

УДК 666.692.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ ЗАВИСИМОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ОТ СОДЕРЖАНИЯ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩЕГО ШЛАКА ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

© 2012 В.З. Абдрахимов

Самарская академия государственного и муниципального управления

Поступила в редакцию 24.01.2012

Экспериментальные данные показали, что при содержании шлака в составах керамических масс 30% изделия имеют оптимальные физико-механические показатели. Использование кальцийсодержащего шлака от выплавки ферросплавов способствует утилизации промышленных отходов, охране окружающей среды и расширению сырьевой базы для строительных материалов.

Ключевые слова: исследование, метод линейной регрессии, зависимость, механические характеристики, кальцийсодержащий шлак, черная металлургия, отходы промышленности, глина, керамический материал.

В 1972 году Денис и Донелла Медоуз и Йорген Рандерс представили Римскому клубу свой знаменитый доклад «Пределы роста» – сценарий социально-экономической судьбы человечества в случае сохранения наблюдавшихся тенденций. Сценарий получился печальным: при любых конкретных значениях рассматриваемых параметров нашу цивилизацию ждал крах. К нему вели два основных механизма: истощение природных ресурсов и неконтролируемый рост отходов. Авторы доклада имели в виду в первую очередь промышленные выбросы в атмосферу и воду. Роль твердых бытовых отходов относительно производственных невелика.

Добыча и переработка природного минерального сырья связана с образованием больших количеств различных промышленных отходов, накопление которых приводит к ухудшению экологической обстановки в регионах. Одним из аспектов решения этой актуальной проблемы является применение техногенного сырья в керамических материалах.

По выбросам вредных веществ в атмосферу на первом месте стоит черная металлургия (табл. 1), поэтому в данной работе рассматриваются исследования по влиянию на физико-механические показатели кирпича кальцийсодержащего шлака от выплавки ферросплавов (отход черной металлургии), химический состав которого представлен в табл. 2.

Минералогический состав исследуемого шлака представлен стеклофазой, о чем свидетельствует изменение интегральных площадей дифракционных отражений и аморфного «галло», кварцем, псевдоволластонитом, анортитом и монтичеллитом (рис. 1).

Кыштырлинское месторождение глины находится в Тюменской области и по суммарному содержанию  $A_2O_3 + TiO_2$  относится к полукислым с высоким содержанием красящих оксидов ( $Fe_2O_3$  более 3%). Согласно классификации глины по огнеупорности делят на три класса, исследуемая глина относится к - классу легкоплавких (огнеупорность 1220 - 1320°C), по спекаемости к - неспекающимся, т.е. не способны при обжиге давать черепок без признаков пережога с водопоглощением не более 5%.

Для изучения влияния шлака на физико-механические показатели кирпича были исследованы составы, приведенные в табл. 3.

Керамическая масса готовилась пластическим способом при влажности шихты 18-22%. Сформированный кирпич, высушенный до остаточной влажности не более 8%, обжигался при температуре 1050 °С.

При исследовании зависимости между содержанием шлака и основными механическими характеристиками кирпича использовался достаточно распространенный метод линейной регрессии. Этот метод позволяет выявить, как изменения одной переменной влияют на другую [1-2]. Модель строится на основании результатов фактического эксперимента и аналитически описывает зависимость результатов серии опытов.

При проведении экспериментов некоторые факторы, такие как давление прессования и температура обжига, не изменяли своих значений. Поэтому влияния на полученные результаты они не оказывали. Таким образом, определяющим фактором качества кирпича является единственный показатель – процентное содержание шлака в массе. Эксперимент состоял из 10 опытов. В первом опыте независимая переменная  $X$  принимала минимальное значение, равное 0%. В каж-

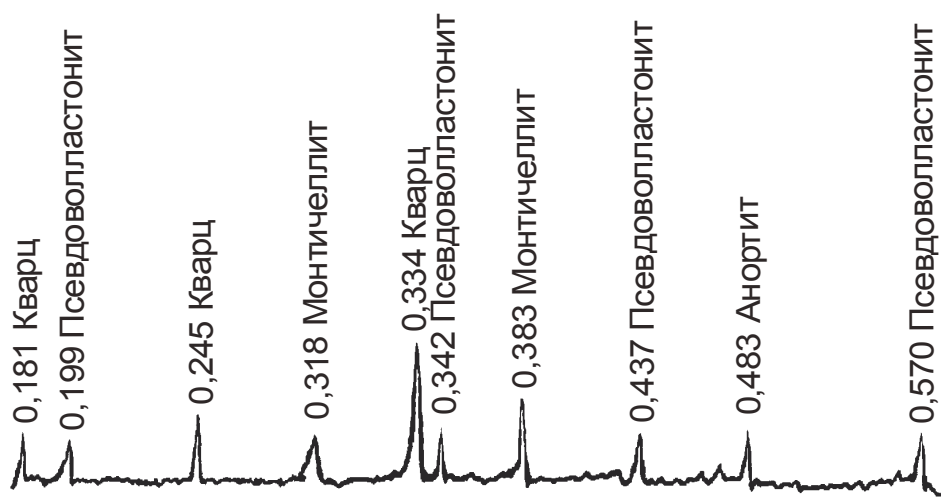
Владимир Закирович Абдрахимов, доктор технических наук, профессор. E-mail: 3375892@mail.ru

**Таблица 1.** Выбросы вредных веществ в атмосферу

Отрасль	Выбросы, %
Черная металлургия	24,3
Цветная металлургия	10,5
Энергетика	27,0
Автотранспорт	13,3
Нефтедобыча и нефтехимия	15,5
Промышленность строительных материалов	8,1

**Таблица 2.** Химический состав исследуемых компонентов

Компоненты	Содержание оксидов, мас. %							
	$SiO_2$	$Al_2O_3 + TiO_2$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$R_2O$	$SO_3$	п.п.п.
Шлак от выплавки ферросплавов (г. Серов)	34,24	9,4	0,48	45,18	8,87	0,98	-	-
Кыштырлинская глина	55,38	19,46	7,52	1,75	1,82	2,73	1,82	8,42



**Рис. 1.** Рентгенограмма металлургического шлака

**Таблица 3.** Составы керамических масс

Компоненты	Содержание компонентов (мас. %)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кыштырлинская глина	100	90	85	80	75	70	68	65	62	60
Кальцийсодержащий шлак от выплавки ферросплавов	-	10	15	20	25	30	32	35	38	40

дом последующем опыте содержание шлака увеличивали, а в последнем опыте  $X$  приняла максимальное значение равное 40% (табл. 3). Зависимость механических показателей кирпича от содержания шлака представлена в табл. 4. Графики зависимостей функций  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  от  $X$  (содержание шлака) имеют вид представленный на рис. 2.

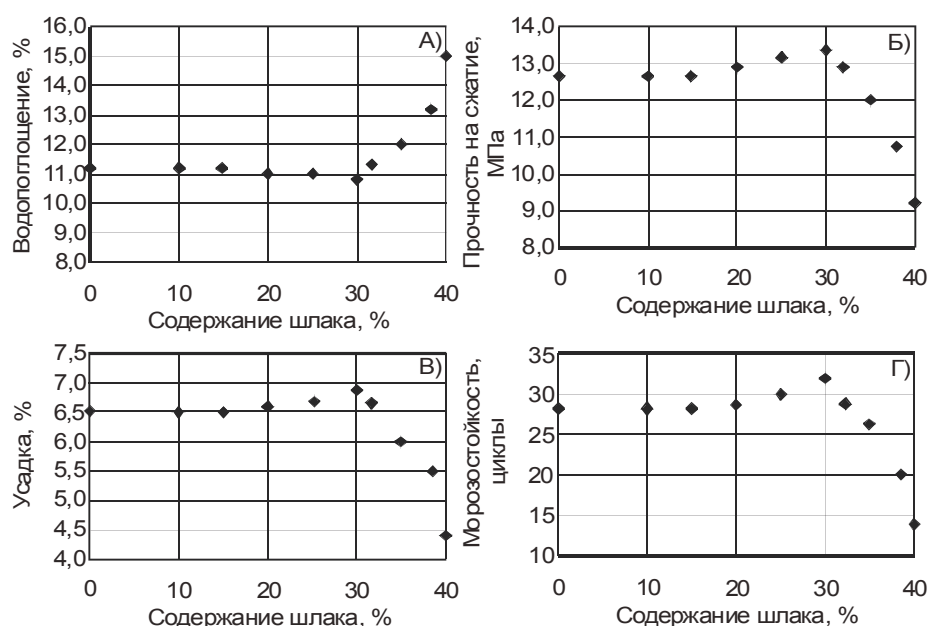
Из рис. 2 видно, что все зависимости показав-

телей от содержания шлака имеют явно нелинейный характер.

Постановка задач заключалась в подборе функции – модели, описывающей экспериментальные данные, определения ее параметров, оценка точности и построение доверительных интервалов для данной функции. Отметим, что все исследуемые зависимости  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  имеют

**Таблица 4.** Экспериментальные данные зависимостей параметров изделия от содержания шлака

Показатели		Составы									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X$ – содержание шлака	в %	-	10	15	20	25	30	32	35	38	40
	в долях	0,00	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,32	0,35	0,38	0,40
$Y_1$ – водопоглощение, %		11,2	11,2	11,2	11,1	11,0	10,8	11,3	12,0	13,2	15,0
$Y_2$ – прочность на сжатие, МПа		12,7	12,7	12,7	12,9	13,1	13,3	12,9	12,0	10,7	9,2
$Y_3$ – усадка, %		6,5	6,5	6,5	6,6	6,7	6,9	6,7	6,0	5,5	4,4
$Y_4$ – морозостойкость, циклы		28	28	28	29	30	32	29	26	20	14



**Рис. 2.** Вид экспериментальных зависимостей показателей от содержания шлака: А) – водопоглощение; Б) – прочность на сжатие; В) – усадка; Г) – морозостойкость

качественно подобный характер, поэтому для данных зависимостей воспользуемся одной и той же моделью

$$Y_1(X) = \frac{a + cX + eX^2}{1 + bX + dX^2}, \quad (1)$$

которая как было показано в работах [1, 2, 3] является оптимальной. Затем для каждой из зависимостей  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  методом наименьших квадратов, найден коэффициент  $R^2$ , а также были вычислены и построены 95% доверительные интервалы.

Значения параметров представлены в табл. 5, а на рис. 3 представлены модельные функции с

доверительными интервалами.

Для построения доверительного интервала по уравнению регрессии  $y=y(x)$  использовались следующие данные:

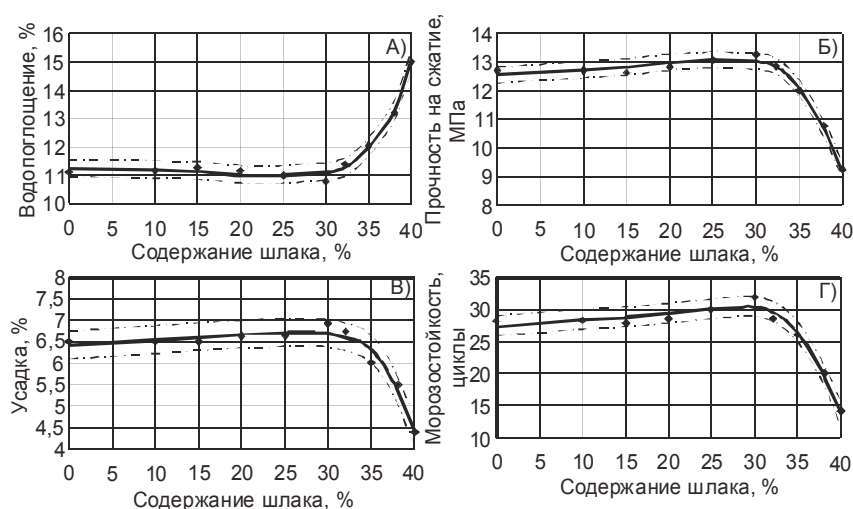
1. Оценка остаточной дисперсии по формуле (2)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{x_i} - y_i)^2}{n - 2}; \quad (2)$$

2. Средние значения независимой переменной по формуле (3)

**Таблица 5.** Значения параметров функций  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  и коэффициент  $R^2$

	$Y_1(X)$	$Y_1(X)$	$Y_1(X)$	$Y_1(X)$
a	11,30522	12,54797	6,39884	27,23876
b	-0,04563	-0,04833	-0,04592	-0,04935
c	-0,52691	-0,59187	-0,28393	-1,27577
d	0,00053	0,00060	0,00054	0,00063
e	0,00637	0,00714	0,00320	0,01516
$R^2$	0,991	0,990	0,972	0,981



**Рис. 3.** Графики зависимостей водопоглощения, прочности на сжатие, усадки и морозостойкости от содержания шлака:

А) – водопоглощение; Б) – прочность на сжатие; В) – усадка; Г) – морозостойкость.  
 ————— – модельная функция; 95% доверительные интервалы;  
 - - - - - – экспериментальные данные

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad (3)$$

3. Оценка средней групповой дисперсии по формуле (4)

$$S_{y_x}^2 = S^2 \left( \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right). \quad (4)$$

При определении доверительного интервала для индивидуальных значений зависимой переменной в пункте 3 можно использовать формулу (5)

$$S_{y_0}^2 = S^2 \left( 1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right); \quad (5)$$

здесь  $x$  – значение переменной, для которой ищутся границы доверительного интервала.

Зная надежность  $\gamma$  и число степеней свободы ( $k=n-2$ ), по таблице Стьюдента находим  $t_{\gamma,k}$ .

4. Вычисляем отклонение:  $\Delta = S_{y_x} \cdot t_{\gamma,k}$ .

5. Записываем результат в виде:  $y = y_x \pm \Delta$ , с надежностью  $\gamma$ .

$x$  – объясняющая переменная;  $y$  – фактические значения зависимой переменной;  $y_x$  – значение зависимой переменной по уравнению регрессии;  $\bar{x}$  – среднее значение  $x$ ;  $S^2$  – оценка остаточной дисперсии;  $n$  – число фактических данных;  $\gamma$  – надежность.

Таким образом, экспериментальные данные показали, что кирпич имеет оптимальные физико-механические показатели при содержании

шлака в составах керамических масс 30%. Метод регрессионного анализа по результатам зависимостей физико – механических показателей от содержания количества шлака показал, что экспериментальные данные достаточно хорошо описываются математическими зависимостями с точностью, принятой в практических расчетах, приведенные модули дают достаточно хорошие результаты, поэтому их можно оставить в приведенном здесь виде.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Ковков И.В., Абдрахимов В.З.* Исследование регрессивным методом анализа влияния шлака от выплавки ферросплавов на физико-механические показатели кирпича // Известия вузов. Строительство. 2006. №9. С. 105-110.
2. *Агафонова Н.С., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С., Долгий В.П.* Оптимизация состава керамических масс по механическим свойствам кирпича // Изв. Вузов. Строительство. 2005. №5. С. 53-58.
3. *Абдрахимов В.З.* Производство керамических изделий на основе отходов энергетики и цветной металлургии. Усть-Каменогорск: Восточно-Казахстанский технический университет. 1997. 238 с.

## **RESEARCH BY THE METHOD OF LINEAR REGRESS OF DEPENDENCE OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF CERAMIC MATERIALS FROM CONTENTS CALCIUMCONTAINING OF SLAG OF FERROUS METALLURGY**

© 2012 V.Z. Abdrakhimov

Samara Academy of the State and Municipal Management

Experimental data have shown, that at the contents of slag in structure of ceramic weights of 30 % of a product have optimum physicommechanical parameters. Use calciumcontaining slag from melt of ferroalloys promotes recycling industrial wastes, preservation of the environment and expansion of a raw-material base for building materials.

Keywords: research, a method of linear regress, dependence, mechanical characteristics, calciumcontaining slag, ferrous metallurgy, waste products of the industry, clay, a ceramic material.