

УДК 332.14

DOI 10.22213/2413-1172-2017-3-71-73

Л. И. Рединов, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Е. А. Быстров, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖАРСТОЙКИХ БЕТОНОВ МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК

В настоящее время перспективным направлением в России и за рубежом является изготовление изделий и футеровок из сухих бетонных смесей. Доля огнеупорных бетонов в общем объеме отечественной огнеупорной продукции составляет примерно 25 % [1].

Огнеупорные бетоны – новый вид технических материалов, которые по физико-химическим свойствам являются огнеупорами, а по методам изготовления и способам применения могут быть отнесены к бетонам. Огнеупорные бетоны представляют собой безобжиговые огнеупоры, изготавливаемые в виде сухих бетонных смесей, бетонных масс, крупных блоков и панелей.

Развивающаяся металлургическая промышленность, постоянно возрастающие объемы выплавки металла предъявляют все более высокие и жесткие требования к применяемым огнеупорным материалам, их эксплуатационным характеристикам, качеству проводимых футеровочных работ, долговечности материалов, а также технологичности применения огнеупорных материалов [2].

Перспективным направлением, отвечающим возросшим эксплуатационным требованиям и повышению экономической эффективности футеровки тепловых агрегатов предприятий промышленности строительных материалов, нефтехимической промышленности, черной и цветной металлургии является совершенствование жаростойких и кислотостойких бетонов, на основе которых можно изготовить сборные крупноразмерные изделия или монолитные конструкции. Применение жаростойких бетонов при строительстве и ремонте тепловых агрегатов дает возможность механизировать производство, снизить их трудоемкость, повысить срок службы и производительность самих агрегатов.

Важнейшими задачами в производстве жаростойких бетонов является увеличение сроков службы тепловых агрегатов и уменьшение себестоимости изделий за счет повышения долговечности и качества выпускаемых материалов. Обладая высокими физико-техническими и экономическими показателями, жаростойкие бетоны во многих случаях более эффективны, чем штучные огнеупорные материалы. Исключение предварительного обжига, а в некоторых случаях и специальной термической обработки дает возможность сократить топливно-энергетические и трудовые затраты на их производство.

Особенностью технологии жаростойких бетонов является то, что формирование их структуры проис-

ходит не только при твердении в период термообработки или естественного твердения, но и при нагревании до высоких температур, а также изменяется в процессе эксплуатации [3].

В статье описан процесс выявления основных характеристик жаростойких бетонов и расчет их коэффициентов значимости на основе экспертных оценок. В дальнейшем полученные результаты могут быть использованы при строительстве футеровок промышленных печей, газоходов и печных вагонеток, фундаментов печей и труб, перекрытий АЭС.

Сущность метода экспертных оценок в общем случае заключается в следующем. Для решения конкретной задачи эксперты на основе своего опыта и интуиции предлагают мероприятия с частными оценками их эффективности (или оценивают выполненные мероприятия) – это первая (эвристическая) часть метода.

Затем частные оценки обрабатывают методами математической статистики, в результате чего получают более удобные для практического использования обобщенные оценки – это вторая (математическая) часть метода [4].

Проведенный авторами анализ специальной литературы [5–9] позволил составить перечень показателей (табл. 1), определяющих выбор состава жаростойкого бетона при проведении футеровочных работ.

Далее для уточнения перечня был проведен экспертный опрос. Этот метод позволяет выявить мнение специалистов по исследуемой проблеме, выполнить ранжирование каких-либо признаков и определить степень важности. Недостатком метода считается отсутствие гарантий в достоверности оценок. Эта проблема решается путем проверки согласованности мнений экспертов. Все существующие способы определения достоверности экспертных оценок основаны на предположении, что в случае согласия действий экспертов достоверность оценок гарантируется [10].

В опросе приняли участие работники строительных организаций (главный инженер, руководитель строительного отдела, генеральный директор, технадзор, инженеры, рабочие). Всего привлечено 7 экспертов.

Оценку степени значимости параметров эксперты производят путем присвоения им рангового номера. Фактору, которому эксперт дает наивысшую оценку, присваивается ранг 1. Если эксперт признает несколько факторов равнозначными, то им присваивается одинаковый ранговый номер. Показатели 9 и 10

(табл. 1) набрали наименьшие оценки, поэтому целесообразно будет исключить их из дальнейшего ис-

следования. Сводные результаты опроса представлены в табл. 2.

Таблица 1. Перечень показателей

| № п/п | Показатели, определяющие качество и выбор огнеупорных бетонов при строительстве тепловых агрегатов | Ед.измерения | Описание показателя |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Тип вяжущего | – | Гидратационные, силикатные, фосфатные, органические |
| 2 | Прочность на сжатие | МПа | Прочность бетона в проектном возрасте характеризуют классом прочности на сжатие по СТ СЭВ 1406 (классы В1-В40) |
| 3 | Цена | руб. | От 2800-3900 руб./м ³ |
| 4 | Завод-производитель | – | Качество производства, стоимость продукции и доставки |
| 5 | Плотность | г/см ³ | – плотные (до 16 %); – повышенной плотности (16–20 %); – обычной плотности (20–30 %); – пониженной плотности (30–45 %); – низкой плотности (45–80 %). |
| 6 | Сульфатостойкость | – | Стойкость в агрессивной среде |
| 7 | Температура применения | – | – жароупорный (до 1580 °С); – огнеупорный (от 1580 до 1770 °С); – высокоупорный (выше 1770 °С) |
| 8 | Наличие различных добавок | – | Увеличители жаростойкости, пластификаторы, понизители фильтрации |

Таблица 2. Сводные результаты экспертного опроса

| № п/п / эксперты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 | 2 | 4 |
| 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| 3 | 8 | 3 | 7 | 5 | 1 | 3 | 1 |
| 4 | 6 | 8 | 8 | 7 | 6 | 6 | 3 |
| 5 | 5 | 7 | 4 | 8 | 5 | 7 | 8 |
| 6 | 4 | 5 | 5 | 2 | 7 | 5 | 5 |
| 7 | 7 | 4 | 6 | 4 | 8 | 8 | 6 |
| 8 | 3 | 6 | 1 | 6 | 3 | 4 | 7 |

Оценка согласованности мнений экспертов была произведена с использованием коэффициента конкордации Кендела и критерия Пирсона [11]. Для расчетов показателей составлена матрица рангов (табл. 3).

Таблица 3. Матрица рангов

| Факторы / эксперты | Оценка эксперта | | | | | | | Сумма рангов | d | d^2 |
|--------------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|--------------|-------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | |
| x_1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 4 | 2 | 4 | 17 | -14,5 | 210,25 |
| x_2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 | 13 | -18,5 | 342,25 |
| x_3 | 8 | 3 | 7 | 5 | 1 | 3 | 1 | 28 | -3,5 | 12,25 |
| x_4 | 6 | 8 | 8 | 7 | 6 | 6 | 3 | 44 | 12,5 | 156,25 |
| x_5 | 5 | 7 | 4 | 8 | 5 | 7 | 8 | 44 | 12,5 | 156,25 |
| x_6 | 4 | 5 | 5 | 2 | 7 | 5 | 5 | 33 | 1,5 | 2,25 |
| x_7 | 7 | 4 | 6 | 4 | 8 | 8 | 6 | 43 | 11,5 | 132,25 |
| x_8 | 3 | 6 | 1 | 6 | 3 | 4 | 7 | 30 | -1,5 | 2,25 |
| Σ | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 252 | – | 1014,00 |

Отклонение d от среднего значения находим по формуле [12]

$$d = \sum x_{ij} - \sum \sum \frac{x_{ij}}{n}; \quad (1)$$

$$d = \sum x_{ij} - 31,5.$$

Делаем проверку правильности составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы по формуле

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2}; \quad (2)$$

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+8)8}{2}.$$

Суммы по столбцам матрицы равны между собой и контрольной сумме, значит, матрица составлена правильно.

Проводим анализ значимости исследуемых факторов.

В данном примере факторы по значимости распределились следующим образом (табл. 4).

Таблица 4. Расположение факторов по значимости

| Фактор | x_2 | x_1 | x_3 | x_6 | x_8 | x_7 | x_4 | x_5 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Сумма | 13 | 17 | 28 | 33 | 30 | 43 | 44 | 44 |

Проводим оценку средней степени согласованности мнений всех экспертов. Рассчитываем коэффициент конкордации по формуле [13]:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (3)$$

где S – сумма квадратов отклонений всех оценок рангов каждого объекта экспертизы от среднего значения, $S = 1014$; $n = 8$, $m = 7$;

$$W = \frac{12 \cdot 1014}{7^2(8^3 - 8)} = 0,493.$$

Коэффициент конкордации изменяется в диапазоне $0 < W < 1$, причем 0 – полная несогласованность, 1 – полное единодушие.

$W = 0,493$ говорит о наличии слабой степени согласованности мнений экспертов.

Оценка значимости коэффициента конкордации определяется критерием согласования Пирсона по формуле [14]

$$X^2 = \frac{12S}{mn(n+1)}; \quad (4)$$

$$X^2 = \frac{12 \cdot 1014}{7 \cdot 8(8+1)} = 24,14.$$

Вычисленный критерий Пирсона X^2 сравниваем с табличным значением для числа степеней свободы $K = n - 1 = 8 - 1 = 7$ и при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$. Так как X^2 расчетный 24,14 больше табличного (14,06714), то $W = 0,493$ – величина неслучайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

На основе получения суммы рангов (табл. 4) можно вычислить показатели весомости рассмотренных параметров. Матрицу опроса преобразуем в матрицу преобразованных рангов (табл. 5) по формуле [15]

$$S_{ij} = x_{\max} - x_{ij}, \quad (5)$$

где $x_{\max} = 8$.

Таблица 5. Матрица преобразованных рангов

| № п/п / эксперты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Σ | Вес λ |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------|---------------|
| 1 | 6 | 6 | 6 | 5 | 4 | 5 | 4 | 36 | 0,1836735 |
| 2 | 7 | 7 | 5 | 7 | 6 | 7 | 6 | 45 | 0,2295918 |
| 3 | 2 | 5 | 0 | 3 | 7 | 6 | 7 | 30 | 0,1530612 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 11 | 0,0561224 |
| 5 | 3 | 1 | 4 | 0 | 1 | 1 | 0 | 10 | 0,0510204 |
| 6 | 4 | 3 | 3 | 6 | 3 | 3 | 3 | 25 | 0,127551 |
| 7 | 5 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 15 | 0,0765306 |
| 8 | 1 | 2 | 7 | 4 | 5 | 4 | 1 | 24 | 0,122449 |
| Итого | | | | | | | | 196 | 1 |

Таким образом, выявлено 8 показателей, по которым можно произвести оценку жаростойких бетонов: тип вяжущего, прочность на сжатие, цена, завод-производитель, плотность, сульфатостойкость, плотность, наличие различных добавок. Для каждого показателя рассчитан коэффициент весомости на основе ранжирования показателей, предоставленных экспертами. В результате расчетов самыми значимыми показателями являются прочность на сжатие, тип вяжущего и цена материала.

Залогом длительной службы огнеупорного бетона как композиционного материала является эффективное сочетание заполнителя и матричного компонента по ряду свойств: стабильности компонентов при вы-

Получено 24.03.2017

соких температурах, коэффициенту термического расширения, коррозионной стойкости по отношению к металлу и шлакам.

Коэффициент конкордации и критерий Пирсона свидетельствуют о согласованности мнений экспертов. Рассчитаны коэффициенты весомости для каждого показателя. Полученные результаты могут быть использованы при строительстве футеровок промышленных печей, газоходов и печных вагонеток, фундаментов печей и труб, перекрытий АЭС.

Библиографические ссылки

1. Суворов С. А., Шевчик А. П. Периклазовые бетоны с пониженной влажностью для бойных плит и перегородок промежуточного ковша : тезисы мждунар. конф. огнеупорщиков и металлургов (Москва, 29-30 марта 2012 г.) // Новые огнеупоры. – 2012. – № 3. – С. 78.
2. Гареев Р. Р. Композиционное вяжущее на основе стабилизированного β -C2S для жаростойких бетонов : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. – Челябинск, 2007. – 135 с. – РГБ ОД, 61:07-5/2350.
3. Жугинисов М. Т., Кушеков Е. К. Вопросы технологии специальных бетонов с использованием жидкого стекла // Вестник КазНТУ. – 2013. – № 6.
4. Ефименко А. З., Рыбинкина Ю. М. Исследование приемов повышения качества ячеистых бетонов методом экспертных оценок // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 4. – С. 23–25.
5. Юдина Л. В., Турчин В. В., Сычугов С. В. Сухие строительные смеси на основе шлакощелочных вяжущих для использования в условиях агрессивной сульфатной среды // Сухие строительные смеси. – 2015. – № 5. – С. 22–28.
6. Юдина Л. В., Турчин В. В. Строительные материалы контактного твердения на основе шлаков, зол и грунтов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – № 2(14). – С. 303–307.
7. Огнеупорные бетоны [Электронный ресурс]. – URL: <http://uas.su/books/refractory/6/razdel6.php>
8. Волочко А. Т., Шипко А. А., Дёмин М. И. Мониторинг применения огнеупорных материалов на предприятиях Республики Беларусь // Литьё и металлургия. – 2011. – № 4(63). – С. 53–57.
9. ГОСТ 20910–90. Бетоны жаростойкие. Технические условия [Электронный ресурс] : введен в действие с 1991-07-01. – Доступ из ПСС «Техэксперт».
10. Багиев Г. Л., Тарасевич В. М., Анн Х. Маркетинг : учебник для вузов. – 3-е изд. / под общ. ред. Г. Л. Багиева. – СПб. : Питер, 2007. – 736 с.
11. Там же.
12. Там же.
13. Там же.
14. Беляевский И. К. Маркетинговое исследование: информация, анализ, прогнозирование : учеб. пособие. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 320 с.
15. Там же.