

- экспериментов / Н.Д. Кошевой, Е.М. Костенко // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВКНУ, 2009. – Вип. №19. – С.44-48.
2. Koshevoy N.D. Appraisal of optimum efficiency by cost expenses of the experiment's planning / N.D. Koshevoy, V.A. Dergachev, E.M. Kostenko // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2009. – Спецвипуск. – С.132-134.
  3. Anderson Mark J. Applying DOE to Microwave Popcorn. Design of experiment identifies which factors matter and which ones don't, as well as helping find optimal settings/ Mark J.Anderson, Hank P. Anderson// PI Quality, July-August 1993, pp. 30-32.
  4. Кошовий М.Д., Костенко О.М. Комп'ютерна програма «Програма пошуку оптимальних планів багатofакторного експерименту». Свідectво про реєстрацію авторського права на твір №29920. – Зареєстр. в Держ департ. інтелектуальної власності Мін. освіти і науки України 17.08.2009 р.
  5. Кошевой Н.Д. Применение метода ветвей и границ для оптимизации многофакторных планов эксперимента / Н.Д. Кошевой, О.Л. Бурлеев, Е.М. Костенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №1(42).- С. 67-70.

пост. 03.02.11

## Исследование тепловых процессов в грохотах металлургических агрегатов

*ИВАЩЕНКО В.П., ЯСЕВ А.Г.*

Национальная металлургическая академия Украины

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований тепловых процессов в грохотах горячего агломерата систем подачи доменных печей. Определены закономерности изменения температур и механических напряжений в основных элементах грохотов. Построены тепловые поля и теоретически обоснована целесообразность применения теплозащитных экранов и экспериментально подтверждена эффективность тепловой защиты.

Приведені результати експериментальних і теоретичних досліджень теплових процесів в грохотах гарячого агломерату систем подачі доменних печей. Визначені закономірності зміни температур і механічної напруги в основних елементах грохотов. Побудовані теплові поля і теоретично обґрунтована доцільність застосування теплозахисних екранів і експериментально підтверджена ефективність теплового захисту.

Results of experimental and theoretical researches of thermal processes are brought in machines of hot agglomerate of the systems of serve of high furnaces. Conformities to law of change of temperatures and mechanical tensions are certain in the basic elements of machines. The thermal fields are built and in theory expediency of application of heatcover screens is reasonable and efficiency of thermal defence is experimentally confirmed.

Грохоты широко применяются в системах подачи доменных и сталеплавильных печей [1, 2] для подготовки шихтовых материалов. Эффективность разделения шихтовых материалов на фракции заданного размера обуславливает качество реализации основных металлургических процессов.

Грохоты различаются кинематикой движения решеток, типом привода, конструкцией решеток и другими признаками. Наибольшее распространение имеют вибрационные грохоты [1, 2], которые обеспечивают более высокие значения отношения фактически отсеянной части фракции к содержанию этой фракции в исходном материале.

Целью исследования является изучение закономерностей тепловых процессов в грохотах систем подачи горячего агломерата доменных печей с целью их совершенствования [3].

Экспериментальные и теоретические исследования тепловых процессов выполнены для вибрационных грохотов для калибровки агломерата ГА41-1Ш, которые

применяются в составе систем подачи агломерата в доменные печи №5 и №8 доменного цеха №1 Криворожского комбината "Криворожсталь". [8].

Вибрационные грохоты этого вида работают в экстремальных динамических, химических и температурных условиях. Динамические нагрузки, сопровождающие работу грохота, обуславливаются рабочими колебаниями корпуса и ударными воздействиями при загрузке пустых приемных бункеров. Величина вертикальной составляющей ускорения при рабочих колебаниях корпуса составляет 3 g, а в период пуска-перебега может достигать 5 g. Величина ударного импульса достигает  $5 \cdot 10^4$  Н·с. Перемещаемый в грохоте агломерат имеет твердость, позволяющую отнести его к абразивным материалам. Агрессивность газовой среды обусловлена наличием паров серной кислоты и фенолов, а также абразивной пыли (концентрация до 22 г/м<sup>3</sup>).

Влияние эксплуатационных факторов на температуру и механические напряжения основных элементов грохота исследовано для цикла работы грохота,

который включает время загрузки весовой воронки и время отстоя между двумя смежными подачами. Места установки датчиков для измерения температур и напряжений определялись в процессе предварительных экспериментов по признаку «максимальных значений». Замеры температур и напряжений в каждой точке измерения повторялись (до 6 раз), а затем усреднялись.

В результате экспериментальных исследований (рис. 1) установлено:

- предельные значения температур нестационарных тепловых воздействий на основные элементы грохота различаются в 2-3 раза (таблица 1);
- распределение температур и напряжений имеет неоднородный характер (наибольшие значения температур и напряжений возникают на приемной плите и примыкающих к ней участках боковин);
- изменение температур и напряжений имеет циклический характер (соответствующий циклу работы грохота); напряжения достигают наибольших значений с определенным запаздыванием (относительно температуры).

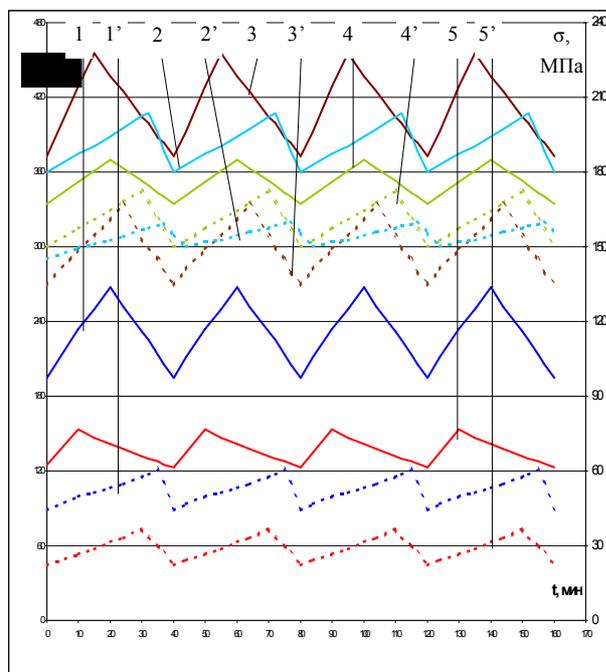


Рис. 1. Изменение температур и механических напряжений в элементах грохота ГА-41-1Ш: 1, 1' - температуры и напряжения элементов подситовых балок; 2, 2' - температуры и напряжения на стыке сита и приемной плиты; 3, 3' - температуры и напряжения в приемной плите; 4, 4' - температуры и напряжения в бортовинах корпуса на стыке с приемной плитой; 5, 5' - температуры и напряжения в корпусе вибратора (подшипниковых опорах).

Таблица 1. Предельные температуры (°C) элементов грохота

Агломерат	650
Приемная плита корпуса	580
Сеющие поверхности колосников	360
Плита вибратора	160

Исследование распределения температур вблизи основных элементов грохота (приемной плиты корпуса и вибратора) выполним с помощью математического моделирования [3 - 5].

Особенности реальных тепловых процессов в грохоте ГА-41-1Ш позволяют принять полезные допущения:

1. Реальный непрерывный динамический процесс распространения тепла заменяется дискретным (прерывистым) процессом, состоящим из серии статических элементов.
2. Реальный пространственный процесс заменяется плоским.
3. Изменения температуры по границам области моделирования подчиняется заданным законам.

Для задания граничных условий построим вокруг приемной плиты корпуса и вибратора области в виде прямоугольных параллелепипедов, грани которых касаются основных рабочих поверхностей указанных элементов грохота, и рассмотрим взаимно перпендикулярные вертикальные сечения каждого параллелепипеда (одна из секущих плоскостей проходит через ось симметрии элемента). Изменение температур по границам сечений имеет (с учетом экспериментальных данных) характерный вид (рис. 2, 3).

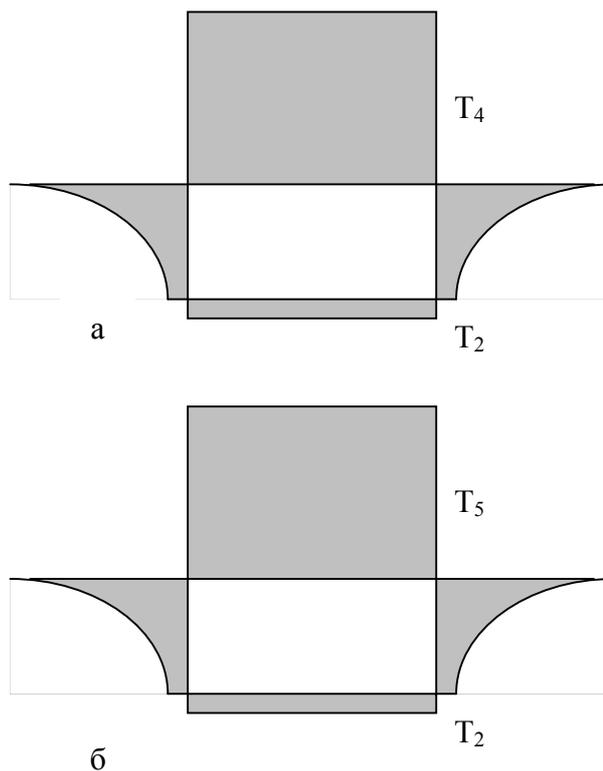


Рис. 2. Граничные условия для приемной плиты корпуса: а – продольное сечение; б - поперечное сечение

Значения температур (таблица 2), указанные на рис. 2, 3 обусловлены температурой агломерата и расположением выделенных зон относительно приемной плиты корпуса, на которой достигаются наибольшие температуры.

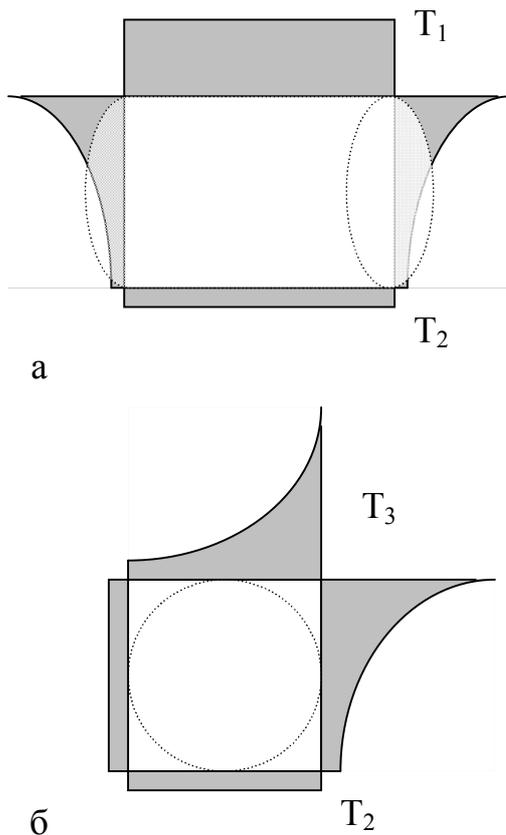


Рис. 3. Граничные условия для вибратора: а – продольное сечение; б – поперечное сечение

Таблица 2.

Значения температур, °С				
T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub> *	T <sub>5</sub> *
200	50	400	650	650

\* - температура на поверхности приемной плиты короба принята равной температуре агломерата.

Для исследования распределения температур используем традиционную математическую модель в виде уравнения теплопроводности, которое описывает изменение температур в пространственной области с известными граничными условиями и теплофизическими свойствами:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где  $T$  - температура;  $\tau$  - время;  $x, y, z$  - пространственные координаты;  $a$  - коэффициент теплопроводности.

С учетом принятых допущений уравнение (1) примет вид:

$$\left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = 0. \quad (2)$$

Если представить исследуемую область в виде прямоугольника, то наиболее распространенные формы граничных условий (рис. 4) можно задать в соответствии с одним из следующих выражений:

$$\begin{aligned} T &= T_c, \\ T &= T_m \cdot \exp(-r \cdot b), \\ T &= T_m \cdot \exp\left(-\frac{(r - r_c)^2}{b^2}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

где  $T_c$  - постоянное значение температуры;  $T_m$  - максимальное значение температуры;  $r$  - текущая координата по длине границы моделируемой области;  $r_c$  - среднее значение координаты по длине границы;  $b$  - коэффициент интенсивности изменения температуры.

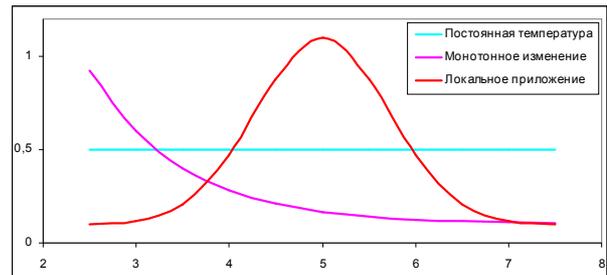


Рис. 4. Типовые граничные условия (для приведенных температур).

Проверка соответствия результатов экспериментальных исследований и расчетов температур с помощью математической модели свидетельствует об адекватности модели [4].

Построение температурных полей (решение дифференциального уравнения (2)) выполняется с помощью программы расчета для ЭВМ, которая реализует метод конечных разностей [5].

Поля температур для исследуемых областей приведены на рис. 5, 6, а соответствующие обозначения температур в таблицах 3 и 4.

Распределение температур в исследуемых зонах имеет существенно неоднородный характер (значения температур в разных зонах областей различаются в несколько раз), что оказывает негативное влияние на работоспособность элементов грохота. Уровень температур может быть уменьшен, а однородность их распределения повышена при использовании теплозащитных экранов. Например, поле температур вокруг приемной плиты короба (рис. 7) при наличии теплозащитного экрана (обеспечивающего уменьшение температур в 2-3 раза) имеет более равномерное распределение.

Таблица 3. Обозначения температур для области вокруг вибратора.

Диапазон значений температур, °С	Обозначение диапазона
0-40	0
40-80	1
80-120	2
120-160	3
160-200	4
200-240	5
240-280	6
280-320	7
320-360	8
360-400	9



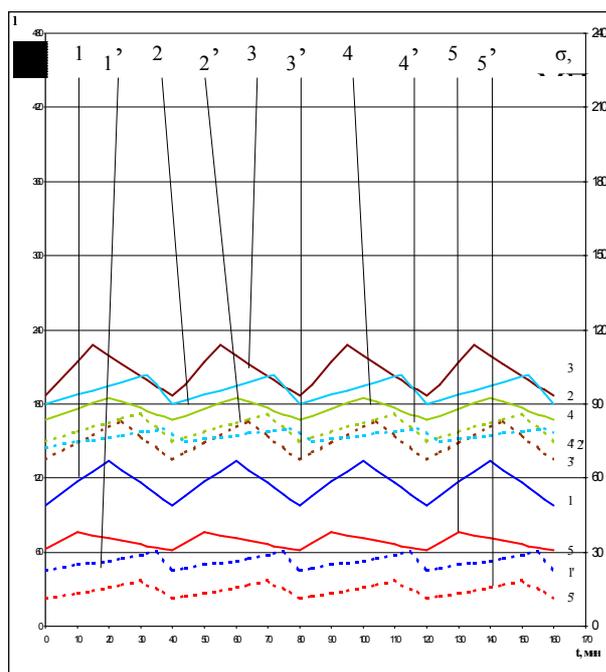


Рис. 8. Изменение температур и механических напряжений в элементах грохота ГА-41-1Ш (с тепловыми экранами): 1, 1' - температуры и напряжения элементов подситовых балок; 2, 2' - температуры и напряжения на стыке сита и приемной плиты; 3, 3' - температуры и напряжения в приемной плите; 4, 4' - температуры и напряжения в бортовинах корпуса на стыке с приемной плитой; 5, 5' - температуры и напряжения в корпусе вибратора (подшипниковых опорах).

Определенное усложнение конструкции, связанное с введением экранирующих элементов, приводит к некоторому увеличению трудоемкости восстановления приемной плиты и вибратора. Однако общее уменьшение количества отказов грохота, что проявляется в увеличении наработки на отказ грохота в целом, обеспечивает общее уменьшение трудоемкости восстановления грохота.

## Выводы

Экспериментальные и теоретические исследования позволили установить неоднородный характер и закономерности изменения температур в зонах расположения конструктивных элементов конкретного вида грохота. На основании результатов исследований разработаны конструктивно-технологические предложения (а именно, применение теплозащитных экранов соответствующей формы), которые позволили уменьшить неоднородность распределения температур.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Машины и агрегаты металлургических заводов: В 3 т. Т.1. Машины и агрегаты доменных цехов /Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. – М.: Металлургия, 1976. – 576 с.
2. Праздников А.В., Коцман Е.Я., Головки В.И. Системы шихтоподачи в доменном производстве. – М.: Металлургия, 1980. – 200с.
3. Ясев А.Г. Комплексный метод совершенствования технологической оснастки процессов обработки деталей металлургических машин // Современные проблемы металлургии. Сборник научных работ. Том 10. Днепропетровск: Системные технологии, 2007. – с. 68-82.
4. Ясев А.Г. Соответствие математических моделей и технологических процессов в металлургии и машиностроении. - Днепропетровск: Днепр - VAL, 2001.-237 с.
5. Ясев А.Г. Основы математического моделирования: Конспект лекций. – Днепропетровск: НМетАУ, 2004. – 94 с.
6. Ясев А.Г. Исследование технологических особенностей композиционных материалов при механической обработке // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. - 1996. - №4-6. - С. 65-71.
7. Ясев А.Г. Оптимизация технологических параметров механической обработки композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. –1996. - №7-9. – С. 122-127.
8. Ясев А.Г. Повышение надежности грохотов систем подачи агломерата доменных печей// Системные технологии. – 2003. - №3(26). – С. 9-19.