

9. Дёмин Д. А. Оптимизация технологического процесса в цехе предприятия [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Х. : Технологический Центр. — 2005. — № 6. — С. 48–59.

МОДЕЛЮВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЛЕГОВАНОГО ТИТАНОМ ЧАВУНУ ЗА ДАНИМИ ПАСИВНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Ю. О. Васенко

У статті описані результати досліджень впливу хімічного складу на властивості білого легованого чавуну. Показано, що на підставі технологічного аудиту процесу виплавки зносостійкого чавуну можна провести математичне моделювання та знайти області хімічних складів, які забезпечують заданий комплекс властивостей. Отримані при цьому результати можуть бути використані для оптимізації шихти за критерієм мінімуму ресурсовитрат підприємства.

Ключові слова: ресурсовитрати підприємства, технологічний аудит, хімічний склад.

Юрій Олексійович Васенко, магістрант кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

WEAR RESISTANCE OF TITANIUM DOPED SIMULATION OF IRON ON THE DATA PASSIVE EXPERIMENT

Y. Vasenko

The article describes the results of studies on the effect of chemical composition on the properties of white cast iron doped. It is shown that on the basis of technological audit of the process of smelting iron can wear to mathematical modeling, and find the area of chemical compounds that provide a specified set of properties. The results obtained can be used to optimize the charge on the criterion of minimum resource consumption of the enterprise.

Keywords: resource consumption enterprises, technology audit, the chemical composition.

Yuriy Vasenko, student of foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Адрес для переписки:

61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21
 Национальный технический университет
 «Харьковский политехнический институт»
 Кафедра «Литейное производство»
 E-mail: nauka@jet.com.ua

УДК 621.74

Л. В. Фролова*

ВЫЯВЛЕНИЕ РЕЗЕРВОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АУДИТА РАБОТЫ ФОРМОВОЧНЫХ ВСТРЯХИВАЮЩИХ МАШИН

В статье описан процесс моделирования влияния режимов уплотнения формовочных смесей на эффективность процесса уплотнения, выполненного по данным технологического аудита работы встряхивающей машины. Показано, что применение полученных результатов моделирования позволяет выявить резервы энергосбережения в технологическом процессе.

Ключевые слова: технологический аудит, режимы уплотнения, резервы энергосбережения, встряхивающая машина.

1. Введение

Встряхивающие формовочные машины до недавнего времени были наиболее распространенным видом оборудования для уплотнения песчано-глинис-

тых форм. Процесс уплотнения встряхиванием — наиболее распространенный, широкоуниверсальный, достаточно простой и надежный способ формовки, в наибольшей степени приближающийся к технологическим требованиям по распределению

* Работа выполнена под руководством профессора кафедры литейного производства Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» Дёмина Д. А.

плотности по высоте формы. Этот процесс не отличается высокими требованиями к смеси и оснастке. Однако наряду с указанными преимуществами он обладает рядом существенных недостатков. В частности, встряхивающие формовочные машины не обеспечивают требуемой геометрической и размерной точности отливок. Работа сопровождается шумом, вибрацией, пылевыведением, передачей энергии удара на окружающие здания, сооружения и др. Применение встряхивания в комбинации с прессованием уменьшают эти недостатки, но не исключают их полностью [1]. К недостаткам таких машин можно отнести также низкую производительность и возможный перерасход сжатого воздуха, идущего на технологические цели, в частности непосредственно на процесс уплотнения, что обусловлено отсутствием эффективных систем регулирования технологическим процессом. Выбор технологических режимов — высоты подъема рабочего стола, времени и числа ударов, давления подводимого сжатого воздуха — осуществляется формовщиками из субъективных соображений «вручную». Приобретение дорогостоящего импортного оборудования и переход на прогрессивные (однако, далеко не всегда экологически безопасные технологические процессы, например ХТС) не решит однозначно проблем конкурентоспособности продукции отечественного литейного производства. Поэтому интересным представляется поиск внутренних резервов повышения качества литья и энерго- или ресурсосбережения. Тем более, что на большинстве украинских промышленных предприятий, имеющих в своей структуре литейные цеха, эксплуатируются встряхивающие формовочные машины (ВФМ). Поэтому задачи, связанные с модернизацией машин в условиях своего производства, являются очень актуальными.

2. Постановка проблемы и анализ существующих данных

Повышение качества и расширение диапазона изготавливаемых на ВФМ форм достигается изменением массы ударника, рациональным демпфированием удара, применением дополнительных пружин и пневмоцилиндров. Уменьшение расхода сжатого воздуха — применением клапанов на впуске и выхлопе. Уменьшение износа достигается рациональной системой центрирования подвижных элементов и экранированием от пыли, а снижение уровня шума — преимущественно уменьшением силы ударов и экранированием мест удара, интенсивно вибрирующих деталей, а также выхлопных трубопроводов [2]. Однако у всех ВФМ существует общая проблема — при изготовлении форм модельная плита с моделью обычно плотно закреплена на столе машины, а опока со смесью свободно установлена на плите по штырям, поэто-

му между столом, модельной плитой и моделью, с одной стороны, и опокой со смесью, с другой, возможны взаимные перемещения. Перемещение опоки со смесью относительно модельной оснастки начинается при движении стола вверх; при этом опока отрывается от оснастки и при некоторых условиях на значительную величину. При ходе стола вниз опока со смесью догоняет стол перед ударом. По мере уплотнения упругие свойства смеси возрастают, и она начинает отскакивать от модельной оснастки после удара. Это явление неизбежное, но нежелательное из-за образования трещин в форме и снижения точности ее размеров, а, следовательно, и точности отливки. Вес модельно-опочной оснастки обычно стремятся уменьшить, чтобы увеличить ход стола машины и энергию удара с уплотнением смеси при меньшем их числе. Это соображение не вполне точно, так как энергия удара, при постоянной величине хода поршня, зависит от структуры полезной нагрузки [3]. Уменьшение веса модельной оснастки при постоянном весе опоки со смесью увеличивает отрыв смеси от оснастки. Подбирая соответствующую структуру полезной нагрузки, можно получить одинаковую энергию удара или скорость при разных ходах стола машины. Например, при малом весе опоки и смеси общий вес полезной нагрузки следует доводить до оптимального за счет веса модельной оснастки [3].

Встряхивающий механизм во многих типах обычных и автоматизированных формовочных машин представляет собой основной узел, стабильная работа которого обеспечивает качественное уплотнение рабочей полости литейной формы, а, следовательно, и качество отливок. Поскольку встряхивающий механизм имеет свободно движущийся поршень, не ограниченный какими-либо кинематическими связями, работа его определяется исключительно динамическими условиями, складывающимися в процессе эксплуатации машины, основными из которых являются нагрузка на машину и давление сжатого воздуха в магистрали. Полезная нагрузка на машину определяется весом установленной модельно-опочной оснастки на машине. При определенной оснастке изменение полезной нагрузки зависит только от различия в весе отдельных опок и от степени заполнения опок формовочной смесью, и поэтому величина полезной нагрузки колеблется в сравнительно небольших пределах. Однако при переходе от одной модельной оснастки на другую полезная нагрузка может измениться и существенно повлиять на работу машины. Что же касается сжатого воздуха, то давление его в сети постоянно колеблется и поэтому всегда оказывает влияние на работу машины. Конструкцию встряхивающего механизма следует считать удовлетворительной лишь в том случае, если изменение полезной нагрузки или

колебания давления воздуха в сети не отражаются существенно на работе и технических показателях машины.

Накопленные литературные данные о работе ВФМ свидетельствуют о том, что среднее уплотнение формовочной смеси в начале встряхивания увеличивается сравнительно быстро, но после примерно 20-го удара возрастание среднего уплотнения незначительно. Это явление показывает, что по мере увеличения степени уплотнения смеси, ее физико-механические свойства изменяются: пластичность смеси уменьшается, а упругость увеличивается. Изменение физико-механических свойств смеси оказывает влияние на работу встряхивающего механизма: по мере увеличения упругих свойств смеси ход поршня и скорость его в момент удара увеличиваются, а продолжительность цикла встряхивания уменьшается, что приводит к увеличению числа ударов в 1 мин при неизменной нагрузке на машину и постоянном давлении сжатого воздуха. После 20–25 ударов работа машины стабилизируется, что свидетельствует о стабилизации физико-механических свойств формовочной смеси в результате встряхивания [5].

Таким образом, очевидно, что если установить математическую связь между основными параметрами процесса — давлением подводимого сжатого воздуха, числом ударов (или временем встряхивания) и упруго-пластичными свойствами смеси при уплотнении, можно подойти к разработке системы регулирования названных параметров процесса, обеспечивающей снижение затрат сжатого воздуха.

3. Цель и задачи исследования

Целью исследования является построение на основании результатов технологического аудита работы ВФМ математических моделей, связывающих параметры процесса встряхивания с упруго-пластичными свойствами смеси и разработка на ее основе системы регулирования, позволяющей в автоматизированном режиме менять число ударов рабочего стола машины в зависимости от фактически подводимого давления сжатого воздуха. Целью данной статьи является отображение результатов первой части исследований, посвященных собственно процессу математического моделирования и полученных при этом результатов.

Задачей исследования на этом этапе ставилась разработка математических моделей: влияния числа ударов и давления сжатого воздуха на коэффициент восстановления смеси при ударе, на высоту отражения смеси, а также построение номограмм, связывающих число ударов стола и давление сжатого воздуха, обеспечивающих заданные показатели упруго-пластичных свойств смеси при уплотнении. Именно эти номограммы в виде аналитического описания должны использоваться в дальнейшем

для разработки и настраивания системы регулирования процессом уплотнения.

4. Методы исследований и полученные результаты

Таблица экспериментального материала выбиралась на основании работы [5].

Таблица 1
Экспериментально-промышленные данные

Число ударов стола l	Высота отражения h_1 (мм) смеси			Коэффициент восстановления при ударе смеси $K_{см}$		
	5 атм	6 атм	7 атм	5 атм	6 атм	7 атм
5	0	0	0	0	0	0
10	1,0	4,2	6,0	0,05	0,07	0,12
20	5,4	8,5	11,6	0,16	0,22	0,28
30	7,5	11,5	15,6	0,25	0,32	0,39
40	9,4	13,5	18,5	0,33	0,39	0,47
50	10,6	15,0	19,2	0,38	0,44	0,50
60	11,5	15,8	19,2	0,41	0,47	0,50
70	12,0	16,1	19,2	0,43	0,48	0,50

В качестве входных переменных выбирались число ударов стола (x_1) и давление сжатого воздуха (x_2). В качестве выходных переменных — коэффициент восстановления при ударе смеси $K_{см}$ (y_1) и высота отражения смеси h_1 (y_2).

Учитывая, что из данных экспериментального материала можно «снять» значения входных и выходных переменных в точках плана полного факторного эксперимента ($N = 2^k$), в качестве метода построения модели был использован метод построения полного ортогонального центрального композиционного плана второго порядка [6–7]. Нормирование значений входных переменных осуществлялось по формулам:

$$x_1 = \frac{x_1^* - \bar{x}_1}{I_1}, \tag{1}$$

$$x_2 = \frac{x_2^* - \bar{x}_2}{I_2}, \tag{2}$$

где x_1, x_2 — нормированные значения входных переменных, x_1^*, x_2^* — натуральные значения входных переменных, \bar{x}_1, \bar{x}_2 — средние значения входных переменных ($\bar{x}_1 = 20, \bar{x}_2 = 6$), I_1, I_2 — интервалы варьирования входных переменных ($I_1 = 10, I_2 = 1$).

Математическая модель представляется полиномом вида:

$$y_i = b_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3(x_1^2 - \beta) + a_4(x_2^2 - \beta) + a_5x_1x_2, \tag{3}$$

где a_i — оцениваемые коэффициенты, β — параметр, рассчитываемый в зависимости от числа точек

ядра композиционного плана 2^{n-p} , плеча «звездных» точек α и числа точек плана по формуле:

$$\beta = \frac{\sum_{j=1}^N (x_i^j)^2}{N} = \frac{2^{n-p} + \alpha}{N}. \quad (4)$$

Общий вид таблицы входных переменных для расчета коэффициентов модели a_i приведен в табл. 2.

Таблица 2

Представление данных для построения центрального ортогонального композиционного плана

Номер эксперимента	x_1	x_2	$x_1^2 - \beta$	$x_2^2 - \beta$	y_{ij}
1	X_1^{\max}	X_2^{\max}	$X_1^{\max} - 0,6667$	$X_2^{\max} - 0,6667$	y_{11}
2	X_1^{\min}	X_2^{\max}	$X_1^{\min} - 0,6667$	$X_2^{\max} - 0,6667$	y_{12}
3	X_1^{\max}	X_2^{\min}	$X_1^{\max} - 0,6667$	$X_2^{\min} - 0,6667$	y_{13}
4	X_1^{\min}	X_2^{\min}	$X_1^{\min} - 0,6667$	$X_2^{\min} - 0,6667$	y_{14}
5	X_1^{\max}	$X_2^{\text{среднее}}$	$X_1^{\max} - 0,6667$	$X_2^{\text{среднее}} - 0,6667$	y_{15}
6	X_1^{\min}	$X_2^{\text{среднее}}$	$X_1^{\min} - 0,6667$	$X_2^{\text{среднее}} - 0,6667$	y_{16}
7	$X_1^{\text{среднее}}$	X_2^{\max}	$X_1^{\text{среднее}} - 0,6667$	$X_2^{\max} - 0,6667$	y_{17}
8	$X_1^{\text{среднее}}$	X_2^{\min}	$X_1^{\text{среднее}} - 0,6667$	$X_2^{\min} - 0,6667$	y_{18}
9	$X_1^{\text{среднее}}$	$X_2^{\text{среднее}}$	$X_1^{\text{среднее}} - 0,6667$	$X_2^{\text{среднее}} - 0,6667$	y_{19}

Коэффициенты a_i определены по формулам [8]:

$$a_i = c_1 \sum_{j=1}^N x_i^j y^j, \quad i = 1, \dots, n, \quad (5)$$

$$a_i = c_2 \sum_{j=1}^N [(x_{i-n}^j)^2 - \beta] y^j, \quad i = n+1, \dots, 2n, \quad (6)$$

$$a_i = c_3 \sum_{j=1}^N x_{\mu}^j x_{\lambda}^j y^j, \quad \lambda = 1, \dots, n, \quad \mu \neq \lambda, \quad (7)$$

$i = 2n+1, \dots, k,$

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y^j - \beta \sum_{i=1}^n a_{n+i}. \quad (8)$$

В формулах (5)–(8) c_1, c_2, c_3 – коэффициенты для линейных, квадратичных и парных взаимодействий независимых переменных соответственно, n – число линейных членов модели, N – число экспериментов.

Для полинома второй степени вида (4) значения указанных параметров приведены в табл. 3.

Для оценки точности полученной модели вычислялись суммы квадратов отклонений экспериментальных значений выходных переменных от расчетных, полученных по модели (S_R), и оценки дисперсий (s_R^2):

$$S_R = (y_{\text{эксп}} - y_{\text{расч}})^2, \quad (9)$$

$$s^2 = \frac{S_R}{\phi}, \quad (10)$$

где $\phi = N - (k+1)$ – число степеней свободы, N – число экспериментов ($N = 9$), k – число оцениваемых параметров ($k = 5$).

Таблица 3

Значения параметров для расчета коэффициентов кинетической модели

N	β	c_1	c_2	c_3
9	0,6667	0,1667	0,5	0,25

Оценка значимости коэффициентов модели проводилась на основе критерия:

$$|a_i| \geq t_{\text{кр}} s_i, \quad (11)$$

где $t_{\text{кр}}$ – критическое значение распределения Стьюдента для доверительной вероятности 95 % и числа степеней свободы $\phi = 3$, s – среднее квадратическое отклонение, определяемое из формулы (10).

Полученная математическая модель, описывающее влияние числа ударов стола и давления сжатого воздуха на коэффициент восстановления, имеет вид:

$$y_1 = 0,221 + 0,12x_1 + 0,055x_2 - 0,023x_1^2 - 0,0019x_2^2 + 0,0175x_1x_2. \quad (12)$$

Математическая модель, описывающее влияние числа ударов стола и давления сжатого воздуха на высоту отражения смеси, имеет вид:

$$y_2 = 8,803 + 3,9x_1 + 3,217x_2 - 0,986x_1^2 - 0,336x_2^2 + 0,775x_1x_2. \quad (13)$$

В табл. 4 приведены результаты расчетов нижней и верхней границы интервалов, позволяющих оценить значимость коэффициентов моделей.

Таблица 4

Результаты расчетов нижней и верхней границы интервалов, позволяющих оценить значимость коэффициентов моделей

Значения отклонений $t_{\text{кр}} s_i$		
Для линейных коэффициентов	Для квадратичных	Для коэффициентов при парном взаимодействии
0,03367	0,058313	0,041233
2,028552	3,513204	2,48421

Сравнение численных значений оценок коэффициентов и значений, приведенных в таблице, позволяют сделать вывод о том, что и в первой, и во второй моделях незначимыми оказались коэффициенты при квадратичных членах и членах при парном взаимодействии. Учитывая ортогональность

планов, возможно удаление названных факторов из моделей и получение окончательных видов математических моделей:

$$y_1 = 0,221 + 0,12x_1 + 0,055x_2, \quad (14)$$

$$y_2 = 8,803 + 3,9x_1 + 3,217x_2. \quad (15)$$

Поверхность отклика, описывающая значения выходных переменных при различных значениях входных переменных в выбранной области планирования, приведены на рис. 1–2.

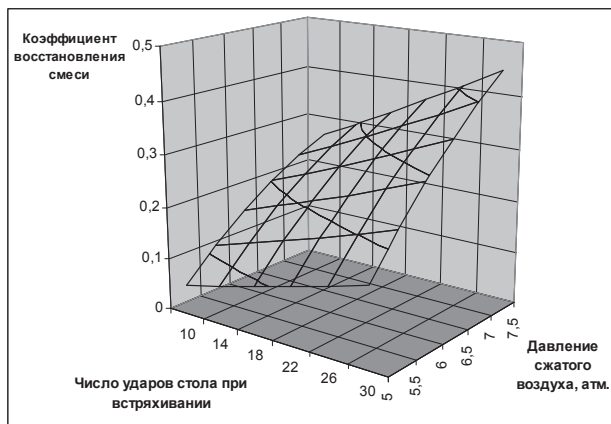


Рис. 1. Поверхность отклика, описывающая значения коэффициента восстановления смеси при ударе при различных значениях входных переменных в выбранной области планирования

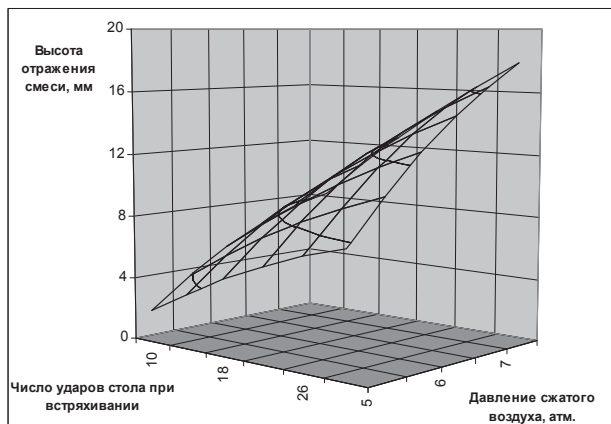


Рис. 2. Поверхность отклика, описывающая значения высоты отражения смеси при различных значениях входных переменных в выбранной области планирования

Визуальный анализ поверхностей отклика позволяет сделать вывод о том, что при некотором давлении сжатого воздуха, подводимом к механизму встряхивания, значения коэффициента восстановления и высоты отражения смеси стремятся к некоторой постоянной величине с увеличением числа ударов стола. Это подтверждает существующие взгляды на то, что увеличение числа ударов стола свыше некоторого предела не вызывает дальнейшего уплотнения смеси в силу превалирования упругих, а не пластичных ее свойств. Увеличе-

ние числа ударов приводит лишь к перерасходу сжатого воздуха и удлиняет цикл встряхивания, а поэтому является нецелесообразным.

Сечение поверхности отклика на разных уровнях фактора x_2 позволяет построить номограммы, описывающие изменение коэффициента восстановления смеси и высоты ее отражения при ударе стола от числа ударов.

Применение таких номограмм позволяет связать две входных переменных таким образом, чтобы получить возможность найти диапазоны их значений, которые обеспечивают заданные значения и коэффициента восстановления смеси, и высоты отражения. Для этого задаются значения выходной переменной и с обеих номограмм снимаются соответствующие им значения числа ударов стола (x_1) и давления сжатого воздуха (x_2). Далее эти значения сопоставляются и строится зависимость $x_2 = f(x_1)$. Пример такой зависимости для коэффициента восстановления смеси, построенной в диапазоне нормированных значений x_1 и x_2 , приведен на рис. 3. Перерасчет нормированных значений полученного графика в натуральные значения осуществляется по формулам (1) и (2).

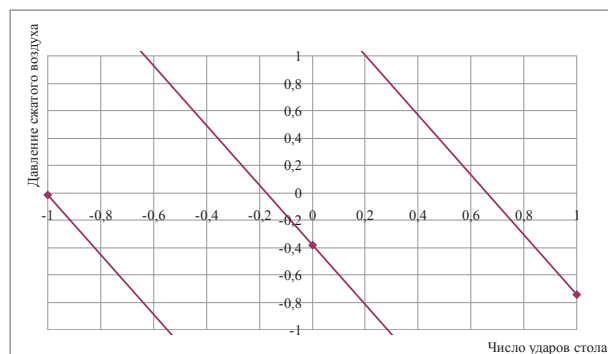


Рис. 3. Номограмма, связывающая нормированные значения входных переменных, обеспечивающих заданную величину коэффициента восстановления смеси

5. Выводы

1. Математическая модель, описывающая влияние числа ударов стола и давления сжатого воздуха, подводимого к встряхивающему механизму машины, на коэффициент восстановления смеси при ударе имеет линейный вид, а наиболее сильное влияние оказывает число ударов стола.
2. Математическая модель, описывающая влияние числа ударов стола и давления сжатого воздуха, подводимого к встряхивающему механизму машины, на высоту отражения смеси при ударе имеет линейный вид, причем оба фактора оказывают примерно равное влияние на высоту отражения смеси.
3. Увеличение значений числа ударов стола и давления сжатого воздуха, подводимого к встряхивающему механизму машины, приводит

к увеличению и коэффициента восстановления, и высоты отражения смеси, причем существуют предельное значение числа ударов стола, превышение которого не будет оказывать существенного влияния на величину уплотнения смеси вследствие превалирования ее упругих свойств над пластичными.

4. Математические модели, описывающие влияние числа ударов стола и давления сжатого воздуха, подводимого к встряхивающему механизму машины, могут быть использованы для построения номограмм, связывающих оба этих параметра и получения аналитической зависимости между ними, которая может закладываться в систему регулирования технологических режимов встряхивания, обеспечивающую рациональный расход сжатого воздуха и увеличение производительности машины.

5. Полученные результаты показывают возможность выявления резервов энерго- и ресурсосбережения в формовочных отделениях литейных цехов на основе технологического аудита процесса уплотнения формовочных смесей.

Литература

1. Матвеев И. В. Оборудование литейных цехов [Текст] / И. В. Матвеев, В. Л. Тарский. — М. : Машиностроение, 1985.
2. Вербицкий В. И. Современные тенденции совершенствования встряхивающих формовочных машин [Текст] / В. И. Вербицкий, О. И. Гайн // Литейное производство. — 1983. — № 3.
3. Бойков Е. Я. Влияние веса и структуры полезной нагрузки на режим работы встряхивающего механизма формовочной машины [Текст] / Е. Я. Бойков, Л. А. Израйлевич // Литейное производство. — 1966. — № 6.
4. Герасимов И. Я. О влиянии полезной нагрузки на работу встряхивающего механизма формовочной машины [Текст] / И. Я. Герасимов, Л. А. Израйлевич // Литейное производство. — 1962. — № 8.
5. Бойков Е. Я. Изменение свойств смеси в процессе уплотнения встряхиванием [Текст] / Е. Я. Бойков, Л. А. Израйлевич // Литейное производство. — 1968. — № 6.
6. Дёмин Д. А. Оптимизация технологического процесса в цехе предприятия [Текст] / Д. А. Дёмин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — X. : Технологический Центр. — 2005. — № 6. — С. 48–59.
7. Коваленко Б. П. Оптимизация состава холодно-твердеющих смесей (ХТС) с пропиленкарбонатом [Текст] / Б. П. Коваленко, Д. А. Дёмин, А. Б. Божко. — Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — X. : Технологический Центр. — 2006. — № 6. — С. 59–61.
8. Дьомін Д. О. Деякі аспекти управління якістю чавуну з пластинчастим графітом [Текст] : дис... канд. техн. наук / Д. О. Дьомін. — Харків, 1995. — 181 с.

ВИЗНАЧЕННЯ РЕЗЕРВІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО АУДИТА РОБОТИ ФОРМУВАЛЬНИХ СТРУШУЮЧИХ МАШИН

Л. В. Фролова

У статті описаний процес моделювання впливу режимів ущільнення формувальних сумішей на ефективність процесу ущільнення, виконаного за даними технологічного аудиту роботи струшуючої машини. Показано, що застосування отриманих результатів моделювання дозволяє виявити резерви енергозбереження в технологічному процесі.

Ключові слова: технологічний аудит, режим ущільнення, резерви енергозбереження, струшуюча машина.

Лілія Вікторівна Фролова, магістрант кафедри ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»,

IDENTIFICATION PROVISION OF ENERGY SAVING ON THE BASIS OF AUDIT PROCESS MOULDING MACHINES SHAKING

L. Frolova

In article process of modeling of influence of modes of consolidation of forming mixes on efficiency of process of the consolidation performed under the data of technological audit of work of the stirring up car is described. It is shown that application of the received results of modeling allows to reveal power savings reserves in technological process.

Keywords: technology audit, seals, energy reserves, molding Machine.

Lilya Frolova, student of foundry, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,

Адрес для переписки:

61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21
 Национальный технический университет
 «Харьковский политехнический институт»
 Кафедра «Литейное производство»
 E-mail: nauka@jet.com.ua