

Министерство образования и науки Украины
Одесский национальный политехнический университет

Труды
ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный и производственно-практический
сборник

СПЕЦВЫПУСК
2005

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

Одесса

Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. — Одесса, 2005. — Спецвыпуск. — 122 с. — Яз. рус., укр.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Малахов В.П. — гл. редактор, *Кострова Г.В.* — зам. гл. редактора, *Плескач Л.О.* — отв. секретарь, *Баранов П.Е.*, *Дащенко А.Ф.*, *Дубковский В.А.*, *Куценко А.Н.*, *Пуйло Г.В.*, *Алексеева Л.А.*, *Ефрюшина Н.П.*, *Кожухарь В.Я.*, *Кругляк Ю.А.*, *Куншенко Б.В.*, *Новохатский И.А.*, *Бельтюков Е.А.*, *Продюс И.П.*, *Соколенко В.Н.*, *Харичков С.К.*, *Гончарук Г.И.*

Сборник основан в 1996 году, зарегистрирован в Министерстве Украины по делам печати и информации 5 декабря 1996 года, свидетельство серии КВ № 2380

Печатается по решению Ученого совета Одесского национального политехнического университета, протокол № 3 от 29.11.2005 г.

Компьютерную версию опубликованных материалов можно получить по адресу:
<http://www.ospu.odessa.ua>

В спецвыпуск включены доклады научного семинара
“Информационные технологии в эргатических системах. ИТЭС-2005”.
Научный руководитель семинара д-р техн. наук, проф. Малахов В.П.

<i>В.В. Лебедь.</i> Управление качеством проектов на основе рекомендаций стандартов серии ISO 9000.....	77
<i>Н.В. Тихонова, В.И. Мецзяков.</i> Использование алгоритмов нечеткой логики для автоматизированной классификации медицинских изображений.....	80
<i>К.В. Сычев, В.И. Мецзяков.</i> Обработка рентгеновских изображений	82
<i>А. Сбахи, В.И. Мецзяков.</i> Моделирование внезапных отказов теплонагруженных элементов с термоэлектрическим охлаждением	86
<i>А.Л. Становский, С.Н. Красножон, О.Е. Плачинда.</i> Исследование корреляционной связи между отказами топологически подобных технических и интеллектуальных систем.....	88
<i>В.Л. Найдек, А.Л. Становский, Т.В. Лысенко.</i> Многоуровневая многокритериальная адаптивная система управления нестационарными высокоинтенсивными процессами тепломассопереноса в системе “отливка — форма”	91
<i>Т.А. Абу Айаш, Г.Н. Востров, С.Г. Четвериков.</i> Фрактальное кодирование видеопотоков в медицине	95
<i>Т.А. Абу Айаш, Г.Н. Востров, П.А. Становский.</i> Новый метод фрактального сжатия подвижных изображений	98
<i>П.С. Носов, О.С. Яковенко, В.М. Тонконогий.</i> Використання компонентів мислення експертними системами, як фактору адаптивного впливу в автоматизованих навчальних системах	101
<i>О.И. Прокопович, Ю.А. Морозов, И.В. Прокопович.</i> Идентификация математической модели непрерывного литья медной катанки.....	106
<i>С.А. Крутина.</i> Анализ моделей восстановления знаний обучаемого в автоматизированной обучающей системе	109
<i>О.С. Савельева, Н.Н. Моргось, А.В. Опарин.</i> Перевозка сыпучих грузов “с памятью”. Статическая задача	114
<i>С.А. Изотов, В.Н. Пурич.</i> Обеспечение надежности работы оператора в эргатических системах	117

УДК 669.2,621.74.047

О.И. Прокопович, магистр,
Ю.А. Морозов, канд. физ.-мат. наук,
И.В. Прокопович, канд. техн. наук, доц.,
Одес. нац. политехн. ун-т

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ МЕДНОЙ КАТАНКИ

О.И. Прокопович, Ю.А. Морозов, И.В. Прокопович. Идентифікація математичної моделі безперервного лиття мідної катанки. Запропоновано математичну модель кристалізації при безперервному литті міді, що зв'язує температуру поверхні злитка з швидкістю лиття, витратою та температурою охолоджуваної рідини. Проведено ідентифікацію запропонованої математичної моделі.

O.I. Prokopovich, Yu.A. Morozov, I.V. Prokopovich. Mathematical model identification of copper wire rod continuous casting. The mathematical model of solidification during copper wire rod continuous casting which connects rod surface temperature with casting speed, water temperature and its inlet discharge is proposed. Identification of proposed mathematical model is carried out.

При непрерывном литье меди для нужд кабельного производства катанку получают на многоручьевых литейных машинах в виде бесконечного слитка постоянного сечения при прохождении расплава через узел “кристаллизатор — охладитель”. Качество получаемого слитка определяется кристаллической структурой и зависит от тепловых воздействий, которые он претерпевает в зонах охлаждения. Об интенсивности тепловых процессов в “кристаллизаторе — охладителе” можно судить по температуре поверхности стренг на выходе из литейной машины. Таким образом, температура поверхности, как показали исследования, является косвенным параметром управления качеством слитка [1], а управление процессом кристаллизации и стабилизация теплового режима являются актуальной производственной задачей.

Моделирование процессов теплообмена в “кристаллизаторе — охладителе” позволяет выбрать оптимальные режимы управления процессом литья. В большинстве случаев соответствующий режим охлаждения выбирается на основании линейной корреляции со скоростью литья и неким ожидаемым влиянием этой скорости на температуру поверхности стренги на границах зон охлаждения [2]. Такой подход к управлению процессом охлаждения в разомкнутом контуре без обратной связи с линейной статической компенсацией неэффективен, т.к. коэффициент термодиффузии, и отношение между расходом охлаждающей воды и скоростью литья нелинейно, а сам процесс характеризуется рядом неустойчивых состояний [3].

В современных литейных машинах вертикального непрерывного литья конструктивно обычно предусмотрено две зоны охлаждения: в первичном охладителе происходит снятие теплоты перегрева, кристаллизация расплава по всему сечению и начальное охлаждение слитка; во вторичном охладителе слиток претерпевает рекристаллизацию и охлаждается до температур, при которых не происходит окисление его поверхности [4, 5].

Каждая зона охлаждения характеризуется температурой $T_i(t)$, протяженностью l_i , и расходом охлаждающей воды $q_i(t)$. Принципиальная схема организации замеров температуры, расхода воды и скорости литья на одной стренге представлена на рис. 1.

Медь поступает в кристаллизатор с температурой $T_0(t)$, называемой температура литья, со скоростью равной скорости литья $v(t)$. После кристаллизации стренга характеризуется плотностью ρ_c , удельной теплоемкостью C_{ci} и поперечным сечением S_c . Охлаждающая жидкость характеризуется температурой $T_{ввх}$ и удельной теплоемкостью $C_{ввх}$ на входе.

Тепловой баланс в динамическом режиме для каждой зоны представляется как:

$$m_i C_{ci} \frac{dT_i(t)}{dt} = q_m(t) C_{ci} (T_{i-1}(t) - T_i(t)) - q_i(t) C_{ввх} (T_i(t) - T_{ввх}),$$

где $m_i = \rho S_c l_i$;

$$q_m(t) = \rho S_c v(t).$$

Если величины C_{ci} , $C_{ввх}$, $T_{ввх}$, ρ и m_i рассматривать как константы, то

$$\frac{dT_i(t)}{dt} = \frac{q_m(t)}{m_i} (T_{i-1}(t) - T_i(t)) - q_i(t) \frac{C_{\text{ВВХ}}}{m_i C_{ci}} (T_i(t) - T_{\text{ВВХ}}). \quad (1)$$

Вариация уравнения во втором порядке

$$\begin{aligned} \frac{dT_i^2(t)}{dt^2} &= \frac{q_m(t)}{m_i} \left(\frac{dT_{i-1}(t)}{dt} - \frac{dT_i(t)}{dt} \right) + \frac{dq_m(t)}{dt} \frac{(T_{i-1}(t) - T_i(t))}{m_i} - \\ &= \frac{C_{\text{ВВХ}}}{m_i C_{ci}} \frac{dq_i(t)}{dt} (T_i(t) - T_{\text{ВВХ}}) - \frac{C_{\text{ВВХ}}}{m_i C_{ci}} q_i(t) \frac{dT_i(t)}{dt} = a_i q_m(t) \left(\frac{dT_{i-1}(t)}{dt} - \frac{dT_i(t)}{dt} \right) + \\ &+ a_i \frac{dq_m(t)}{dt} (T_{i-1}(t) - T_i(t)) - a_i b_i \frac{dq_i(t)}{dt} (T_i(t) - T_{\text{ВВХ}}) - a_i b_i q_i(t) \frac{dT_i(t)}{dt}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $a_i = \frac{1}{m_i}$;

$$b_i = \frac{C_{\text{ВВХ}}}{C_{ci}}.$$

Разобьем участок времени t на k интервалов длиной $\Delta t = tk^{-1}$ и в качестве искоемых величин возьмем

$$\begin{aligned} T_i(\Delta tk) &= T_i(k), \\ \frac{dT_i(t)}{dt} &= \frac{T_i(t) - T_i(t - \Delta t)}{\Delta t} = \frac{T_i(k) - T_i(k-1)}{\Delta t}, \\ \frac{dT_i^2(t)}{dt^2} &= \frac{T_i(k+1) - 2T_i(k) + T_i(k-1)}{(\Delta t)^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где Δt — время стробирования (время взятия выборки).

С учетом (3), после соответствующих преобразований, дифференциальное уравнение (2) примет следующий вид

$$T_i(k) = A_i^{-1}(k) (T_i(k+1) + B_i(k) T_{i-1}(k) + C_i(k) T_{i-1}(k-1) + D_i(k) T_i(k-1) + F_i(k)), \quad (4)$$

где $A_i(k) = 2 - a_i \Delta t Q_{m,i}(k)$;

$$B_i(k) = -a_i \Delta t Q_m(k);$$

$$C_i(k) = a_i \Delta t q_m(k);$$

$$D_i(k) = 1 - a_i b_i \Delta t q_{m,i}(k);$$

$$F_i(k) = -a_i b_i \Delta t q_i(k) T_{\text{ВВХ}};$$

$$\|\Delta q_m(k), \Delta q_i(k)\| = \|q_m(k) - q_m(k-1), q_i(k) - q_i(k-1)\|;$$

$$\|q_m(k), q_i(k)\| + \Delta \|q_m(k), q_i(k)\| = \|Q_m(k), Q_i(k)\|;$$

$$\|Q_m(k), q_m(k)\| + \|Q_i(k), q_i(k)\| = \|Q_{m,i}(k), Q_{m,i}(k)\|.$$

Полученное уравнение (4) описывает нелинейное отношение, связывающее изменения температуры в зонах i , $(i-1)$, скорость литья и расход охлаждающей воды в этих зонах. В нем также учитывается суммарный эффект взаимодействия зон и определяющее воздействие на температуру поверхности стренг таких параметров как теплоемкость меди, теплоемкость во-

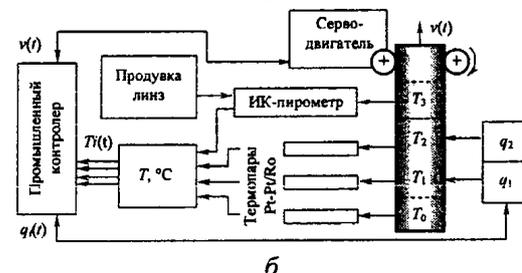
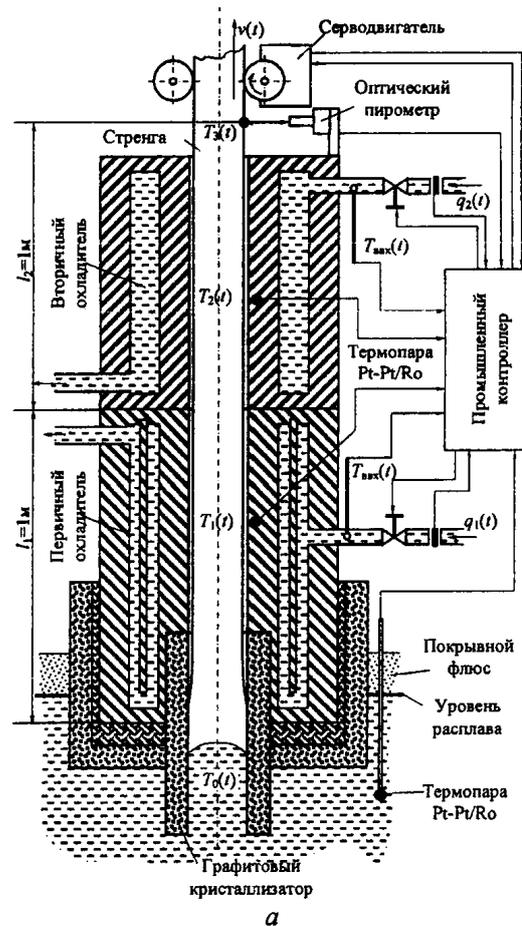


Рис. 1. Блок "кристаллизатор — охладитель" (а) и организация замеров температуры, расхода воды и скорости литья (б) на одной стренге

ды ее температура и расход, а также скорость литья. Влияние остальных параметров и переменных процесса принимается незначительным.

Результаты моделирования, полученные из модели, описываемой уравнением (2), сравнивались с экспериментальными данными, полученными при замерах температуры поверхности стренг опытной установки [5]. Исходные данные для моделирования приведены в таблице.

Исходные данные

Наименование	Обозначение	Размерность	Значение
Плотность меди	ρ_c	кг/м ³	8647
Протяженность участка охлаждения	l_i	м	$l_1=l_2=1$
Диаметр стренги	d	м	0,008
Удельная теплоемкость меди	C_{ci}	Дж/(кг·К)	441
Удельная теплоемкость воды	$C_{ввх}$	Дж/(кг·К)	4182
Температура воды на входе в охладители	$T_{ввх}$	К	293...303
Температура расплава	$T_0(t)$	К	1423±2
Скорость литья	$v(t)$	м/мин	2,6...3,6
Расход воды	$q_i(t)$	м ³ /мин	0,2...0,6

На рис. 2 представлены расчетная графическая зависимость распределения температуры по длине стренги (кривая 1) и кривые изменения температуры на выходе из литейной машины (кривая 4), в первичном (кривая 2) и вторичном (кривая 3) охладителях в течение одной минуты от момента запуска установки. Моделирование распределения температуры по длине стренги l и снятие действительных температур проводились при скорости литья 3,0 м/мин, расходе охлаждающей воды в первичном и вторичном охладителях 2,4 м³/мин с температурой 25 °С. Температура поверхности стренги внутри охладителей измерялась при помощи зачеканенных в них Pt-Pt/Ro-термопар (точки T_1 и T_2 , см. рисунок 1) с шагом стробирования 2 с. Температура поверхности стренги на выходе из вторичного охладителя измерялась с той же частотой оптическим пирометром (точка T_3 , см. рисунок 1). Погрешности измерений температур у термопар составляли ±1 °С, у оптического пирометра — ±2 °С. Как видно из графиков, через 10 с от начала литья температура в точке T_1 стабилизируется на значении 378 °С (кривая 2), что соответствует расчетной температуре в центре первой зоны охлаждения. Через 30 с температура в точке T_2 стабилизируется на значении 118 °С (кривая 3), что соответствует расчетной температуре в центре второй зоны охлаждения. Через 40 с температура поверхности стренги на выходе из литей-

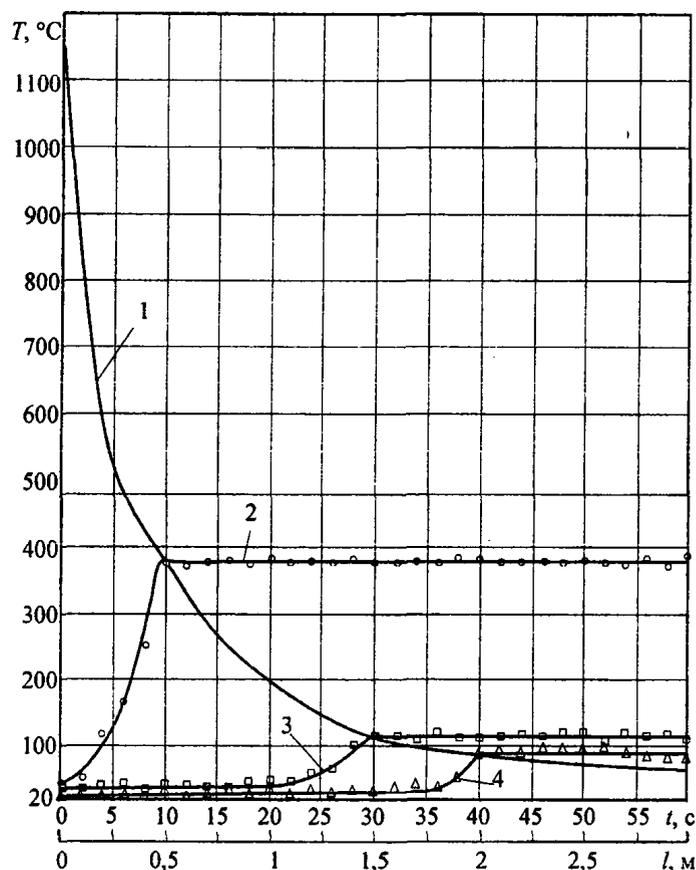


Рис. 2. Расчетное распределение температуры по длине стренги (1) и действительные изменения температур поверхности стренги в первичном (2), вторичном (3) охладителях и на выходе из литейной машины (4) от момента начала литья

ной машины стабилизируется на значении 79 °С, что также хорошо соотносится с результатами моделирования. Полученные результаты дают возможность говорить об адекватности моделирования и о возможности применения полученной модели для управления процессом кристаллизации, опираясь на температуру поверхности стренги как на косвенный показатель качества.

Зона оптимальных температур поверхности стренги на выходе из вторичного охладителя находится в интервале 50...80 °С [1]. Оптимизируя расход воды в первичных и вторичных охладителях и скорость литья, можно достичь необходимой температуры поверхности, а поддержание ее в автоматическом режиме существенно повысит производительность процесса и качество получаемой катанки.

Литература

1. Прокопович О.И. Температура поверхности катанки как косвенный параметр качества / Прокопович О.И., Прокопович И.В., Гогунский В.Д. // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2003. — Вып. 2(20). — С. 128 — 130.
2. Кац А.М. Теплофизические основы непрерывного литья слитков цветных металлов и сплавов / Кац А.М., Шадек Е.Г. — М.: Металлургия, 1983. — 208 с.
3. Lalli B. Finite difference heat transfer modelling for continuous casting / Lalli B., Biegler L., Henein H. // Metallurgical Transactions. — 1990. В 21(4) — Р. 761 — 770.
4. Прокопович О.И. Автоматизация производства высококачественной катанки для изготовления проводов сверхтонких сечений / Прокопович О.И., Прокопович И.В., Гогунский В.Д. // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2002. Спецвыпуск. — С. 68 — 71.
5. Прокопович О.И. Моделирование процессов кристаллизации при непрерывном литье меди / Прокопович О.И., Морозов Ю.А., Прокопович И.В. // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2004. — Вып. 2(22). — С. 12 — 16.

Поступила в редакцию 15 сентября 2005 г.

УДК 65.012

С.А. Крутина, инженер, Херсон. политехн. колледж Одес. нац. политехн. ун-та

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ОБУЧАЕМОГО В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ

С.А. Крутина. Аналіз моделей відновлення знань того, хто навчається, в автоматизованій навчальній системі. Показано, що для управління процесами адаптації навчання можуть бути використані показники забування і відновлення знань, які фіксуються автоматизованою системою навчання і контролю. Ці показники є унікальними для кожної особи, що навчається.

S.A. Krutina. The analysis models of restoration knowledge of trained in automated training system. Is shown, that for management of processes adaptation of training the parameters to overlook and restoration of knowledge can be used fixed by the automated training system both control. These parameters are unique for everyone trained.

Введение. В современном обществе роль информационных технологий чрезвычайно важна, они занимают центральное место в процессе интеллектуализации общества. В сфере образования применение информационных технологий направлено на совершенствование методов и алгоритмов автоматизированного обучения [1]. При этом приоритетными задачами являются