

17. Kreibig U., Zacharias R. Zs. F. Phys., 1970. — Bd. 231, s. 128.
18. Fröhlich H. Elektronentheorie der Metalle. — Berlin.: Springer. 1936. — 564 s.
19. Карякин Ю. В. Чистые химические реактивы. Государственное научно-техническое издательство химической литературы [Текст]. — М. — Л., 1947.
20. Herdan G. Small Particle Statistics. 2nd ed. Academic. New York. 1960.

УДК: 519.246.8536.2.022

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПРОТИВОПРИГАРНЫХ ПОКРЫТИЙ СТЕРЖНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Т. В. Лысенко

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

Контактный тел.: (0482) 734-86-22; 093-700-45-62

E-mail: tvl12@list.ru

А. В. Степаненко

Магистр\*

Контактный тел.: (0482) 7348622

E-mail: tvl12@list.ru

Н. П. Худенко

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра высшей математики

Одесская Национальная академия пищевых технологий

ул. Канатная, 101, г. Одесса, Украина, 65039

Контактный тел.: (0482) 7124005; 067-491-31-44

E-mail: khudenkon@mail.ru

\*Кафедра технологии и управления литейными процессами

Одесский Национальный политехнический университет

пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044

*Наведено дані про використання регресійного аналізу для підвищення точності результатів експерименту за рахунок більш якісної обробки результатів при визначенні коефіцієнта теплопровідності протипригарних покриттів піщаних стержнів.*

*Ключові слова: протипригарні покриття, коефіцієнт теплопровідності, регресійний аналіз.*

*Приведены данные об использовании регрессионного анализа для повышения точности результатов эксперимента за счет более качественной обработки результатов при определении коэффициента теплопроводности протипригарных покрытий песчаных стержней.*

*Ключевые слова: протипригарные покрытия, коэффициент теплопроводности, регрессионный анализ.*

*Shows the use of regression analysis to improve the accuracy of the results of the experiment due to better treatment outcomes to determine the thermal conductivity of coatings antiburning sand cores.*

*Keywords: antiburning coating, thermal conductivity, regression analysis.*

### Введение

Самостоятельным и бурно развивающимся направлением внедрения компьютерных технологий в литейное производство является получение аналитической информации с помощью применения математических методов обработки данных. Применение соответствующего программного обеспечения значительно упрощает и ускоряет расчет определения коэффициентов теплопроводности протипригарных покрытий песчаных стержней.

Для проверки эффективности аналитического представления экспериментальной информации была использована система MathCAD (демонстрационная версия) [1]. Система MathCAD позволяет проводить линейную интерполяцию и сплайн-интерполяцию набора экспериментальных точек. Простейшим вариантом интерполяции является линейная интерполяция. Интерполяция дает возможность вычислить значения неизвестной функции

в промежутках между экспериментальными точками. Для вычисления значений функции вне области, ограниченной этими точками используют методы экстраполяции. Результаты экспериментов всегда содержат некоторую погрешность. Причем часто погрешность оказывается величиной одного порядка с измеряемой величиной. В таких случаях интерполяционная кривая будет весьма далека от истинной зависимости. Поскольку подобные ситуации возникают довольно часто, эффективность использования интерполяции в «тонких» экспериментах проблематична.

Гораздо более перспективным представляется регрессионный анализ, который позволяет осуществить подгон параметров той или иной функции для наилучшей аппроксимации экспериментальных данных. Если аппроксимирующая функция выбрана удачно, то значения ее параметров могут быть источником разнообразной информации об измеряемой величине.

Рассмотрим использование регрессионного анализа для повышения точности результатов эксперимента за счет более качественной обработки результатов при определении коэффициента теплопроводности противопопригарных покрытий песчаных стержней.

**Основная часть**

Литейные противопопригарные покрытия обычно наносятся на песчаные стержни в виде красок, представляющих собой суспензии порошкообразного наполнителя, связующего компонента и стабилизатора, равномерно распределенных в дисперсионной среде [2].

Одним из важных параметров противопопригарных покрытий является значение коэффициента теплопроводности. Теплопроводность покрытий оказывает большое влияние на заполняемость формы жидким сплавом, а также ход формирования отливки.

Исходя из анализа литературных данных и сформулированных задач исследований, приняты для исследований следующие четыре состава противопопригарных покрытий (табл. 1).

**Таблица 1**

**Составы покрытий песчаных стержней, использованные для оценки противопопригарных свойств**

№ п/п	Маркировка покрытия	Компоненты покрытия	Состав, вес, %
1.	1	Циркон Дистенсиллиманит Бентонит ЛСТ Na – КМЦ Вода	22–25 53–55 5–7 4–5 7–8 до требуемой плотности
2.	2	Графит аморфный Графит кристаллический Мел Бентонит Оксид цинка Жидкое стекло Вода	8–9 4–5 18–19 15–16 7–8 7–8 до требуемой плотности
3.	3	Двуокись титана Дистенсиллиманит Бентонит ЛСТ Вода	30–32 30–32 1–2 3–4,5 до требуемой плотности
4.	4	Циркон Дистенсиллиманит Бентонит Фурановая смола Вода	22–25 53–55 2–3 4–6 до требуемой плотности

С целью определения коэффициентов теплопроводности покрытий проделаны следующие исследования.

Коэффициенты теплопроводности покрытий определялись по способу погружения, предложенному А. И. Вейником для кокильных красок [3].

Для испытаний покрытий на медном образце жидким металлом служил алюминиевый сплав АК-7ч.

По полученным данным, в соответствии с методикой, изложенной в [3] определялось точное значение коэффициентов теплопроводности для каждого из четырех исследуемых покрытий.

Это значение теплопроводности сопоставлялось с величиной, вычисленной по формуле

$$\lambda_{\text{покр}} = 2,3 \frac{G_0 C_0 X_{\text{покр}}}{F_0 \tau} \lg \frac{t_c - t_{\text{ц01}}}{t_c - t_{\text{ц02}}},$$

являющейся приближенным уравнением теплопередачи через слой покрытия и образец (между образцом и жидким металлом) без учета неравномерности распределения температуры в сечении образца. В данной формуле приняты следующие обозначения:  $G_0$  – масса медного образца, кг;  $C_0$  – теплоемкость меди при 200 °С дж/кг · °С;  $X_{\text{покр}}$  – толщина слоя покрытия, м;  $F_0$  – площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время от начала опыта, час;  $t_c$  – средняя температура жидкого металла за время  $\tau$ , °С;  $t_{\text{ц01}}$  – температура центра образца до опыта, °С;  $t_{\text{ц02}}$  – температура центра образца в момент  $\tau$ , °С.

Затем по выражению

$$\Delta = \pm \frac{\lambda_{\text{точн.}} - \lambda_{\text{прибл.}}}{\lambda_{\text{точн.}}} \cdot 100 \%$$

оценивалась относительная погрешность приближенного определения коэффициента теплопроводности.

Результаты эксперимента (+++) представлены на рис. 1–2, где  $Y_i$  – изменение разности температур металла и центра образца с  $i$ -м покрытием, °С;  $X_i$  – время от начала опыта, час.

С помощью системы MathCAD проведен регрессионный анализ с использованием аппроксимирующих функций.

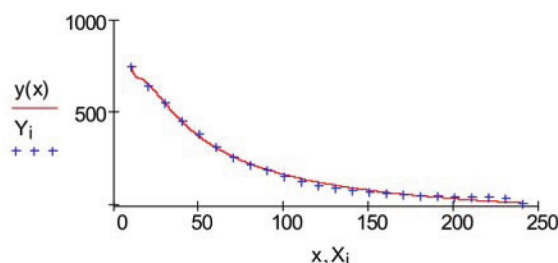
Линейная регрессия является наиболее простой, но, тем не менее, используется чаще любого вида регрессии. Так как мера отклонения при этом достаточно высокая то было произведено сглаживание линейной комбинацией функций:  $y(x) = aF(x)$ , где

$$F(x) = \left( 1 \frac{1}{x} \frac{1}{x^2} \frac{1}{x^3} \right)^T,$$

$a$  – коэффициенты комбинации, по данным эксперимента их значения составляют:

$$a = \begin{pmatrix} -65,977 \\ 2,339 \times 10^4 \\ -1,539 \times 10^5 \\ 153,876 \end{pmatrix}.$$

График при этом имеет следующий вид:



**Рис. 1.** Сглаживание линейной комбинацией функций

Анализируя, видим, что мера отклонения  $D = 3015$ , где

$$D = \sum_i (Y_i - y(X_i))^2.$$

Произведено нелинейное сглаживание  $F(x, a)$ :

$$F(x, a) = \begin{pmatrix} a_0 10^{-a_1 x} \\ -a_1 10^{-a_1 x} \ln 10 a_1 \\ x a 10^{-a_1 x} \end{pmatrix}.$$

При этом  $a_0 = 1001$ ,  $a_1 = 0,0084$ .  
 Мера отклонения  $D1 = 12590$ ,  $y1 = a_0 10^{-a_1 x}$ .

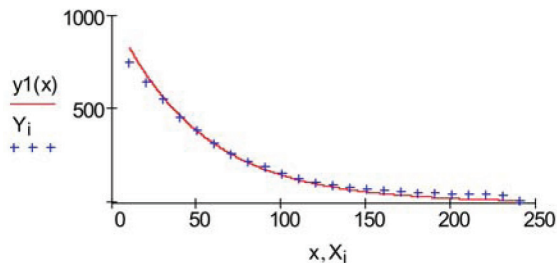


Рис. 2. Нелинейное сглаживание

Анализируя использованные аналитические методы обработки данных в программном обеспечении MathCAD для получения коэффициента теплопроводности, можно сказать, что мера отклонения всех точек от построенной кривой при прямом сглаживании является высокой и не отвечает поставленной задаче.

Методом нелинейного сглаживания и методом наименьших квадратов были построены кривые с мерой отклонения значительно меньшей. При применении сглаживания нелинейной комбинацией функций, получили минимальную меру отклонения значений, что отвечает поставленной задаче и позволяет с наибольшей точностью определить коэффициент теплопроводности противопригарных покрытий песчаных стержней.

В табл. 2 приведены данные по расчету коэффициента теплопроводности противопригарных покрытий песча-

ных стержней точным и приближенным методом с учетом вышеизложенного.

Исследуемые покрытия имеют значительно более низкое значение коэффициента теплопроводности по сравнению с покрытиями на основе талька и мела, что способствует созданию благоприятных условий кристаллизации отливки вблизи поверхностей, оформляемых окрашенными стержнями.

Таблица 2

Значения коэффициента теплопроводности противопригарных покрытий песчаных стержней

№ покрытия	Точный метод расчета $\lambda_{\text{покр}}$ , Вт/м·°С	Приближенный метод расчета $\lambda_{\text{покр}}$ , Вт/м·°С	Погрешность значений
1	0,178	0,138	22,5
2	0,115	0,140	18
3	0,162	0,11	32
4	0,198	0,222	11

**Выводы**

Как следует из сравнения коэффициентов теплопроводности, минимальной теплопроводностью обладает покрытие № 2.

В работе представлена методика обработки экспериментальных данных по определению коэффициента теплопроводности противопригарных покрытий песчаных стержней, основанная на регрессионном анализе.

Благодаря использованию регрессионного анализа была повышена точность определения результатов эксперимента за счет более качественной обработки результатов.

**Литература**

1. Макаров Е. Г. Инженерные расчеты в Mathcad 14 [Текст] / Е. Г. Макаров. — СПб. : Питер, 2007. — 592 с.
2. Дорошенко С. П. Предотвращение пригара на отливках. Теория и практика [Текст] / С. П. Дорошенко, В. Н. Дробязко, А. И. Шейко // Литейное производство. — 1996. — № 4 — С. 20–21.
3. Сварика А. А. Покрытие литейных форм [Текст] / А. А. Сварика. — М. : Машиностроение, 1977. — 216 с.
4. Дорошенко С. П. Получение отливок без пригара в песчаных формах [Текст] / С. П. Дорошенко, В. Н. Дробязко, К. И. Ващенко. — М. : Машиностроение, 1978. — 321 с.