	11,25

Результаты испытаний на 28-е сутки твердения по прочности на сжатие, отвечающих всевозможным комбинациям уровней переменных x_1 и x_2, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты наблюдений

Состав, № п/п	Теплопроводность, Вт/мК	плотность, г/см^3	Предел прочности при изгибе и сжатии, 28 суток			
			$R_{1сж}$, Мпа	$R_{2сж}$, Мпа	$R_{3сж}$, Мпа	$R_{сж.ср}$, Мпа
1	0,396	2,4	20,52	19,48	19,40	19,80
2	0,411	2,335	19,10	18,62	17,57	18,43
3	0,29	2,342	18,12	20,21	19,18	19,17
4	0,411	2,241	17,1	15,86	16,48	16,48

Планирование является ортогональным, поэтому неизвестные параметры $\hat{\beta}_u$ (бета) оценок метода наименьших квадратов (МНК) не взаимосвязаны и для определения МНК-оценок составляется расчетная табл. 4.

Таблица 4

Матрица планирования полного двухфакторного Эксперимента

№ опыта, i	План в кодированных переменных			Наблюдения			
	x_1	x_2	x_{12}	$R_{ср}$	R_1, $x_1 y_i$	R_2, $x_2 y_i$	$R_{ср}$, $x_1 x_2 y_i$
1	-1	-1	+1	19,80	-19,8	-19,8	19,8
2	+1	-1	-1	18,43	+18,43	-18,43	-18,43
3	-1	+1	-1	19,17	-19,17	+19,17	-19,17
4	+1	+1	+1	16,48	+16,48	+16,48	16,48

Используя расчетную табл. 4, получаем требуемые оценки параметров:

$$\hat{\beta}_0 = \frac{16,48 + 18,43 + 19,17 + 19,8}{4} = 18,47,$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{16,48 + 18,43 - 19,17 - 19,8}{4} = -1,015,$$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{16,48 - 18,43 + 19,17 - 19,8}{4} = -0,65,$$

$$\hat{\beta}_3 = \frac{16,48 - 18,43 - 19,17 + 19,8}{4} = -0,33.$$

Значит, оценка функции отклика есть, в результате проведенного эксперимента и расчетов, уравнение прочности имеет вид:

$$y_{R28} = 18,47 + 1,015x_1 + 0,65x_2. \quad (3)$$

В соответствии с руководством по подбору составов тяжелого бетона производится статистическая проверка значимости коэффициентов и пригодности полученных уравнений для описания исследуемых зависимостей. Для этого по результатам опытов в основной (нулевой) точке определяют: среднеарифметическое значение параметра y_o; дисперсию в нулевой точке $S_0^2 = S\frac{2}{y_0}$; среднее квадратичное отклонение $S_{\overline{y}_0} = S_0$; среднюю квадратичную ошибку в определении коэффициентов $S\{b_i\}$ по формулам:

$$\overline{y}_0 = \sum_1^{n_0} \frac{y_{0u}}{n_0},$$

$$S_{\overline{y}_0} = S_0 = \sqrt{S_0^2}, \quad (4)$$

$$S_{\overline{y}_0} = S_0 = \sqrt{S_0^2} = \sqrt{\sum_1^{n_0} \frac{(\overline{y}_0 - y_{0u})^2}{(n_0 - 1)}}, \quad (5)$$

$$S_{y_0}^2 = S_0^2 = \sum_1^{n_0} \frac{(\overline{y}_0 - y_{0u})^2}{(n_0 - 1)}, \quad (6)$$

$$S\{b_i\} = \frac{S_{\overline{y}0}}{\sqrt{N_1}}, \quad (7)$$

где n_o – число опытов в нулевой точке, y_{ou} – значение исследуемого свойства бетона в нулевой точке в u-м опыте, N_1 – количество наблюдений.

$$\overline{y}_0 = \sum_1^{n_0} \frac{y_{0u}}{n_0} = \frac{19,8 + 18,43 + 19,17 + 16,48}{4} = 18,47,$$

$$S_{y_2}^2 = \frac{(18,47 - 16,48)^2 + (18,47 - 18,43)^2}{4} +$$

$$+ \frac{(18,47 - 19,17)^2 + (18,47 - 19,18)^2}{4} = 1,24,$$

$$S_{\overline{y}_0} = S_0 = \sqrt{S_0^2} = \sqrt{\sum_1^{n_0} \frac{(y_0 - y_{0u})^2}{(n_0 - 1)}} = \sqrt{\frac{1,24}{3}} = 0,64,$$

$$S\{b_i\} = \frac{S_{\bar{y}0}}{\sqrt{N_1}} = \frac{0,64}{\sqrt{4}} = 0,32.$$

Определяется расчетное значение критерия Стьюдента:

$$\frac{t_p |b_i|}{S\{b_i\}}. \qquad (8)$$

и устанавливается значимость коэффициентов уравнений для определения прочности на 28-е сутки – R_{28}. Проверку рекомендуется производить, начиная с самого малого коэффициента. Полученное значение сравнивается $t_т$ - критерий Стьюдента из табл. 4 [2, с. 147] при $f_{\bar{y}} = n_0 - 1 = 4 - 1 = 3$.

Если $t_p < t_т$, то при обычно назначаемом уровне значимости α = 0,05 коэффициент считают равным нулю, а соответствующий ему член уравнения отбрасывают.

Определяем значимость коэффициентов:

$\hat{\beta}_1 = \frac{|-1,015|}{0,32} = 3,17$ – коэффициент незначим, так как < 4,3;

$\hat{\beta}_2 = \frac{|-0,65|}{0,32} = 2,03$ – коэффициент незначим, так как < 4,3.

Учитывая результаты, уравнение прочности на 28-е сутки твердения принимает окончательный вид: $y_{R28} = 18,47 + 1,015x_1 + 0,65x_2$.

Возвращаясь к исходным параметрам, подставляем формулы (1) (2) в формулу (3), получим:

$$y_{R28} = 18,47 + 1,015\frac{x_1 - 23,15}{17,35} + 0,65\frac{x_2 - 22,5}{11,25} = 15,82 + 0,06x_1 + 0,06x_2. \qquad (9)$$

По результатам эксперимента в программе Microsoft Excel построен график зависимости прочности на сжатие от варьирования крупного и мелкого заполнителя в шлаковых бетонах (см. рис. 1), выраженный агрегатным фактором, определяемый по формуле:

$$A_ф = \frac{M}{M + K},$$

где M – мелкий заполнитель, K – крупный заполнитель.

Проверка гипотезы адекватности проверяется отношением:

$$H_0 = \frac{S^2_{ад}}{S^2_{экс}}, \qquad (10)$$

где $S^2_{экс}$ – несмещенная оценка для неизвестного параметра σ^2.

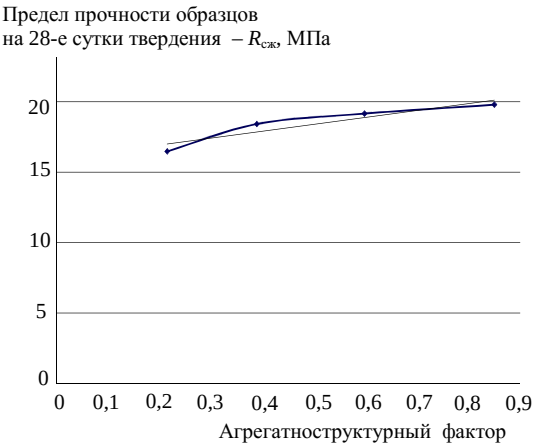


Рис. 1. График зависимости предела прочности бетона на шлаковом вяжущем от соотношения мелкого и крупного заполнителя

$$S^2_{экс} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{n}\sum_{S=1}^{m} y^2_{iS} - m\sum_{i=1}^{n}\bar{y}^{-2}_i = \frac{4117,3 - 4112,4}{12 - 4} = 0,61. \qquad (11)$$

Оценка дисперсии σ^2, связанная с неадекватностью модели, есть

$$S^2_{ад} = \frac{1}{n-r}\left(m\sum_{i=1}^{n}\bar{y}^{-2}_i - N\sum_{j=1}^{p_0}\left(\bar{\beta}^0_j\right)^2\right) = \frac{4112,4 - 12(18,47^2 + 1,015^2 + 0,65^2)}{4 - 3} = 1,32,$$

где $\bar{\beta}^0_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x^0_{ji}\bar{y}^{-2}_i$, $j = 1,2,...p_0$

Случайную величину наблюдений эксперимента, распределенную по закону Фишера, определяем по формуле:

$$F_{набл} = \frac{S^2_{ад}}{S^2_{экс}} = \frac{1,32}{0,61} = 2,16.$$

Результат используется в качестве критерия для проверки гипотезы. По таблице критических точек распределения Фишера по уровню значимости α = 0,05 и числам степеней свободы $N - n$ = 12 - 4 = 8 и $n - r$ = 4 – 3 = 1определяется критическая точка $F_{кр}(0,05; 1; 8) = 5,32$.

Так как $F_{набл} < F_{кр} = 2,16 < 5,32$, то гипотеза, утверждающая, что уравнение

$$y_{R28} = 18,47 + 1,015x_1 + 0,65x_2$$

адекватно, принимается.

Результаты проведенного эксперимента:

1. Использован метод математического планирования эксперимента при проектировании состава шлакового бетона.

2. Получены зависимости прочности бетона на шлаковом вяжущем от расхода крупного заполнителя (доменного щебня) и мелкого заполнителя (кварцевого песка), которые позволят прогнозировать марку бетона по прочности в зависимости от соотношения мелкого и крупного заполнителя.

Выполненная работа позволяет сделать вывод, что необходимы дальнейшие исследования с большим количеством входных факторов – варьировать водоцементное отношение, объем вяжущего, возможность использования различных добавок, повышающих технологические параметры бетона. На уровне Череповецкого промышленного региона дальнейшие исследования позволят разработать технические рекомендации по эффективным составам бетонных смесей из существующих вторичных продуктов промышленных производств, которые не только расширят номенклатуру шлаковых бетонов, но и позволят одновременно решать вопросы по снижению экологической нагрузки региона.

Литература

1. *Вознесенский, В.А.* Современные методы оптимизации композиционных материалов / В.А. Вознесенский, В.М. Выровой, В.Я. Керш и др. – Киев, 1983.

2. *Волкова, С.Б.* Математическая статистика и планирование эксперимента / С.Б. Волкова. – Череповец, 2009.

3. *Грызлов, В.С.* Шлакобетоны в крупнопанельном домостроении / В.С. Грызлов // Строительные материалы. – 2011. – № 3. – С. 40 – 41.

4. *Грызлов, В.С.* Рекомендации по использованию вторичных ресурсов металлургической, химической промышленности в строительстве / В.С. Грызлов, А.Г. Каптюшина, А.И. Фоменко. – Череповец, 1989.

5. *Дворкин, Л.И.* Проектирование составов бетона с заданными свойствами / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Ровно, 1999.

УДК 681.3.016

А.Н. Швецов, А.М. Куртасов

СЕМАНТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ ГЕНЕРАЦИИ УЧЕБНЫХ ТЕСТОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ ИЗ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ

В статье предлагается подход к задаче генерации учебных тестов, основанный на технологии извлечения знаний из естественно-языковых текстов. Рассматривается проблема семантического анализа обрабатываемых текстов.

Учебные тесты, генерация, извлечение знаний, естественно-языковые тексты, семантика.

The paper proposes the approach to the problem of educational tests generation, based on the technology of knowledge acquisition from natural-language texts. The problem of semantic analysis of processed texts is considered.

Educational tests, generation, knowledge acquisition, natural-language texts, semantics.

В ходе внедрения информационных технологий во многих образовательных учреждениях России сложилась практика создания электронных учебно-методических комплексов дисциплин (ЭУМКД), т. е. наборов учебно-методических материалов по определенной учебной дисциплине или учебному курсу, размещаемых на электронных носителях. С целью повышения эффективности применения ЭУМКД в них часто интегрируются средства оценки знаний учащихся, что позволяет осуществлять контроль успеваемости параллельно с выдачей учебных материалов. Наиболее распространенной формой контроля в ЭУМКД является тестирование.

В настоящее время на рынке существует большое количество программных продуктов, предназначенных для компьютерной реализации учебного тестирования: *UniTest System*, *AUGUST 4*, «СИнТеЗ», «Прометей», *Moodle* и др. [1]. Все эти продукты обеспечивают широкие возможности для проведения тестирования и оценки результатов. Однако наиболее важная и сложная для выполнения задача — композиция тестовых заданий — до сих пор остается слабо автоматизированной. Тестовые вопросы и варианты ответов создаются вручную, и этот процесс отличается большой трудоемкостью.

В данной статье развивается авторский подход к автоматизации рассматриваемой задачи, основанный на извлечении знаний из естественно-языковых текстов. В качестве таких текстов могут использоваться пособия и учебники по различным учебным дисциплинам. Исходные принципы подхода были заложены в нескольких ранее опубликованных работах [2], [5]. Основная идея подхода заключается в том, что из составляющих текст утвердительных предложений можно автоматически генерировать вопросы, которые затем будут отбираться, корректироваться и редактироваться преподавателем.

С целью практической апробации подхода в настоящее время разрабатывается программный продукт, позволяющий формировать тестовые задания для последующей их передачи в *LMS*-систему *Moodle* (http://moodle.org/), которая используется в качестве основного средства дистанционного обучения в Вологодском государственном техническом университете.

Основными средствами, реализующими данный